OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

XV RCC

Várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno

Guia de Campo da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos



UFAM

UEA UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

SBCS 75 ANOS

Embrapa

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Solos
Ministério da Agricultura e Pecuária

Universidade Federal do Amazonas
Universidade do Estado do Amazonas
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Guia de Campo da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos

RCC das Várzeas do Médio Rio Amazonas e Entorno

José Francisco Lumbreras
Maurício Rizzato Coelho
Virlei Álvaro de Oliveira
Hedinaldo Narciso Lima
Wenceslau Geraldes Teixeira
Luís Antônio Coutrim dos Santos
Maria do Rosário Lobato Rodrigues
Maria de Lourdes Mendonça-Santos

Editores técnicos

Embrapa
Brasília, DF
2025

Embrapa

Parque Estação Biológica
Av. W3 Norte (final)
70770-901 Brasília, DF
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Responsável pelo conteúdo e editoração

Embrapa Solos
Rua Jardim Botânico, 1024
CEP 22460-000 Rio de Janeiro, RJ
https://www.embrapa.br/solos

Comitê Local de Publicações

Presidente
Cláudia Pozzi Jantalia

Secretário-executivo
Marcos Antônio Nakayama

Membros
Bernadete da Conceição Carvalho Gomes Pedreira
David Vilas Boas de Campos
Evaldo de Paiva Lima
Helga Restum Hissa
José Francisco Lumbreras
Joyce Maria Guimarães Monteiro
Lucia Raquel Queiroz Pereira da Luz
Maurício Rizzato Coelho
Wenceslau Geraldes Teixeira

Edição executiva
Marcos Antônio Nakayama

Revisão de texto
Maria da Conceição Alves

Normalização bibliográfica
Luciana Sampaio de Araujo (CRB-7/5165)
Maria Augusta Abtibol Brito de Sousa (CRB-11/420)

Projeto gráfico e editoração eletrônica
Alexandre Abrantes Cotta de Mello

Capa
Alexandre Abrantes Cotta de Mello

Foto da capa
José Francisco Lumbreras

1ª edição
Publicação digital (2025): PDF

Todos os direitos reservados.
A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Solos

Guia de campo da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos : RCC das várzeas do médio Rio Amazonas e entorno / José Francisco Lumbreras ... [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2025.
PDF (803 p.) : il. color.

ISBN 978-65-5467-118-7.

1. Classificação do solo. 2. Geomorfologia. 3. Geologia. 4. Mineralogia. 5. Análise do solo. 6. Clima. I. Lumbreras, José Francisco. II. Coelho, Maurício Rizzato. III. Oliveira, Virlei Álvaro de. IV. Lima, Hedinaldo Narciso. V. Teixeira, Wenceslau Geraldes. VI. Santos, Luís Antônio Coutrim dos. VII. Rodrigues, Maria do Rosário Lobato. VIII. Mendonça-Santos, Maria de Lourdes. IX. Embrapa Solos.

CDD (23. ed.) 631.44

Luciana Sampaio de Araujo (CRB-7/5165)

© 2025 Embrapa

Editores técnicos e autores

Aaron Lim
Cientista da Terra, Ph.D. em Geociências Marinhas, professor da University College Cork, Cork, Irlanda

Ademir Fontana
Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia (Ciência do Solo), pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

Ágatha Ayra Araújo Borges
Estudante de graduação do Instituto Federal do Rio de Janeiro, bolsista na Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Alba Leonor da Silva Martins
Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, pesquisadora da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Alex de Carvalho
Geógrafo, doutor em Geografia, professor do Instituto Federal de Minas Gerais, Ouro Preto, MG

Alfredo Kingo Oyama Homma
Engenheiro-agrônomo, doutor em Economia Rural, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

Aline Pacobahyba de Oliveira
Engenheira-agrônoma, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Altair Bennert
Geógrafo, estudante de doutorado da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, PR

Amanda Sales Alves
Engenheira-agrônoma, mestra em Agronomia, estudante de doutorado da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

Andrelisa Santos de Jesus
Geógrafa, doutora em Geotecnia, professora do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO

Borges Marfrann Dias Melo
Engenheiro Agrícola e Ambiental, estudante de doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP

Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer
Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Ciência do Solo, professor do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ

Carmem Sueze Silva Miranda
Engenheira-agrônoma, Ph.D. em Ciência do Solo, professora da Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, BA

Carolina Glaeser Benincá
Geógrafa, mestra em Geografia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, PR

Caroline Delpupo
Geógrafa, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, professora do Instituto Federal de Minas Gerais, Ouro Preto, MG

Christianne Farias Fonseca
Geógrafa, doutora em Geografia, professora do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano - IFSertãoPE, Ouricuri, PE

Daniel Alexandre Heberle
Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor substituto da Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC

Daniela Schievano de Campos
Geóloga, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, estudante de pós-doutorado na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” /Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP

Danielle Vieira Guimarães
Engenheira florestal, doutora em Ciência do solo, estudante de pós-doutorado na Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Diana Ferreira de Freitas
Engenheira-agrônoma, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, professora da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE

Edgar Shinzato
Engenheiro-agrônomo, mestre em Pedologia, analista em Geociências do Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro, RJ

Eliane de Paula Clemente
Engenheira florestal, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Etelvino Henrique Novotny
Agrônomo, doutor em Química, Pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Fabiano de Carvalho Balieiro
Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Fábio Soares de Oliveira
Geógrafo, doutor em Ciências Naturais, professor da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG

Fabrício de Araújo Pedron
Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor da Universidade Federal de Santa Maria, RS

Fernando Yutaro Makino
Estudante de graduação em Engenharia Florestal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP

Geraldo Roberto Carvalho Cernicchiaro
Engenheiro eletricista, doutor em Física, pesquisador do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro, RJ

Gilvan Coimbra Martins
Engenheiro-agrônomo, mestre em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM

Guilherme Costa
Geólogo, mestre em Geologia, pesquisador do Serviço Geológico do Brasil, Manaus, AM

Gustavo de Mattos Vasques
Engenheiro Florestal, Ph.D. em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Hedinaldo Narciso Lima
Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor da Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM

Hugo de Souza Fagundes
Engenheiro-agrônomo, estudante de doutorado da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

Iêda de Carvalho Mendes
Engenheira-agrônoma, Ph.D em Soil Science, pesquisadora da Embrapa Cerrados, Brasília, DF

Ilana Musacchio
Estudante de graduação da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, bolsista (iniciação científica) na Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Iris Celeste Nascimento Bandeira
Geóloga, mestra em Geologia e Geoquímica, pesquisadora do Serviço Geológico do Brasil, Belém, PA

Jaime Antonio de Almeida
Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor da Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC

Jean Dalmo Marques
Engenheiro-agrônomo, doutor em Biologia, professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Manaus, AM

Jean Jesus Macedo Novais
Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador pós-doutorado na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP

Jeferson Luís Vasconcelos de Macedo
Engenheiro-agrônomo, mestre em Sistemas Agroflorestais, pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM

Jeferson Luiz dos Santos
Geógrafo, estudante de mestrado em Geografia, pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, PR

João Herbert Moreira Viana
Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

João José Lelis Leal de Souza
Bacharel em Geografia, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

Jonatan Alves Pereira
Estudante de graduação em Engenharia Ambiental no Cefet-RJ, bolsista da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Jorge Tadeu Fim Rosas
Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador pós-doutorado da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP

José Alexandre Melo Demattê
Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP

José Francisco Lumbreras
Engenheiro-agrônomo, doutor em Planejamento e Gestão Ambiental, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

José João Lelis Leal de Souza
Geógrafo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

Jussara Silva Dantas
Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, professora da Universidade Federal de Campina Grande, Patos, PB

Letícia Guadagnin Vogel
Engenheira-agrônoma, estudante de mestrado em Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP

Letícia Guimarães Pimentel
Engenheira ambiental, estudante de mestrado da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, bolsista (Projeto Itaipu) na Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Lillyane Gomes de França Valle
Engenheira ambiental, mestra em Ciências do Meio Ambiente, bolsista (Programa Nacional de Solos do Brasil) na Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Lúcia Helena Cunha dos Anjos
Engenheira-agrônoma, Ph.D. em Agronomia (Ciência do Solo), professora da Universidade Federal Rural do Rio Janeiro, Seropédica, RJ

Lucieta Guerreiro Martorano
Meteorologista e engenheira-agrônoma, doutora em Fitotecnia/Agrometeorologia, pesquisadora da Embrapa Amazônia Oriental, Santarém, PA

Lucius Menegotto Cunha
Estudante de graduação em Agronomia, bolsista da Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC

Luís Antônio Coutrim dos Santos
Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor da Universidade do Estado do Amazonas, Itacoatiara, AM

Luiz Eduardo Vicente
Geógrafo, doutor em Geografia, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

Marcelo Eduardo Dantas
Geógrafo, mestre em Geomorfologia e Geoecologia, analista em Geociências do Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro, RJ

Marcia Regina Calegari
Geógrafa, doutora em Ciência do Solo, professora da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, PR

Marcos Gervasio Pereira
Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia (Ciência do Solo), professor titular da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

Maria de Lourdes Mendonça-Santos
Engenheira-agrônoma, Ph.D. em Pedologia e Geomática, pesquisadora da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Maria do Rosário Lobato Rodrigues
Engenheira-agrônoma, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM

Maria Inês Lopes de Oliveira
Engenheira-agrônoma, doutora em Ciências Agrárias, bolsista (PronaSolos/Finep) da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

Marlen Barros e Silva
Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, professora da Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, MA

Matheus da Silva de Carvalho
Estudante de graduação da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

Maurício Rizzato Coelho
Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Michele Andriolli Custódio
Geóloga, doutora em Geologia Regional, professora da Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM

Miguel Cooper
Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP

Naziano Pantoja Filizola Junior
Geólogo, doutor em Hidrologia e Geologia, professor da Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM

Nicolas Augusto Rosin
Engenheiro-agrônomo, estudante de doutorado em Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP

Orlando Carlos Huertas Tavares
Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, bolsista (Finep/Pronasolos) da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Pablo Vidal-Torrado
Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP

Patrícia Mara Lage Simões
Geógrafa, doutora em Geografia, pesquisadora em Geociências do Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte, MG

Peter Schad
Professor, Ph.D., Technical University of Munich, Frisinga, Alemanha

Raimundo Cosme de Oliveira Junior
Engenheiro-agrônomo, doutor em Geologia e Geoquímica, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Santarém, PA

Ricardo de Oliveira Dart
Geógrafo, mestre em Geografia, analista da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Sebastião Barreiros Calderano
Geólogo, mestre em Geologia de Engenharia e Ambiental, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Valdomiro Severino de Souza Júnior
Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE

Veridiana Vizoni Scudeller
Bióloga, doutora em Biologia Vegetal, professora da Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM

Virlei Álvaro de Oliveira
Engenheiro-agrônomo, doutor em Geociências e Meio Ambiente, pesquisador aposentado da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Goiânia, GO

Wenceslau Geraldes Teixeira
Engenheiro-agrônomo, doutor em Geoecologia, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Organização e patrocínio

Promoção: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), Núcleo Regional Amazônia Ocidental (NRAO).

Organização: Embrapa Amazônia Ocidental (CPAA), Embrapa Amazônia Oriental (CPATU), Embrapa Solos (CNPS), Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Universidade do Estado do Amazonas (UEA).

Apoio financeiro: Emenda Parlamentar nº 91180001/2021, Projeto PronaSolos - Finep/CT-AGRO/FNDCT (Convênio 01.22.0081.00, Ref. 1218/21), CAPES (Processo nº 88881.943552/2024-01), FAPEAM (edital POP CT&I nº 003/2024), MAPA/SDI, via TED 396/2020 "Integração de esforços para a execução de levantamentos de solos e de suas interpretações para algumas áreas definidas como prioritárias pelo Programa Nacional de Solos do Brasil (PronaSolos) e Projeto SiBCS/Embrapa (SEG nº 10.20.03.032.00.00).

Comissão organizadora: Maria do Rosário Lobato Rodrigues (Embrapa Amazônia Ocidental) e Hedinaldo Narciso Lima (UFAM) - Coordenação geral, Luís Antônio Coutrim dos Santos (UEA) - Tesoureiro, Gilvan Coimbra Martins (Embrapa Amazônia Ocidental), Jeferson Luís Vasconcelos de Macedo (Embrapa Amazônia Ocidental), José Francisco Lumbreras (Embrapa Solos), Lucieta Guerreiro Martorano (Embrapa Amazônia Oriental), Maurício Rizzato Coelho (Embrapa Solos), Raimundo Cosme de Oliveira Junior (Embrapa Amazônia Oriental), Virlei Álvaro de Oliveira (aposentado do IBGE), Wenceslau Geraldes Teixeira (Embrapa Solos).

Equipe de apoio logístico: Cleumar Silva de Souza (graduando da UEA), Gilvan Coimbra Martins (Embrapa Amazônia Ocidental), Hedinaldo Narciso Lima (UFAM), Jeferson Luís Vasconcelos de Macedo (Embrapa Amazônia Ocidental), Jucélia Oliveira Vidal (Embrapa Amazônia Ocidental), Lucieta Guerreiro Martorano (Embrapa Amazônia Oriental), Luís Antônio Coutrim dos Santos (UEA), Maria do Perpétuo Socorro Moraes Tavares (Embrapa Amazônia Oriental), Maria do Rosário Lobato Rodrigues (Embrapa Amazônia Ocidental), Nivaldo Nascimento de Carvalho (Embrapa Amazônia Oriental), Raimundo Cosme de Oliveira Junior (Embrapa Amazônia Oriental), Sidney Nogueira Belém (graduando da UEA), Sumara Ennes das Neves (Embrapa Amazônia Ocidental) e Relionan Pimentel Leal (Embrapa Amazônia Oriental).

Seleção, descrição, amostragem e classificação dos solos: Virlei Álvaro de Oliveira (pesquisador aposentado do IBGE), José Francisco Lumbreras (Embrapa Solos), Maurício Rizzato Coelho (Embrapa Solos), Luís Antônio Coutrim dos Santos (UEA), Hedinaldo Narciso Lima (UFAM), Raimundo Cosme de Oliveira Junior (Embrapa Amazônia Oriental), Maria do Rosário Lobato Rodrigues (Embrapa Amazônia Ocidental), Gilvan Coimbra Martins (Embrapa Amazônia Ocidental) e Jeferson Luís Vasconcelos de Macedo (Embrapa Amazônia Ocidental)

Apresentação

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em seu compromisso contínuo com a geração e a divulgação do conhecimento científico para o desenvolvimento sustentável do Brasil, tem a satisfação de apresentar o Guia de Campo da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (RCC): Várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno. Esta publicação é fruto de um esforço colaborativo de muitos profissionais da Ciência do Solo de diferentes instituições de ensino e pesquisa do País e reflete a importância estratégica para se aprofundar o entendimento sobre os solos de um dos biomas mais complexos e vitais do planeta.

O tema central desta obra são os solos das áreas de várzea do Médio Rio Amazonas, ambientes ainda pouco estudados e conhecidos, mas de grande dinâmica e potencial de uso pela população ribeirinha. Esses solos demandam, em certos locais, preservação ambiental e, em outros, um manejo cuidadoso baseado em pesquisa aplicada. Este guia reúne informações detalhadas sobre 17 perfis de solo, examinados ao longo de um percurso de 1.400 km entre Manaus (AM) e Santarém (PA), oferecendo um panorama abrangente da diversidade de solos e da vegetação da região.

A contribuição desta publicação para o avanço científico e tecnológico reside na geração e sistematização de dados e informações essenciais para a evolução do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Ao caracterizar detalhadamente esses solos, lançando-se mão de especialistas em diversas técnicas analíticas, a obra também fornece subsídios técnicos para subvencionar o planejamento do uso da terra, a conservação ambiental e o desenvolvimento de práticas agrícolas adaptadas às realidades locais. Seu alcance social e econômico manifesta-se no potencial para orientar políticas públicas e iniciativas privadas para uma exploração mais racional e sustentável dos recursos naturais amazônicos, em plena conformidade com a missão da Embrapa.

Este trabalho foi possível graças à valiosa parceria institucional com a Universidade Federal do Amazonas (UFAM), a Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), unindo competências em prol da Ciência do Solo no País.

Esta realização atende aos seguintes Objetivos de Desenvolvimento Sustentável estipulados pelas Nações Unidas (ONU): ODS 2 – fome zero e agricultura sustentável, ODS 4 – Educação de qualidade e ODS 15 – Vida terrestre.

Maria do Rosário Lobato Rodrigues
Pesquisadora da Embrapa Amazônia Ocidental
Coordenadora da XV RCC

Hedinaldo Narciso Lima
Professor da Universidade Federal do Amazonas
e Coordenador da XV RCC

Marisa Teixeira Mattioli
Chefe-Geral em exercício da Embrapa Solos

Prefácio

É com grande entusiasmo que apresentamos aos leitores o Guia de Campo da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (RCC). Esta obra foi concebida para ser um registro técnico e um manual de referência sobre os solos de uma das regiões mais emblemáticas do Brasil: as várzeas do Médio Rio Amazonas e seu entorno. Em linguagem técnica para especialistas, objetiva-se ampliar o conhecimento científico da região com foco na complexa e fascinante pedologia amazônica.

A estrutura do guia inicialmente apresenta um histórico das Reuniões Brasileiras de Classificação e Correlação de Solos, bem como o objetivo e o perfil dos participantes. Para contribuir ao entendimento da obra, é descrito o roteiro geológico da extensa área analisada. O seu corpo principal, no entanto, é dedicado, entre outros conteúdos, à descrição minuciosa dos 17 perfis de solos selecionados, com análises que abrangem desde seus atributos morfológicos, químicos, físicos, mineralógicos, até micromorfológicos, fornecendo uma base sólida para a atualização do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). Ao final, nos apêndices, há o registro do roteiro detalhado da excursão técnica da XV RCC, descrevendo o itinerário e a programação que nortearam os trabalhos de campo, a lista completa dos participantes e as instituições que contribuíram para a construção desta obra.

Além das descrições de perfis, o livro é enriquecido com capítulos técnicos que aprofundam temas essenciais para a compreensão do ambiente, como a geologia, as paisagens e a ocupação humana na região, a dinâmica fluvial e o histórico de uso dos solos, bem como aborda a correlação do SiBCS com os dois sistemas taxonômicos mais utilizados no mundo: o Soil Taxonomy e o WRB. A principal finalidade desta publicação é, portanto, subsidiar a atualização do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, também servindo como uma fonte de consulta robusta e atualizada, quer para ensino, quer para corroborar e estimular novas pesquisas nesses ambientes ainda pouco estudados, destacando-se a relevância do conhecimento pedológico para a gestão sustentável dos ecossistemas de várzea, que possuem grande importância social, econômica e ambiental.

Este guia destina-se a um público amplo, incluindo estudantes de graduação e pós-graduação, pesquisadores, professores e profissionais das áreas de Agronomia, Geografia, Geologia, Engenharia Florestal e Ambiental. Esperamos que o conteúdo aqui presente inspire novos estudos e contribua significativamente para a formação de recursos humanos e para o avanço da Ciência do Solo na Amazônia.

Os Editores Técnicos

Sumário

Capítulo 1. A XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC das várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno
1. Introdução 19
2. Objetivos 20
3. O perfil dos participantes 21
4. Histórico 21
5. Considerações finais 23
Referências 24

Capítulo 2. Roteiro geológico do médio curso do Rio Amazonas no trecho entre os municípios de Iranduba, AM, e Santarém, PA
1. Introdução 27
2. Contexto geológico 28
2.1. História e compartimentação geológica da América do Sul 28
2.2. A Amazônia no contexto da Geologia da América do Sul 31
2.3. A geologia da região do médio curso do Rio Amazonas 31
3. Considerações finais 34
Referências 35

Capítulo 3. Geomorfologia do Médio Rio Amazonas: roteiro compreendido entre as cidades de Manaus e Santarém
1. Introdução 39
2. Caracterização geológico-geomorfológica regional 39
3. Domínios geomorfológicos do Médio Rio Amazonas 42
3.1. Planície Amazônica 43
3.2. Baixos platôs da Amazônia Centro-Oriental 45
4. A complexa gênese das formações superficiais no domínio dos Baixos Platôs na Amazônia 49
5. Considerações finais 50
Referências 51

Capítulo 4. Caracterização climática da área de estudo da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos
1. Introdução 55
2. Material e métodos 57
2.1. Variáveis climáticas 57
3. Resultados e discussão 57
3.1. Tipologia climática na área de estudo 57
3.2. Variáveis climáticas analisadas 58
4. Considerações finais 64
Referências 65

Capítulo 5. As formações vegetais na região do Médio Rio Amazonas e entorno
1. Introdução 69
2. Área de estudo 71
3. Tipos de vegetação da área abrangida pela XV RCC 72
3.1. Floresta Ombrófila Densa – Floresta de Terra Firme 73
3.2. Floresta Ombrófila Densa Aluvial – Várzea e Igapó 76
3.2.1. Várzeas 78
3.2.2. Igapó 80
3.3. Campinarana 82
3.4. Savana - Cerrado 85
4. Considerações finais 87
Referências 87

Capítulo 6. Paisagens e Sociedade do Médio Rio Amazonas, entre Manaus e Santarém

1. Introdução 97
2. Fundamentos da geologia e do relevo 98
3. Solos da Amazônia....106
3.1. As Terras Pretas de Índio da Amazônia: exceções no ambiente de terra firme e de várzea 108
4. As várzeas e os povos originários do Amazonas 109
5. Perfis da XV RCC e contextos geológicos e geomorfológicos 110
6. Os povos amazônidas das várzeas: a organização inicial da ocupação amazônica 114
7. Considerações finais 116
Referências....117

Capítulo 7. Histórico das transformações de uso e ocupação dos solos das várzeas no Rio Amazonas no trecho de Manaus a Santarém

1. Introdução 121
2. O Rio comanda a vida 122
3. A bacia hidrográfica do Rio Amazonas 124
4. Os ciclos econômicos extrativos 126
5. Tentativas de aproveitamento das várzeas amazônicas 127
6. Construtores de canais 130
7. Agricultura de várzea e a interface com a terra firme 133
7.1. A produção agrícola na área de estudo da XV RCC 133
7.2. Gado bovino, bubalino, pesca e piscicultura 139
7.3. A decadência da economia extrativa 140
8. Considerações finais 142
Referências....142

Capítulo 8. Dinâmica fluvial do Médio curso do Rio Amazonas e processos associados

1. Introdução 145
2. Dinâmica fluvial....147
3. Processos fluviais no Médio Rio Amazonas 150
3.1. Inundação 151
3.2. Sedimentação 155
3.3. Terras caídas 159
4. Considerações finais 162
Referências....162

Capítulo 9. Solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos

1. Introdução 167
2. Material e métodos....169
2.1. Solos e ambientes estudados 169
2.2. Descrição, coleta e classificação dos perfis de solos....170
2.3. Métodos de laboratório 170
3. Resultados 172
Perfil AM-01 173
Perfil AM-02 178
Perfil AM-05 182
Perfil AM-06 186
Perfil AM-07 191
Perfil AM-08 196
Perfil AM-09 201
Perfil AM-11 207
Perfil AM-12 212
Perfil AM-15 216
Perfil AM-16 221
Perfil PA-05 226
Perfil PA-06 230
Perfil PA-07 234
Perfil PA-13 239
Perfil PA-14.... 244
Perfil PA-17 249
4. Considerações finais 256
Referências....257

Capítulo 10. Química e granulometria dos solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: uma abordagem pedológica
1. Introdução 261
2. Material e métodos 263
2.1. O meio físico 263
2.2. Classificação dos perfis 267
2.3. Análises de rotina para fins de levantamento de solos 267
2.4. Análises estatísticas 268
2.5. Dinâmica das RCCs 269
3. Resultados e discussão 269
3.1. Análises multivariadas 269
3.1.1. Análise de agrupamentos (HCA) 269
3.1.2. Análise de componentes principais (PCA) 276
4. Considerações finais 296
Referências 297

Capítulo 11. Micromorfologia de Solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos
1. Introdução 301
2. Material e métodos 302
3. Resultados e discussão 305
4. Considerações finais 405
Referências 407

Capítulo 12. Mineralogia das frações areia, cascalho e calhau dos solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos
1. Introdução 409
2. Material e métodos 410
3. Resultados e discussão 412
4. Considerações finais 436
Referências 437

Capítulo 13. Mineralogia das frações argila e silte dos solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos
1. Introdução 439
2. Material e métodos 440
2.1. Solos analisados e relação com o material de origem 440
2.2. Confecção de lâminas e difratometria de raios-X 443
2.3. Critérios para identificação dos minerais 444
3. Resultados e discussão 445
3.1 Características mineralógicas gerais 445
3.2. Apresentação dos resultados por perfil 449
4. Considerações finais 449
Referências 451
Apêndice 13.1. Difratogramas de raios-X das frações argila e silte. 453

Capítulo 14. Óxidos e índice Ki determinados pelo ataque sulfúrico na TFSA e por fluorescência de raios-X em amostras de solos da XV RCC: análise crítica comparativa
1. Introdução 479
2. Material e métodos 481
3. Resultados e discussão 483
3.1. Análises da fração terra fina 483
3.2. Análises das frações silte e argila por FRX 488
3.3. Índice Ki determinado pelo AS na TFSA e na fração argila por FRX 490
3.4. Índice Ki determinado por FRX na fração silte 493
4. Considerações finais 494
Referências 495

Capítulo 15. Avaliação da susceptibilidade magnética e da condutividade elétrica aparente dos solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos
1. Introdução 497
1.1. A Susceptibilidade Magnética.... 497
1.2. A Condutividade Elétrica Aparente 499
2. Material e métodos....501
3. Resultados e discussão 502
3.1. Análises de SM e CEa nos solos da XV RCC.... 502
4. Conclusões 513
5. Recomendações....514
Referências....515

Capítulo 16. Análise de solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos via espectroscopia e computação em nuvem
1. Introdução 519
2. Material e métodos....520
2.1. Localização dos perfis estudados 520
2.2. Procedimentos.... 521
2.2.1. Amostras e espectroscopia de reflectância Vis-NIR-SWIR 521
2.2.2. Processamento em nuvem via BraSpecS.... 523
3. Resultados e discussão 523
3.1. Caracterização espectral.... 523
3.2. Modelagem 525
3.4. Perspectivas para utilização dos dados para o PronaSolos.... 527
4. Considerações finais 528
Referências....529

Capítulo 17. Avaliação da ocorrência de descontinuidades em perfis da XV RCC
1. Introdução 531
2. Material e métodos....533
2.1. Perfis estudados.... 533
2.2. Análises laboratoriais.... 534
2.3. Critérios de avaliação de descontinuidade 535
3. Resultados e discussão 536
4. Considerações finais 576
Referências....576

Capítulo 18. Avaliação da infiltração e da condutividade hidráulica saturada dos perfis da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos
1. Introdução 579
1.1. Instrumentos de medição da taxa de infiltração básica (TIB) e da condutividade hidráulica saturada (Ks). 580
2. Material e métodos....581
2.1. Seleção dos locais de avaliação....581
3. Resultados e discussão 584
4. Conclusões 589
Referências....589

Capítulo 19. Retenção de água em amostras de solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos
1. Introdução 593
2. Material e métodos....594
3. Resultados e discussão 596
4. Considerações finais 602
Referências....603

Capítulo 20. Curvas de retenção de água de horizontes e solos selecionados da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos obtidas por Ressonância Magnética Nuclear em baixo campo
1. Introdução 607
2. Material e métodos....609
3. Resultados e discussão 618
4. Considerações finais 637
Referências....638

Capítulo 21. Carbono orgânico das frações húmicas de perfis de solos da XV RCC
1. Introdução 641
2. Material e métodos 642
2.1. Seleção dos perfis 642
2.2. Análises laboratoriais 643
3. Resultados e discussão 644
4. Considerações finais 649
Referências 649

Capítulo 22. Funções para predição do carbono total e estoque de carbono em perfis da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos
1. Introdução 651
2. Material e métodos 652
2.1. Seleção dos perfis 652
2.2. Análises laboratoriais 653
3. Resultados e discussão 655
3.1. Predição do carbono total do solo (todos os perfis) 655
3.2. Estoque de carbono do solo (perfis da XV RCC) 660
4. Considerações finais 662
Referências 663
Anexo 22.1 666
Anexo 22.2 673

Capítulo 23. Avaliação dos teores de fósforo por diferentes métodos nos perfis de solos da XV RCC
1. Introdução 677
2. Material e métodos 678
2.1 Análises laboratoriais 678
2.2 Análises estatísticas 679
2. Resultados e discussão 679
3. Considerações finais 687
Referências 688

Capítulo 24. Memórias bióticas de solos de planície do Rio Amazonas - XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos
1. Introdução 691
2. Material e métodos 693
2.1. AmostragemAM-08 693
2.2. Extração de fitólitos 693
2.3. Contagem, identificação e classificação dos fitólitos 694
2.4. Análises estatísticas 696
3. Resultados e discussão 696
3.1. Assembleia de fitólitos e significado ambiental 696
4. Considerações finais 713
Referências 713

Capítulo 25. Atividade enzimática dos solos da XV RCC: um enfoque bioquímico
1. Introdução 719
2. Material e métodos 721
2.1. Meio físico 721
2.2. Amostragem e análises de solo 721
2.3. Abordagem estatística 723
3. Resultados e discussão 723
4. Considerações finais /Perspectivas futuras 730
Referências 731

Capítulo 26. Comparação da classificação taxonômica dos solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos no SiBCS e nos Sistemas Internacionais WRB e Soil Taxonomy
1. Introdução 733
2. Material e métodos 734
3. Resultados e discussão 734
4. Conclusões 741
Referências 742

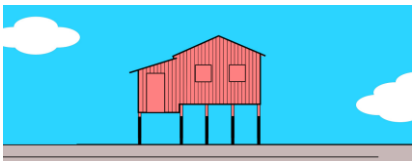
Capítulo 27. Avaliação da aptidão agrícola dos solos da XV RCC
Avaliação da aptidão agrícola dos solos da XV RCC 743
1. Introdução 743
2. Material e métodos 744
3. Resultados e discussão 749
3.1. Classificação da aptidão agrícola dos solos da XV RCC 749
3.2. Descrição dos subgrupos de aptidão agrícola 757
4. Conclusões 761
Referências 761

Capítulo 28. Monolitos de solos dos perfis das RCCs brasileiras
1. Introdução 763
2. Material e métodos 764
2.1. Procedimentos para coleta e preparo de monolitos de solos 764
2.2. Método da UFSM 764
2.3. Procedimentos para coleta dos monolitos de solos da XV RCC 767
3. Resultados e discussão 767
3.1. Coleta e preparo de monolitos de solos da XV RCC 767
3.2. Coleção de solos do Brasil provenientes das RCCs: proposta de criação 770
4. Considerações finais 771
Referências 772

Capítulo 29. Síntese das discussões e recomendações da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos para o aprimoramento do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
1. Introdução 773
2. Material e métodos 774
3. Resultados 776
4. Considerações finais 794
Referências 795

Apêndice A
Excursão 797
Apêndice B
Participantes da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC das várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno 802
Apêndice C
Foto da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC das várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno 803

Capítulo 1



A XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC das várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno

Hedinaldo Narciso Lima
Maurício Rizzato Coelho
Maria do Rosário Lobato Rodrigues
Luís Antônio Coutrim dos Santos
Virlei Álvaro de Oliveira
José Francisco Lumbreras

1. Introdução

A *Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solo*s (RCC) é um evento técnico-científico promovido pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), sob a organização da Embrapa Solos e instituições de ensino e pesquisa das regiões de ocorrência de cada evento, cujo período de execução pode variar, tendo sido as mais recentes realizadas a cada dois ou três anos.

Dada sua abrangência e participação, a RCC tornou-se um instrumento indutor de grandes e importantes avanços para o conhecimento e a taxonomia dos solos brasileiros, até mesmo no que concerne ao aprimoramento de metodologias analíticas de solos, e por isso de vital importância ao desenvolvimento e aprimoramento do *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* - SiBCS (Santos et al., 2018, 2025). Esses ambientes, com profundas discussões científicas, são momentos oportunos para congregar especialistas em Pedologia, entre pesquisadores, professores, técnicos e estudantes, além de profissionais de áreas afins como geólogos e geomorfólogos, e a participação de observadores internacionais, de maneira a enriquecer o entendimento de questões vinculadas à formação das paisagens locais e solos.

Desde a primeira edição, no final da década de 1970, a RCC recebeu diferentes denominações: Reunião de Classificação, Correlação e Interpretação de Aptidão Agrícola de Solos; Excursão de Estudos de Solos; Reunião Nacional de Classificação e Correlação de Solos e, finalmente, Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos. A sigla RCC foi mantida ao longo do tempo, tornando-se uma espécie de marca registrada do evento. Destaca-se que eventos internacionais semelhantes ocorridos no Brasil foram oficialmente denominados workshops (International Soil Classification Workshop, 1978, 1988; Oliveira et al., 2021), embora a sistemática de trabalho empregada seja praticamente a mesma utilizada nas reuniões nacionais (Oliveira et al., 2021).

A RCC possui dinâmica própria e, diferentemente de outros eventos técnico-científicos, suas atividades principais são desenvolvidas em campo para a observação e avaliação de perfis em diferentes classes de solos, previamente selecionados, descritos, amostrados e caracterizados analiticamente, com interesse taxonômico e de uso e manejo do solo em determinado ambiente ou região. Essa dinâmica exige extensos deslocamentos pelo interior do País, ao longo de roteiros pedológicos preestabelecidos na área de ocorrência do evento, frequentemente regiões com baixa disponibilidade de hospedagem e, por vezes, de difícil acesso. Por isso, o número de participantes é previamente limitado, conforme as condições disponíveis para sua realização. No entanto, é importantíssimo deixar registrado que a solicitação para pré-inscritos sempre ultrapassa o quantitativo de vagas ofertadas. Isso denota o impacto positivo da RCC sobre a formação de pedólogos, dadas a riqueza e a profundidade nas discussões e aprendizado gerados, seja em campo ou no material descrito no guia impresso, o qual é posteriormente publicado, tornando-se assim disponível para todos os interessados no tema.

2. Objetivos

Objetivos gerais:

1) Contribuir para o aprimoramento do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos;

2) Promover a integração de conhecimentos sobre os solos do País, pela observação in loco e pela avaliação de atributos morfológicos e dados analíticos de perfis de solos da bacia sedimentar do Amazonas, com ênfase nos solos da planície de inundação do Rio Amazonas (várzeas amazônicas);

3) Ampliar e aprofundar o conhecimento sobre os solos do bioma Amazônia;

4) Promover o intercâmbio entre profissionais da Ciência do Solo do Brasil e do mundo;

5) Ampliar o acervo de informações ambientais e de dados morfológicos e analíticos de solos do Brasil.

Objetivos específicos:

1) Contribuir para o aprendizado e a geração de novos conhecimentos sobre a gênese e os atributos de solos da Amazônia brasileira, visando dar suporte ao seu uso e manejo sustentáveis;

2) Testar e validar conceitos para a definição e validação taxonômica de solos sedimentares da Amazônia brasileira;

3) Contribuir para a troca de experiências e maior uniformização nos critérios taxonômicos e morfológicos empregados na classificação dos solos, principalmente com ênfase em solos de várzeas sedimentares;

4) Criar oportunidades de parcerias em pesquisas;

5) Contribuir para a formação de novos profissionais para a Pedologia brasileira.

3. O perfil dos participantes

Cerca de 170 pessoas, entre professores de ensino superior, pesquisadores, estudantes de pós-graduação e técnicos da iniciativa privada ou do serviço público, fizeram inscrição prévia para participar da XV RCC. Por limitações de logística da viagem de campo, que envolveu trajetos terrestres e fluviais, foram selecionados 80 inscritos de cerca de 50 instituições de vários estados, representativas das diferentes regiões do Brasil, além de inclusão de especialistas com maior domínio em levantamentos e classificação de solos. O perfil dos participantes, quanto à sua formação e atuação, incluiu profissionais de várias áreas, entre as quais: gênese, morfologia e classificação; química, física e mineralogia do solo; aptidão agrícola; manejo e conservação dos solos; geografia; geologia e outros temas correlatos.

Entre os participantes, a maioria sócia da SBCS (85%), 20% atuam profissionalmente na região Norte, 16%, na região Nordeste, 14%, na região Centro-Oeste, 10%, na região Sul e 40%, na região Sudeste do Brasil, além de um professor da Technical University of Munich, da Alemanha. No que se refere ao perfil profissional, 65% são professores de universidades públicas estaduais ou federais e 7% de institutos federais, 27% são pesquisadores, além de dois profissionais liberais e/ou consultores. Quanto ao gênero, as mulheres representaram 29% dos participantes.

4. Histórico

O histórico das RCCs desde sua primeira edição no final da década de 1970 até 2019, bem como outras informações relevantes sobre este evento, foi descrito em *As Reuniões de Classificação e Correlação de Solos (RCCs): história, organização e contribuições para a pedologia brasileira* (Oliveira et al., 2021).

A seguir transcreve-se um excerto da referida obra.

> As RCCs iniciaram-se no final da década de 1970 (Camargo e Beinroth, 1978; Mothci et al., 1979), ocasião em que se realizavam vários levantamentos de solos do Brasil. Entretanto, outros eventos com motivação semelhante, denominados de 'Estudos Expeditos de Solos', aconteceram no final da década de 1950 e início da década de 1960. Eram promovidos pela antiga Comissão de Solos do Ministério da Agricultura, órgão precursor da atual Embrapa Solos, cujo objetivo principal era uniformizar os critérios de classificação e procedimentos metodológicos entre os futuros executores dos levantamentos de solos no País.
>
> A finalidade principal das RCCs foi se modificando ou sendo ampliada com o decorrer do tempo, em razão do avanço no conhecimento acerca dos solos, do desenvolvimento do SiBCS e da alteração do perfil profissional dos participantes do evento. As primeiras RCCs (Mothci et al., 1979; Camargo et al., 1983), bem como o primeiro Workshop Internacional (Camargo e Beinroth, 1978), tiveram como mote central o conhecimento e a caracterização de solos representativos de diferentes ambientes com o intuito de padronizar conceitos e terminologias para atender aos trabalhos de levantamentos de solos que se realizavam no País. Buscavam produzir subsídios para possibilitar, inicialmente, o desenvolvimento e, posteriormente, o aprimoramento de um sistema de classificação que fosse o mais ajustado possível aos solos de nosso território, pois muitos dos critérios diagnósticos, designações de classes de solos e suas definições e conceitos eram herdados de sistemas taxonômicos estrangeiros. O aperfeiçoamento desse sistema tem sido a motivação primordial que permanece até os dias atuais, mas a esta têm sido acrescidas outras, como o seu aproveitamento com objetivos didáticos, tornando-as veículos importantes para aquisição de conhecimento de alto nível acerca dos solos nacionais obtidos em seu habitat natural e para

> divulgação de pesquisas associadas nos documentos científicos produzidos e divulgados especificamente para o evento. Por essa razão, as RCCs são realizadas em ambientes distintos do país, de forma a contemplar uma maior variabilidade de solos, como evidenciado quando observamos as unidades federativas onde elas foram feitas (Quadro 1; Figura 1) (Oliveira et al., 2021, p.238).

O Quadro 1 e a Figura 1 supracitados foram atualizados e são mostrados na Tabela 1.1 e na Figura 1.1.

Tabela 1.1. Data de realização dos eventos, unidade(s) federativa(s) abrangida(s) e número de participantes das Reuniões Brasileiras de Classificação e Correlação de Solos (RCC) e workshops internacionais (ISCW) ocorridos no Brasil.

Evento	Ano (período)	Unidade federativa	Número de participantes	Fonte
1º ISCW	1977 (20/06 a 01/07)	RJ, PR, SE, AL, PE	63	International [...] (1978)
I RCC	1978 (01 a 08/08)	RJ	70	Reunião [...] (1979)
II RCC	1982 (25 a 29/10)	RJ, MG, SP	56	Reunião [...] (1983)
III RCC	1984 (22 a 28/09)	PR, SP, RJ, MG	79	Reunião [...] (1988)
8º ISCW	1986 (12 a 23/05)	SP, MG, GO, DF	96	International [...] (1988)
IV RCC	1994 (12 a 20/09)	RJ, ES, BA	58	Reunião [...] (1995)
V RCC	1998 (02 a 09/06)	PE, PB, RN, BA	87	Reunião [...] (1998)
VI RCC	2000 (27/11 a 04/12)	RS, SC, PR	95	Reunião [...] (2000)[(1)]
VII RCC	2005 (08 a 16/10)	MG	72	Reunião [...] (2005)[(1)]
VIII RCC	2008 (16 a 23/11)	SC	56	Reunião [...] (2008)[(1)]
IX RCC	2010 (12 a 17/09)	AC	71	Anjos et al. (2013) e Silva et al. (2019)
X RCC	2012 (03 a 11/11)	MS	63	Reunião [...] (2012)
XI RCC	2015 (14 a 21/03)	RR	77	Batista et al. (2018)
XII RCC[(2)]	2017 (09 a 16/09)	RO, AM	79	Lumbreras et al. (2019)
XIII RCC	2019 (19 a 26/10)	MA	79	Silva et al. (2020)
XIV RCC	2022 (08 a 15/10)	GO, TO	86	Santos et al. (2023)
XV RCC	2024 (18 a 25/10)	AM, PA	81	Vide Apêndice B

[(1)] RCC cuja publicação foi restrita aos participantes do evento. [(2)] Os solos e ambientes da XII RCC foram visitados na excursão técnica do 21º Congresso Mundial de Ciência do Solo, no período de 8 a 15/08/2018, e contou com 34 participantes (Wadt et al., 2019).

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2021).



Figura 1.1. Roteiros dos eventos realizados no Brasil.

Para fins de representação cartográfica, as RCCs são representadas por algarismos arábicos (traçado do percurso na cor azul) e os workshops por algarismos arábicos seguidos pela letra i (1i e 8i) (traçado do percurso na cor vermelha).

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2021).

5. Considerações finais

A RCC precedente, realizada entre 8 e 15 de outubro de 2022, contemplou solos dos estados de Goiás e Tocantins. Nessa ocasião os participantes visitaram e conheceram áreas de grandes superfícies aplainadas dos antigos planaltos (chapadões), outrora ocupados pela vegetação de cerrado, características da região Centro-Oeste do Brasil, onde se desenvolve atualmente uma agricultura intensiva e tecnificada, principalmente com cultivos de soja, milho e algodão, bem como outros ambientes e solos distintos, que, embora de menor potencialidade agrícola que aqueles dos chapadões, não são menos importantes (Santos et al., 2023).

Eventos anteriores, especificamente, a IX RCC (Acre), a XI RCC (Roraima) e a XII RCC (Rondônia), possibilitaram aos participantes a riquíssima experiência de ampliar e aprofundar seus conhecimentos sobre os solos da Amazônia brasileira, nos limites norte e sul do bioma Amazônia. Não obstante, a região central do bioma Amazônia ainda não havia sido

contemplada, especialmente em seus ambientes mais emblemáticos e diversos: as várzeas ou planícies de inundação dos rios que drenam a região. Assim, enfatiza-se a importância e a simbologia desta XV RCC em conhecer a porção mais interior da Amazônia brasileira, com o intuito de ampliar e aprofundar o conhecimento sobre seus solos e discutir o potencial uso e manejo da mais extensa área de solos férteis da região.

Nos próximos capítulos deste Guia de Campo, cada participante da RCC terá a oportunidade de conhecer e/ou aprofundar seus conhecimentos, especialmente nos aspectos sobre o meio físico, geologia, geomorfologia e vegetação, associados aos ambientes visitados e principalmente a seus solos.

Referências

ANJOS, L. H. C. dos; SILVA, L. M. da; WADT, P. G. S.; LUMBRERAS, J. F.; PEREIRA, M. G. (ed.). **Guia de campo da IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 204 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/964754. Acesso em: 29 jul. 2025.

BATISTA, K. D.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de; VALE JÚNIOR, J. F. do (ed.). **Guia de campo da XI Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Roraima. Brasília, DF: Embrapa, 2018. E-book. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1104265. Acesso em: 24 jul. 2025.

INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 1., 1977, Rio de Janeiro. **Proceedings** [...]. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1978. 376 p. Edited by M. N. Camargo, F. H. Beinroth. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/327224. Acesso em: 29 jul. 2025.

INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 8., 1986, Rio de Janeiro. **Classification, characterization and utilization of oxisols**: proceedings. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS: USDA-SMSS: University of Puerto Rico, 1988. 2 pt. Editors: F. H. Beinroth, M. N. Camargo and H. Eswaran. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/327221. Acesso em: 29 jul. 2025.

LUMBRERAS, J. F.; SILVA, L. M. da; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; WADT, P. G. S.; PEREIRA, M. G.; DELARMELINDA-HONORÉ, E. A.; BURITY, K. T. L. (ed.). **Guia de campo da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos:** RCC de Rondônia. Brasília, DF: Embrapa, 2019. E-book. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1112765. Acesso em: 29 jul. 2025.

OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ARAUJO FILHO, J. C. de. As Reuniões de Classificação e Correlação de Solos (RCCs): história, organização e contribuições para a pedologia brasileira. In: SOUZA-FILHO, L. F.; SILVA, R. C. da; CÉSAR, F. R. C. F.; SOUZA, C. M. M. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2021. v. 11, p. 235-290.

REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 10., 2012, Corumbá. **Guia de excursão de estudos de solos no Pantanal e Cerrados do estado de Mato Grosso do Sul**. Corumbá: Embrapa Pantanal; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012. 176 p.

REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 2., 1982, Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1983. 138 p. (EMBRAPA-SNLCS. Documentos, 5). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/333967. Acesso em: 29 jul. 2025.

REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., 1984, Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1988. 425 p. (EMBRAPA-SNLCS. Documentos, 12). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/333968. Acesso em: 29 jul. 2025.

REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E APLICAÇÃO DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 4., 1994, Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 157 p.

REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E APLICAÇÃO DE LEVANTAMENTOS DE SOLO, 5., 1998, Recife. **Guia de excursão de estudos de solos nos estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará e Bahia**. Recife: Embrapa Solos, 1998. 124 p. Organizadores: Fernando Barreto Rodrigues e Silva, José Carlos Pereira dos Santos, Flávio Hugo Barreto Batista da Silva, Nivaldo Burgos, Aldo Pereira Leite, Paulo Cardoso de Lima.

REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E APLICAÇÃO DE LEVANTAMENTOS DE SOLOS, 6., 2000, Colombo. **Guia de excursão de estudos de solos nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas; Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Campinas: IAC, 2000. 222 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/289501. Acesso em: 29 jul. 2025.

REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA DE SOLOS, 1., 1978, Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1979. 276 p. Organizadores: Elias Pedro Mothci, Flávio Garcia de Freitas, Francesco Palmieri, Humberto Gonçalves dos Santos, Tarcisio Ewerton Rodrigues.

REUNIÃO NACIONAL DE CORRELAÇÃO E CLASSIFICACÃO DE SOLOS, 7., 2005, Viçosa, MG. **Guia de excursão de estudos de solos no estado de Minas Gerais**. Viçosa, MG: Ed. da Universidade Federal de Viçosa; Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Belo Horizonte: Ed. da Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 153 p.

REUNIÃO NACIONAL DE CORRELAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS, 8., 2008, Florianópolis. **Guia de excursão de estudos de solos no estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2008. 181 p.

SANTOS, G. G.; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA. R. E. M. de; MADARI, B. E. (ed.). **Guia de campo da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Goiás e Tocantins. Brasília, DF: Embrapa, 2023. E-book. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1155338. Acesso em: 29 jul. 2025.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; LIMA, H. N.; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 6. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2025. 393 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1176834. Acesso em: 29 jul. 2025.

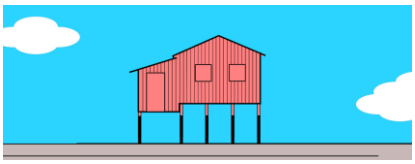
SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003. Acesso em: 29 jul. 2025.

SILVA, L. M. da; ANJOS, L. H. C. dos; LUMBRERAS, J. F.; PEREIRA, M. G.; WADT, P. G. S. (ed.). **Pesquisas coligadas da IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: solos de formações sedimentares em sistemas amazônicos: potencialidades e demandas de pesquisa. Brasília, DF: Embrapa, 2019. E-book. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1110799. Acesso em: 29 jul. 2025.

SILVA, M. B. e; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de (ed.). **Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC do Maranhão. Brasília, DF: Embrapa, 2020. E-book. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1127220. Acesso em: 29 jul. 2025.

WADT, P. G. S.; SANTOS, H. G. dos; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C. dos; BATISTA, K. D. A XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos e o resgate histórico das RCCs. In: LUMBRERAS, J. F.; SILVA, L. M. da; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; WADT, P. G. S.; PEREIRA, M. G.; DELARMELINDA-HONORÉ, E. A.; BURITY, K. T. L. (ed.). **Guia de campo da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Rondônia. Brasília, DF: Embrapa, 2019. E-book. cap. 1. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1112765. Acesso em: 25 jul. 2025.

Capítulo 2



Roteiro geológico do Médio curso do Rio Amazonas no trecho entre os municípios de Iranduba, AM, e Santarém, PA

Naziano Pantoja Filizola Junior
Michele Andriolli Custódio
Guilherme Costa

1. Introdução

A *Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos* (RCC) é um evento técnico-científico que desde 1978 insere-se na área de Pedologia e Ciência do Solo como relevante evento na consolidação e unificação de conceitos e critérios de classificação e interpretação de solos para fins agrícolas e de zoneamento. De atuação multidisciplinar, a RCC tem-se concentrado nas correlações das classes de solos e suas características, vulnerabilidades geoambientais e potencialidades agrícolas. Apesar do avanço obtido ao longo desses quase 50 anos de atuação, esse conhecimento é ainda mais desafiador devido à diversidade geológica e geomorfológica do continente sul-americano, que se reflete na complexidade pedológica do território brasileiro. Regiões de ampla extensão geográfica e de difícil acesso, como a região amazônica, ainda apresentam classificações de solos generalizadas e pouco conhecidas. Nesse âmbito, visando ao avanço do conhecimento dos solos amazônicos, foi realizada a IX RCC em 2010 (Acre), com o tema "Solos Sedimentares em Sistemas Amazônicos: Potencialidades e Demandas de Pesquisa" (Anjos et al., 2013; Silva et al., 2019), e, no bioma Amazônia ou em parte dele, a seguir ocorreram a XI RCC em 2015 (Roraima) (Batista et al., 2018), a XII RCC em 2017 (Rondônia) (Lumbreras et al., 2019), a XIII RCC em 2019 (Maranhão) (Silva et al., 2020) e a XIV RCC em 2022 (Goiás e Tocantins) (Santos et al., 2023).

Com o intuito de ampliar esse conhecimento, no ano de 2024, a *XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos* (XV RCC) visitou perfis de solo localizados em áreas de várzeas às margens do Rio Amazonas e em áreas de terras altas do entorno. É um vasto ambiente com grande diversidade paisagística e resultante de uma complexa história geológica que remonta a um período cuja formação de rochas é superior a 2 bilhões de anos. Nesse

contexto, a porção de várzea visitada durante a XV RCC (Figura 2.1) permitiu observar uma área com expressiva contribuição de material relativamente recente, de idade quaternária, do qual trataremos mais à frente.

Este texto tem o intuito de apresentar sucintamente a história geológica da região até o presente ordenamento litológico e estrutural. Ordenamento este que possibilitou a instalação, dentro da Plataforma Sul-Americana, da maior bacia hidrográfica do globo e, notadamente, a de maior curso fluvial do planeta que, com seus mais de 200 mil m^3/s de vazão, leva anualmente para o oceano uma carga de cerca de 1 bilhão de toneladas de sedimentos, em sua maior parte oriundos da Cordilheira dos Andes (Vauchel et al., 2017).

2. Contexto geológico

2.1. História e compartimentação geológica da América do Sul

A América do Sul é compartimentada em grandes domínios geotectônicos, representados pelos Andes, a Plataforma Patagônica e a Plataforma Sul-Americana, marcados por características e evoluções geológicas distintas (Figura 2.2) (Schobbenhaus; Brito Neves, 2003; Almeida, 2004; Hasui et al., 2012). A margem ocidental da América do Sul é considerada como um exemplo de tipo de convergência das placas oceânico-continentais que têm sido o local de subducção quase contínua desde pelo menos o Cambriano (Ramos; Aleman, 2000).

A Plataforma Sul-Americana, situada a leste dos Andes e a norte da Plataforma Patagônica, é constituída de núcleos de rochas arqueanas, representadas pelo Embasamento Pré-Cambriano (Crátons) (Amaral, 1974; Almeida, 1977; Almeida; Hasui, 1984); sistemas orogênicos com faixas de supracrustais neoproterozoicas (faixas móveis) e coberturas fanerozoicas (bacias sedimentares) (Figura 2.2) (Schobbenhaus; Brito Neves, 2003; Hasui et al., 2012). Esse domínio tectônico corresponde a uma extensa área no interior do continente da América do Sul que se formou por volta de 440 Ma (Ordoviciano Superior) após a estabilização das cadeias orogênicas desenvolvidas no final do Ciclo Brasiliano (Almeida, 1967, 1969). No entanto, essa área permaneceu estável, tendo sido individualizada e assumido sua configuração atual somente no Cretáceo, durante a ruptura do Gondwana e a abertura e o desenvolvimento do Atlântico Sul (Hasui et al., 2012).

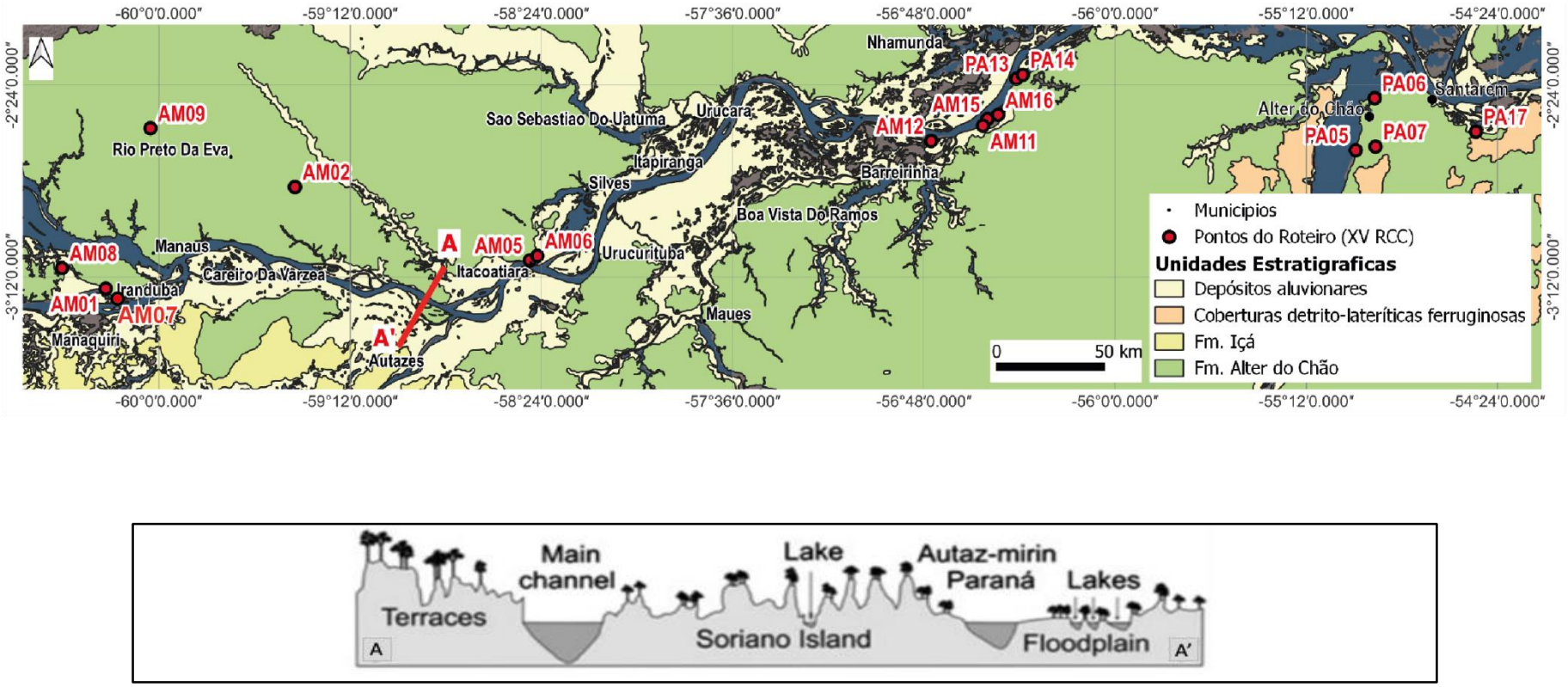


Figura 2.1. Mapa geológico com a distribuição geográfica das unidades estratigráficas da área visitada na XV RCC e perfil da paisagem nas proximidades da confluência entre os rios Amazonas e Madeira, mostrando as geoformas normalmente encontradas ao longo do trecho fluvial preenchido por depósitos aluvionares (perfil A-A').

Fonte: Adaptado de Rozo et al. (2012).

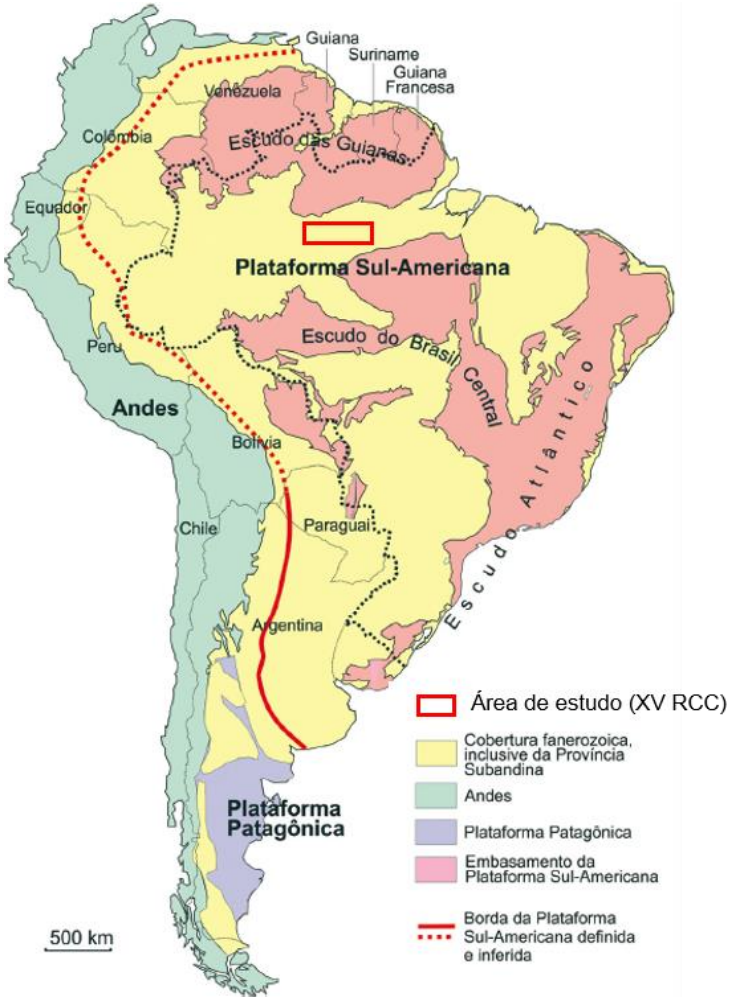


Figura 2.2. Representação da compartimentalização dos grandes domínios geológicos da América do Sul, com destaque (retângulo vermelho) para a área da XV RCC.

Fonte: Adaptado de Hasui et al. (2012).

A parte norte da América do Sul sofreu várias mudanças importantes em seu cenário tectônico desde o Triássico – 220 Ma (fragmentação do Pangea), evoluindo para o rifteamento entre África e América do Sul – 100 Ma (ruptura do Gondwana) para elevação continental e construção dos Andes a oeste da América do Sul, ao longo do Mesocenozoico (Horton, 2018; Hurtado et al., 2018). A desintegração do Gondwana, acompanhada pelo soerguimento tectônico andino, causou a reorganização da drenagem em escala continental (Hurtado et al., 2018). A bacia hidrográfica amazônica do norte da América do Sul mostra evidências para tal reorganização desde o Cretáceo (Potter, 1997; Hoorn et al., 2010; Hurtado et al., 2018; Louterbach et al., 2018) com fluxo de leste para oeste, até o Neógeno marcado pela inversão da paleodrenagem e transcontinentalização do Rio Amazonas, que consolidou a configuração paleogeográfica mais recente (Figueiredo et al., 2009; Gorini et al., 2014; Hoorn et al., 2017; van Soelen et al., 2017).

2.2. A Amazônia no contexto da Geologia da América do Sul

Partindo do ponto de vista morfoestrutural, a Amazônia, com uma área de aproximadamente 6,2 milhões de km², situada na porção norte da América do Sul, pode ser dividida em três subáreas (Filizola et al., 2002): Andes (12%), Cráton Amazônico (44%) e Planície Central Amazônica (44%). Esta última divide o Cráton em duas porções, conhecidas por Escudo das Guianas (ao norte) e Escudo Brasileiro (ao sul).

As formações geológicas mais antigas da região estão situadas nas porções cratônicas, e suas origens datam de 3 a 2,5 bilhões de anos atrás. A consolidação dessas porções deu-se há aproximadamente 1,2-1,0 bilhões de anos (formação do supercontinente Rodínia). A posterior divisão do supercontinente Rodínia possibilitou a junção do Cráton Amazônico ao supercontinente Gondwana. Isso aconteceu, aproximadamente, há 541 milhões de anos. Desta época data a divisão da região em duas porções, a norte o Escudo das Guianas e a sul o Brasileiro, já citados. A divisão deu-se a partir de uma depressão intracontinental em forma de sinéclise que serviu de arcabouço para a formação das bacias sedimentares do Solimões (a oeste), do Amazonas (a leste) e para o canal do curso principal da bacia hidrográfica amazônica (Val et al., 2022).

Há aproximadamente 100 milhões de anos, deu-se a separação da América do Sul da África. Também, desse período até aproximadamente 20 a 15 milhões de anos atrás, os Andes consolidaram-se como uma grande cadeia de montanhas e possibilitaram a inversão do fluxo do Rio Amazonas, outrora de sentido preferencial leste/oeste, para o sentido atual (Hoorn et al., 2010). Assim, a deformação da crosta sob a Amazônia, notadamente sua porção ocidental, dada pelo soerguimento dos Andes, gerou as condições para que se formasse a bacia hidrográfica amazônica como hoje a conhecemos, passando por fases como a criação de pântanos, zonas de sedimentação e grande acúmulo de sedimentos em megaleques aluviais e bacias sedimentares, cujas feições atuais ainda permitem observar testemunhos desse passado geologicamente não muito distante.

2.3. A geologia da região do Médio curso do Rio Amazonas

A geologia da região entre os municípios de Iranduba e Santarém visitada pelos participantes da XV RCC compreende importante porção da planície fluvial construída pelo Rio Amazonas, principalmente ao longo dos últimos 2,5 milhões de anos, formando grandes áreas de várzea inundáveis sazonalmente. Essa é uma região muito ativa da paisagem fluvial. Envolve um grande número de lagos e ilhas de várias dimensões, trechos meândricos do canal principal, zonas de grande acúmulo de sedimentos, contribuição de tributários que tiveram sua foz afogada, muitos formando *"*Lagos de Ria*"* (Latrubesse, 2012).

A variabilidade do canal principal e os lagos de várzea são um componente da morfologia da planície fluvial amazônica. São gerados por processos fluviais bastante dinâmicos com velocidades de corrente que podem superar os 2 m/s, mesmo em profundidades de canal maiores que 30 metros (Filizola; Guyot, 2004). A enorme variedade de padrões de canais e a existência de planícies aluviais complexas (no tempo e no espaço) induzem um mosaico de lagos com grande diversidade em origem, forma e funcionamento (2.800 km de

extensão). Essa variedade de padrões de canais ocupa, segundo Latrubesse (2012), aproximadamente 92.400 km², dos quais 11% foram estimados como cobertos por 6.510 lagos. No entanto, apenas 10% dos lagos de várzea são maiores que 2 km² (Sippel et al., 1992), predominando nessas paisagens os pequenos lagos, além de inúmeros canais de pequenos cursos d'água de dimensões diversas.

Indo um pouco mais a norte do canal principal, ainda na porção a oeste da área visitada, às margens da BR-174, têm-se porções diversificadas de depósitos sedimentares de idades variadas. Na porção de interesse da RCC, perfil AM-09 no mapa, notadamente ainda nas proximidades de Manaus, afloram sedimentos da Formação Alter do Chão, especialmente constituídos de arenitos, argilitos caulinizados e, subordinadamente, conglomerados contendo, localmente, níveis descontínuos de arenitos silicificados e ferruginosos, com espessura de 1 a 2 m, com a denominação informal de "Arenito Manaus" (Souza; Nogueira, 2009). Ainda se encontram na Formação Alter do Chão feições de mosqueamento, desferrificação, bioturbações, gretas de contração e fósseis de madeira que tipificam paleossolos. Essa é a formação geológica que mais aflora na área visitada na parte norte do canal fluvial do Rio Amazonas, além dos depósitos quaternários. No extremo oeste da área (perfis AM-01, AM-07 e AM-08 na Figura 2.1), também afloram as unidades cretáceas (Formação Alter do Chão) e os depósitos aluvionares, de idade quaternária (Dino et al., 2012). A Formação Içá não foi visitada, mas bordeja muitos dos pontos na porção leste da área e é composta principalmente por sedimentos fluviais, como argilas, areias e cascalhos, que foram depositados entre o Pleistoceno e o Holoceno.

A Formação Alter do Chão também pode apresentar porções de crostas lateríticas ferruginosas (sobrepostas), depósitos de caulim e Espodossolos de areias brancas desprovidas de ferro. Os depósitos de caulim ocorrem em horizontes inferiores aos perfis lateríticos. Possuem teores relativamente altos em SiO_2 e baixos em Al_2O_3, tendo-se desenvolvido a partir do Paleógeno (entre 65 e 23 milhões de anos atrás). Produto de um ambiente flúvio-deltaico-lacustre, que existiu em sistema de rios entrelaçados, os sedimentos da Formação Alter do Chão foram depositados no Cretáceo Superior - entre 100 e 66 milhões de anos atrás (Souza; Nogueira, 2009). Registros dessa formação podem ser vistos em alguns trechos ao longo da margem esquerda do Rio Amazonas, entre Manaus, AM, e Óbidos, PA. Importante também destacar as ocorrências à margem direita do Rio Tapajós, na porção mais a leste da área da Figura 2.1, onde existem belos afloramentos da Formação Alter do Chão no trecho entre a cidade que empresta seu nome à formação e a cidade de Santarém (perfis PA-05, PA-06 e PA-07). Em várzea do Rio Amazonas, a jusante de Santarém, encontra-se o perfil PA-17 bordejando coberturas detrito-lateríticas ferruginosas em contato com a Formação Alter do Chão.

Na porção intermediária do trecho destacado na Figura 2.1, especialmente entre as cidades de Manaus e Itacoatiara, onde os perfis AM-05 e AM-06 estão localizados mais a leste, o canal fluvial é marcado por ilhas e terraços holocênicos com idades variando de 3 a 7 mil anos aproximadamente (Rozo et al., 2012). As áreas de planície aluvionar existentes são constituídas de sedimentos síltico-arenosos friáveis, de granulometria variável, inconsolidados, facilmente desagregáveis, inseridos num sistema fluvial ativo. Registre-se a existência de estruturas do tipo *scroll bars*, especialmente no interior das ilhas, bem como na margem

esquerda do Rio Madeira na região de confluência com o Rio Amazonas. Ademais, terraços e lagos do tipo *backswamp*, depósitos de acreção vertical formando diques (*levees*), depósitos de barras em pontal (*point bars*), lagos dos tipos *oxbow* e *crevasse splay* também são encontrados (Figura 2.3). Alguns exemplos dessas feições podem ser vistos nas Figuras 2.3 e 2.4.

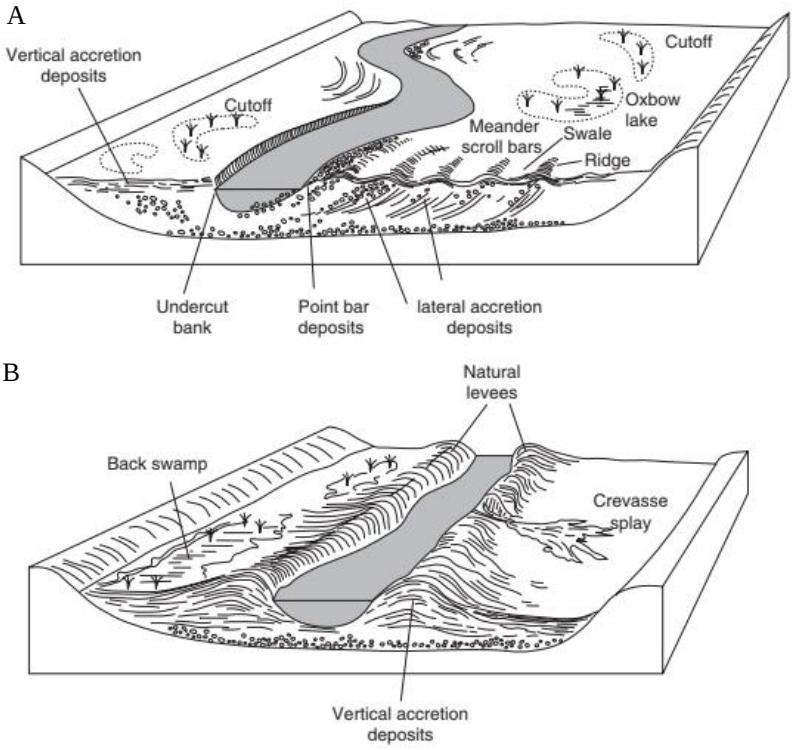


Figura 2.3. Exemplos de feições geomorfológicas presentes em: trechos meandrantes de média energia, não coesivos (A) e trechos coesivos de baixa energia que são comuns em alguns trechos da planície de inundação do Rio Amazonas (B).

Fonte: Charlton (2008).

Ainda na porção intermediária da área, porém ainda mais a oeste na Figura 2.1 (perfis AM-11, AM-12, AM-15, AM-16, PA-13 e PA-14), entre as cidades de Parintins, AM, e Juruti, PA, continua-se tendo uma região marcada por ilhas, depósitos aluvionares e terraços fluviais holocênicos, porém com significativos registros de movimentos de massa (terras caídas), sobretudo nas proximidades da cidade de Parintins, além da ocorrência de mineralização de bauxita no município de Juruti. As unidades geológicas que afloram nessa porção são o Grupo Tapajós, de idade carbonífero-permiana (entre 290 milhões e 248 milhões de anos atrás), ali representado por sedimentos da Formação Nova Olinda, ainda que em escala muito reduzida, e a já comentada Formação Alter do Chão de idade cretácea. A Formação Nova Olinda é a terceira, de baixo para cima, na sequência do Grupo Tapajós. É marcada por uma intensa presença de sedimentos químicos em depósitos de halita, gipsita, anidrita, calcário e também depósitos siliciclásticos: folhelhos, siltitos e arenitos (Caputo et al., 1971). A deposição desses sedimentos é atribuída às fases de restrição continental da bacia, resultando em uma ampla acumulação de sedimentos químico-evaporíticos. Também presentes na área estão coberturas lateríticas paleógenas e as já citadas coberturas holocênicas.

Fotos: Naziano Pantoja Filizola Junior.

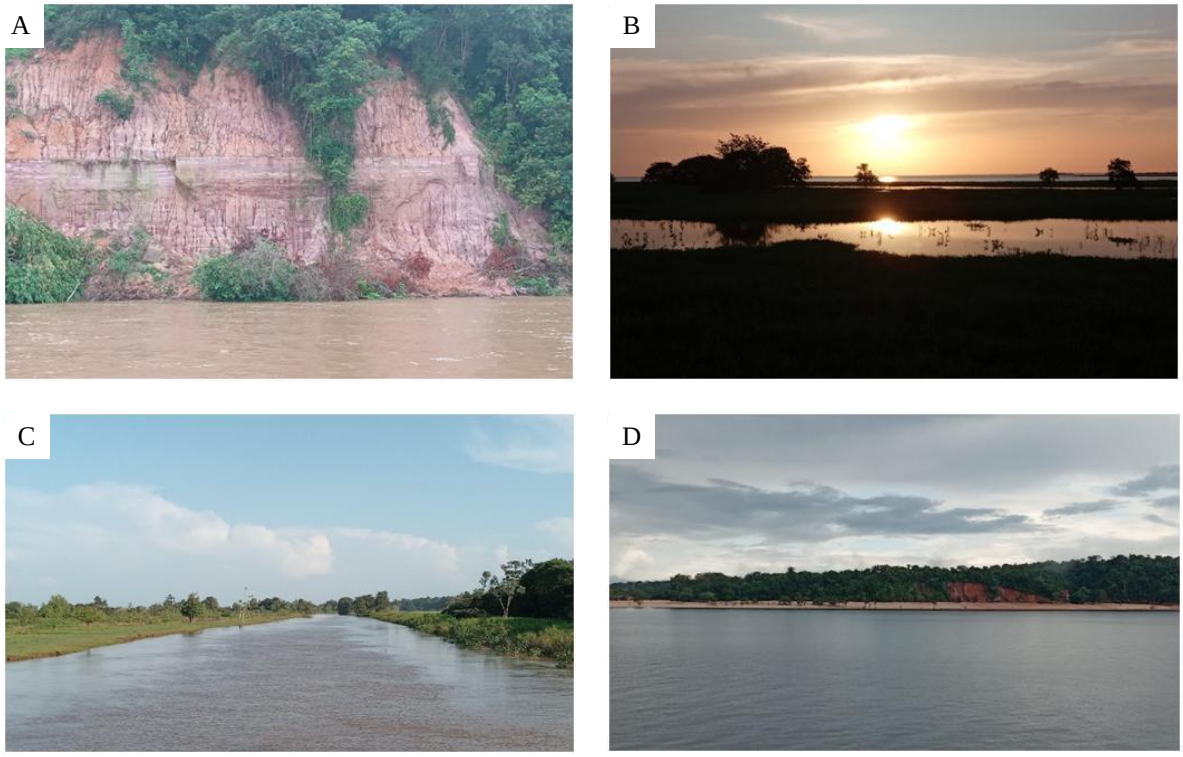


Figura 2.4. Afloramento da Formação Alter do Chão alterada, às margens do Rio Amazonas nas proximidades da cidade de Óbidos, PA (A). Feição do tipo *backswamp* em primeiro plano e ao fundo o Rio Tapajós próximo à saída do canal do Jari (canal provavelmente criado a partir de um processo de *crevasse splay*, hoje formando um delta fluvial para o interior do Rio Tapajós) (B). Canal do Jari com diques naturais (C). Praia fluvial no Rio Negro, em primeiro plano, próximo a Manaus, com corte de solo mostrando perfil de alterado de rocha da Formação Alter do Chão (em segundo plano) (D).

3. Considerações finais

A área visitada durante a XV RCC representa uma amostra importante da geologia da Amazônia Central. Apesar de pouco diversificada em termos de unidades geológicas anteriores ao Quaternário, nela tem-se a possibilidade de contemplar a Formação Alter do Chão, que é a mais extensa não só nessa porção, mas também aflorando em outras partes da Amazônia. Essa é uma unidade de importância regional, principalmente por ter importantes reservas hídricas. As feições aluvionares recentes e presentes na área em questão são uma prova da forte dinâmica que a região tem, em especial em face do grande volume de água transportado por seus cursos fluviais. Essa água, após trabalhar sobre as rochas, transporta importantes volumes de matéria, tanto dissolvida quanto particulada, contribuindo sobremaneira para sustentar a presença humana na região e ajudar a formar junto com o material do leito e da planície fluvial estruturas espetaculares que se destacam em meio à paisagem amazônica.

Referências

ALMEIDA F. F. M. de. Diferenciação tectônica da plataforma brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 23., 1969, Salvador. **Anais** [...]. Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 1969. p. 29-46.

ALMEIDA, F. F. M. de; HASUI, Y. (coord.). **O pré-cambriano do Brasil**. São Paulo: Edgard Blucher, 1984. 378 p.

ALMEIDA, F. F. M. de. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 7, n. 4, p. 349-364, 1977.

ALMEIDA, F. F. M. de. **Origem e evolução da plataforma brasileira**. Rio de Janeiro: DNPM. Divisão de Geologia e Mineralogia, 1967. 36 p. (DNPM. Divisão de Geologia e Mineralogia. Boletim, n. 241).

ALMEIDA, F. F. M. de. Revisión del límite de la Plataforma Sudamericana en la Argentina. In: MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. Dal R.; BRITO-NEVES, B. B. de. (org.). **Geologia do continente sul-americano**: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Ed. Beca, 2004. p. 37-41.

AMARAL, G. **Geologia pré-cambriana da região amazônica**. 1974. Tese (Livre Docência em Paleontologia e Estratigrafia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. DOI: https://doi.org/10.11606/T.44.2016.tde-24062016-160651.

ANJOS, L. H. C. dos; SILVA, L. M. da; WADT, P. G. S.; LUMBRERAS, J. F.; PEREIRA, M. G. (ed.). **Guia de campo da IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 204 p. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/964754. Acesso em: 24 jun. 2025.

BATISTA, K. D.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de; VALE JÚNIOR, J. F. do (ed.). **Guia de campo da XI Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Roraima. Brasília, DF: Embrapa, 2018. E-book. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1104265. Acesso em: 24 jun. 2025.

CAPUTO, M. V.; RODRIGUES, R.; VASCONCELOS, D. N. N. **Litoestratigrafia da Bacia do Amazonas**. Belém, PA: Petrobras, 1971. Sistema de informação de exploração 130-4054.

CHARLTON, R. **Fundamentals of fluvial geomorphology**. London: Routledge, 2008. 275 p.

DINO, R.; SOARES, E. A. A.; ANTONIOLI, L.; RICCOMINI, C.; NOGUEIRA, A. C. R. Palynostratigraphy and sedimentary facies of Middle Miocene fluvial deposits of the Amazonas Basin, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 34, p. 61-80, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jsames.2011.11.008.

FIGUEIREDO, J.; HOORN, C.; VAN DER VEN, P.; SOARES, E. Late Miocene onset of the Amazon River and the Amazon deep-sea fan: evidence from the Foz do Amazonas Basin. **Geology**, v. 37, n. 7, p. 619-622, 2009. DOI: https://doi.org/10.1130/G25567A.1.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L.; MOLINIER, M.; GUIMARÃES, V.; OLIVEIRA, E. de; FREITAS, M. A. de. Caracterização hidrológica da Bacia Amazônica. In: RIVAS, A.; FREITAS, C. E. de C. (org.). **Amazônia**: uma perspectiva interdisciplinar. Manaus: EDUA, 2002. p. 33-53.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L. The use of Doppler technology for suspended sediment discharge determination in the River Amazon. **Hydrological Sciences Journal**, v. 49, n. 1, p. 143-153, 2004. DOI: https://doi.org/10.1623/hysj.49.1.143.53990.

GORINI, C.; HAQ, B. U.; REIS, A. T. dos; SILVA, C. G.; CRUZ, A.; SOARES, E.; GRANGEON, D. Late Neogene sequence stratigraphic evolution of the Foz do Amazonas Basin, Brazil. **Terra Nova**, v. 26, n. 3, p. 179-185, 2014. DOI: https://doi.org/10.1111/ter.12083.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C. Dal R.; ALMEIDA F. F. M. de; BARTORELLI, A. **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012.

HOORN, C.; BOGOTA-A, G. R.; ROMERO-BAEZ, M.; LAMMERTSMA, E. I.; FLANTUA, S. G. A.; DANTAS, E. L.; DINO, R.; CARMO, D. A. do; CHEMALE JUNIOR, F. The Amazon at sea: onset and stages of the Amazon River from a marine record, with special reference to Neogene plant turnover in the drainage Basin. **Global and Planetary Change**, v. 153, p. 51-65, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.02.005.

HOORN, C.; WESSELINGH, F. P.; TER STEEGE, H.; M.; BERMUDEZ, M. A.; MORA, A.; SEVINK, J.; SANMARTÍN, I.; SANCHEZ-MESEGUER, A.; ANDERSON, C. L.; FIGUEIREDO, J. P.; JARAMILLO, C.; RIFF, D.; NEGRI, F. R.; HOOGHIEMSTRA, H.; LUNDBERG, J.; STADLER, T.; SÄRKINEN, T.; ANTONELLI, A. Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. **Science**, v. 330, n. 6006, p. 927-931, 2010. DOI: https://doi.org/10.1126/science.1194585.

HORTON, B. K. Sedimentary record of Andean mountain building. **Earth Science Reviews**, v. 178, p. 279-309, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.11.025.

HURTADO, C.; RODDAZ, M.; SANTOS, R. V.; BABY, P.; ANTOINE, P.-O.; DANTAS, E. L. Cretaceous-early Paleocene drainage shift of Amazonian rivers driven by Equatorial Atlantic Ocean opening and Andean uplift as deduced from the provenance of northern Peruvian sedimentary rocks (Huallaga Basin). **Gondwana Research**, v. 63, p. 152-168, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.gr.2018.05.012.

LATRUBESSE, E. M. Amazon lakes. In: BENGTSSON, L.; HERSCHY, R. W.; FAIRBRIDGE, R. W. (ed.). **Encyclopedia of lakes and reservoirs**. Dordrecht: Springer, 2012. (Encyclopedia of earth sciences series). DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4410-6_36.

LOUTERBACH, M.; RODDAZ, M.; ANTOINE, P.-O.; MARIVAUX, L., ADNET, S.; BAILLEUL, J.; DANTAS, E.; SANTOS , R. V.; F. CHEMALE JUNIOR, BABY, P.; SANCHEZ, C.; CALDERON, Y. Provenance record of late maastrichtian–late palaeocene andean mountain building in the Amazonian retroarc foreland basin (Madre de Dios basin, Peru). **Terra Nova**, v. 30, n. 1, p. 17-23, 2018. DOI: https://doi.org/10.1111/ter.12303.

LUMBRERAS, J. F.; SILVA, L. M. da; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; WADT, P. G. S.; PEREIRA, M. G.; DELARMELINDA-HONORÉ, E. A.; BURITY, K. T. L. (ed.). **Guia de campo da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Rondônia. Brasília, DF: Embrapa, 2019. E-book. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1112765. Acesso em: 24 jun. 2025.

POTTER, P. E. The mesozoic and cenozoic paleodrainage of South America: a natural history. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 10, n. 5/6, p. 331-344, 1997. DOI: https://doi.org/10.1016/S0895-9811(97)00031-X.

RAMOS, V. A.; ALEMAN, A. In: Tectonic evolution of Andes. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAS FILHO, A.; CAMPOS, A. D. (ed.). **Tectonic evolution of South America**. Rio de Janeiro, 2000. p. 635-685. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/290161910_Tectonic_evolution_of_the_Andes. Acesso em: 24 jun. 2025.

ROZO, M. G.; NOGUEIRA, A. C. R.; TRUCKENBRODT, W. The anastomosing pattern and the extensively distributed scroll bars in the middle Amazon River. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 37, n. 14, p. 1471-1488, 2012. DOI: http://dx.doi.org/10.1002/esp.3249.

SANTOS, G. G.; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA. R. E. M. de; MADARI, B. E. (ed.). **Guia de campo da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Goiás e Tocantins. Brasília, DF: Embrapa, 2023. E-book. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1155338. Acesso em: 24 jun. 2025.

SCHOBBENHAUS, C.; BRITO NEVES, B. B. de. A geologia do Brasil no contexto da Plataforma Sul-Americana. In: BIZZI, L. A.; SCHOBBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (ed.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**: texto, mapas e SIG. Brasília, DF: CPRM, 2003. cap. 1, p. 5-54.

SILVA, L. M. da; ANJOS, L. H. C. dos; LUMBRERAS, J. F.; PEREIRA, M. G.; WADT, P. G. S. (ed.). **Pesquisas coligadas da IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: solos de formações sedimentares em sistemas amazônicos: potencialidades e demandas de pesquisa. Brasília, DF: Embrapa, 2019. E-book. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1110799. Acesso em: 25 jun. 2025.

SILVA, M. B. e; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de (ed.). **Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC do Maranhão. Brasília, DF: Embrapa, 2020. E-book. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1127220. Acesso em: 25 jun. 2025.

SIPPEL, S. J.; HAMILTON, S. K.; MELACK, J. M. Inundation area and morphometry of lakes on the Amazon River floodplain, Brazil. **Archive für Hydrobiologie**, v. 123, n. 4, p. 385-400, 1992. DOI: https://doi.org/10.1127/archiv-hydrobiol/123/1992/385.

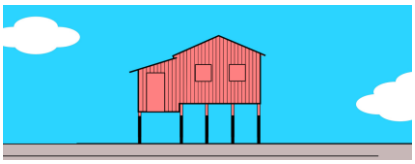
SOUZA, V. da S.; NOGUEIRA, A. C. R. Seção geológica Manaus – Presidente Figueiredo (AM), borda Norte da bacia do Amazonas: um guia para excursão de campo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 39, n. 1, p. 16-29, 2009. DOI: http://dx.doi.org/10.25249/0375-7536.20093911629.

VAL, P.; FIGUEIREDO, J.; MELO, G. de; FLANTUA, S. G. A.; QUESADA, C. A.; FAN, Y.; ALBERT, J. S.; GUAYASAMING, J. M.; HOORN, C. Geologia e geodiversidade da Amazônia: três bilhões de anos de história: capítulo 1 em síntese. In: PAINEL CIENTÍFICO PARA A AMAZÔNIA. **Relatório de avaliação da Amazônia 2021**. 2022. Disponível em: https://concertacaoamazonia.com.br/?jet_download=d46901d5c677b44261f5bc41871562ad80e91724. Acesso em: 25 jun. 2025.

VAUCHEL, P.; SANTINI, W.; GUYOT, J. L.; MOQUET, J. S.; MARTINEZ, J. M.; ESPINOZA, J. C.; BABY, P.; FUERTES, O.; NORIEGA, L.; PUITA, O.; SONDAG, F.; FRAIZ, P.; ARMIJOS, E.; COCHONNEAU, G.; TIMOUK, F.; OLIVEIRA, E. de; FILIZOLA, N.; MOLINA, J.; RONCHAIL, J. A reassessment of the suspended sediment load in the Madeira River basin from the Andes of Peru and Bolivia to the Amazon River in Brazil, based on 10 years of data from the HYBAM monitoring programme. **Journal of Hydrology**, v. 553, p. 35-48, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.018.

VAN SOELEN, E. E.; KIM, J. H.; SANTOS, R. V.; DANTAS, E. L.; ALMEIDA, F. V. de, PIRES, J. P.; RODDAZ, M.; DAMSTÉ, J. S. S. A 30 Ma history of the Amazon River inferred from terrigenous sediments and organic matter on the Ceará Rise. **Earth Planet Science Letters**, v. 474, p. 40-48, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.06.025.

Capítulo 3



Geomorfologia do Médio Rio Amazonas: roteiro compreendido entre as cidades de Manaus e Santarém

Marcelo Eduardo Dantas
Patrícia Mara Lage Simões
Edgar Shinzato
José Francisco Lumbreras
Wenceslau Geraldes Teixeira

1. Introdução

A fisiografia dos estados do Amazonas e Pará, ao longo do eixo estabelecido pela calha do Médio curso do Rio Amazonas, caracteriza-se por um vasto domínio de terrenos de cotas modestas, inferiores a 300 metros de altitude. Esses terrenos estão enquadrados no Domínio Morfoclimático das Terras Baixas Florestadas Equatoriais da Amazônia, segundo Ab'Saber (2003). Essa vasta região, de incomparável biodiversidade, geodiversidade e importância ambiental, apresenta temperaturas médias mensais acima de 24 ºC e uma pluviosidade média anual acima de 2.000 mm. As chuvas concentram-se nos meses de verão e outono (período de atuação mais efetiva da Zona de Convergência Intertropical - ZICT), todavia, com chuvas médias mensais sempre acima de 60 mm ao longo de todo o ano (Nimer, 1989; Inmet, 2022).

Essas terras baixas da Amazônia Equatorial percorridas no roteiro da XV RCC são classificadas, regionalmente, como a Depressão Amazônica (Ross, 1985). Esses terrenos são, em grande parte, embasados por arenitos imaturos e pouco litificados – de idade cretácea à paleógena –, da Formação Alter do Chão, que representa o fecho deposicional da Bacia Sedimentar do Amazonas (Daemon, 1975; Dino et al., 1999). Destaca-se, por fim, um vasto aluvionamento moderno, de idade quaternária, gerando as atuais planícies e terraços fluviais ao longo das margens do Rio Amazonas e de seus principais afluentes entre as cidades de Manaus e Santarém.

2. Caracterização geológico-geomorfológica regional

Distinguem-se ao longo dessa extensa e aparentemente monótona região dois padrões geomorfológicos principais: a) as planícies de inundação e terraços fluviais das várzeas amazônicas e b) os baixos platôs de terra firme modelados sobre os arenitos friáveis de ambiente fluvial da Formação Alter do Chão, de composição caulinítica, com ocorrência subordinada de conglomerados e pelitos (Eiras et al., 1994; Mendes et al., 2012), além de representar um aquífero de potencial extraordinário (Carvalho; Tomasella, 2013). Entretanto, se uma avaliação regional nos conduz a uma percepção de uma monotonia paisagística, uma análise mais

pormenorizada, em escala de detalhe, permite-nos identificar um expressivo mosaico de paisagens e feições geomorfológicas, em especial, ao longo das várzeas do Rio Amazonas, um legítimo caleidoscópio fluvial.

Esses ambientes estão submetidos a um regime climático quente e úmido a superúmido sob intensa atuação do intemperismo químico, lixiviação e, nas várzeas, de sedimentação moderna dos solos recobertos, em quase sua totalidade, por uma pujante vegetação florestal – a denominada hileia, que tanto fascinou os naturalistas Alexander von Humboldt e Aimé Bonpland em sua lendária viagem à América do Sul na virada dos séculos XVIII e XIX (Wulf, 2016).

Sobressai-se, nesse contexto, a extraordinária biodiversidade da floresta amazônica, tanto nos terrenos firmes, com predomínio de florestas de grande porte, mas com ocorrências de campinaranas e enclaves de cerrado, quanto nas várzeas, com o mosaico de florestas de várzea, matas de igapó e aningais. Humboldt e Bonpland foram proibidos de adentrar o Brasil – a América portuguesa –, mas suas incursões pelo interior da Venezuela e da Colômbia, no então Vice-Reino de Nova Granada, proporcionaram um vasto conhecimento sobre a surpreendente e espetacular biodiversidade da floresta equatorial aos cientistas europeus no século XIX. Biodiversidade esta que pode se transformar numa incalculável fonte de riqueza com inserção de ciência e tecnologia com base no potencial de biotecnologia em indústria de fármacos e cosméticos para a Amazônia do século XXI (Becker; Stenner, 2008).

Essa condição climática, caracterizada por um clima quente e úmido, prevaleceu em toda a região por um extenso período ao longo de todo o Cenozoico. Nesse contexto, as rochas sedimentares da Formação Alter do Chão foram submetidas a um prolongado período de intenso intemperismo químico que deu origem a profundos mantos de alteração de espessura decamétrica, com episódios de retrabalhamentos erosivos e formações supergênicas de perfis lateríticos bauxíticos a ferruginosos (Costa, 1991; Horbe et al., 2001b), como será mais bem analisado adiante.

Esse processo extremo de intemperismo químico sob clima equatorial, que oscilou entre o quente e úmido e o quente e semiúmido no decorrer do Neógeno, produziu, nas áreas de terra firme, solos espessos e desenvolvidos e com a dominância marcante de Latossolos Amarelos (IBGE, 2008, 2010, 2018). Todavia, há de se ressaltar uma notável ocorrência de Espodossolos, especialmente, sobre porções abaciadas nos topos dos baixos platôs (Horbe et al., 2001a; Marques, 2005; IBGE, 2018).

Um fato distinto que representa um marco na história geológica de toda a bacia amazônica está associado ao próprio Rio Amazonas. Este rio, durante o Paleógeno (até cerca de 30 milhões de anos), fluía para oeste em direção ao Oceano Pacífico. A Bacia Amazônica drenava para o Pacífico. A partir do ápice da orogênese andina, devido à colisão da Placa Sul-americana com a Placa de Nazca, essa passagem para oeste foi bloqueada e o Rio Amazonas deslocou sua orientação, primeiramente para norte, em direção ao mar do Caribe, seguindo pela calha do Rio Orenoco. Humboldt, por volta de 1800, descobriu o canal Cassiquiare, que faz uma conexão moderna entre as bacias do Rio Negro e do Orenoco, lançando pistas, desde então, para essas drásticas transformações hidrogeomorfológicas da bacia do Rio Amazonas (Wulf, 2016). Finalmente, entre 7 e 10 milhões de anos (ao longo do Mioceno Superior), o Rio

Amazonas inverteu seu sentido para leste, escavando as rochas sedimentares da Formação Alter do Chão e passando a desembocar no Oceano Atlântico (Hoorn et al., 2010, 2017).

Concomitantemente ao entulhamento da vasta depressão gerada na Amazônia Ocidental e ao preenchimento da Bacia do Solimões, o embasamento cristalino, representado pelos escudos das Guianas e Sul-amazônico e a própria Bacia Sedimentar do Amazonas, foi ligeiramente soerguido por distintos episódios de movimentação epirogenética ao longo do Cenozoico, conforme salientado por Costa et al. (2001). Esse sutil soerguimento tectônico promoveu o entalhamento dos baixos platôs, moderadamente dissecados da Formação Alter do Chão em toda a área de estudo (Dantas; Maia, 2010).

Em relação à evolução geomorfológica do conjunto de terras baixas da Amazônia, o modelo genético que parece ser mais adequado é o de etchplanação (Büdel, 1982). A despeito da comprovada ocorrência de paleoclimas mais secos na Amazônia durante o Quaternário (Bush et al., 1990; Latrubesse; Ramonell, 1994; Van der Hammen; Absy, 1994; Schaefer; Dalrymple, 1995; Carneiro-Filho et al., 2002, entre outros), é inegável a marcante influência de processos geoquímicos em ambiente quente e úmido que impera na região. Thomas (1994) destaca a importância do intemperismo químico na evolução do modelado do relevo em regiões tropicais úmidas, onde podem ser registrados, de forma generalizada, perfis de alteração com espessuras superiores a 50 metros. Assim sendo, podemos sugerir um predomínio de processos de etchplanação durante a vigência de climas úmidos na Amazônia.

Por fim, há de se ressaltar o papel desempenhado pela neotectônica na orientação e no traçado moderno da rede de canais, rias[1] e lagos e nos processos de dissecação do relevo na Amazônia Central (Igreja; Franzinelli, 1990; Costa et al., 2001; Bemerguy et al., 2002; Latrubesse; Franzinelli, 2002; Carvalho; Tomasella, 2013, entre outros). Todavia, tal temática foi iniciada há mais de 70 anos, por estudos pioneiros do geógrafo Hilgard O'Reilly Sternberg (Sternberg, 1950, 1953, 1998). Mesmo sem ter à disposição os modernos conhecimentos de Geologia Estrutural e Tectônica de Placas, esse autor observou a morfologia de lagos e da rede de canais de diversos tributários dos rios Negro e Amazonas. A partir de uma análise morfoestrutural, constatou-se que muitos rios apresentam traçado retilíneo com direções predominantes e ortogonais NE-SW ou NW-SE. Sternberg sugeriu um controle tectônico para o desenvolvimento da rede hidrográfica amazônica, fato precisamente caracterizado por Carvalho e Tomasella (2013), entre os rios Negro e Urubu, a norte de Manaus. Um estudo recente realizado por Veloso (2014) reconstituiu, com base em documentação histórica e análise sismológica, a ocorrência de um terremoto de grande magnitude em 1690 (estimado pelo autor como grau 7 na escala Richter) na margem esquerda do Rio Amazonas, junto à foz do Rio Urubu, próximo a Manaus. Esse registro atesta a importância da tectônica cenozoica na configuração geomorfológica da rede hidrográfica da Bacia Amazônica e ratifica também as ideias iniciais e visionárias de Sternberg, de vales tectônicos amazônicos.

[1] *Ria* consiste num corpo d'água formado em antigo vale escavado por uma rede de canais em condição de nível de base mais baixo durante o Pleistoceno. Na área percorrida pela XV RCC, os vales de rias foram escavados sobre os baixos platôs da Formação Alter do Chão. A partir da transgressão holocênica, esses vales foram afogados e, com o colossal aporte de sedimentos do Rio Amazonas, suas desembocaduras foram bloqueadas gerando lagos digitados de água preta, em grande contraste com as águas barrentas do Rio Amazonas.

O objetivo deste trabalho é fazer uma análise dos domínios geomorfológicos mais relevantes ao longo do roteiro da XV RCC, abordando aspectos da morfologia, gênese e evolução geomorfológica, das características do substrato geológico, relações solo-paisagem e ocupação das terras, assim como as suas relações com os solos estudados.

3. Domínios geomorfológicos do Médio Rio Amazonas

Com base na interpretação dos produtos de sensoriamento remoto disponíveis, perfis de campo e estudos geomorfológicos regionais anteriores (Ross, 1985, 1997; IBGE, 1995; Dantas; Maia, 2010; Dantas; Teixeira, 2013), a área ao longo do roteiro da XV RCC, entre as cidades de Manaus, AM, e Santarém, PA, foi compartimentada em duas unidades geomorfológicas, a saber (Figura 3.1): a Planície Amazônica e os Baixos Platôs da Amazônia Centro-Oriental.

Abaixo, segue uma descrição sistemática de cada um dos domínios e unidades geomorfológicas identificadas.

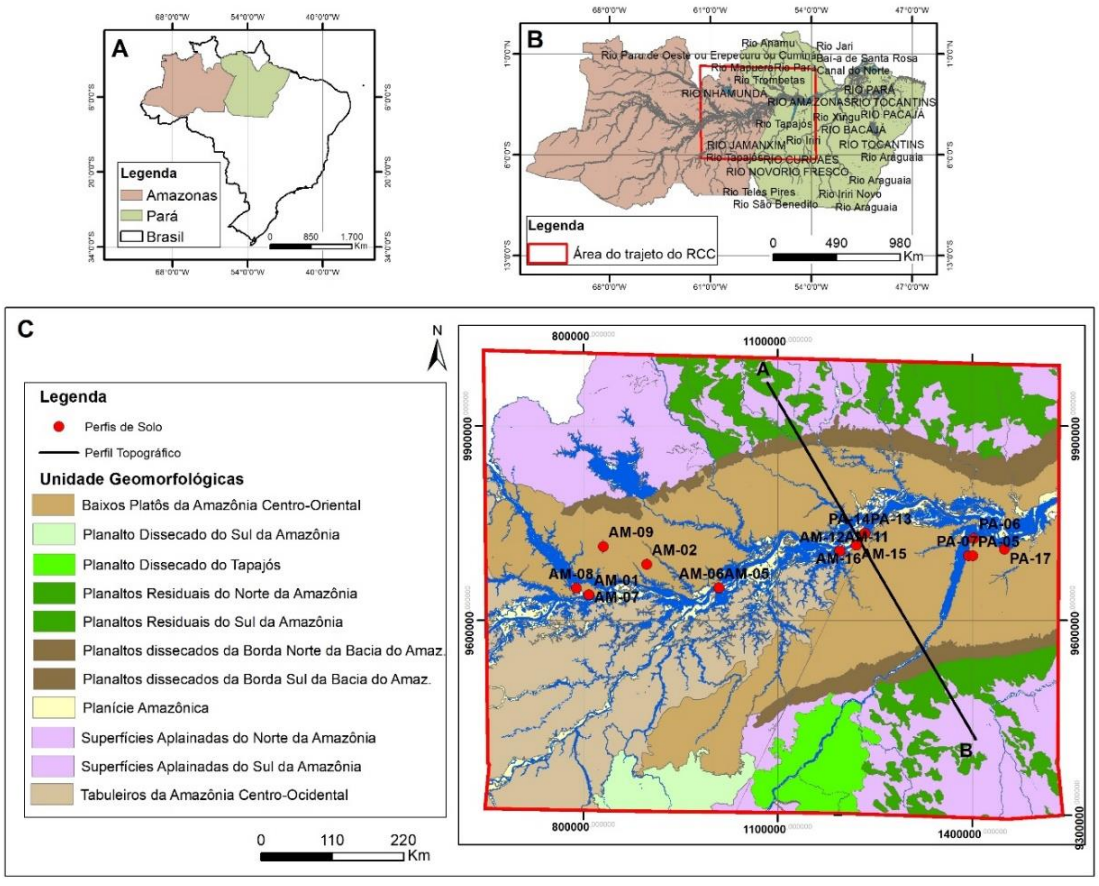


Figura 3.1. Mapa dos domínios geomorfológicos de parte dos estados de Amazonas e Pará, com as localizações dos perfis de solos da RCC e perfil topográfico A-B.

3.1. Planície Amazônica

A Planície Amazônica é representada por uma vasta zona deposicional constituída de sedimentos fluviais holocênicos, alcançando dezenas de quilômetros de largura, ao longo de toda a calha do Médio curso do Rio Amazonas. Apenas os terraços fluviais exibem depósitos mais antigos que remontam ao final do Pleistoceno Superior. Essa formidável planície apresenta uma notável diversidade de formas de relevo, destacando-se planícies prolongadamente inundáveis (recobertas por matas de igapó, aningais e vegetação pioneira) a sazonalmente inundáveis (recobertas por matas de várzea) (vide Capítulo 5, a respeito de vegetação no trajeto da XV RCC); lagos de grandes dimensões margeados por extensas planícies fluviolacustres (via de regra, interconectados com o regime hidrológico do Rio Amazonas); vales fluviais afogados em forma de rias e inúmeras feições deposicionais, tais como: planícies de acreção em barras de pontal; ilhas fluviais; barras arenosas; esporões ou flechas arenosas e diques marginais (Nascimento et al., 1976; Bemerguy; Costa, 1991; Latrubesse; Franzinelli, 2002; Dantas; Teixeira, 2013).

A maioria dos imensos lagos de várzea que ocorrem ao longo do roteiro da RCC, como os lagos Canaçari, Moratinga, Uruã, Paru e Grande do Curuaí, são sazonalmente isolados do Rio Amazonas por estreitos diques marginais (Filizola et al., 2002). Do mesmo modo, são notáveis as ocorrências de grandes rias de paleovales escavados com nítido controle tectônico, tais como os baixos cursos dos rios Uatumã, Andirá e Juruti Grande.

As planícies e os terraços fluviais consistem nas únicas zonas deposicionais ativas na Amazônia que ocupam os imensos fundos de vales dos principais rios. A maior parte da Amazônia compreende terras firmes de baixa altitude, porém, bem drenadas, sendo caracterizadas como uma vasta depressão – *A Depressão Amazônica*, de Jurandyr Ross (1985) –, constituídas de amplas superfícies tabulares nas bacias sedimentares do Solimões e do Amazonas (Dantas; Maia, 2010).

As várzeas amazônicas[2] apresentam uma notável diversidade morfológica devido a distintos padrões de sedimentação aluvial desenvolvidos por uma rede de drenagem de padrão meândrico (tais como os rios Uatumã e Urubu) ou de um complexo sistema de drenagem repleto de igarapés, furos e paranás, típico de rios com padrão *anabranching*[3], tais como os rios Solimões e Amazonas (Latrubesse, 2008).

Os rios amazônicos exibem colorações diferenciadas de acordo com o pH, carga de sedimentos e composição química de suas águas, podendo ser barrentas, claras ou pretas (Sioli, 1957). As planícies constituídas de rios de água barrenta que drenam a vertente oriental da cordilheira andina (por exemplo: rios Solimões e Amazonas) (Figura 3.2) apresentam planícies de

[2] Várzea é um termo popular para designar as planícies fluviais ao longo dos rios. Do ponto de vista geomorfológico, compreende o leito maior do canal sazonalmente inundável e apresenta, em geral, solos de boa fertilidade natural, sendo uma tradicional área de práticas agrícolas com culturas de ciclo curto, em especial, nos rios barrentos da Amazônia.

[3] *Anabranching* corresponde a um tipo de padrão de drenagem cunhado por Latrubesse (2008) para melhor caracterizar os grandes rios amazônicos que apresentam expressiva carga sedimentar, tais como os rios Solimões e Amazonas, que não podem ser enquadrados como rios meândricos ou anastomosados. O padrão *anabranching* é aplicado a estes grandes rios que apresentam trechos sinuosos, extensas barras de acreção, grandes ilhas fluviais, gerando braços secundários do rio principal (paranás) e uma intensa morfodinâmica fluvial.

inundação e terraços fluviais muito extensos e solos com boa fertilidade natural (condição rara na Amazônia) devido ao grande aporte de sedimentos oriundos da dissecação dos Andes. As planícies constituídas de rios de água preta (por exemplo: rios Negro, Urubu e Trombetas) possuem uma menor sedimentação aluvial decorrente de uma baixa carga de sedimentos em suspensão, aliada à elevada acidez das águas e à presença de ácidos húmicos e fúlvicos. Essas planícies apresentam apenas restritas e descontínuas áreas de inundação. As nascentes dos afluentes formadores do Rio Negro ocupam um ambiente de clima superúmido do noroeste da Amazônia situado no Cráton das Guianas, com larga ocorrência de Espodossolos. Por fim, as planícies que margeiam os rios de água clara (por exemplo: rios Tapajós e Xingu) mostram pouca sedimentação aluvial, decorrente de uma baixa carga de sedimentos em suspensão, como também uma baixa concentração de matéria orgânica. Em determinados trechos, esses rios de água clara apresentam, durante o regime de vazante, praias fluviais de grande beleza cênica e potencial turístico, como a famosa praia de Alter do Chão, em Santarém (Figura 3.3).

Foto: Marcelo Eduardo Dantas.



Figura 3.2. Calha do Rio Solimões durante o período máximo de cheia (junho/2008). Observam-se diques marginais acima da cota de cheia ou parcialmente rompidos (*crevasse splays*). Ao fundo, a planície fluvial inundada. Local: margem esquerda do Rio Solimões entre Iranduba e Manacapuru.

Foto: Firmino Correia Júnior.



Figura 3.3. Planície fluvial do Rio Tapajós, com acumulação de faixas de areia, que durante o período de nível baixo do rio ficam expostas formando praias, a exemplo da praia de Alter do Chão, município de Santarém.

Existe, portanto, um amplo domínio de solos hidromórficos, de boa fertilidade natural, com argila de atividade alta nas planícies de inundação (predomínio de Gleissolos Háplicos Ta Eutróficos, com ocorrência subordinada de Vertissolos Hidromórficos e Organossolos Háplicos nos terrenos mais prolongadamente inundáveis e solos mais bem drenados nos terraços fluviais (predomínio de Neossolos Flúvicos Ta Eutróficos e Distróficos) (Teixeira et al., 2019). Em geral, nas áreas com sedimentação de rios de água barrenta, destacam-se solos com elevado teor de silte e baixo percentual de areia (IBGE, 2008, 2010, 2018). Complementam, ainda, os Plintossolos Háplicos e Argilúvicos Distróficos e Alumínicos, de baixa fertilidade natural, que ocorrem nas partes mais elevadas da Planície Amazônica, associados à sedimentação de rios de água preta, como o Rio Negro.

Os rios amazônicos, tradicionalmente, representaram os vetores de interiorização da ocupação humana, e suas várzeas amazônicas possuem algumas das melhores terras para agricultura. A ocupação urbana é impraticável nas planícies, salvo casos pontuais de ribeirinhos, mas, possível nos terraços, tabuleiros e baixos platôs adjacentes, pois consistem em superfícies acima do nível da cota das cheias periódicas. Acima das barrancas dos rios e a salvo das cheias, um grande número de cidades se desenvolvem ao longo do Médio Rio Amazonas, entre Manaus e Santarém, com destaque para Itacoatiara, Parintins e Nhamundá, no estado do Amazonas, e Faro, Juruti, Oriximiná e Óbidos, no estado do Pará. Manacapuru e Iranduba, por sua vez, se situam na margem esquerda do Rio Solimões, próximo da confluência com o Rio Negro, formando o Rio Amazonas. Essas cidades constituem antigos núcleos de povoamento que se estabeleceram e se desenvolveram a partir da navegação fluvial, da agricultura de várzea nas planícies fluviais e da ocupação de barrancas mais elevadas em terraços e tabuleiros, por onde foram implantados os sítios urbanos (vide Capítulo 7).

Todas essas cidades que estão situadas às margens do Rio Amazonas estão sujeitas a um complexo fenômeno erosivo (as “Terras Caídas”), que será mais bem analisado em outro capítulo denominado: Dinâmica fluvial do Médio curso do Rio Amazonas e processos associados (vide Capítulo 8), que podem atingir grandes proporções e promover a destruição de trechos da malha urbana de algumas cidades ribeirinhas (Bandeira et al., 2018).

Na Planície Amazônica estão localizados os seguintes perfis da XV RCC: AM-05, AM-06, AM-07, AM-08, AM-11, AM-12, AM-15, AM-16, PA-13, PA-14 e PA-17 (Figura 3.1).

3.2. Baixos platôs da Amazônia Centro-Oriental

Os baixos platôs da Amazônia Centro-Oriental caracterizam-se por terrenos baixos (em cotas inferiores a 300 metros) que ocupam uma vasta região paralelamente à direção da calha do Rio Amazonas e entalhada pela sua rede de canais. Sobre esses terrenos, desenvolve-se, originalmente, a Floresta Ombrófila Densa de terras baixas (vide Capítulo 5) sobre solos bem drenados e de baixa fertilidade natural, espessos e lixiviados, predominando os Latossolos Amarelos Distróficos. Ocorrem, subordinadamente, Argissolos Amarelos Distróficos, Neossolos Quartzarênicos, Espodossolos e Plintossolos Pétricos Concrecionários (IBGE, 2008, 2010, 2018).

Esse extenso nível de aplainamento regional de idade paleógena abriga um conjunto de baixos planaltos correlacionados a uma superfície de idade paleógena, com geração de perfis lateríticos, apresentando uma crosta bauxítica sotoposta a uma crosta ferruginosa mais jovem (Costa, 1991; Horbe et al., 2001b). Esses baixos platôs possuem, portanto, grande potencial mineral para exploração de caulim no saprólito de determinadas fácies sedimentares da Formação Alter do Chão e de bauxita nos perfis lateríticos maturos, além do já citado potencial hidrogeológico – afinal, o aquífero Alter do Chão, ainda pouco estudado, é considerado um dos mais volumosos do planeta. Há de se mencionar a ocorrência de uma jazida de silvinita (cloreto de potássio) próximo à confluência dos rios Madeira e Amazonas, a cerca de 900 metros de profundidade. Trata-se de uma jazida estratégica para a agricultura brasileira, considerando que o país importa cerca de 90% desse insumo.

Frequentemente, as crostas ferruginosas sustentam duras cornijas que retardam o processo de desmantelamento e destruição dos baixos planaltos pela ação erosiva. Em certas porções desses terrenos, os baixos platôs são dissecados em um relevo de colinas com topos tabulares, assumindo particular relevância na área a norte de Manaus (Figura 3.4).

Foto: Marcelo Eduardo Dantas.



Figura 3.4. Aspecto da superfície dos tabuleiros, dissecados em pequenos vales ortogonais ao longo da rodovia. Nota-se os topos concordantes e subnivelados das colinas com topos amplos a tabulares, sendo observados até a linha do horizonte. Local: Rodovia BR-174, próximo a Presidente Figueiredo, estado do Amazonas.

A gênese dos baixos platôs dissecados inicia-se, efetivamente, com o fecho deposicional da Bacia Sedimentar do Amazonas, ou seja, com o término da sedimentação da Formação Alter do Chão, durante o Paleógeno. Após o entulhamento da Bacia Amazônica, ocorreu um processo de epirogênese que rebaixou o nível de base regional com o soerguimento dos depósitos cretácicos. Os processos de franca esculturação desses baixos platôs também apresentam uma componente neotectônica devido a evidências de falhamento em campo, conforme registrado por Maia e Dantas (2006) no distrito agropecuário da Suframa, e ao notável paralelismo e lineamento dos principais afluentes da margem esquerda do Rio Amazonas, tais como os rios Preto da Eva, Urubu, Uatumã, Jatapu e Nhamundá. A configuração morfológica dos baixos cursos dos rios Xingu e Tapajós também sugere uma componente neotectônica, pois ambos os rios apresentam imensas rias fluviais com dezenas de quilômetros de largura formando um ambiente de aparência fluviolacustre devido ao seu barramento junto à foz pela colossal vazão

do Rio Amazonas. Conforme atravessam os baixos platôs em direção ao Rio Amazonas, esses rios apresentam rebordos erosivos que podem atingir mais de 50 metros de desnível nas margens do Rio Tapajós. Costa et al. (2001) e Bemerguy et al. (2002) identificaram estruturas de falhas normais acompanhando os baixos vales dos rios Tapajós e Xingu. Desse modo, o rebaixamento de nível de base regional em determinado período do Neógeno e o encaixamento das modernas calhas desses dois grandes rios possibilitaram, portanto, um desmonte efetivo dos baixos platôs e de grande parte da antiga Superfície Paleógena. O platô de Belterra, próximo a Santarém, configura-se como um notável remanescente dessa superfície (Dantas; Teixeira, 2013).

Esse domínio geomorfológico ocupa, portanto, toda a área de abrangência da Bacia Sedimentar do Amazonas com amplo predomínio de ocorrência da Formação Alter do Chão, em superfície. Contudo, nas bordas dessa bacia, no limite com o embasamento dos Escudos Pré-Cambrianos, ocorre o afloramento das formações basais da Bacia do Amazonas (tais como as formações Nova Olinda, Nhamundá e Trombetas), geralmente, sob forma de curtos degraus escarpados. Nessas áreas, os platôs são ligeiramente mais elevados e preservados, como pode ser observado nas localidades de Balbina, próximo a Presidente Figueiredo, no Amazonas (Dantas; Maia, 2010), ou em Rurópolis, no Pará, situada entre as cidades de Santarém e Itaituba.

Os terrenos representados pelos baixos platôs da Amazônia Centro-Oriental representam uma área de considerável expansão econômica dos estados do Amazonas e Pará. No Amazonas, esses terrenos são atravessados por rodovias importantes: o segmento da BR-174 (Manaus – Boa Vista) e as AM-010 e AM-363 (Manaus – Itacoatiara – Silves), além da consolidação do distrito agropecuário da Zona Franca de Manaus (Suframa). No Pará, esses terrenos são atravessados pela BR-163 (Santarém – Cuiabá). Evidentemente, todas essas rodovias representam frentes de desmatamento da floresta amazônica.

Nesse domínio, estão localizadas, na margem esquerda do Rio Amazonas, as cidades de Manaus, Presidente Figueiredo, Rio Preto da Eva, Itacoatiara, Silves e Óbidos, e, na margem direita, as cidades de Maués, Juruti e Santarém.

Nos baixos platôs estão localizados os seguintes perfis da XV RCC: AM-01, AM-02, AM-09, PA-05, PA-06 e PA-7 (Figura 3.1).

A Figura 3.5 demonstra a baixa variabilidade de altimetria entre os pontos de perfis na área de estudo. O perfil topográfico A – B (Figura 3.6) representa a variação do relevo e sua relação com a geologia da área investigada e ainda dos planaltos e superfícies aplainadas em substrato de origem no embasamento cristalino do entorno.

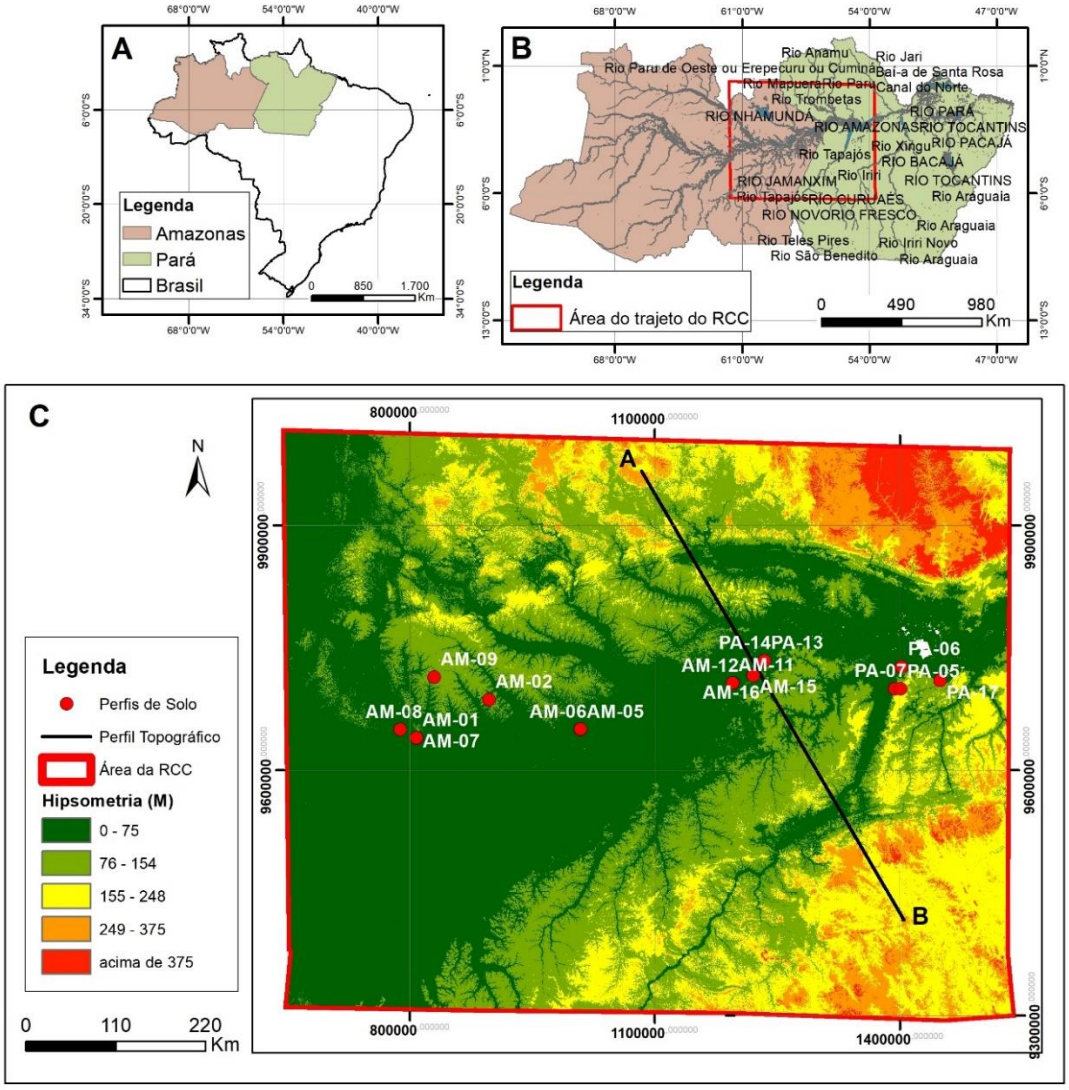


Figura 3.5. Mapa hipsométrico de parte dos estados de Amazonas e Pará, com as localizações dos perfis de solos da XV RCC e perfil topográfico A-B.

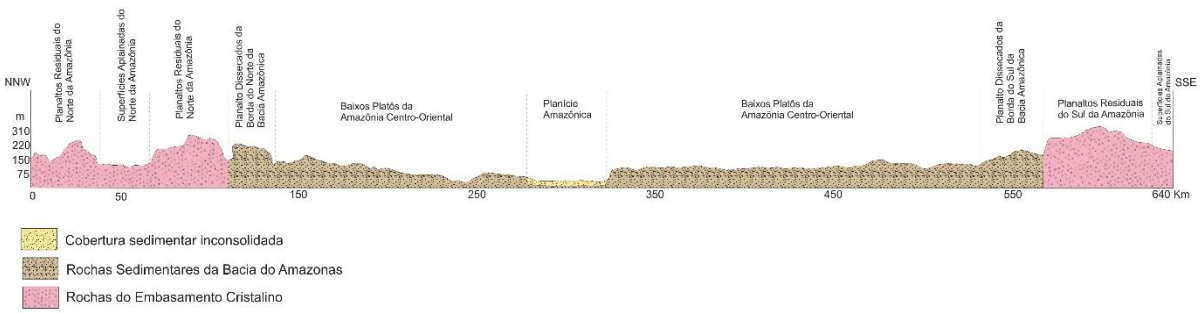


Figura 3.6. Perfil geológico-geomorfológico de direção aproximada NNW-SSE, atravessando o Médio Rio Amazonas, na fronteira entre os estados do Amazonas e Pará. Ao centro, a Planície Amazônica, entalhada na Depressão constituída de platôs amazônicos. Ao seu entorno, Planaltos Cristalinos.

4. A complexa gênese das formações superficiais no domínio dos Baixos Platôs na Amazônia

A Amazônia notabiliza-se por perfis de intemperismo muito espessos com dezenas a mais de uma ou duas centenas de metros de profundidade. São identificados, regionalmente, dois eventos de laterização (Costa, 1991): o primeiro, mais antigo, é caracterizado por crostas lateríticas maturas, com desenvolvimento de uma camada aluminosa (bauxítica), uma camada ferruginosa e concrecionária e, no topo, por um Latossolo Amarelo argiloso ou muito argiloso, resultante de pedogênese moderna; o segundo, mais recente, é caracterizado por crostas lateríticas imaturas, com desenvolvimento similar às maturas, porém incompleto, sem a elaboração de uma camada aluminosa.

Durante grande parte do Paleógeno, caracterizado por um período de estabilidade morfodinâmica e pouca atividade tectônica, ocorreu o desenvolvimento de espessos mantos de alteração de espessura decamétrica. O contínuo processo de intemperismo deu origem, em vastas extensões, a perfis lateríticos bauxítico-ferruginosos maturos, de expressiva importância mineral, correlacionados aos períodos Eoceno – Oligoceno (Kotschoubey; Truckenbrodt, 1981; Truckenbrodt; Kotschoubey, 1981; Costa, 1991; Horbe; Costa, 2005). Esses perfis lateríticos muito antigos e desenvolvidos, que remontam ao Terciário Inferior, são registrados sobre os topos planos e conservados das bacias sedimentares do Amazonas e do Parnaíba e em diversos topos aplainados dos planaltos residuais do sul e norte do Pará. Esse conjunto de topos aplainados, posicionados em cotas que variam entre 200 e 300 metros de altitude, estaria, portanto, associado a uma superfície de aplainamento de idade paleógena (Horbe et al., 2001b), elaborada até o Oligoceno.

Sobre essa crosta laterítica bauxítica-ferruginosa madura, desenvolve-se in situ um espesso solo argiloso e amarelo (podendo atingir mais de 20 metros de espessura), bem drenado e lixiviado, onde a argila apresenta-se floculada, o que confere uma boa permeabilidade, tendo sido denominada por Sombroek (1966) de Argila de Belterra. Esses solos são resultantes da decomposição química da crosta laterítica subjacente (Truckenbrodt; Kotschoubey, 1981; Horbe; Costa, 2005), atestando uma relevante estabilidade morfodinâmica para esses baixos platôs e planaltos residuais.

Essa antiga superfície de aplainamento paleógena, supostamente correlacionável à Superfície Sul-americana de King (1956), foi alçada por eventos epirogenéticos durante o Neógeno e, em grande parte, foi desmantelada por erosão e denudação do relevo. Pode-se atribuir a destruição parcial da superfície paleógena ao rebaixamento do nível de base regional, contudo, a atuação de eventos neotectônicos teve, certamente, uma grande contribuição. Costa et al. (2001) e Bemerguy et al. (2002) destacam um pulso tectônico ativo na Amazônia entre o Mioceno e o Plioceno, com importantes implicações na reestruturação do relevo amazônico em escala regional.

Durante parte do Neógeno, registra-se um novo período de estabilidade morfodinâmica e baixa atividade tectônica. Nesse período, ocorreram um novo evento de aplainamento generalizado do relevo e a elaboração de uma segunda fase de laterização regional com a geração de mantos de alteração e o desenvolvimento de crostas ferruginosas em perfis imaturos (Costa, 1991; Horbe et al., 2001b; Kotschoubey et al., 2005). Esses perfis lateríticos mais

jovens, de idade neógena, representam o vasto piso das superfícies de aplainamento modernas, que se estendem por amplas extensões, tanto no Escudo Sul-amazônico, quanto no Escudo das Guianas, podendo ser correlacionadas à Superfície Velhas de King (Dantas; Teixeira, 2013).

O extraordinário potencial mineral dessas crostas lateríticas pode ser observado em ambos os flancos da Bacia Sedimentar do Amazonas, tanto na mina de bauxita de Rio do Norte, no baixo Rio Trombetas, em Oriximiná, quanto na mina de bauxita de Juruti, próximo à margem direita do Rio Amazonas. A mina de bauxita da Alcoa em Juruti consiste em uma jazida de classe mundial com infraestrutura de ferrovia e porto fluvial com capacidade de extração e escoamento de mais de 7 milhões de toneladas de bauxita por ano. Essa mina se localiza no topo de um extenso baixo platô alçado a cerca de 200 metros de altitude, apresentando um perfil laterítico composto de uma camada bauxítica (minério) de 7 metros de espessura. Sobreposta a este, desenvolve-se uma camada ferruginosa de 3 metros de espessura e, acima dessa crosta, é forma-se um Latossolo Amarelo de aproximadamente 12 metros de espessura. Destaca-se a cor muito amarela do horizonte Bw desse Latossolo, decorrente da grande quantidade de alumínio e goethita no perfil. Certamente, tais Latossolos Amarelos, denominados por Sombroek de Argilas de Belterra, consistem em um dos solos mais amarelos e com maior conteúdo de argila do território brasileiro (Figura 3.7).

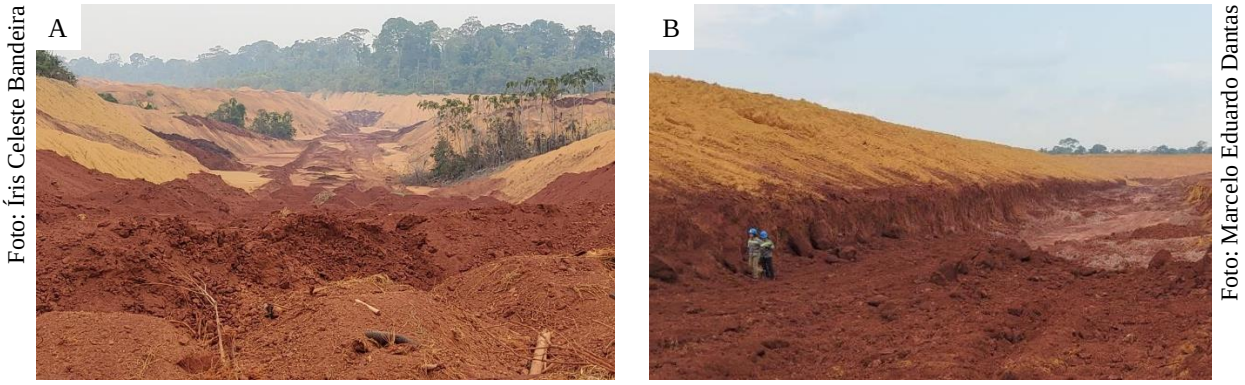


Figura 3.7. Área de extração de bauxita (camada vermelha) pelo método de lavra em tiras (*strip mining*) gerando, localmente, a remoção da cobertura florestal e o revolvimento do espesso Latossolo Amarelo. Mina da Alcoa, Juruti, PA (A). Contato entre a camada bauxítica e o Latossolo Amarelo de cobertura. Mina da Alcoa, Juruti, PA (B).

Por fim, é preciso ressaltar a importância da adoção de práticas de mineração responsáveis sobre a exploração de bauxita na região para que não aconteça um novo desastre ambiental associado a um inadequado descarte de rejeitos como o que ocorreu no Lago da Batata em Oriximiná, na bacia do Rio Trombetas (Wanderley, 2021).

5. Considerações finais

O roteiro da XV RCC incluiu o percurso dos principais Domínios Geomorfológicos do Médio Rio Amazonas nos estados do Amazonas e Pará. Este trabalho buscou descrever e analisar, com base geomorfopedológica (Ferraz et al., 2003; Zinck, 2012), tanto a Planície Amazônica quanto os Baixos Platôs sustentados por rochas sedimentares pouco litificadas da

Formação Alter do Chão. A análise detalhada desses terrenos permite uma compreensão abrangente das dinâmicas ambientais e geológicas que moldaram a região.

Assim sendo, a análise integrada do meio físico, calcada no trinômio rocha-relevo-solos e aplicada a partir de uma abordagem teórico-conceitual e metodológica fornecida pela geodiversidade, revela-se um instrumento útil e eficaz para avaliar a influência dos materiais geológicos e dos padrões e formas de relevo na caracterização dos principais agrupamentos de solos ao longo do roteiro empreendido pela XV RCC. Essa abordagem não só permite uma avaliação mais precisa das características do solo e do relevo, mas também fornece *insights* valiosos para a ocupação e o uso sustentável das terras na região, contribuindo para a preservação e a valorização do patrimônio natural amazônico.

Referências

AB'SABER, A. N. **Os Domínios de natureza no Brasil**: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 160 p.

BANDEIRA, I. C. N.; ADAMY, A.; ANDRETTA, E.; CONCEIÇÃO, R. A. C. da; ANDRADE, M. M. N. de. Terras caídas: fluvial erosion or distinct phenomenon in the Amazon? **Environmental Earth Sciences**, v. 77, 222, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/s12665-018-7405-7.

BECKER, B.; STENNER, C. **Um futuro para a Amazônia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 152 p.

BEMERGUY, R. L.; COSTA, J. B. S. Considerações sobre a evolução dos sistemas de drenagem na Amazônia e sua relação com o arcabouço tectônico-estrutural. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**: série ciências da terra, v. 3, p. 75-97, 1991.

BEMERGUY, R. L.; COSTA, J. B. S.; HASUI, Y.; BORGES, M. da S.; SOARES JÚNIOR, A. V. Structural geomorphology of the Brazilian Amazon region. In: KLEIN, E. L.; VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. (org.). **Contribuições à geologia da Amazônia**. Belém, PA: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Norte, 2002. v. 3, p. 245-257. Disponível em: https://arquivos.sbg-no.org.br/BASES/CGA%203.pdf. Acesso em: 25 jun. 2025.

BÜDEL, J. **Climatic geomorphology**. Princeton: Princeton University Press, 1982. 443 p.

BUSH, M. B.; COLINVAUX, P. A.; WIEMANN, M. C.; PIPERNO, D. R.; LIU, K.-B. Late Pleistocene temperature depression and vegetation change in Ecuadorian Amazonia. **Quaternary Research**, v. 34, n. 3, p. 330-345, 1990. DOI: https://doi.org/10.1016/0033-5894(90)90045-M.

CARNEIRO-FILHO, A.; SCHWARTZ, D.; TATUMO, S. H.; ROSIQUE, T. Amazonian Paleodunes provide evidence for drier climate phases during the late Pleistocene–Holocene. **Quaternary Research**, v. 58, n. 2, p. 205-209, 2002. DOI: https://doi.org/10.1006/qres.2002.2345.

CARVALHO, J. S.; TOMASELLA, J. Aspectos morfoestruturais do relevo na região norte da cidade de Manaus e suas influências na dinâmica do aquífero Alter do Chão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 3, p. 323-330, 2013. DOI: https://doi.org/10.20502/rbg.v14i3.430.

COSTA, J. B. S.; BEMERGUY, R. L.; HASUI, Y.; BORGES, M. da S. Tectonics and paleogeography along the Amazon river. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 14, n. 4, p. 335-347, 2001. DOI: https://doi.org/10.1016/S0895-9811(01)00025-6.

COSTA, M. L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, n. 2, p. 146-160, 1991. DOI: https://doi.org/10.25249/0375-7536.1991146160.

DANTAS, M. E.; MAIA, M. A. M. Compartimentação geomorfológica. In: MAIA M. A. M; MARMOS J. L. (org.). **Geodiversidade do estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010. cap. 3, p. 27-44. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/16624. Acesso em 25 jun. 2025.

DANTAS, M. E.; TEIXEIRA, S. G. A origem das paisagens do estado do Pará. In: JOÃO, X. da S. J.; TEIXEIRA, S. G.; FONSECA, D. D. F. (org.). **Geodiversidade do estado do Pará**. Belém, PA: CPRM, 2013. cap. 3, p. 23-52. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/16736. Acesso em: 25 jun. 2025.

DAEMON, R. F. Contribuição à datação da Formação Alter do Chão, bacia do Amazonas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 5, n. 2, p. 58-84, 1975.

DINO, R.; SILVA, O. B.; ABRAHÃO, D. Caracterização palinológica e estratigráfica de estratos cretáceos da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5., 1999, Serra Negra. **Boletim** [...]. Rio Claro, SP: Unesp, 1999. p. 557-565.

EIRAS, J. F.; BECKER, C. R.; SOUZA, E. M.; GONZAGA, F. G.; SILVA, J. G. F. da; DANIEL, L. M. F.; MATSUDA, N. S.; FEIJÓ, F. J. Bacia do Solimões. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 8, n. 1, p. 17-45, 1994. Disponível em: https://bgp.petrobras.com.br/bgp/article/view/579. Acesso em: 25 jun. 2025.

FERRAZ, R. P. D.; FIDALGO, E. C. C.; PRADO, R. B.; GONCALVES, A. O.; DANTAS, M. E.; MANSUR, K. L.; MARQUES, A.; TAVARES, J. C.; MANZATTO, H. R. R.; MANZATTO, C. V. **Diagnóstico do meio físico da bacia hidrográfica do Rio do Imbé - RJ**: aplicação de metodologia integrada como subsídio ao manejo de microbacias. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 92 p. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 29). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/336999. Acesso em: 25 jun. 2025.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L.; MOLINIER, M.; GUIMARÃES, V.; OLIVEIRA, E. de; FREITAS, M. A. de. Caracterização hidrológica da Bacia Amazônica. In: RIVAS, A.; FREITAS, C. E. de C. (ed.). **Amazônia**: uma perspectiva interdisciplinar. Manaus: EDUA, 2002. p. 33-53.

HOORN, C.; BOGOTA-A, G. R.; ROMERO-BAEZ, M.; LAMMERTSMA, E. I.; FLANTUA, S. G. A.; DANTAS, E. L.; DINO, R.; CARMO, D. A. do; CHEMALE JUNIOR, F. The Amazon at sea: onset and stages of the Amazon River from a marine record, with special reference to Neogene plant turnover in the drainage Basin. **Global and Planetary Change**, v. 153, p. 51-65, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.02.005.

HOORN, C.; WESSELINGH, F. P.; TER STEEGE, H.; M.; BERMUDEZ, M. A.; MORA, A.; SEVINK, J.; SANMARTÍN, I.; SANCHEZ-MESEGUER, A.; ANDERSON, C. L.; FIGUEIREDO, J. P.; JARAMILLO, C.; RIFF, D.; NEGRI, F. R.; HOOGHIEMSTRA, H.; LUNDBERG, J.; STADLER, T.; SÄRKINEN, T.; ANTONELLI, A. Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. **Science**, v. 330, n. 6006, p. 927-931, 2010. DOI: https://doi.org/10.1126/science.1194585.

HORBE, A. M. C.; COSTA, M. L. da. Lateritic crusts and related soils in eastern Brazilian Amazonia. **Geoderma**, v. 126, n. 3/4, p. 225-239, 2005. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.09.011.

HORBE, A. M. C.; HORBE, M. A.; SUGUIO, K.; LARANGEIRA, R. B. Contribuição ao estudo das ocorrências de Podzóis no Noroeste do Amazonas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7, 2001, Belém, PA. **Anais** [...]. Belém, PA: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Norte, 2001a. p. 340-343. Disponível em: https://www.sbgeo.org.br/assets/admin/imgCk/files/Anais/Anais%207%20Simp%20Geol%20Amaz%20Nov-2001-Belem.pdf. Acesso em: 25 jun. 2025.

HORBE, A. M. C.; NOGUEIRA, A. C. R.; HORBE, M. A.; COSTA, M. L. da; SUGUIO, K. A laterização na gênese das superfícies de aplanamento da região de Presidente Figueiredo Balbina, Nordeste do Amazonas. In: REIS, N. J.; MONTEIRO, M. A. S. (coord.). **Contribuições à geologia da Amazônia**. Belém, PA: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Norte, 2001b. v. 2, cap. 5, p. 145-176. Disponível em: https://arquivos.sbg-no.org.br/BASES/CGA%202.pdf. Acesso em: 25 jun. 2025.

IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Estado do Amazonas**: pedologia: mapa exploratório de solos. Rio de Janeiro, 2010. 1 mapa, color. Escala 1:1.000.000. Disponível em:

https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/unidades_da_federacao/am_pedologia.pdf. Acesso em: 30 jun. 2025.

IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Estado do Pará**: pedologia: mapa exploratório de solos. Rio de Janeiro, 2008. 1 mapa, color. Escala 1:1.000.000. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/unidades_da_federacao/pa_pedologia.pdf. Acesso em: 30 jun. 2025.

IBGE. **Mapa de solos**. Rio de Janeiro, 2018. 1 mapa, color. Escala 1: 250.000. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html?=&t=acesso-ao-produto. Acesso em: 30 jun. 2025.

IBGE. **Mapa geomorfológico do Brasil**. Rio de Janeiro, 1995. Escala 1:5.000.000.

IGREJA, H. L. S.; FRANZINELLI, E. Estudos neotectônicos na região do baixo Rio Negro - centro-nordeste do estado do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. **Anais** [...]. Sociedade Brasileira de Geologia, 1990. v. 5, p. 2099-2108.

INMET. **Normais climatológicas do Brasil**: período 1991-2020. Brasília, DF, 2022. 27 p. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/uploads/normais/NORMAISCLIMATOLOGICAS.pdf. Acesso em: 30 jun. 2025.

KING, L. C. A geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 18, n. 2, p. 147-266, 1956. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/115/rbg_1956_v18_n2.pdf. Acesso em: 30 jun. 2025.

KOTSCHOUBEY, B.; TRUCKENBRODT, W.; CALAF, J. M. C. Evolução geológica da porção meridional da Província Bauxitífera de Paragominas durante o Neógeno/Pleistoceno (Noroeste da Bacia do Grajaú, Nordeste do Pará e extremo Oeste do Maranhão). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, n. 2, p. 263-272, 2005.

KOTSCHOUBEY, B.; TRUCKENBRODT, W. Evolução poligenética das bauxitas do distrito de Paragominas - Açailândia (estados do Pará e Maranhão). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 11, n. 3, p. 193-202, 1981. Disponível em: http://bjg.siteoficial.ws/1981/n3/ktchoubay.pdf. Acesso em: 30 jun. 2025.

LATRUBESSE, E. M.; FRANZINELLI, E. The Holocene alluvial plain of the middle Amazon River, Brazil. **Geomorphology**, v. 44, n. 3/4, p. 241-257, 2002. DOI: https://doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00177-5.

LATRUBESSE, E. M. Patterns of anabranching channels: the ultimate end-member adjustment of mega rivers. **Geomorphology**, v. 101, n. 1/2, p. 130-145, 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.05.035.

LATRUBESSE, E. M.; RAMONELL, C. G. A climatic model for southwestern Amazonia in last glacial times. **Quaternary international**, v. 21, p. 163-169, 1994. DOI: https://doi.org/10.1016/1040-6182(94)90029-9.

MAIA, M. A. M.; DANTAS, M. E. Compartimentação geomorfológica na área do distrito agropecuário da SUFRAMA, Manaus (AM). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 9., 2006, Belém, PA. **Anais** [...]. Belém, PA: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Norte, 2006. P. 458-461. Disponível em: https://arquivos.sbg-no.org.br/BASES/Anais%209%20Simp%20Geol%20Amaz%20Marco-2006-Belem.pdf. Acesso em: 30 jun. 2025.

MARQUES, V. J. **Zoneamento ecológico-econômico do distrito agropecuário da SUFRAMA**: textos, mapas e SIG. Manaus: CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 2005. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24789. Acesso em: 30 jun. 2025.

MENDES, A. C.; TRUCKENBRODT, W.; NOGUEIRA, A. C. R. Análise faciológica da Formação Alter do Chão (Cretáceo, Bacia do Amazonas), próximo à cidade de Óbidos, Pará. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n. 1, p. 39-57, 2012.

NASCIMENTO, D. A. do; MAURO, C. A.; GARCIA, M. das G. L. Geomorfologia da Folha SA.21 (Santarém). In: PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SA.21-Santarém**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1976. p. 131-181. (Levantamento de recursos naturais, v. 10).

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 448 p.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, p. 63-74, 1994. DOI: https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006.

ROSS, J. L. S. Relevo brasileiro: uma nova proposta de classificação. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 4, p. 25-39, 1985. DOI: https://doi.org/10.7154/RDG.1985.0004.0004.

SCHAEFER, C. E. G. R.; DALRYMPLE, J. Landscape evolution in Roraima, North Amazonia: planation, paleosols and paleoclimates. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 39. n. 1, p. 1-28, 1995. DOI: https://doi.org/10.1127/zfg/39/1995/1.

SIOLI, H. Valores de pH de águas Amazônicas. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi**. **Geologia**, v. 1, p. 1-35, 1957.

SOMBROEK, W. G. **Amazon soils**: a reconaissance of the soils of the Brazilian Amazon region. Wageningen: Centre for Agriculture Publications and Documention, 1966. 292 p. Disponível em: https://edepot.wur.nl/197516. Acesso em: 30 jun. 2025.

STERNBERG, H. O. R. **A água e o homem na várzea do Careiro**. 2. ed. Belém, PA: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1998.

STERNBERG, H. O. R. Sismicidade e morfologia na Amazônia Brasileira. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 25, n. 4, p. 442-453, 1953.

STERNBERG, H. O. R. Vales tectônicos na planície amazônica? **Revista Brasileira de Geografia**, **v.** 12, n. 4, p. 511-534, 1950. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/115/rbg_1950_v12_n4.pdf. Acesso em: 30 jun. 2025.

TEIXEIRA, W. G.; LIMA, H. N.; PINTO, W. H. A.; SOUZA, K. W. de; SHINZATO, E.; SCHROTH, G. O manejo do solo nas várzeas da Amazônia. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. da S. (ed.). **Manejo e conservação do solo e da água**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. cap. 22, p. 701-728.

THOMAS, M. F. **Geomorphology in the tropics**: a study of weathering and denudation in low latitudes. West Sussex: John Wiley & Sons, 1994. 460 p.

TRUCKENBRODT, W.; KOTSCHOUBEY, B. Argila de Belterra: cobertura terciária das bauxitas amazônicas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 11, n. 3, p. 203-208, 1981. Disponível em: http://bjg.siteoficial.ws/1981/n3/trunkenbrodt.pdf. Acesso em: 30 jun. 2025.

VAN DER HAMMEN, T.; ABSY, M. L. Amazonia during the last glacial. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 109, n. 2/4, p. 247-261. DOI: https://doi.org/10.1016/0031-0182(94)90178-3.

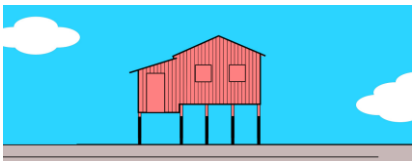
VELOSO, A. V. On the footprints of a major Brazilian Amazon earthquake. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, n. 3, p. 1115-1129, 2014. DOI: https://doi.org/10.1590/0001-3765201420130340.

WANDERLEY, L. J. **Barragens de mineração na Amazônia**: o rejeito e seus riscos associados em Oriximiná. São Paulo: Comissão Pro-Indio de São Paulo, 2021. Disponível em: https://cpisp.org.br/wp-content/uploads/2021/04/SerieEstudos_BarragensMineracao.pdf. Acesso em: 30 jun. 2025.

WULF, A. **A invenção da natureza**: a vida e as descobertas de Alexander von Humboldt. São Paulo, Ed. Planeta, 2016. 600 p.

ZINCK, J. A. **Geopedología:** elementos de geomorfologia para estudios de suelos y de riesgos naturales. Enschede: ITC. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, 2012. 123 p. Disponível em: https://museosuelos.ciga.unam.mx/Para_leer/Geopedologia.pdf. Acesso em: 30 jun. 2025.

Capítulo 4



Caracterização climática da área de estudo da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos

Lucieta Guerreiro Martorano

1. Introdução

As interações no sistema solo-planta-atmosfera condicionam a formação e a distribuição dos solos tropicais, especialmente na Amazônia brasileira, onde os fatores climáticos atuam fortemente no intemperismo da rocha matriz. Elementos como intensidade e duração dos eventos pluviais, variações térmicas (máximas, mínimas e médias), radiação solar, velocidade e direção dos ventos e umidade do ar são exemplos de variáveis que exercem influência direta nos processos pedológicos (Laurance et al., 2001). Essas interações conferem à região um papel crucial na oferta de serviços ecossistêmicos (Costanza et al., 2014), os quais são mensuráveis e suscetíveis de estratificação por meio de indicadores de provisão, regulação, suporte e culturais.

A vegetação atua de forma determinante na ciclagem e na estocagem de carbono, especialmente via aporte de material orgânico ao solo (Laganière et al., 2010), promovendo não apenas a melhoria da qualidade edáfica, mas também contribuindo para a regulação do clima em escala global (Smith et al., 2013; Flores et al., 2024). Os processos de degradação do solo, evidenciados pela redução de matéria orgânica e perda de nutrientes, impactam negativamente o potencial produtivo, comprometendo a segurança alimentar e ambiental (Lal, 2004).

No contexto amazônico, a variabilidade do regime de chuvas é fortemente modulada por mecanismos de teleconexão em múltiplas escalas. Durante o período chuvoso (dezembro a maio), predominam os efeitos da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), resultando em elevados aportes de recarga hídrica nos ecossistemas aquáticos (Souza et al., 2000). Estima-se que o Rio Amazonas, nesse intervalo, contribua com cerca de $6{,}6 \times 10^3$ km³ de água doce para o Oceano Atlântico anualmente, representando aproximadamente 17% do escoamento global (Drumond et al., 2014). Durante os ciclos de cheias e vazantes, há intenso transporte de sedimentos e matéria orgânica, os quais são particularmente afetados em anos com eventos extremos como o fenômeno El Niño (Huang; Mehta, 2010), em que predominam longos períodos de seca, expondo os solos nas várzeas do Rio Amazonas e seus afluentes.

O período de redução das chuvas, predominantemente entre julho e novembro, é marcado por precipitações mais irregulares e de menor volume. Secas severas e recorrentes vêm sendo associadas ao aumento da perda de cobertura vegetal na região (Phillips et al., 2009; Berenguer et al., 2021). Com o ressecamento do solo, desencadeia-se o estresse hídrico nas plantas, comprometendo o funcionamento do xilema, levando à desidratação celular e, frequentemente, à morte vegetal (Tavares et al., 2023). Tais processos repercutem diretamente

na redução da matéria orgânica no solo e, consequentemente, limitam o sequestro de carbono (Van der Molen et al., 2011; Chave et al., 2014), agravando o ciclo de retroalimentação climática.

Períodos prolongados de déficits hídricos favorecem a intensificação das queimadas, com impacto cumulativo sobre a degradação da cobertura vegetal e o aumento das emissões de gases de efeito estufa (Aragão et al., 2018; Gatti et al., 2021; Singh, 2022). As evidências reforçam a vulnerabilidade do bioma amazônico diante do estresse hídrico e das alterações climáticas, sinalizando para a urgência de práticas de manejo sustentável e estratégias mais resilientes.

Adicionalmente, observa-se um aumento consistente nas temperaturas médias na região. Em Belterra, no oeste do Pará, registrou-se um acréscimo de 1 °C nas últimas três décadas (Martorano et al., 2021). Modelagens preditivas demonstram que o aumento da temperatura e a redução no volume de precipitação pluvial poderão comprometer a biodiversidade regional, como apontado por Guan et al. (2021), em consonância com os alertas do IPCC (Fischlin et al., 2023).

As variações térmicas desempenham um papel essencial na dinâmica edáfica e na fisiologia das espécies vegetais e animais. A temperatura do solo modula a atividade microbiana, influenciando a mineralização e a ciclagem de nutrientes (Ramírez; Matos, 2022), além de impactar comportamentos adaptativos da fauna, suas interações ecológicas e a integridade funcional dos ecossistemas (Amin et al., 2023).

Além disso, a temperatura do ar influencia diretamente na temperatura do solo, que é um fator determinante para a intensidade da atividade biológica e para a decomposição da matéria orgânica. Valores térmicos mais elevados tendem a acelerar esses processos, promovendo a liberação mais rápida de nutrientes, mas também podem resultar em degradação estrutural do solo em médio e longo prazo, comprometendo sua estabilidade físico-química (Amin et al., 2023). A variação térmica pode, ainda, modificar a composição da microbiota edáfica, afetando a dinâmica de fertilidade do solo.

À medida que a temperatura do ar eleva-se, ocorre um aumento nas taxas de evaporação da água do solo, o que reduz a disponibilidade hídrica para as plantas, impactando negativamente seu crescimento e aumentando a vulnerabilidade ao estresse hídrico. Por outro lado, reduções acentuadas de temperatura inibem a atividade biológica e a ciclagem de nutrientes, prejudicando o desenvolvimento agrícola, inclusive pela redução da eficácia de determinados fertilizantes (Yang et al., 2025). A compreensão dessas interações entre temperatura do ar e propriedades pedológicas é fundamental para orientar práticas de manejo mais resilientes em sistemas produtivos tropicais.

Diante dessas inter-relações, o presente capítulo tem como objetivo caracterizar variáveis climáticas capazes de subsidiar a análise de processos determinantes na formação e conservação dos solos, a partir da análise espacial nos pontos selecionados na região no âmbito da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC das várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno (XV RCC).

2. Material e métodos

2.1. Variáveis climáticas

Foram analisados dados de variáveis meteorológicas para toda a Amazônia com recorte na área de estudo da XV RCC. As informações climáticas foram obtidas de um conjunto de dados médios fornecidos pelo WorldClim (Fick; Hijmans, 2017), utilizados na confecção do mapa de tipologia climática com base no método de Köppen, adaptada por Martorano et al. (1993). Vale ressaltar que a classificação climática de Köppen é uma das mais usadas para descrever e categorizar os climas terrestres. A tipologia climática baseia-se em padrões térmico-hídricos, em que as zonas climáticas expressam características semelhantes na vegetação, capazes de explicar interações entre clima, solos e os ecossistemas.

Todavia, no trabalho realizado por Martorano et al. (1993, 2025), foi proposta a adaptação na tipologia "A" considerando-se as peculiaridades do clima amazônico. Destaca-se que a adaptação foi necessária devido às limitações da tipologia original em capturar adequadamente as variações regionais, no contexto da floresta tropical, especialmente em função da grande variabilidade da precipitação e da influência de fatores regionais, separados por subtipos climáticos. Assim sendo, neste capítulo apresenta-se a tipologia climática com base no mapa apresentado em Martorano et al. (2021) para reforçar o padrão climático nas áreas dos perfis de solos da XV RCC.

Foram utilizados dados diários em grade, disponíveis no formato NetCDF (*Network Common Data Form*), em resolução espacial de 0,1° × 0,1°, tendo como base os valores de cada variável analisados para toda a Amazônia brasileira, fazendo-se recorte para a área de interesse da XV RCC. A base de dados foi obtida no repositório *Brazilian Daily Weather Gridded Data* (BR-DWGD) (Xavier et al., 2020). Assim sendo, neste trabalho foram analisados dados correspondentes à série histórica entre 1961 e 2022, considerando-se os valores médios dos totais anuais de precipitação pluvial (PRP em mm), temperatura do ar (mínima-Tmín, máxima-Tmáx e média-Tméd) em °C, evapotranspiração potencial (ETo em mm) e a deficiência hídrica (DEF em mm).

Vale destacar que trabalhos como os de Bender e Sentelhas (2018) são considerados referências ao avaliarem o desempenho dessas bases em BR-DWGD, AgCFSR e AgMERRA (Ruane et al., 2015) e NASA/POWER (Stackhouse Junior et al., 2019). Resultados apontaram que o BR-DWGD apresentou o melhor desempenho estatístico, sendo indicado para estimar dados faltosos. Resultados semelhantes também foram encontrados em Battisti et al. (2019) e Duarte e Sentelhas (2020). Os mapas foram elaborados no QGIS v. 3.36.1, utilizando-se como interpolador das variáveis climáticas o IDW (*Inverse Distance Weighted*).

3. Resultados e discussão

3.1. Tipologia climática na área de estudo

O padrão climático na área de estudo é regido pelo subtipo Am_3, onde a pluviosidade média anual varia entre 2000 e 2500 mm, tendo no mês menos chuvoso valores abaixo de 60 mm, mas possui uma estação seca curta, de aproximadamente 2 a 3 meses, durante

a qual as chuvas são significativamente reduzidas (Figura 4.1), indicando que essa é uma condição climática intermediária entre o clima equatorial totalmente úmido e o clima tropical mais típico de vegetação típica de savana. A característica relevante é que nessa tipologia a estação seca, embora curta, pode impactar o ciclo agrícola e a gestão dos recursos hídricos. O conhecimento desse padrão climático permite a adoção de estratégias de manejo que visem minimizar os impactos da seca e otimizar a produção agrícola (Martorano et al., 2017, 2021).

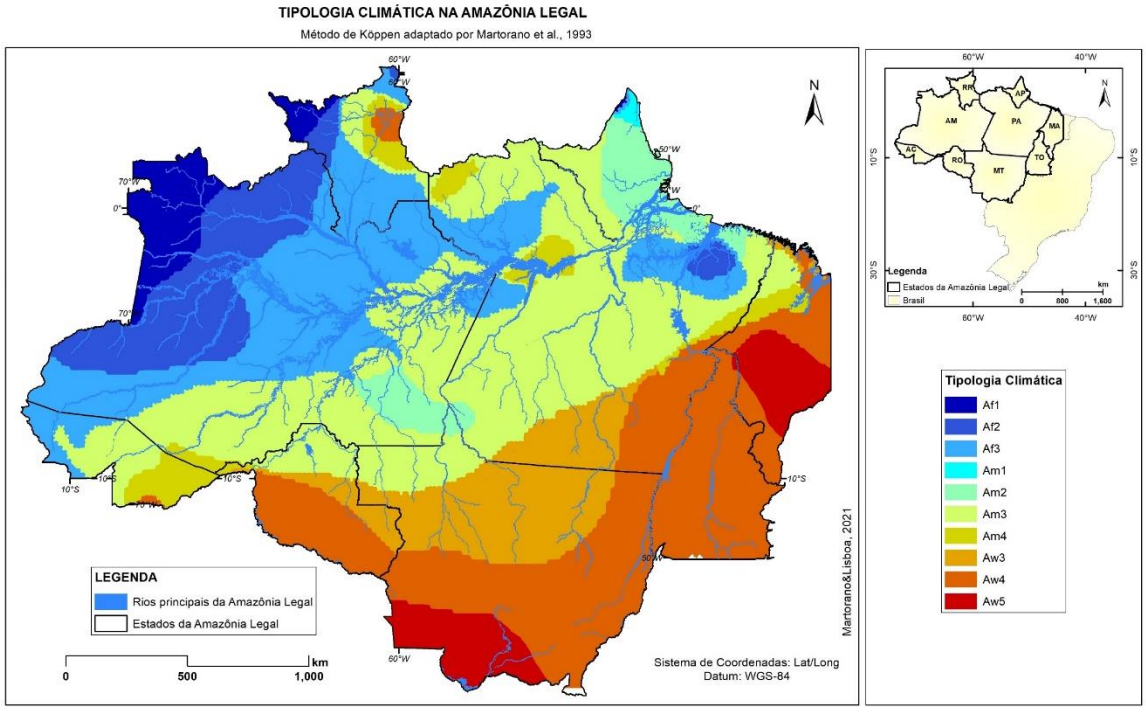


Figura 4.1. Mapa de tipologia climática da Amazônia indicando as condições nas áreas dos perfis de solos da XV RCC.

Fonte: Martorano et al. (2021).

3.2. Variáveis climáticas analisadas

Os resultados evidenciaram que em todos os perfis de solos as chuvas anuais médias variam entre 2.000 e 2.500 mm (Figura 4.2). A precipitação pluvial na Amazônia brasileira está intimamente relacionada aos efeitos do deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que regula a dinâmica anual e interanual do regime de chuvas na região. Além disso, fenômenos como as Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e o El Niño Oscilações Sul (ENOS) no Pacífico também desempenham papéis cruciais na variabilidade climática do regime pluvial (Bookhagen; Strecker, 2010; Santos et al., 2024). A ZCIT e as ZCAS interagem com as condições atmosféricas locais, afetando a intensidade e a frequência dos eventos pluviais (Cai et al., 2020). Destaca-se que as oscilações do ENOS têm demonstrado influências

significativas na pluviosidade, expressas em termos de períodos de seca e enchentes na Amazônia (Pedreira Junior et al., 2020).

As áreas com temperatura média anual mais elevada ocorrem nos perfis AM-01, AM-07, AM-08, AM-11, AM-12, AM-15, AM-16 e PA-14. Considerando que os nomes das localidades ocupariam um espaço considerável no mapa, dificultando a visualização devido à escala, estão apresentados na Tabela 4.1 os nomes das localidades correspondentes aos perfis dos solos avaliados durante as atividades de campo na XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC das várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno (XV RCC).

Tabela 4.1. Simbologia dos perfis e suas respectivas localizações.

Perfis	Localização
AM-01	Manaus, CE, Caldeirão
AM-02	Itacoatiara, margem da rodovia AM-010
AM-05	Itacoatiara, planície interna
AM-06	Itacoatiara, dique da planície
AM-08	Manaus, AM-070 km 42 (Iranduba)
AM-09	Manaus, BR-174
AM-11	Parintins, margem do Amazonas
AM-12	Parintins, planície interna
AM-15	Parintins, dique da planície (ilha)
AM-16	Parintins, várzea interna da ilha
PA-05	Santarém, Belterra
PA-06	Santarém, Ponte de Pedras
PA-07	Santarém, Belterra
PA-13	Parintins, dique da planície, Fazenda São Joaquim
PA-14	Parintins, várzea interna, Fazenda São Joaquim
PA-17	Santarém, Tiningu

Ao analisar os resultados apresentados na Figura 4.3, nota-se que os valores ultrapassaram os 27,5°C. Com relação às temperaturas extremas máximas, verificou-se que dominantemente os perfis estão na faixa térmica variando entre 31,5 e 32,0°C. Apenas os perfis AM-01, AM-07 e AM-08 encontram-se na faixa térmica entre 32,0 e 32,5°C (Figura 4.4), bem

como as menores mínimas foram detectadas nos perfis localizados no estado do Pará, indicando que as madrugadas com os menores valores térmicos ocorrem entre 22,0 e 22,5°C, nos perfis PA (05, 06, 07 e 17). Os dois perfis de solo PA-14 e PA-15 e os demais perfis no estado do Amazonas possuem temperaturas mínimas superiores a 22,5°C (Figura 4.5). Observou-se que as tardes em que as temperaturas máximas são mais elevadas (32,0 e 32,5°C) ocorrem nos perfis AM-01, AM-07 e AM-08, e as madrugadas com temperaturas mais baixas ocorrem nos perfis PA-05, PA-06, PA-07 e PA-17 (22,0 e 22,5°C).

Quando se trata de planejamento de uso e conservação dos solos, as atenções devem ser focadas nas reduções dos estoques de água, expressos pelo atendimento da demanda evapotranspiratória, tendo a variável evapotranspiração potencial (ETo), estimada pelo balanço hídrico no solo, onde os valores de deficiência hídrica na área de estudo são indicadores de necessidade de reposição hídrica em cultivos de sequeiro. A saída de água na matriz do solo (Evett et al., 2012) influencia diretamente em processos como a mineralização de nutrientes e a atividade microbiana no solo, os quais estão associados com a fertilidade e a estrutura do solo. A compreensão desse processo auxilia no planejamento de práticas de conservação do solo e de gestão sustentável da água, especialmente em áreas que costumam enfrentar secas prolongadas (Wanniarachchi; Sarukkalige, 2022). A análise da ETo não apenas complementa os estudos pedológicos, mas também possibilita o desenvolvimento de estratégias de manejo que garantam a produtividade agrícola e a conservação dos recursos hídricos.

Assim sendo, é fundamental que a análise seja realizada conjuntamente, pois, apesar de a faixa evapotranspiratória estar entre 1.250 e 1.300 mm nos perfis AM (01, 02, 05, 07, 08 e 09), os estoques hídricos são maiores no perfil AM-09 do que entre os demais, ou seja, nesse perfil ocorre os menores déficits hídricos (11 e 23 mm) na área estudada. Verificou-se que ao compará-lo com os perfis analisados no Amazonas os valores de déficits variam entre 23 e 52 mm. Os maiores valores de ETo foram observados no PA-06, que foram superiores a 1400 mm, mas os valores de deficiência são semelhantes aos do PA-05 e PA-07, os quais variam entre 123 e 155 mm (Figura 4.6 e Figura 4.7).

As reduções na oferta pluvial tendem a reduzir a umidade do solo e, consequentemente, promovem impactos significativos no ciclo hidrológico na região (Vilanova et al., 2021). Quando o solo entra em deficiência hídrica, reduz-se a capacidade de retenção de nutrientes, o que compromete também a atividade microbiana. Em eventos pluviais erráticos nesses períodos de estresses, devido à desagregação de partículas, nutrientes essenciais, como nitrogênio e fósforo, são facilmente lixiviados, comprometendo a fertilidade do solo (Nasser et al., 2021). A deficiência hídrica pode levar ao empacotamento do solo, reduzindo sua porosidade e, consequentemente, a infiltração de água e a aeração, fatores críticos ao crescimento e ao desenvolvimento das plantas.

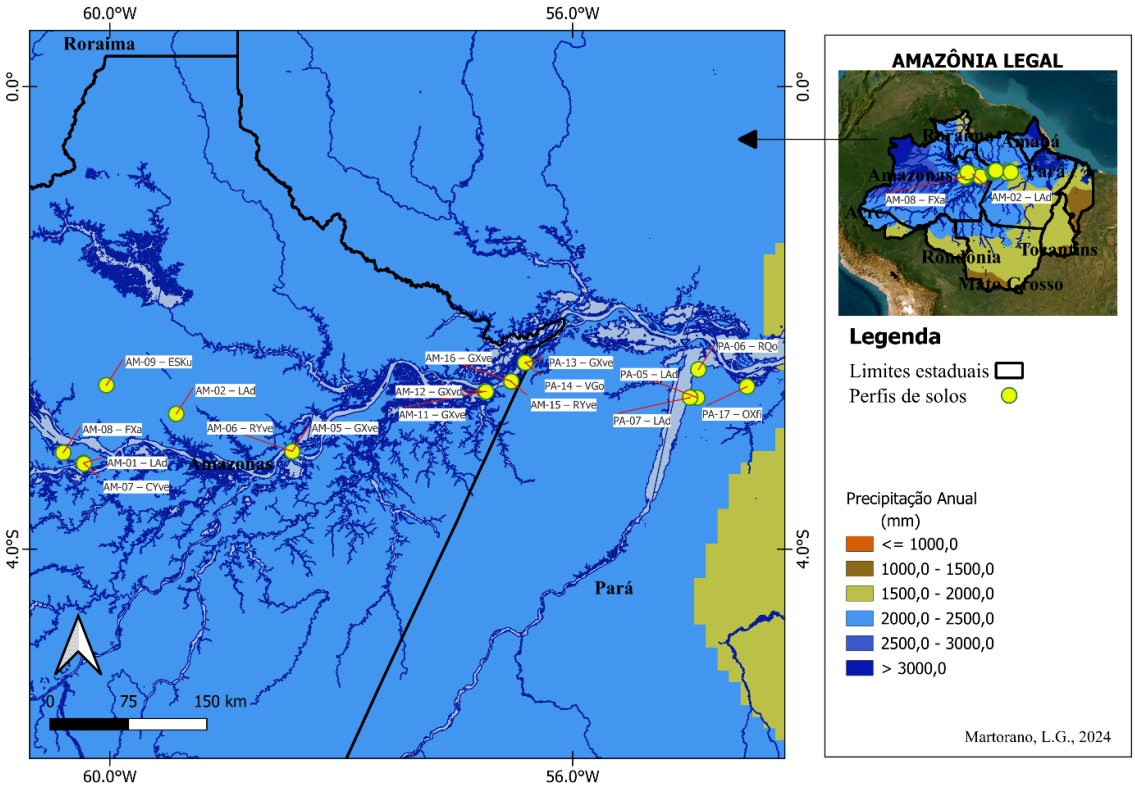


Figura 4.2. Precipitação pluvial (mm) nas áreas dos perfis de solos da XV RCC.

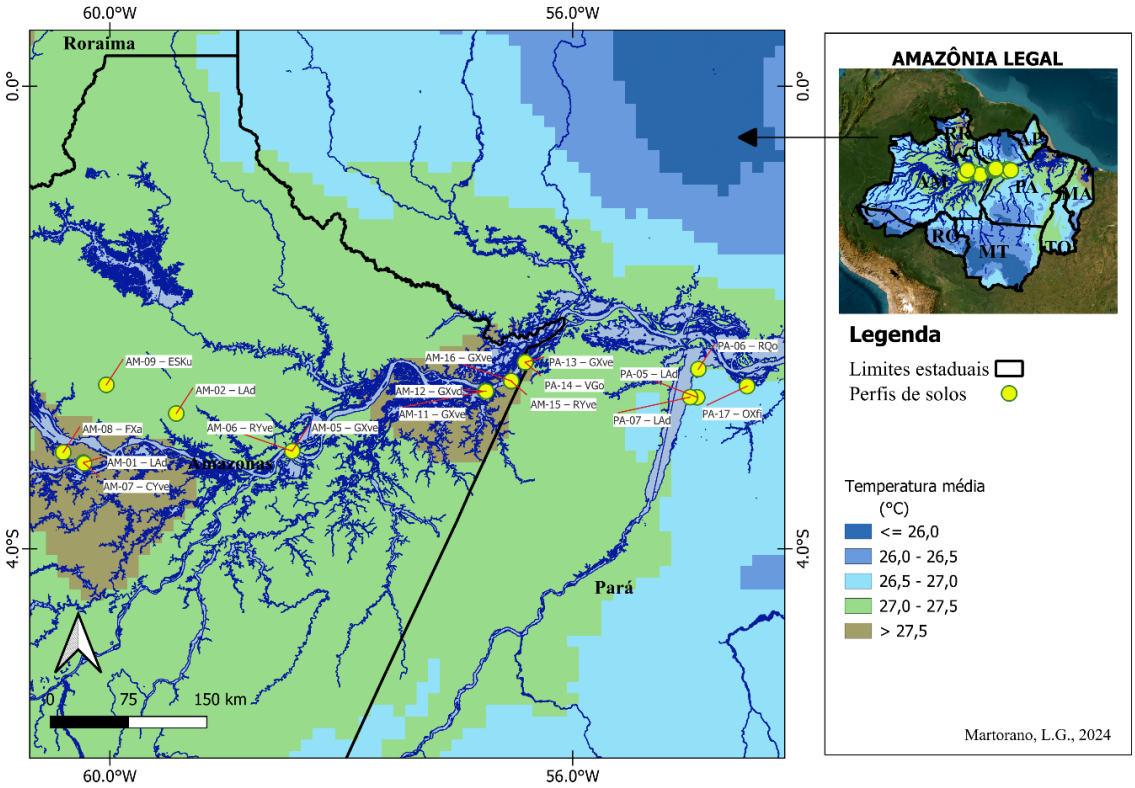


Figura 4.3. Temperatura média anual (°C) nas áreas dos perfis de solos da XV RCC.

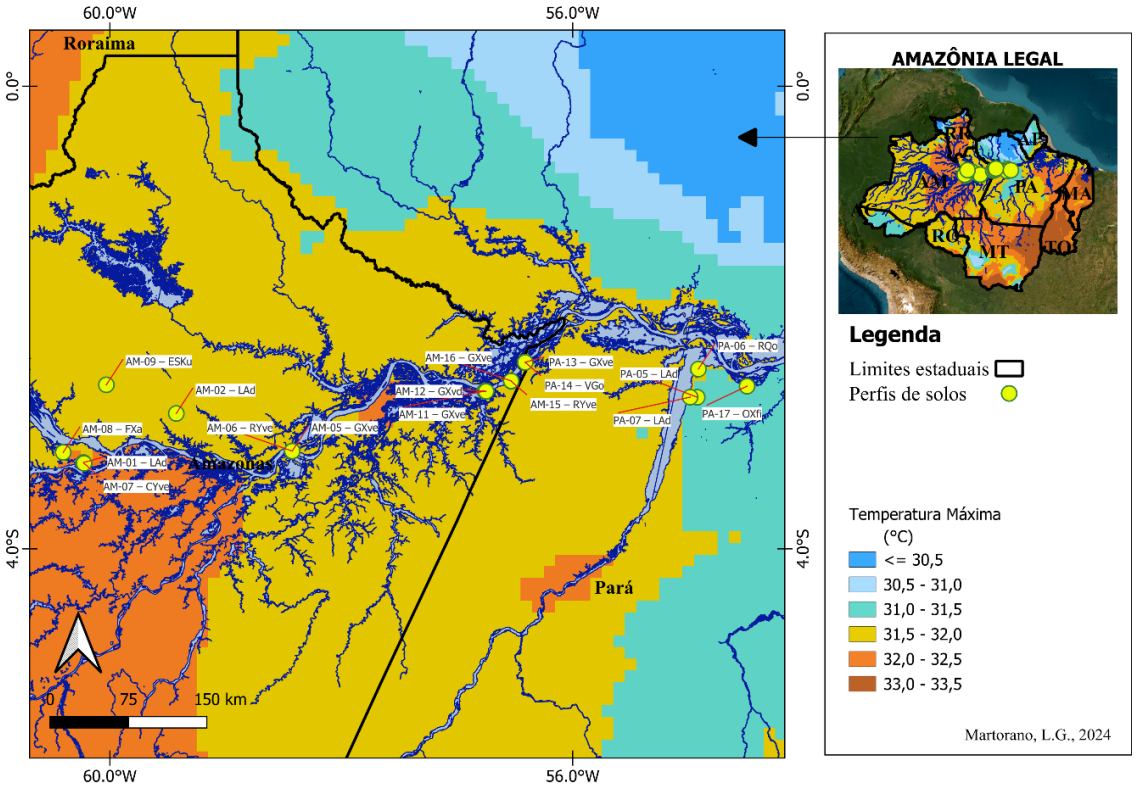


Figura 4.4. Temperatura máxima anual (°C) nas áreas dos perfis de solos da XV RCC.

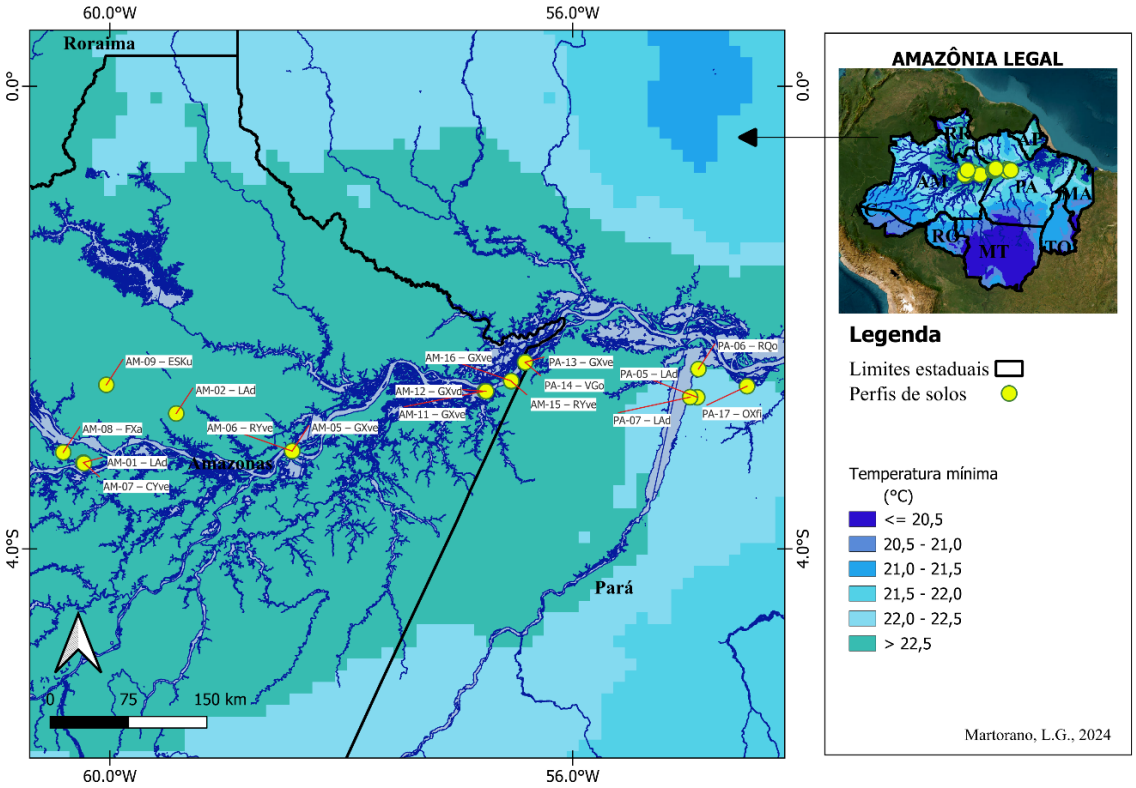


Figura 4.5. Temperatura mínima anual (°C) nas áreas dos perfis de solos da XV RCC.

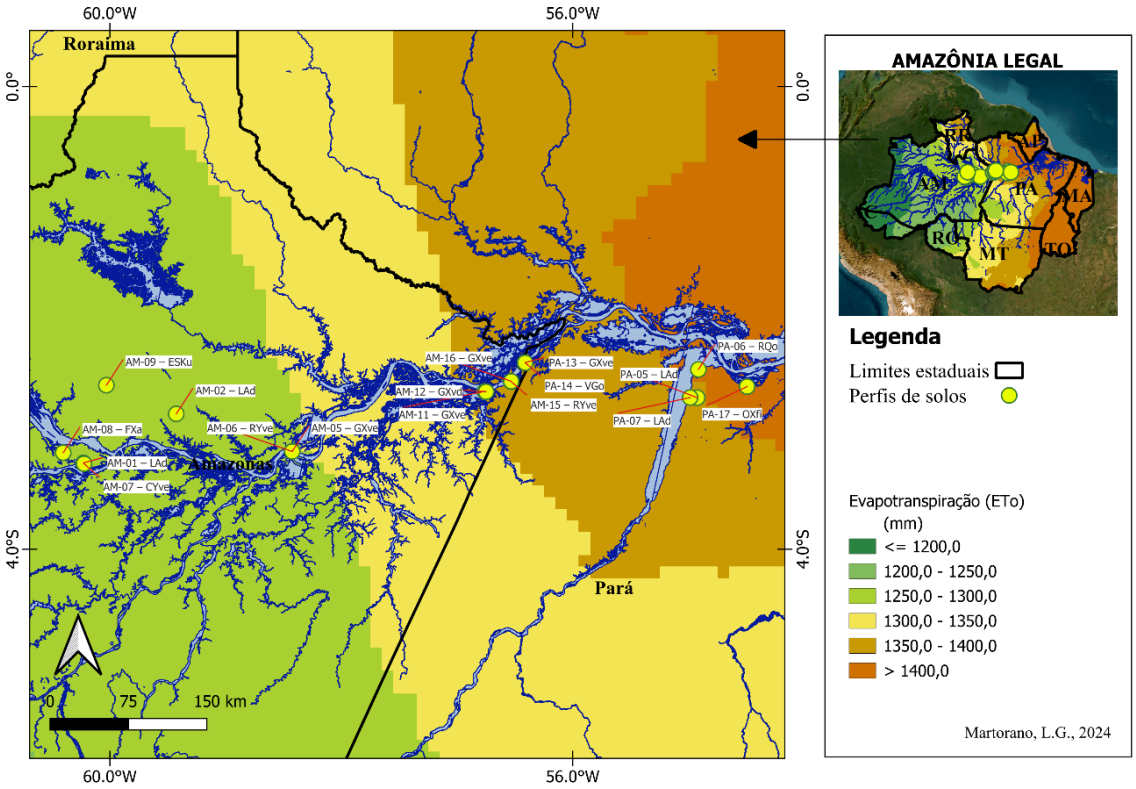


Figura 4.6. Evapotranspiração média anual (ETo em mm) nas áreas dos perfis de solos da XV RCC.

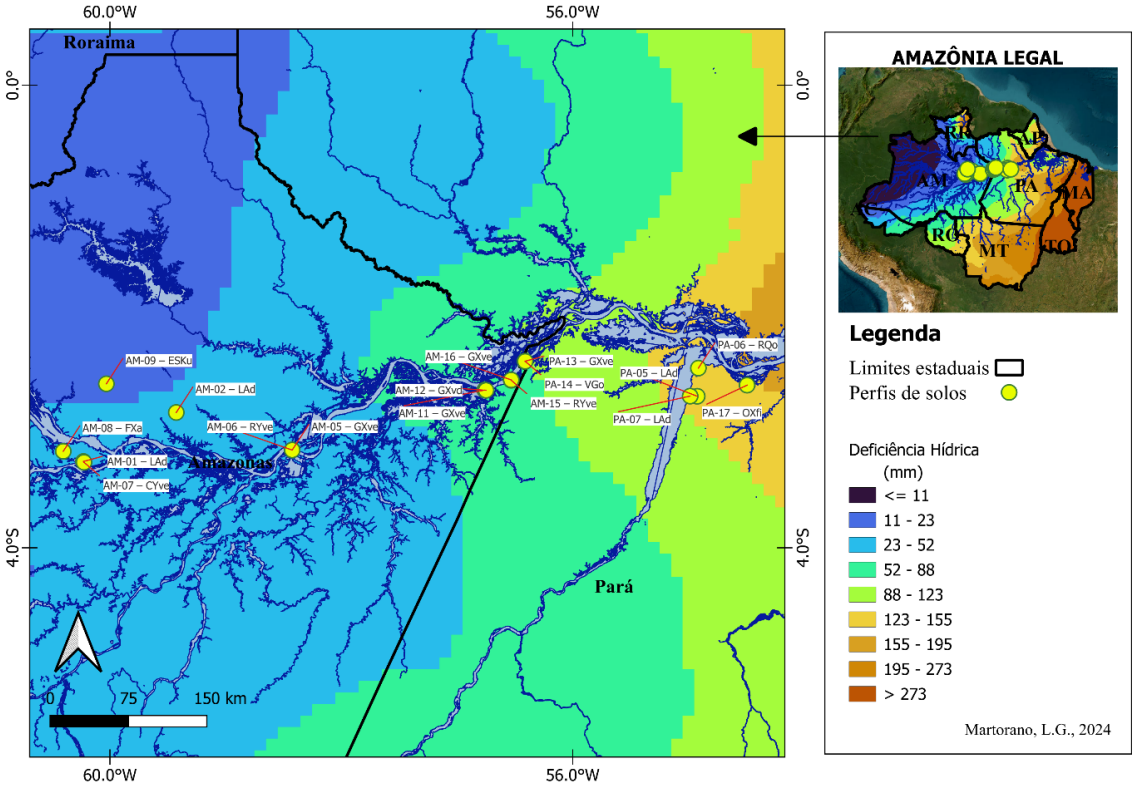


Figura 4.7. Deficiência hídrica anual (mm) nas áreas dos perfis de solos da XV RCC.

Para facilitar a identificação das faixas climáticas, apresentou-se na Tabela 4.2 os valores das variáveis analisadas correspondentes aos perfis selecionados pela equipe da XV RCC.

Tabela 4.2. Valores climáticos de variáveis meteorológicas nas áreas onde estão inseridos os perfis de solos da XV RCC.

Perfis	Precipitação pluvial[(1)]	Tmed	Tmáx	Tmín	ETo	DEF
	mm	---------- ºC ----------			------ mm -----	
AM-01	2000-2500	>27,5	32,0-32,5	>22,5	1250-1300	23-52
AM-02	2000-2500	27,0-27,5	31,5-32,0	>22,5	1250-1300	23-52
AM-05	2000-2500	27,0-27,5	31,5-32,0	>22,5	1250-1300	23-52
AM-06	2000-2500	27,0-27,5	31,5-32,0	>22,5	1250-1300	23-52
AM-07	2000-2500	>27,5	32,0-32,5	>22,5	1250-1300	23-52
AM-08	2000-2500	>27,5	32,0-32,5	>22,5	1250-1300	23-52
AM-09	2000-2500	27,0-27,5	31,5-32,0	>22,5	1250-1300	11-23
AM-11	2000-2500	>27,5	31,5-32,0	>22,5	1350-1400	52-88
AM-12	2000-2500	>27,5	31,5-32,0	>22,5	1350-1400	52-88
AM-15	2000-2500	>27,5	31,5-32,0	>22,5	1350-1400	52-88
AM-16	2000-2500	>27,5	31,5-32,0	>22,5	1350-1400	52-88
PA-05	2000-2500	26,5-27,0	31,0-31,5	22,0-22,5	1350-1400	123-155
PA-06	2000-2500	26,5-27,0	31,0-31,5	22,0-22,5	>1400	123-155
PA-07	2000-2500	26,5-27,0	31,0-31,5	22,0-22,5	1350-1400	123-155
PA-13	2000-2500	>27,5	31,5-32,0	>22,5	1350-1400	52-88
PA-14	2000-2500	>27,5	31,5-32,0	>22,5	1350-1400	52-88
PA- 17	2000-2500	26,5-27,0	31,0-31,5	22,0-22,5	>1400	123-155

[(1)] Faixa pluvial média da série histórica (PRP).

4. Considerações finais

O regime de precipitação é semelhante em todos os perfis, ou seja, os solos estão regidos pela mesma faixa pluvial, mas as taxas evapotranspiratórias possuem valores diferenciados. Apesar de todos os pontos estarem regidos pela mesma faixa pluvial anual, o mesmo não ocorre com as temperaturas máximas, mínimas e médias. As análises dos dados apontam que as variáveis climáticas, como temperatura do ar e evapotranspiração, influenciam diretamente na qualidade e na disponibilidade de água no solo, o que é essencial para a gestão agrícola.

Referências

AMIN, H.; AHSAN, M.; NIAZ, A.; GUL, R.; NAWAZ, S.; SHAH, S.; ALI, S.; AHMAD, F.; MUNIR, A.; AHMAD, H. Climate change impacts on soil properties and agricultural productivity. **Biological and Clinical Sciences Research Journal**, v. 2023, n. 1, 618, 2023. DOI: https://doi.org/10.54112/bcsrj.v2023i1.618.

ARAGÃO, L. E. O. C.; ANDERSON, L. O.; FONSECA, M. G.; ROSAN, T. M.; VEDOVATO, L. B.; WAGNER, F. H.; SILVA, C. V. J.; SILVA JUNIOR, C. H. L.; ARAI, E.; AGUIAR, A. P.; BARLOW, J.; BERENGUER, E.; DEETER, M. N.; DOMINGUES, L. G., GATTI, L.; GLOOR, M.; MALHI, Y.; MARENGO, J. A.; MILLER, J. B.; PHILLIPS, O. L.; SAATCHI, S. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature Communications**, v. 9, 536, 2018. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y.

BATTISTI, R.; BENDER, F. D.; SENTELHAS, P. C. Assessment of different gridded weather data for soybean yield simulations in Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 135, p. 237-247, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/s00704-018-2383-y.

BENDER, F. D.; SENTELHAS, P. C. Solar radiation models and gridded databases to fill gaps in weather series and to project climate change in Brazil. **Advances in Meteorology**, v. 2018, 6204382, 2018. DOI: https://doi.org/10.1155/2018/6204382.

BERENGUER, E.; LENNOX, G. D.; FERREIRA, J. N.; MALHI, Y.; ARAGÃO, L. E. O. C.; BARRETO, J. R.; ESPÍRITO-SANTO, F. del B.; FIGUEIREDO, A. E. S.; FRANÇA, F.; GARDNER, T. A.; JOLY, C. A.; PALMEIRA, A. F.; QUESADA, C. A.; ROSSI, L. C.; SEIXAS, M. M. M. de; SMITH, C. C.; WITHEY, K.; BARLOW, J. Tracking the impacts of El Niño drought and fire in human-modified Amazonian forests. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 118, n. 30, e2019377118, 2021. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.2019377118.

BOOKHAGEN, B.; STRECKER, M. R. Modern Andean rainfall variation during ENSO cycles and its impact on the Amazon drainage basin. In: HOORN, C.; WESSELINGH, F. P. (ed.). **Amazonia**: landscape and species evolution: a look into the past. Chichester: Blackwell Publishing, 2010. cap. 14, p. 223-243. DOI: https://doi.org/10.1002/9781444306408.ch14.

CAI, W.; MCPHADEN, M. J.; GRIMM, A. M.; RODRIGUES, R. R.; TASCHETTO, A. S.; GARREAUD, R. D.; DEWITTE, B.; POVEDA, G.; HAM, Y.-G.; SANTOSO, A.; NG, B.; ANDERSON, W.; WANG, G.; GENG, T.; JO, H.-S.; MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; OSMAN, M.; LI, S.; WU, L.; KARAMPERIDOU, C.; TAKAHASHI, K.; VERA, C. Climate impacts of the El Niño-Southern oscillation on South America. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, n. 4, p. 215-231, 2020. DOI: https://doi.org/10.1038/s43017-020-0040-3.

CHAVE, J.; RÉJOU-MÉCHAIN, M.; BÚRQUEZ, A.; CHIDUMAYO, E.; COLGAN, M. S.; DELITTI, W. B. C.; DUQUE, A.; EID, T.; FEARNSIDE, P. M.; GOODMAN, R. C.; HENRY, M.; MARTÍNEZ-YRÍZAR, A.; MUGASHA, W. A.; MULLER-LANDAU, H. C.; MENCUCCINI, M.; NELSON, B. W.; NGOMANDA, A.; NOGUEIRA, E. M.; ORTIZ-MALAVASSI, E.; PÉLISSIER, R.; PLOTON, P.; RYAN, C. M.; SALDARRIAGA, J. G.; VIEILLEDENTET, G. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global Change Biolology**, v. 20, p. 3177-3190, 2014. DOI: https://doi.org/10.1111/gcb.12629.

COSTANZA, R.; DE GROOT, R.; SUTTON, P.; PLOEG, S. van der; ANDERSON, S. J.; KUBISZEWSKI, I.; FARBER, S.; TURNER, R. K. Changes in the global value of ecosystem services. **Global Environmental Change**, v. 26, p. 152-158, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002.

DRUMOND, A.; MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; NIETO, R.; MOREIRA, L.; GIMENO, L. The role of Amazon Basin moisture on the atmospheric branch of the hydrological cycle: a Lagrangian analysis. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 18, n. 7, p. 2577-2598, 2014. DOI: https://doi.org/10.5194/hess-18-2577-2014.

DUARTE, Y. C. N.; SENTELHAS, P. C. NASA/POWER and DailyGridded weather datasets: how good they are for estimating maize yields in Brazil? **International Journal of Biometeorology**, v. 64, n. 3, p. 319-329, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s00484-019-01810-1.

EVETT, S. R.; SCHWARTZ, R. C.; CASANOVA, J.; HENG, L. K. Soil water sensing for water balance, ET and WUE. **Agricultural Water Management**, v. 104, p. 1-9, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.12.002.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302-4315, 2017. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.5086.

FLORES, B. M.; MONTOYA, E.; SAKSCHEWSKI, B.; NASCIMENTO, N.; STAAL, A.; BETTS, R. A.; LEVIS, C.; LAPOLA, D. M.; ESQUÍVEL-MUELBERT, A.; JAKOVAC, C.; NOBRE, C. A.; OLIVEIRA, R. S.; BORMA, L. S.; NIAN, D.; BOERS, N.; HECHT, S. B.; TER STEEGE, H.; ARIEIRA, J.; LUCAS, I. L.; BERENGUER, E.; MARENGO, J. A.; GATTI, L. V.; MATTOS, C. R. C.; HIROTA, M. Critical transitions in the Amazon forest system. **Nature**, v. 626, p. 555-564, 2024. DOI: https://doi.org/10.1038/s41586-023-06970-0.

GATTI, L. V.; BASSO, L. S.; MILLER, J. B.; GLOOR, M.; DOMINGUES, L. G.; CASSOL, H. L. G.; TEJADA, G.; ARAGÃO, L. E. O. C.; NOBRE, C.; PETERS, W.; MARANI, L.; ARAI, E.; SANCHES, A. H.; CORRÊA, S. M.; ANDERSON, L.; VON RANDOW, C.; CORREIA, C. S. C.; CRISPIM, S. P.; NEVES, R. A. L. Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. **Nature**, v. 595, p. 388-393, 2021. DOI: https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6.

GUAN, Y.; LU, H.; JIANG, Y.; TIAN, P.; QIU, L.; PELLIKKA, P.; HEISKANEN, J. Changes in global climate heterogeneity under the 21st century global warming. **Ecological Indicators**, v. 130, 108075, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108075.

HUANG, B.; MEHTA, V. M. Influences of freshwater from major rivers on global ocean circulation and temperatures in the MIT ocean general circulation model. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 27, p. 455-468, 2010. DOI: https://doi.org/10.1007/s00376-009-9022-6.

FISCHLIN, A.; JUNG, Y.; LEPRINCE-RINGUET, N.; LUDDEN, C.; PÉAN, C.; ROMERO, J. (ed.). Annex II: acronyms, chemical symbols and scientific units. In: CORE WRITING TEAM; LEE, H.; ROMERO, J. (ed.). **Climate change 2023**: synthesis report. Geneva: IPCC, 2023. p. 131-133. Contribution of working groups I, II and III to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. DOI: https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.003.

LAGANIÈRE, J.; ANGERS, D. A.; PARÉ, D. Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: a meta-analysis. **Global Change Biology**, v. 16, n. 1, p. 439-453, 2010. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01930.x.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004. DOI: https://doi.org/10.1126/science.1097396.

LAURANCE, W. F.; COCHRANE, M. A.; BERGEN, S.; FEARNSIDE, P. M.; DELAMÔNICA, P.; BARBER, C.; D'ANGELO, S.; FERNANDES, T. The future of the Brazilian Amazon. **Science**, v. 291, n. 5503, p. 438-439, 2001. DOI: https://doi.org/10.1126/science.291.5503.438.

MARTORANO, L. G.; BRIENZA JUNIOR, S.; LISBOA, L. S. S.; MORAES, J. R. da S. C. de; APARECIDO, L. E. de O.; DIAS, C. T. dos S. A methodological proposal for topoclimatic zoning of native forest species in the Brazilian Amazon. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 156, n. 5, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s00704-025-05478-z.

MARTORANO, L. G.; PEREIRA, L. C.; NECHET, D. Tipologia climática do estado do Pará: adaptação do método de Koppen. **Boletim de Geografia Teorética**, v. 23, n. 45/46, p. 307-312, 1993. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1173850/1/Tipologia-climatica-do-estado-do-Para-1993.pdf. Acesso em: 23 jul. 2025.

MARTORANO, L. G.; SOARES, W. B.; MORAES, J. R. da S. C. de; NASCIMENTO, W.; APARECIDO, L. E. de O.; VILLA, P. M. Climatology of air temperature in Belterra: thermal regulation ecosystem services provided by the Tapajós National Forest in the Amazon. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 2, p. 327-337, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-77863620015.

MARTORANO, L. G.; VITORINO, M. I.; SILVA, B. P. P. C. da; MORAES, J. R. da S. C. de; LISBOA, L. S.; SOTTA, E. D.; REICHARDT, K. Climate conditions in the eastern amazon: rainfall variability in Belem and

indicative of soil water deficit. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 21, p. 1801-1810, 2017. DOI: https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11801.

NASSER, M. D.; JACON, C. P. R. P.; TAVARES, M. B.; KOHORI, C. B.; FERREIRA, J. P. S.; ZONTA, A. Chemical attributes of soils managed by a sugar and alcohol plant located in Nova Alta Paulista. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, e54310313053, 2021. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13053.

PEDREIRA JUNIOR, A. L.; QUERINO, C. A. S.; BIUDES, M. S.; MACHADO, N. G.; SANTOS, L. O. F. dos; IVO, I. O. Influence of El Niño and La Niña phenomena on seasonality of the relative frequency of rainfall in southern Amazonas mesoregion. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 25, e24, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190152.

PHILLIPS, O. L.; ARAGÃO, L. E. O. C.; LEWIS, S. L.; FISHER, J. B.; LLOYD, J. G.; LÓPEZ-GONZÁLEZ, G.; MALHI, Y.; MONTEAGUDO, A; PEACOCK, J.; QUESADA, C. A.; G. VAN DER HEIJDEN, G.; ALMEIDA, S.; AMARAL, I.; ARROYO, L.; AYMARD, G.; BAKER, T. R.; BÁNKI, O.; BLANC, L; BONAL, D. P.; BRANDO, J.; CHAVE, Á. C. A. de; OLIVEIRA, N. D.; CARDOZO, C. I.; CZIMCZIK, T. R.; FELDPAUSCH, M. A.; FREITAS, E.; GLOOR, N.; HIGUCHI, E.; JIMÉNEZ, G.; LLOYD, P.; MEIR, C.; MENDOZA, A.; MOREL, D. A.; NEILL, D.; NEPSTAD, S.; PATIÑO, M. C.; PEÑUELA, A.; PRIETO, F.; RAMÍREZ, M.; SCHWARZ, J.; SILVA, M.; SILVEIRA, A. S.; THOMAS, H. T.; STEEGE, J.; STROPP, R.; VÁSQUEZ, P.; ZELAZOWSKI, E.; ALVAREZ DÁVILA, S.; ANDELMAN, A.; ANDRADE, K.-J.; CHAO, T.; ERWIN, A.; DI FIORE, E.; HONORIO, C. H.; KEELING, T. J.; KILLEEN, W. F.; LAURANCE, A.; PEÑA CRUZ, N. C. A.; PITMAN, P.; NÚÑEZ VARGAS, H.; RAMÍREZ-ANGULO, A.; RUDAS, R.; SALAMÃO, N.; SILVA, J.; TERBORGH, J.; TORRES-LEZAMA, A. Drought sensitivity of the Amazon rainforest. **Science**, v. 323, n. 5919, p. 1344-1347, 2009. DOI: https://doi.org/10.1126/science.1164033.

RAMÍREZ, V. S.; MATOS, A. T. de. Influência da textura do solo receptor e das condições climáticas e ambientais na taxa e fração de mineralização da matéria orgânica no solo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n. 2, p. 315-323, 2022. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-415220200122.

RUANE, A. C.; GOLDBERG, R.; CHRYSSANTHACOPOULOS, J. Climate forcing datasets for agricultural modeling: merged products for gap-filling and historical climate series estimation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 200, p. 233-248, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.09.016.

SANTOS, C. A. G.; SANTOS, D. C. dos; BRASIL NETO, R. M.; OLIVEIRA, G. de; SANTOS, C. A. C. dos; SILVA, R. M. da. Analyzing the impact of ocean-atmosphere teleconnections on rainfall variability in the Brazilian Legal Amazon via the Rainfall Anomaly Index (RAI). **Atmospheric Research**, v. 307, 107483, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2024.107483.

SMITH, P.; ASHMORE, M. R.; BLACK, H. I. J.; BURGESS, P. J.; EVANS, C. D.; QUINE, T. A.; THOMSON, A. M.; HICKS, K.; ORR, H. G. The role of ecosystems and their management in regulating climate, and soil, water and air quality. **Journal of Applied Ecology**, v. 50, n. 4, p. 812-829, 2013. DOI: https://doi.org/10.1111/1365-2664.12016.

SOUZA, E. B. de; KAYANO, M. T.; TOTA, J.; PEZZI, L.; FISCH, G.; NOBRE, C. On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. **Acta Amazonica**, v. 30, n. 2, p. 305-318, 2000. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-43922000302318.

SINGH, S. Forest fire emissions: a contribution to global climate change. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 5, 925480, 2022. DOI: https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.925480.

STACKHOUSE JUNIOR, P. W.; WONG, T.; KRATZ, D. P.; SAWAENGPHOKAI, P.; WILBER, A. C.; GUPTA, S. K.; LOEB, N. G. Earth radiation budget at top-of-atmosphere [in "State of the climate in 2018"]. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 100, n. 9, p. S46-S48, 2019. Special supplement. DOI: https://doi.org/10.1175/2019BAMSStateoftheClimate.1.

TAVARES, J. V.; OLIVEIRA, R. S.; MENCUCCINI, M.; SIGNORI-MUELLER, C.; PEREIRA, L.; DINIZ, F. C.; GILPIN, M.; ZEVALLOS, M. M. J.; YUPAYCCANA, C. S. A.; ACOSTA, M.; MULLISACA, F. P.; BARROS, F. V.; BITTENCOURT, P.; JANCOSKI, H.; SCALON, M. C.; MARIMON, B. S.; MENOR, I. O.; MARIMON JR, B. H.; FANCOURT, M.; CHAMBERS-OSTLER, A.; ESQUIVEL-MUELBERT, A.; ROWLAND, L.; MEIR, P.; DA COSTA, A. C. L.; NINA, A.; SANCHEZ, J. M. B.; TINTAYA, J. S.; CHINO, R. S. C.; BACA, J.; FERNANDES, L.; CUMAPA, E. R. M.; SANTOS, J. A. R.; TEIXEIRA, R.; TELLO, L.;

UGARTECHE, M. T. M.; CUELLAR, G. A.; MARTINEZ, F.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; ALMEIDA, E.; DA CRUZ, W. J. A.; PASQUEL, J. A.; ARAGAO, L.; BAKER, T. R.; DE CAMARGO, P. B.; BRIENEN, R.; CASTRO, W.; RIBEIRO, S. C. de; SOUZA, F. C.; COSIO, E. G.; CARDOZO, N. D.; SILVA, R. C.; DISNEY, M.; ESPEJO, J. S.; FELDPAUSCH, T. R.; FERREIRA, L.; GIACOMIN, L.; HIGUCHI, N.; HIROTA, M.; HONORIO, E.; HUASCO, W. H.; LEWIS, S.; LLAMPAZO, G. F.; MALHI, Y.; MENDOZA, A. M.; MORANDI, P.; MOSCOSO, V. C.; MUSCARELLA, R.; PENHA, D.; ROCHA, M. C.; RODRIGUES, G.; RUSCHEL, A. R.; SALINAS, N.; SCHLICKMANN, M.; SILVEIRA, M.; TALBOT, J.; VASQUEZ, R.; VEDOVATO, L.; VIEIRA, S. A.; PHILLIPS, O. L.; GLOOR, E.; GALBRAITH, D. R. Basin-wide variation in tree hydraulic safety margins predicts the carbon balance of Amazon forests. **Nature**, v. 617, p. 111-117, 2023. DOI: https://doi.org/10.1038/s41586-023-05971-3.

VAN DER MOLEN, M. K.; DOLMAN, A. J.; CIAIS, P.; EGLIN, T.; GOBRON, N.; LAW, B. E.; MEIR, P.; PETERS, W.; PHILIPS, O. L.; REICHSTEIN, M.; CHEN, T.; DEKKER, S. C.; DOUBKOVÁ, M.; FRIEDL, M. A.; JUNG, M.; VAN DEN HURK, B. J. J. M.; DE JEU, R. A. M.; KRUIJT, B.; OHTA, T.; REBEL, K. T.; PLUMMER, S.; SENEVIRATNE, S. I.; SITCH, S.; TEULING, A. J.; VAN DER WERF, G. R.; WANG, G. Drought and ecosystem carbon cycling. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 151, n. 7, p. 765-773, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.01.018.

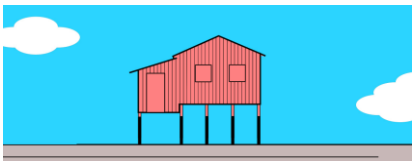
VILANOVA, R. S.; DELGADO, R. C.; ANDRADE, C. F. de, SANTOS, G. L. dos, MAGISTRALI, I. C.; OLIVEIRA, C. M. M. de; TEODORO, P. E.; SILVA, G. F. C.; SILVA JUNIOR, C. A. da; RODRIGUES, R. de A. Vegetation degradation in ENSO events: drought assessment, soil use and vegetation evapotranspiration in the western Brazilian Amazon. **Remote Sensing Applications**: society and environment, v. 23, 100531, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100531.

WANNIARACHCHI, S.; SARUKKALIGE, R. A review on evapotranspiration estimation in agricultural water management: past, present, and future. **Hydrology**, v. 9, n. 7, 123, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/hydrology9070123.

XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W.; ALVES, A. I. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). **International Journal of Climatology**, v. 42, n. 16, p. 8390-8404, 2022. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.7731.

YANG, J.; WANG, Z.; CHANG, Q.; LIU, Z.; JIANG, Q.; FAN, X.; MENG, D.; BAI, E. Temperature effects on microbial carbon use efficiency and priming effects in soils under vegetation restoration. **Catena**, v. 249, 108632, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108632.

Capítulo 5



As formações vegetais na região do Médio Rio Amazonas e entorno

Veridiana Vizoni Scudeller

1. Introdução

A Amazônia é um dos biomas com maior biodiversidade do planeta, onde predomina a floresta tropical, mas também onde ocorrem outros diferentes tipos de formações vegetais, florestal ou não, tais como campinaranas, campos rupestres, florestas alagáveis, formações pioneiras e savanas (Ducke; Black, 1954; Anderson, 1981; Veloso et al., 1991). O bioma Amazônia estende-se ao longo de nove países da América do Sul, abrangendo uma área de 6,4 milhões de km^2, 63% destes em território brasileiro, perfazendo 4.196.943,49 km^2 (Pereira et al., 2010). No Brasil, é formado por 23 unidades biogeográficas denominadas de ecorregiões, representando 48,1% do território brasileiro (Ferreira, 2003). A Bacia Amazônica contém mais da metade de toda a floresta tropical restante no mundo, e a grande maioria dessa área ocorre no território nacional.

A floresta amazônica tem importância para todo o planeta, o que é reconhecido nacional e internacionalmente, principalmente devido a sua extensão e à capacidade de influenciar o clima e o regime de chuvas numa escala muito ampla e com sérios impactos na saúde pública (Ellwanger et al., 2020). Além da alta diversidade de ambientes, ela possui mais de 600 tipos diferentes de habitats terrestres e de água doce, o que resulta em uma riquíssima variedade biológica, com cerca de 45.000 espécies de plantas e vertebrados (Serviço Florestal Brasileiro, 2013). A floresta é o maior reservatório natural de multiplicidade vegetal do planeta, e cada um dos seus diferentes ambientes florestais possui um componente florístico rico e variado, muitas vezes exclusivo (Oliveira; Amaral, 2004).

O número de espécies vegetais nos Neotrópicos e, em particular, na Amazônia é desconhecido. As estimativas são precárias, embora se possa afirmar com certeza que o Neotrópico possui uma riqueza bem maior que o Paleotrópico (Gentry, 1982a). Segundo Almeida et al. (1997), nos últimos 50 anos foram divulgadas dezenas de trabalhos sobre a riqueza florística de diversos pontos da região amazônica. No entanto, para os autores, a maioria das especulações acerca dos padrões de diversidade biológica na Amazônia é inconsistente, uma vez que as bases que as produziram estão relacionadas a eventos geoclimáticos de difícil avaliação, mesmo com os recursos de que dispomos atualmente.

Apesar do acima exposto, Fiaschi e Pirani (2009) estimaram que existem 20.000 espécies de angiospermas, e Ter Steege et al. (2013) avaliaram 16.000 espécies arbóreas ocorrendo na floresta amazônica. Porém, ainda são muito escassos os trabalhos taxonômicos realizados nesse bioma, além de ser pobremente conhecido floristicamente (Hopkins, 2007, 2019), com muitos vazios de coleta botânica. Adicionado a isso, o total de especialistas que trabalham ativamente com a flora amazônica é muito baixo, e muitos deles nem estão alocados na região Norte, sendo preocupante a falta de pessoas capacitadas para a identificação de plantas justamente nas regiões de maior diversidade (Shepherd, 2000; Hopkins, 2019).

Gentry (1982b) e outros autores que estudaram a composição de alguns componentes da flora fanerogâmica da Amazônia sugerem que a diversidade regional segue um gradiente longitudinal, aumentando no sentido Leste-Oeste. No entanto, não se sabe se esse padrão é consistente com a maioria dos grupos de plantas. É provável que esse tenha sido gerado por processos geoclimáticos que atuaram no passado.

Apesar de sua grande relevância para o controle do clima global, a capacidade do bioma Amazônia de mitigar indesejáveis consequências do acúmulo de gases do efeito estufa na atmosfera encontra-se ameaçada por uma drástica alteração do uso da terra, associada à degradação de vários de seus habitats florestados ocorrida nas últimas décadas (Werth; Avissar, 2002; Nepstad et al., 2014), além de uma intensificação na mortalidade das árvores devido às alterações recentes nos padrões de precipitação em partes da Amazônia (Brienen et al., 2015).

O avanço do desmatamento na Amazônia, com a conversão das florestas em áreas para agricultura, pecuária, centros urbanos superpovoados e para outras finalidades, interage com os efeitos das mudanças climáticas e gera pressão sobre o equilíbrio e a continuidade do bioma. As mudanças climáticas globais causam eventos extremos locais na Amazônia, principalmente na forma de secas e cheias prolongadas, em cotas anormais, acompanhadas do aumento da temperatura média. Além disso, esses eventos afetam não somente o componente de biodiversidade como também a sociodiversidade e a economia, estendendo seus impactos às populações locais que subsistem da floresta. A perda em biodiversidade, os danos à infraestrutura, a redução das atividades produtivas e a disseminação de doenças comprometem diretamente as populações tradicionais, que dependem de diversas espécies e das condições socioeconômicas mínimas para sua sobrevivência (Marengo; Espinoza, 2016).

De acordo com Longo e Espíndola (2000), uma ocupação em larga escala, descontrolada e indiscriminada em áreas de floresta, como a amazônica, pode causar consequências ecológicas definitivas, como destruição de bancos genéticos, degradação dos solos, alterações climáticas e dos ciclos hidrológicos, entre outras.

Entretanto, sabe-se que a distribuição de muitas espécies é condicionada localmente pelo substrato, uma vez que são dependentes do solo (Comita; Engelbrecht, 2009; Saporetti-Junior et al., 2012; Corlett; Tomlinson, 2020). Nas florestas amazônicas, vários estudos mostraram que a distribuição de espécies de plantas está associada à variabilidade edáfica e topográfica em diferentes escalas espaciais (Ruokolainen et al., 2002; Tuomisto et al., 2003). Várias hipóteses foram postuladas para inferir a magnitude dos efeitos ambientais – edáficos ou hidrológicos – sobre a estrutura e a diversidade florística das florestas, principalmente nas florestas sobre solo de areia branca, ou as Campinaranas (Coomes; Grubb, 1996; Prance, 1996; Coomes, 1997). Porém, outros autores não observaram essa correlação tão direta de tipo de solo

e tipo de vegetação, evidenciando que outros fatores também influenciam a distribuição das espécies vegetais na Amazônia.

No entanto, Schaefer et al. (2017) destacam que, apesar de a região amazônica estar submetida a um longo e profundo processo de intemperismo, as características químicas e mineralógicas dos solos são surpreendentemente variadas e ditadas pela natureza do material de origem e pelas variações climáticas (regionais e locais). Ainda segundo os autores, áreas extensas de solos eutróficos só existem onde há influência dos sedimentos andinos ou, ainda, onde afloram rochas de riqueza química maior. De modo geral, nas demais áreas, as condições bioclimáticas atuais, aliadas a certa homogeneidade das características do material de origem sedimentar ou cristalino, e geoformas suavizadas levam à formação generalizada de solos muito profundos, intemperizados e pobres, o que, *grosso modo*, determina as principais fitofisionomias amazônicas.

Portanto, o objetivo deste capítulo é descrever os tipos de vegetação observados durante o percurso da *XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos*: RCC das várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno (XV RCC).

2. Área de estudo

A XV RCC abrangeu a região do Médio Rio Amazonas e entorno, saindo de Manaus, AM, e finalizando a expedição em Santarém, PA (Figura 5.1).

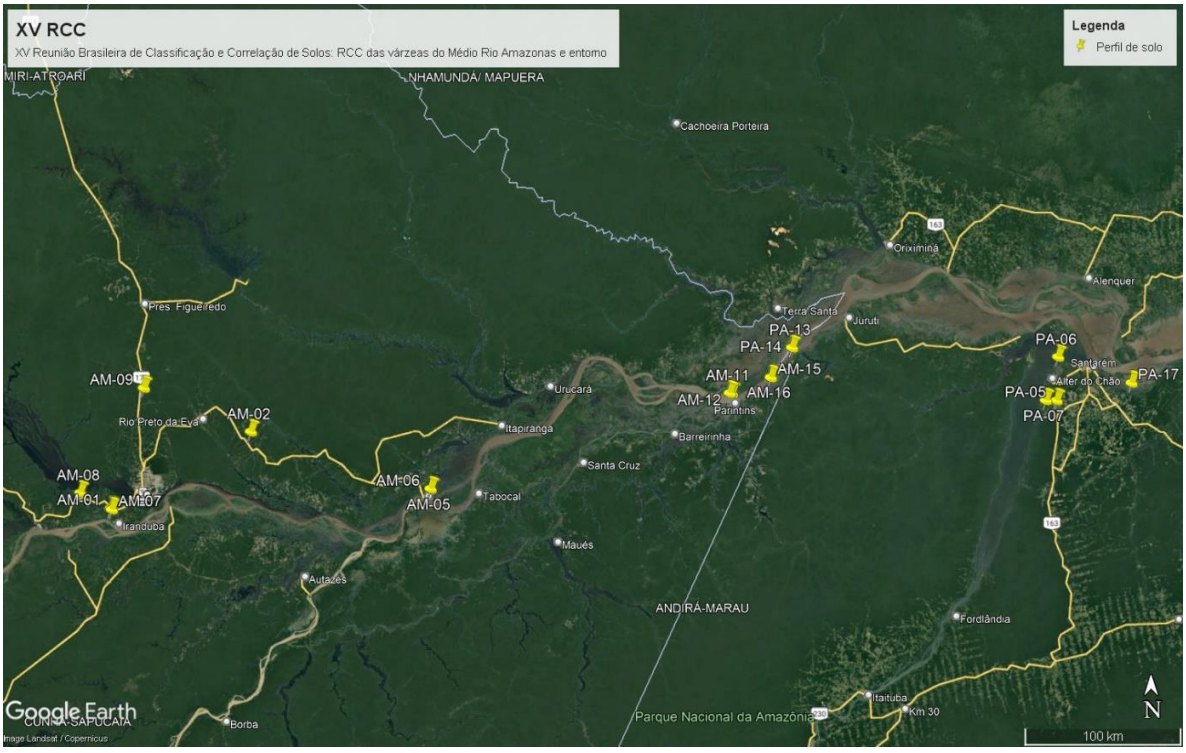


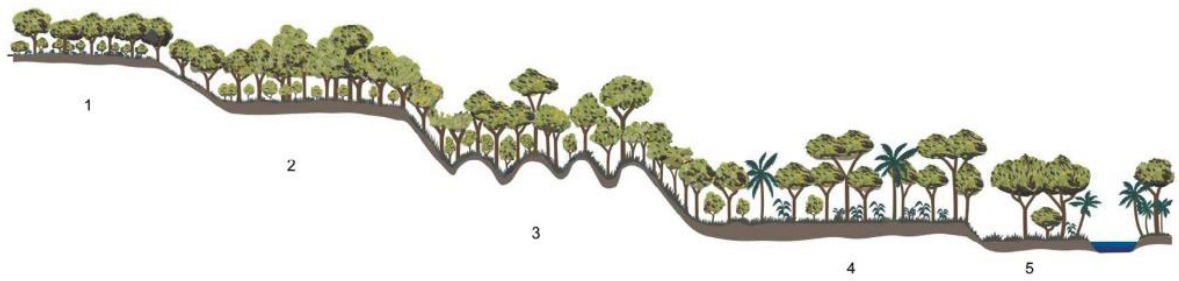
Figura 5.1. Recorte de imagem do Google da área visitada durante a XV RCC.

Portanto, percorreu-se as diversas formações florestais amazônicas, as quais estão descritas e caracterizadas a seguir.

3. Tipos de vegetação da área abrangida pela XV RCC

Segundo a classificação universal do IBGE (2012), a região hileiana (amazônica) apresenta, além da Floresta Ombrófila Densa (Amazônica), três outros tipos de vegetação: a Floresta Ombrófila Aberta, a Floresta Estacional Sempre-Verde e a Campinarana. Também é possível observar ilhas de savana na Amazônia, que oferecem uma curiosa exceção na paisagem predominantemente florestada na região e já foram interpretadas como relíquias de coberturas abertas, outrora mais amplas (Schaefer et al., 2017).

Adotou-se um sistema fisionômico-ecológico para classificar as formações que ocorrem na Amazônia como Floresta Ombrófila Densa, que, por sua vez, está subdividida em cinco formações, ordenadas segundo a hierarquia topográfica, que condiciona fisionomias diferentes, de acordo com as variações das faixas altimétricas (para cada 100 m de altitude, as temperaturas diminuem 1 ºC – considerando o gradiente adiabático do ar seco, entretanto, esse gradiente térmico depende da saturação do ar (Ometto, 1981)), a saber: Formação Aluvial – ocorrendo nos terraços aluviais atuais dos flúvios (constituem fisionomias de matas de várzea ou matas de igapó); Formação das Terras Baixas, relativo aos terrenos sedimentares do Neógeno/Quaternário – terraços, planícies e depressões aplanadas não susceptíveis a inundações; Formação Submontana – encostas dos planaltos e/ou serras e Formação Alto-Montana (Figura 5.2).



1 – Alto-montana 2 – Montana 3 – Submontana 4 – Terras baixas 5 – Aluvial

Figura 5.2. Perfil esquemático da Floresta Ombrófila Densa, ordenada segundo a hierarquia topográfica.

Fonte: Veloso et al. (1991 citados por IBGE, 2012).

A Floresta Ombrófila Aberta (faciações da Floresta Ombrófila Densa), segundo o IBGE (2012), foi considerada durante anos como um tipo de transição entre a Floresta Amazônica e as áreas extra-amazônicas. Apresenta quatro faciações florísticas (palmeiras, bambus, sororoca e cipós) que alteram a fisionomia ecológica da Floresta Ombrófila Densa, imprimindo-lhe espaços sem cobertura do solo, de onde advém o nome adotado (aberta), além dos gradientes climáticos com mais de 60 dias secos por ano, assinalados na curva ombrotérmica.

As Florestas Sempre-Verdes são caracterizadas por apresentar alto verdor no período de estiagem, ocorrendo no estado de Mato Grosso, e estendem-se por toda a região da Bacia Sedimentar dos Parecis, parte das depressões do Guaporé, do Paraguai, do Araguaia e do Planalto de Tapirapuã (IBGE, 2012).

As Campinaranas (caatinga da Amazônia, caatinga-gapó e campina da Amazônia), segundo o IBGE (2012), são um tipo de vegetação que tem o seu *core* situado na porção ocidental norte da Amazônia, descrita inicialmente nas bacias do Alto Rio Negro e Médio Rio Branco, mas ocorre também como disjunções ecológicas, dispersas por toda a hileia, do estado do Acre ao estado do Pará, com penetrações também na Colômbia e na Venezuela.

Além dessas formações, é possível observar extensas áreas de cerrado na região amazônica. A savana (cerrado – nome regionalizado para a região central do Brasil – e lavrado, no estado de Roraima, entre outras denominações) é conceituada como uma vegetação xeromorfa, que ocorre sob distintos tipos de clima (IBGE, 2012). Segundo Schaefer et al. (2017), há diferenças marcantes entre as várias manchas de cerrado amazônico, mas pode-se dizer, de maneira geral, que os cerrados amazônicos são mais pobres floristicamente que os do Planalto Central, evidenciando-se muitas espécies bem adaptadas ao fogo e ao hidromorfismo, condições ecológicas que ainda hoje vigoram. Segundo os autores, elas ocorrem onde há alguma ampliação sensível do período de estiagem e geralmente em áreas úmidas e baixas, mas com cinco ou mais meses secos.

3.1. Floresta Ombrófila Densa – Floresta de Terra Firme

A floresta de terra firme ocupa aproximadamente 65% de uma área de quase 6 milhões de km² da região amazônica (Prance et al., 1976). Esses ambientes são formados por florestas densas e úmidas, que têm como uma de suas principais características a elevada riqueza e diversidade de espécies, sendo o principal tipo vegetacional da Floresta Amazônica (Pires, 1973; Braga, 1979; Guillaumet, 1987). Apesar das subdivisões descritas pelo IBGE (2012) que considera uma hierarquia topográfica, que condiciona fisionomias diferentes, em geral na região do Médio Rio Amazonas predominam as florestas de terras baixas (subdivididas em platô, vertente e baixio) e aluviais. Em apenas um hectare de floresta de terra firme na Amazônia, é possível encontrar entre 155 e 287 espécies de árvores (Gentry, 1988). Situadas principalmente sobre terrenos cenozoicos que foram formados nos últimos 3 a 6 milhões de anos, essas florestas possuem uma extraordinária diversidade biológica, cuja origem pode ser creditada à colonização adjacente a partir de formações geológicas mais antigas, como os planaltos guianense e brasileiro ou pela dispersão pré-deriva continental, a partir da dinâmica da tectônica de placas (Gentry, 1982a), iniciada há cerca de 120 milhões de anos A.P.

De acordo com IBGE (2012), esse tipo de vegetação é caracterizado por fanerófitos (subformas macro- e mesofanerófitos), além de lianas lenhosas e epífitas em abundância, que o diferenciam das outras classes de formações. Porém, seu principal aspecto ecológico é o ambiente ombrófilo. Assim, a característica ombrotérmica da Floresta Ombrófila Densa está presa a fatores climáticos tropicais de elevadas temperaturas (médias de 25 ºC) e de alta precipitação, bem distribuída durante o ano, com praticamente ausência de período biologicamente seco.

Essas porções de terra situadas acima das áreas de influência dos rios e que, portanto, não sofrem hidromorfismo ou inundação fluvial são regionalmente denominadas de terra firme (Schaefer et al., 2017). Entretanto, as florestas de terra firme não são homogêneas estrutural

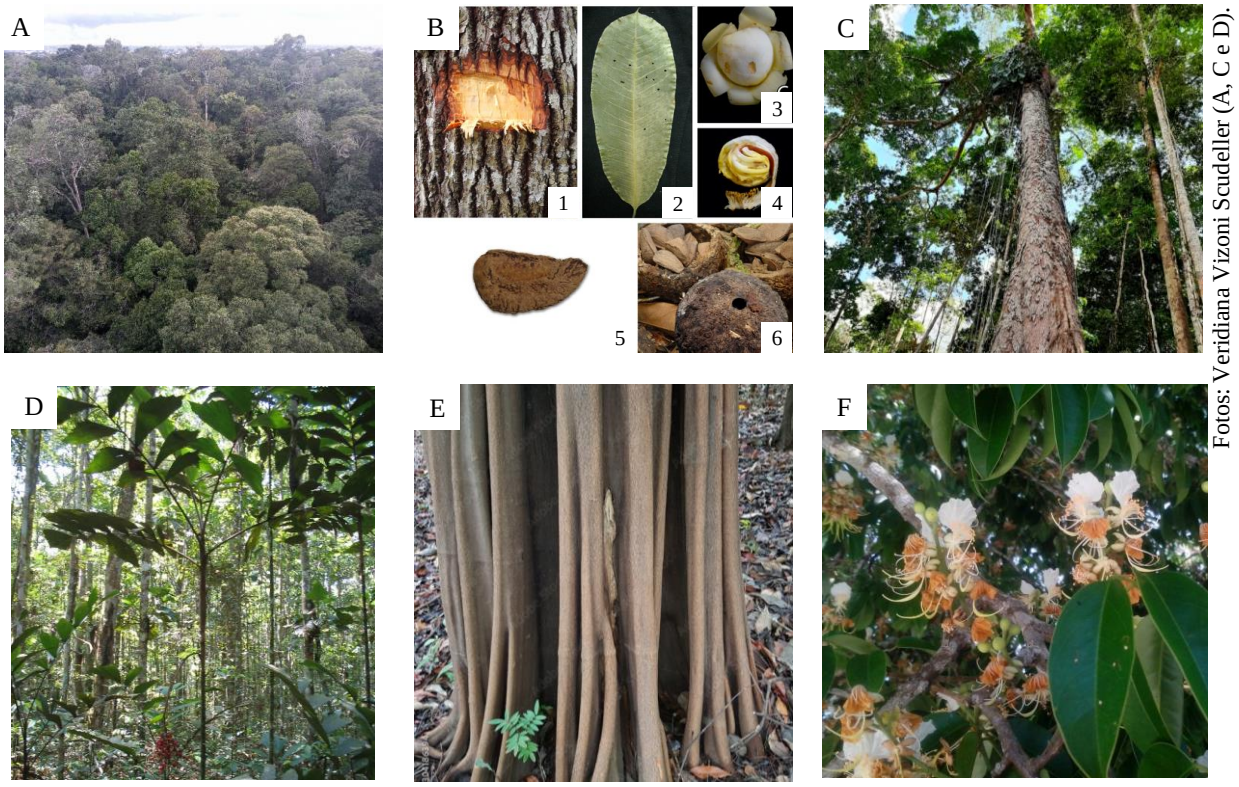
nem floristicamente. São caracterizadas pela alta diversidade de plantas lenhosas, sendo a região pré-andina considerada a mais diversa (Gentry, 1988a; Valencia et al., 1994; Duivenvoorden, 1996). Vários estudos concluídos na Amazônia Ocidental e Central têm revelado que as florestas de terra firme possuem alta diversidade e grande percentual de espécies com baixa densidade (apenas um indivíduo por hectare), além de baixa similaridade florística entre parcelas próximas (Oliveira, 2000; Oliveira et al., 2008), e poucas espécies com elevada frequência e abundância, recentemente denominadas hiperdominantes (Ter Steege et al., 2013).

Considerando o relevo e a composição do solo, essas florestas de terras baixas são classificadas em ambientes de florestas de platô, vertente, baixio, que diferem quanto à riqueza e composição de espécies, abundância de indivíduos e estrutural, vertical e horizontalmente. Os solos são considerados bem drenados e formados a partir de sedimentos terciários da formação Alter do Chão/Barreiras, originados de material pré-intemperizado proveniente da erosão dos flancos do Cráton (Guianas e do Brasil Central) (Schaefer et al., 2017). As florestas de platô estão situadas em áreas altas, com solo argiloso, bem drenado e pobre em nutrientes, onde são encontradas as maiores árvores. As florestas de vertente ocorrem nas inclinações do platô, com solos mais arenosos nas porções mais baixas, onde a comunidade vegetal e a altura do dossel são similares às das florestas de platô, e a quantidade de árvores emergentes geralmente é menor. As florestas de baixio aparecem nas planícies aluviais ao longo dos igarapés, nas áreas mais baixas, apresentando solos encharcados nas épocas de maior pluviosidade. Segundo Junk (1993), as florestas de baixio são sujeitas às flutuações do nível da água de acordo com as estações seca e chuvosa, e sua composição florística apresenta espécies adaptadas a terrenos arenosos com solos mal drenados ou até hidromórficos, com estruturas morfológicas típicas de condições episódicas de hipóxia, como raízes escoras e adventícias, além de muitas raízes superficiais (Porto et al., 1976).

Os diferentes tipos de solo presentes em uma topossequência (platô, vertente e baixio) apresentam variações na textura, no teor de umidade e nas concentrações de nutrientes em uma microescala (Ferraz et al., 1998). Os mesmos autores afirmam que essa relação explica a elevada conformidade encontrada entre a topografia e as propriedades físicas e químicas do solo: umidade, estrutura, macro- e micronutrientes, e classificaram os solos dos platôs como Latossolos Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos, nas encostas, e, nos baixios, Gleissolos Háplicos, Plintossolos (Argilúvicos e Háplicos) gleissólicos e Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos.

Segundo Alarcón e Peixoto (2007), comparando diversos estudos realizados em floresta de terra firme na Amazônia, tendo como critério de inclusão DAP $\geq$ 10 cm, as dez famílias mais diversas nessa floresta são Fabaceae, Myristicaceae, Lecythidaceae, Moraceae, Chrysobalanaceae, Burseraceae, Cecropiaceae, Arecaceae, Sapotaceae e Malvaceae. Já Oliveira (1997), em uma revisão sobre estudos quantitativos em mata de terra firme na Amazônia, detectou que, com raras exceções, entre as famílias com maior densidade e diversidade no dossel das matas primárias estão as Fabaceae, Lecythidaceae, Sapotaceae, Burseraceae, Chrysobalanaceae, Moraceae e Lauraceae. Muitos são os estudos onde essas famílias estão entre as dez mais importantes do componente arbóreo de terra firme.

Para Vicentini (2001), na região do baixio é comum reconhecermos palmeiras como o buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.), o açaí-da-mata (*Euterpe precatoria* Mart.), o patauá (*Oenocarpus bataua* Mart.) e a paxiúba (*Socratea exorrhiza* (Mart.) H.Wendl.); no sub-bosque, várias famílias, como Rapateaceae, Marantaceae, Cyclanthaceae e Araceae. Na vertente aparece a bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.) e, no platô, o angelim (*Dinizia excelsa* Ducke), uma das maiores árvores da região, emergente acima do teto da floresta, com sua copa a 45-50 metros de altura; a sapucaia (*Lecythis zabucajo* Aubl.), árvore da família da castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) ou castanha-do-brasil; a paracutaca (*Swartzia polyphylla* DC.) de grande porte, com seu tronco irregular e sapopemas altas onduladas, como uma escada que leva ao dossel; um pequiá (*Caryocar villosum* (Aubl.) Pers.) com quase 2 metros de diâmetro, um tronco cilíndrico e completamente oco, habitado por morcegos; um escorrega-macaco (*Peltogyne excelsa* Ducke) de tronco liso, cilíndrico e de um vermelho sem igual entre as árvores ao redor; uma grande urucurana (*Sloanea excelsa* Ducke), com sapopemas finas que atingem mais de 4 metros de altura e estendem-se, como tábuas de sustentação, por uma dezena de metros do centro do tronco. Para o autor, Sapotaceae, Moraceae, Apocynaceae e Myristicaceae, famílias importantes da floresta de terra firme, são facilmente reconhecíveis pelos exsudatos que liberam ao se ferir seus troncos (Figura 5.3).



Fotos: Veridiana Vizoni Scudeller (A, C e D).

Figura 5.3. Imagens da floresta de terra firme: vista aérea do dossel da floresta (A); prancha de Bertholletia excelsa Bonpl. (B) – casca externa profundamente fissurada e casca interna amarela (1), folha (2), flor em vista frontal (3), flor em corte longitudinal (4), semente com testa dura (5) e fruto redondo (6); Dinizia excelsa Ducke, detalhe do tronco (C); interior da floresta com destaque na presença das palmeiras no sub-bosque (D); Swartzia popyphylla – detalhe do tronco (E) e da flor (F).

Fonte: Matta (2011) (B) e Swartzia [...] (2025a, 2025b) (5 e 6).

3.2. Floresta Ombrófila Densa Aluvial – Várzea e Igapó

As áreas alagadas na Amazônia ocupam cerca de 750 mil km^2, totalizando cerca de 10% do bioma Amazônia (Wittmann; Junk, 2016). Nesses ambientes, o nível da água ao longo do ano passa por ciclos de elevação e queda, com consequência para as variações de sedimentação, fundamentais para a manutenção da biodiversidade. Por exemplo, os rios da Amazônia Central apresentam uma flutuação cíclica, previsível e monomodal do nível de suas águas, entre as estações de seca e enchente, que podem atingir até 16 metros, e períodos de inundação variando de 50 a 270 dias por ano (Junk et al., 1989, 2011). Tais características resultam em uma sincronização da maioria dos processos ecológicos de plantas, animais e das populações humanas, tais como reprodução das plantas, migração de animais e atividades de pesca, pecuária e agricultura, respectivamente (Junk et al., 2014).

A dinâmica das florestas e dos demais ecossistemas alagáveis da Amazônia é fortemente influenciada pela inundação periódica, cujo conceito FPC (*flood pulse concept*: pulso de inundação) foi elaborado por Junk et al. (1989). Esse conceito atribui ao pulso de inundação a força que dirige os sistemas alagáveis, tanto controlando a ocorrência e a distribuição de plantas e animais quanto determinando as características de suas histórias de vida, afetando as produtividades primária e secundária e influenciando na decomposição e nos ciclos de nutrientes na água e nos solos.

Na Amazônia, o pulso de inundação decorre principalmente da sazonalidade da precipitação na região das nascentes dos rios e do degelo andino. É classificado, por isso, como monomodal e previsível, com as fases da vazante, seca, enchente e cheia ocorrendo uma única vez em cada ciclo, em épocas determinadas ao longo do ano. Essa previsibilidade facilita a adaptação dos organismos às mudanças entre as fases aquática e terrestre, aumentando sua habilidade de utilizar eficientemente os recursos periodicamente disponíveis (Junk et al., 1989).

Portanto, para se estabelecer nessas planícies de inundação, fazem-se necessárias diferentes adaptações para lidar com o déficit periódico de oxigênio e a redução do período vegetativo associado. A alta taxa de sedimentação próxima ao canal dos rios de águas brancas, a escassez de nutrientes nas planícies de inundação de águas escuras e claras e as condições anóxicas da rizosfera em depressões com água estagnada acentuam as complexas interações fitoecológicas às quais as árvores estão sujeitas (Wittmann et al., 2010). Entre as principais adaptações, destacam-se a sincronização do crescimento da madeira durante a fase terrestre (Worbes, 1989; Schöngart et al., 2005), a sincronização da fenologia reprodutiva com as fases aquáticas e frutos adaptados à ictiocoria (Pires; Prance, 1985; Schöngart et al., 2002; Oliveira Wittmann et al., 2007), a formação de raízes adventícias e o incremento da biomassa das raízes durante o período de águas altas (Worbes, 1989; Wittmann; Parolin, 2005), a perda foliar e/ou a redução da fotossíntese durante a inundação (Parolin et al., 2004), o metabolismo anaeróbico (Schlüter et al., 1993), a formação de camadas oxigenadas ao redor de raízes submersas e a incorporação de suberina na rizoderme (De Simone et al., 2002), as altas reservas de açúcar nas raízes (Ferreira et al., 2009) e a persistência de folhas totalmente funcionais em espécies perenifólias (Waldhoff et al., 2002; Parolin, 2009).

Em estudo realizado por Costanza et al. (1997), no qual foi estimado o valor monetário dos serviços oferecidos pelos diferentes ecossistemas em escala mundial, as planícies de inundação obtiveram o segundo maior valor por hectare por ano, ficando atrás apenas dos

estuários. As florestas alagáveis da Amazônia, inseridas no contexto das áreas úmidas continentais, são de grande importância econômica e ecológica na região, destacando-se seu uso como fonte de produtos madeireiros e não madeireiros; seu papel como barreira natural para a correnteza dos rios, protegendo a planície de inundação contra a erosão; sua atividade de sequestro de carbono e regulação microclimática; seu uso como habitat e fonte de alimentos para muitos animais, incluindo espécies de peixes economicamente importantes; sua utilização como área de pastagem para o gado; seu estoque genético de espécies adaptadas à inundação, entre outros (Junk; Piedade, 2010; Junk et al., 2014).

As florestas periodicamente alagadas têm características estruturais e florísticas próprias, resultantes das diferenças geomorfológicas, hidrológicas e evolutivas, mas principalmente das diferenças nutricionais e químicas tanto do solo quanto da água (Prance, 1979). Os solos das florestas de várzea são ricos em nutrientes provenientes dos sedimentos transportados por rios de água branca da região andina e pré-andina, sendo reabastecidos por sedimentos ao longo de todo o canal devido ao processo de "terras caídas", caracterizado pelo colapso das bordas da planície. Esses nutrientes quando depositados ao longo das margens formam o solo aluvionar mais rico da Amazônia (Sioli, 1975; Junk et al., 1989; Furch, 1997).

Na várzea está concentrada a maior faixa contínua de solos férteis na Amazônia, com teores elevados de silte e areia fina. São solos predominantemente eutróficos, com elevada capacidade de troca de cátions e elevados teores de cátion trocáveis, especialmente cálcio, magnésio e, em alguns casos, sódio e alumínio (Schaefer et al., 2017). Ainda segundo os autores, em contraste com os solos bem drenados da terra firme, apresentam reação menos ácida, níveis mais elevados de nutrientes, inclusive fósforo, menores teores relativos de alumínio trocável e argila de atividade alta.

Por outro lado, o igapó é inundado por águas ácidas e com baixos teores de nutrientes, consequentemente, baixo potencial de produtividade. Os sedimentos do igapó são provenientes de terrenos cristalinos, bastante lixiviados, constituídos principalmente de caulinita e material argilomineral com baixa capacidade de troca catiônica (Junk et al., 2015).

A bacia do Rio Negro representa o mais vasto espaço de podzolização extrema entre os trópicos úmidos do planeta, com a formação majoritária de Espodossolos (quase 30% da área total mapeada) (Schaefer et al., 2017). Ainda segundo os autores, esses Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos, desenvolvidos sobre areias quartzosas inconsolidadas, são resultantes da intensa hidrólise das argilas e/ou empobrecimento pela perda de argilas, pela eluviação ou pela erosão seletiva.

Alguns autores atribuem à ocorrência dos Espodossolos e outros solos arenosos nas baixadas da Bacia Amazônia a deposição de sedimentos nas bordas dos vales. No entanto, Schaefer et al. (2017) comentam que outros estudos indicam que são formados pela transformação de uma cobertura latossólica inicial, sobre diferentes tipos de material de origem, e sugerem esse processo como o principal mecanismo responsável pelo aplainamento geral do terreno.

A composição de espécies da várzea e do igapó na Amazônia é muito diferente e resulta provavelmente da origem diferenciada desses ambientes, além das diferenças físico-químicas dos seus rios (Ferreira et al., 2005). Kubitzki (1989) afirma que muitas espécies de árvores de

áreas alagadas tiveram origem em ecótipos da terra firme circundante. No entanto, inexistem estudos que comprovem tal afirmação.

De acordo com Luize et al. (2018), as zonas úmidas estão amplamente presentes na Amazônia pelo menos desde o Mioceno (30-23 Ma), e as oscilações do nível do oceano no Pleistoceno (2,5 Ma) podem ter influenciado fortemente sua extensão e distribuição ao longo do tempo, tendo em vista que o pulso de inundação (variação monomodal do nível da água dos rios) deve estar ocorrendo pelo menos desde o Paleoceno (66 Ma). Os autores reportaram um total de 3.615 espécies encontradas em áreas alagáveis, representando 53% do total de espécies arbóreas consolidadas que ocorrem em toda a Amazônia, o que eleva as estimativas de riqueza anteriores em um fator de 3,2, e estimaram ainda que 3.380 espécies de árvores poderiam ser registradas para as áreas úmidas se o esforço amostral dos últimos 70 anos fosse duplicado.

Sawakuchi et al. (2022) sugerem sincronia na formação das planícies de inundação nas terras baixas da Amazônia. O conjunto de dados geocronológicos apresentados pelos autores indica a expansão de habitats sazonalmente inundados na Amazônia durante o Holoceno concomitantemente com uma fase de nível alto do mar favorável à agregação de sedimentos no setor a jusante do Rio Amazonas. No entanto, o crescimento de planícies de inundação e arquipélagos durante o Holoceno nas terras baixas da Amazônia ocorreu em áreas a milhares de quilômetros de distância da costa, onde se espera que o efeito do nível do mar na deposição ou erosão de sedimentos seja reduzido e retardado. Ainda segundo os autores, a Amazônia Ocidental, incluindo as cabeceiras andinas do Rio Solimões-Amazonas, experimentou uma maior precipitação de monções tanto durante o LGM (último glacial) quanto no Holoceno médio e tardio. Por outro lado, registros climáticos das terras baixas do norte e leste da Amazônia, que compreendem fontes de sedimentos dos rios Negro e Xingu, mostram uma resposta oposta, com um LGM mais seco e mais úmido do início ao médio do Holoceno. Assim como no caso da força do nível do mar, o histórico heterogêneo de chuvas por si só não consegue explicar a expansão sincronizada de habitats sazonalmente inundados em rios que drenam as terras baixas da Amazônia ocidental, setentrional, central e oriental. Portanto, os autores propõem que a acumulação de sedimentos, que alimenta a expansão síncrona de ambientes sazonalmente inundados na Amazônia de terras baixas durante o Holoceno, é um efeito combinado do nível do mar elevado e do fortalecimento orbital do SAMS. Em resumo, períodos de aumento da precipitação aumentam o aporte de sedimentos nos vales fluviais e promovem o assoreamento das planícies de inundação se o nível de base da erosão aumentar ao longo da Amazônia de terras baixas. O nível do mar controlaria o nível de base da erosão no trecho de baixa elevação do curso principal do Solimões-Amazonas. Nesse caso, os sedimentos transferidos das áreas de cabeceira durante as fases de precipitação mais alta acumulam-se nos vales dos rios e sustentam a expansão de substratos sazonalmente inundados através das planícies.

3.2.1. Várzeas

As várzeas são áreas anualmente inundáveis por rios de água branca e ocupam aproximadamente 300 mil km^2 (Melack; Hess, 2010*).* Tais rios são ricos em nutrientes, carregando muitos sedimentos provenientes de diferentes fontes, desde os Andes e encostas pré-andinas, até as margens dos próprios canais, tendo como principais expoentes os rios Solimões, Amazonas, Madeira, Purus e Juruá (Wittmann et al., 2004; Junk et al., 2012).

Wittmann et al. (2006) reconhecem que a várzea é dominada por alta proporção de espécies generalistas de ampla distribuição e que mudanças edáficas em diferentes escalas espaciais podem influenciar os padrões de distribuição de espécies (*e.g.*, Tuomisto et al., 1995; Terborgh; Andresen, 1998). Entretanto, a área amostral é relativamente pequena (62,34 ha), não representando nem 0,05% da área total de cobertura dessa formação florestal.

Segundo Ayres (2006), as famílias mais ricas em termos de espécies foram Fabaceae, Annonaceae e Euphorbiaceae. Já as famílias dominantes na várzea alta (chamada em seu livro de restinga alta) foram Annonaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Apocynaceae, Lecythidaceae e Lauraceae. Essas famílias foram responsáveis por mais de 50% dos indivíduos arbóreos com DAP ≥ 10 cm amostrados na Reserva de Mamirauá, AM. Entre as maiores árvores, o autor cita a samaumeira (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.), o assacu (*Hura crepitans* L.) e a isqueira (*Parinari excelsa* Sabine). Para a várzea baixa (= restinga baixa), as famílias mais ricas são Fabaceae, Lauraceae e Euphorbiaceae, e as mais abundantes (somadas representam mais de 50% dos indivíduos amostrados) foram Euphorbiaceae, Fabaceae, Lecythidaceae, Annonaceae e Myrtaceae, evidenciando uma forte segregação de espécies condicionadas pelo tempo de inundação, sendo o mututi branco (*Pterocarpus amazonicus* Huber), o matá-matá (*Eschweilera albiflora* (DC.) Miers), a piranheira (*Piranhea trifoliata* Baill.) e a abiorana (*Neoxythece elegans* (A.DC.) Aubrév.) as mais abundantes nas áreas mais alagáveis (Figura 5.4).

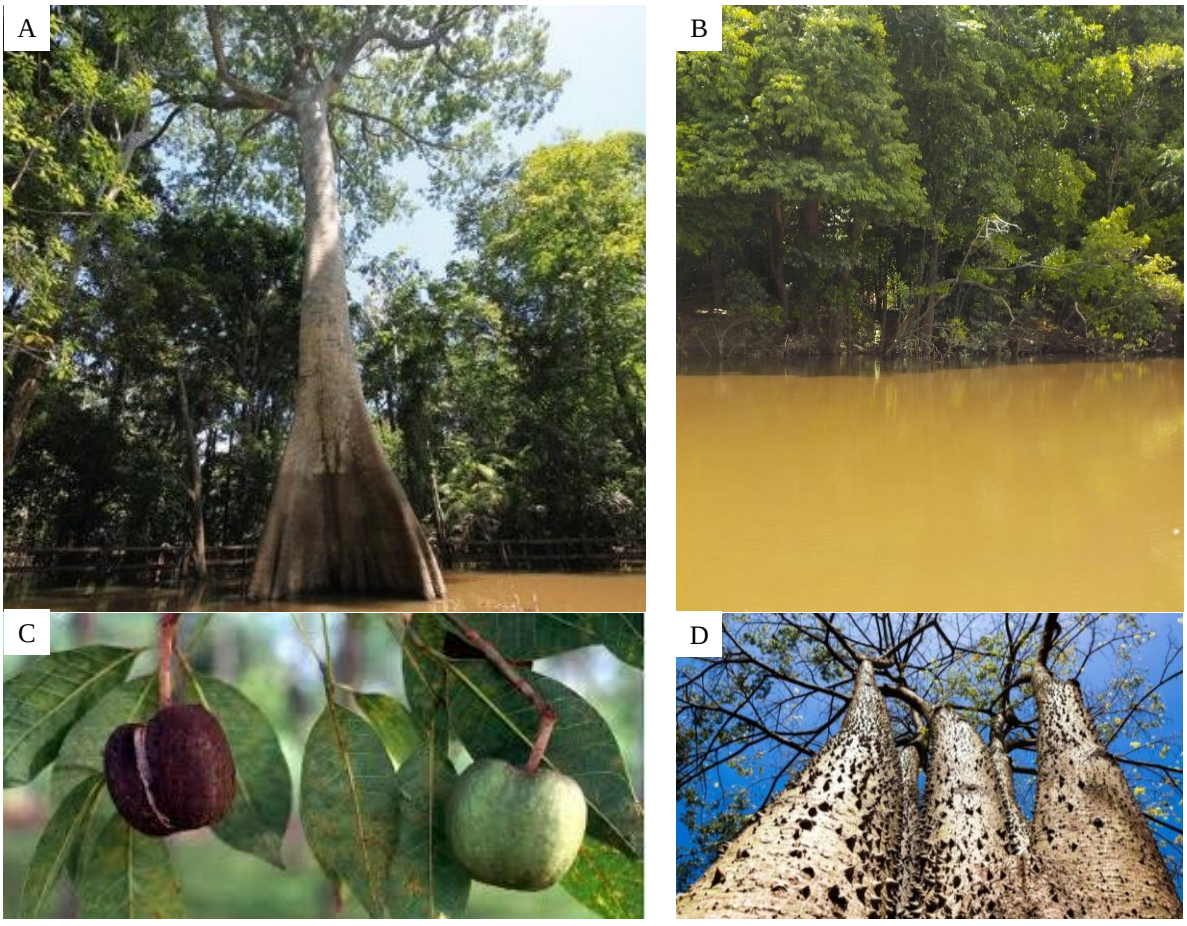


Figura 5.4. Algumas espécies representativas de várzea: *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn (A); visão da borda de uma floresta de várzea (B); *Piranhea trifoliata* Baill (C); detalhe do caule de *Hura crepitans* L. (D).

Fonte: Marques (2020), Melo (2023) e Samaúma (2025).

3.2.2. Igapó

As áreas de igapó ocupam aproximadamente 100 mil km^2 (Melack; Hess 2010) e são banhadas por rios de água preta e de água clara extremamente ácidos e pobres em nutrientes que drenam áreas geologicamente antigas e erodidas dos escudos das Guianas e Brasil Central. Como exemplo, tem-se os rios Negro, Jaú, Unini, Tapajós, Trombetas, Xingu, entre outros (Junk et al., 2015). Essas diferenças das propriedades químicas e físico-químicas desses dois grandes grupos de áreas alagáveis refletem-se em diferentes composições de espécies, riqueza, diversidade e produtividade primária das comunidades vegetais (Junk et al., 2012; Wittmann et al., 2013).

São poucos os inventários florísticos realizados em área de igapó, não atingindo os 20 ha amostrados e aproximadamente 11.000 árvores - vide revisão Scudeller e Vegas-Vilarrúbia (2018). No entanto, a bacia do Rio Negro drena a maior floresta de água preta pobre em nutrientes da Bacia Amazônica (Montero et al., 2014; Junk et al., 2015).

Scudeller e Vegas-Vilarrúbia (2018) afirmam que no igapó, das 636 espécies analisadas, somente 50 são consideradas comuns (acima de 25% de ocorrência) e 112 espécies apresentam distribuição ocasional. Entre as espécies consideradas comuns, somente nove são restritas às florestas inundadas por águas pretas (a saber: *Aldina latifolia* Spruce ex Benth., *Mollia speciosa* Mart., *Parkia discolor* Spruce ex Benth., *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth., *Elvasia calophyllea* DC., *Swartzia argentea* Spruce ex Benth., *Anacampta rupicola* (Benth.) Markgr., *Cynometra spruceana* Benth. e *Himatanthus attenuatus* (Benth.) Woodson) e sete, às áreas alagáveis, e não ocorrem em outras formações fora da Amazônia, exceto *Himatanthus attenuatus*, que foi registrado no Cerrado e na Mata Atlântica (Figuras 5.5). Além disso, Scudeller e Vegas-Vilarrúbia (2018) afirmam existir um forte gradiente de substituição de espécies arbóreas ao longo do curso do Rio Negro, não havendo nenhuma espécie que possa ser considerada oligárquica ou hiperdominante no igapó.

Os parâmetros físicos e químicos da água e a qualidade nutricional dos solos das áreas alagáveis refletem-se diretamente na composição florística, diversidade e estrutura das florestas alagadas vinculadas (Wittmann et al., 2010). Nesse caso, rios da mesma bacia, mas que drenam áreas de sedimentação diferentes, podem apresentar características físico-químicas das águas diferentes e consequentemente uma vegetação associada também diferenciada (Junk et al., 2011). Nesse sentido, podemos esperar que, para grandes rios como o Negro e o Amazonas, os maiores rios que drenam áreas de igapó e várzea, respectivamente, os diferentes tributários que compõem suas bacias hidrológicas são em parte responsáveis pela diversidade beta encontrada em suas florestas (Montero et al., 2014).



Fotos: Veridiana Vizoni Scudeller (A, B e F).

Figura 5.5. Floresta de igapó: visão da floresta em período de águas altas (A); interior da floresta de igapó no período de águas baixas (B); *Eschweilera tenuifolia* (O.Berg.) Miers (C) - casca externa fissurada, casca interna amarelada (1), flor em vista frontal e corte longitudinal (2), fruto subgloboso (3), várias sementes por fruto (4) e sementes triangulares, arilo cobrindo toda a semente (5); *Aldina latifolia* Spruce ex Benth. (1) e *Mollia speciosa* Mart. (2) - (D); *Himatanthus attenuatus* (Benth.) Woodson (E); *Parkia discolor* Spruce ex Benth. (1) e *Cynometra spruceana* Benth. (2) - (F).
Fonte: Matta (2011), Simões (2014), Costa e Bovini (2020), Queiroz (2020) e Ramos e Cardoso (2020).

3.3. Campinarana

As Campinaranas, outra formação vegetal de expressividade na Amazônia, são compostas de florestas e campos que se desenvolvem sobre solo arenoso (Veloso et al., 1991). Tais formações ocorrem de forma contínua no Alto Rio Negro e no estado de Roraima. No restante da Amazônia brasileira e de países vizinhos, aparecem em forma de manchas de algumas dezenas a centenas de hectares de acordo com a natureza fragmentada dos solos arenosos, onde se desenvolvem cercadas por áreas não alagáveis de floresta de terra firme (Anderson, 1981; Prance, 1996).

As campinaranas estão distribuídas ao longo de toda a Amazônia, ocupando aproximadamente 335 mil km^2, e representam cerca de 5% da bacia como um todo (Adeney et al., 2016).

De acordo com IBGE (2012) em relação à campinarana trata-se de uma região ecológica que ocorre nos Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos da região. A predominância na composição florística é de ecótipos amazônicos raquíticos com pelo menos um gênero monotípico endêmico, a *Barcella odora* (Arecaceae), de distribuição pantropical. Essa formação é dividida em quatro subgrupos: 1. arbórea densa ou florestada; 2. arbórea aberta ou arborizada; 3. arbustiva e 4. gramíneo lenhosa. Essa variação em sua estrutura (Figura 5.6) pode ser reflexo da saturação hídrica que esse tipo de vegetação passa durante alguns meses do ano (Franco; Dezzeo, 1994).

Nesses ambientes periodicamente alagáveis, porém de fluxo polimodal, muito influenciado pelas chuvas locais, a vegetação compartilha o mesmo gradiente ecológico de oligotrofia e inundação, com limites bastante subjetivos entre uma variedade de classes fisionômicas, dificultando a classificação de uma área de vegetação como campinarana ou igapó. Tal característica pode explicar a similaridade florística que alguns estudos mostraram entre campinaranas e matas periodicamente alagáveis de igapó (Kubitzki, 1989; Damasco et al., 2013). Na verdade, segundo Kubitzki (1990), a flora desses sistemas está filogeneticamente ligada. Damasco et al. (2013) enfatizam que não há uma distinção clara entre florestas de areia branca (campinarana) e igapó.

Entretanto, Targhetta (2012), comparando a florística da campinarana à do igapó no Rio Uatumã, encontrou baixa similaridade entre esses dois ambientes, com apenas quatro espécies comuns a ambos, e atribui tal diferença a fatores ambientais. A autora afirma que não houve relação entre os padrões florísticos e os gradientes edáficos e hídricos nos dois ecossistemas e especula que os baixos valores de biomassa encontrados para o igapó e a campinarana, quando comparados a outros ecossistemas amazônicos, são provavelmente um reflexo da escassez de nutrientes dos solos nos quais se desenvolvem.

Vale destacar que a característica mais notável, comum a todos esses subgrupos de formação, é a tendência de haver uma ou poucas espécies dominantes. A vegetação relativamente empobrecida das campinaranas contrasta claramente com a mata de terra firme que as circunda, a qual é caracterizada por uma diversidade alta de espécies (Prance, 1975). Enquanto a mata de terra firme caracteriza-se por árvores altas formando um dossel virtualmente fechado, as campinaranas são comparativamente mais baixas, apresentando em algumas áreas fisionomias abertas com areia exposta. Em vista aérea, as campinaranas

arbustivas e gramíneo-lenhosas podem ser perfeitamente distinguidas, aparecendo como pequenas ilhas dispersas no oceano da floresta amazônica (Anderson et al., 1975; Prance, 1996).

O solo das campinaranas é predominantemente arenoso, altamente lixiviado e pobre em nutrientes (Luizão et al., 2007; Mendonça et al., 2015; Schaefer et al., 2017; Demarchi et al., 2018). Em algumas áreas, a presença de um horizonte cimentado na subsuperfície pode impedir a drenagem e provocar alagamento durante a estação chuvosa (Franco; Dezzeo, 1994). Tais características oferecem um ambiente menos favorável para as plantas do que o dos Latossolos das florestas, predominantes de terra firme. O número de espécies vegetais capazes de suportar os fatores limitantes nas campinaranas é consideravelmente menor do que nos outros tipos de ecossistemas amazônicos. Muitas espécies de campinaranas são endêmicas (Guevara et al., 2016) e não ocorrem nas regiões de Latossolos. Consequentemente, as pequenas manchas isoladas ou ilhas de areia branca dependem de mecanismos de dispersão que ultrapassem as barreiras impostas pela floresta alta circundante (Macedo; Prance, 1978). Campos e campinas (= campinaranas) naturais, muitas vezes separados por centenas de quilômetros de mata, possuem flora e fauna muito diversas das áreas de floresta primária ou secundária e têm em comum muitas espécies nunca observadas em outros lugares da região (Ducke; Black, 1954).

As campinaranas ocorrem em solos de fertilidade muito baixa (oligotróficos) (Luizão et al., 2007) e apresentam vegetação com características escleromórficas e composição florística muito diferenciada caracterizada pela grande dominância de poucas espécies e pelo alto número de endemismos (Anderson, 1981; Prance, 1996; Vicentini, 2004; Fine et al., 2010; Stropp et al., 2011).

A flora das campinaranas amazônicas ainda é pouco documentada. Embora se saiba que seus solos não são indicados para a maioria das culturas agrícolas, esses ambientes sofrem diversas pressões antrópicas, principalmente quando ocorrem próximos às cidades, sendo expostos às queimadas (Adeney et al., 2016), extração de madeira seletiva para construção civil e expansão de bairros periféricos (Demarchi et al., 2019) e, principalmente, mineração, porque constitui uma das principais fontes de areia destinada à construção civil dos centros urbanos (Anderson, 1981).

Dados não publicados do projeto Edital: Chamada pública n. 001/2020 - FAPESP - FAPEAM - processo n. 01.02.016301.00273/2021 - Recuperação de solos arenosos de campinaranas degradados por mineração de areia para desencadear a restauração ecológica desse ecossistema - evidenciam uma riqueza relativamente alta de espécies lenhosas amostradas em dez sítios na região metropolitana de Manaus – AM, perfazendo 371 morfoespécies, 62 famílias e 165 gêneros. Fabaceae, Rubiaceae e Annonaceae foram as mais ricas em termos de espécies. Apenas dez famílias representaram 56% das espécies. Comparado com a lista de espécies registradas no Reflora[1], de um total de 668 espécies, apenas 57 foram comuns. Já quando se compara as áreas pristinas e em regeneração de Vila Lindóia (Itacoatiara, AM), apenas duas espécies (*Abarema jupunba* (Willd.) Britton & Killip e *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth.) ocorreram nos dois sítios amostrais, resultando numa similaridade florística

[1]Para consultar o Reflora acesse: https://floradobrasil.jbrj.gov.br/consulta/.

baixíssima (similaridade de Jaccard = 0,026; representa a razão entre o número de elementos em comum pelo número total de elementos únicos nos dois conjuntos), o que evidencia que o processo de regeneração não está recrutando a maioria das espécies de campinarana incidentes nas proximidades e levanta uma bandeira vermelha para a conservação desses ambientes.

Foto: Veridiana Vizoni Scudeller (A, C e D).



Figura 5.6. Visão geral do interior de uma campinarana florestada: floresta em período de águas altas (A); *Abarema jupumba* (Willd.) Britton & Killip (B); *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth. (C) e borda de uma campinarana arborizada (D).

Fonte: Morim et al. (2020) (B).

3.4. Savana - Cerrado

As savanas amazônicas constituem uma formação restrita, que ocorre por toda a Bacia Amazônica e que, no Brasil, abrange uma superfície de 150 mil km^2, cerca de 7% do total da Amazônia brasileira (Braga, 1979). As maiores extensões de savana na Amazônia são encontradas no extremo norte, no estado de Roraima, havendo manchas também expressivas no Amapá (Tabuleiros Costeiros), no Pará (Tiriós, Monte Alegre), no Amazonas (Humaitá) e na borda sul da Amazônia, em contato com o Planalto Central (Schaefer et al., 2017).

De acordo com Borghetti et al. (2020), a América do Sul é um bom exemplo de região onde as mudanças adaptativas de outros biomas contribuíram para a geração de uma alta diversidade de espécies tropicais (Hughes et al., 2013). As mudanças climáticas em tempos geológicos relativamente recentes (Cruz Junior et al., 2005), ou seja, o Plioceno e o Pleistoceno (Rull, 2008), com variação heterogênea de temperatura e precipitação (Punyasena, 2008), levaram à formação de savanas ou florestas, dependendo das flutuações da umidade ambiental (Scheel-Ybert et al., 2003; Rull, 2011). Durante os períodos frios e secos, as savanas expandiram-se para a região amazônica, enquanto as florestas úmidas retraíram-se. Nos períodos úmidos e quentes, as florestas úmidas espalharam-se novamente, enquanto as savanas retraíram-se para áreas próximas das suas áreas de distribuição atuais (Mayle et al., 2000; Behling; Hooghiemstra, 2001). Essas mudanças nos limites entre savana e floresta, impulsionadas por mudanças no clima, contribuíram em grande parte para a geração de diversidade de espécies nesses sistemas tropicais (Simon; Pennington, 2012; Pennington; Hughes, 2014), o que pode ser corroborado pelo fato de a maior parte da diversidade de espécies ser posterior ao Mioceno Médio a Superior (Simon et al., 2009; Hughes et al., 2013). Esses ciclos neógenos e quaternários de alterações climáticas e de vegetação são reconhecidos como um fator importante que impulsiona a especiação nos ecossistemas de savana e florestais na América do Sul tropical (Oliveira-Filho; Ratter, 1995; Haffer, 2001; Antonelli; Sanmartín, 2011; Rull, 2011).

Estudos filogenéticos revelam que a evolução de muitas espécies arbóreas das savanas leva à adaptação ao fogo, apresentando a casca espessada e a capacidade de rebrota a partir da raiz, procedentes de linhagens de habitats circundantes (Simon et al., 2009). Essa origem data de 4 milhões de anos e é consistente com os registros fósseis das gramíneas C4 (Edwards et al., 2010).

A composição das espécies varia marcadamente ao longo da ampla distribuição latitudinal e longitudinal da savana (Ratter et al., 2003; Amaral et al., 2017), mas há, no entanto, um número considerável de espécies lenhosas encontradas em toda a distribuição, notadamente a *Curatella americana* L. e a *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth (Ratter et al., 2003). Com base em levantamento florístico realizado em manchas de cerrado e savana amazônicos, Ratter et al. (2003) identificaram 38 espécies generalistas, que podem ser chamadas de oligárquicas. Podemos destacar *Bowdichia virgilioides* Kunth, *Byrsonima coccolobifolia* Kunth, *Casearia sylvestris* Sw., *Curatella americana* L., *Connarus suberosus* Planch., *Dimorphandra mollis* Benth., *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne, *Kielmeyera coriacea* Mart. & Zucc., *Lafoensia pacari* A.St.-Hil., *Qualea grandiflora* Mart., *Q. parviflora* Mart. e *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S. Moore. Desses, *Q. grandiflora* e *Q. parviflora* foram as mais comuns em 376 locais pesquisados (Ratter et al., 2003).

Magnusson et al. (2008) inventariaram 38 parcelas de 3,75 ha (250 m x 150 m), distribuídas por 30.000 ha na savana de Alter do Chão, município de Santarém, Pará, e registraram 130 espécies pertencentes a 45 famílias. Segundo os autores, as únicas espécies de eudicotiledôneas que cobriram 1% ou mais da área no estrato herbáceo-arbustivo foram *Dioclea bicolor* Benth. e *Lafoensia pacari* A. St.-Hil. A maior parte da área foi coberta pelas gramíneas *Paspalum carinatum* Humb. & Bonpl. ex Flügge (16%) e *Trachypogon plumosus* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Nees (22%). Apenas oito espécies, *Anacardium occidentale* L., *Himatanthus fallax* (Müll. Arg.) M. M. Plumel, *Lafoensia pacari* A. St.-Hil., *Byrsonima coccolobifolia* Kunth, *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth, *Pouteria ramiflora* (Mart.) Radlk., *Qualea grandiflora* Mart. e *Salvertia convallariodora* A. St.-Hil., tinham copas no estrato arbóreo que se projetaram sobre mais de 1% da área. Dessas, somente *B. crassifolia* (5,7%), *S. convallariodora* (6,0%) e *P. ramiflora* (2,1%) projetaram-se sobre mais de 2% da área. Gramíneas e ciperáceas cobriram em média 39,2% das parcelas, e arbustos, 11,0% (Figura 5.7).

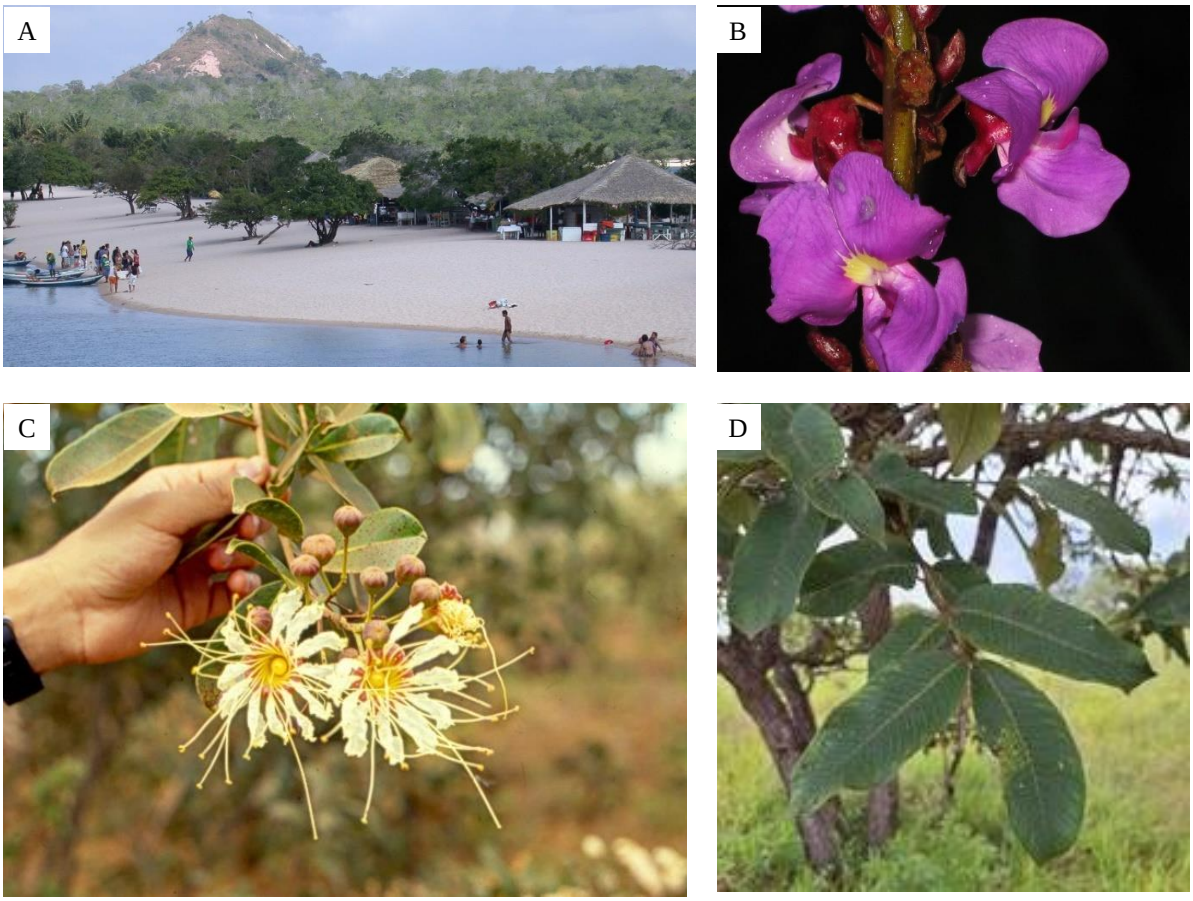


Foto: Veridiana Vizoni Scudeller (A).

Figura 5.7. Vista em primeiro plano da ilha do amor em Alter do Chão, PA, e ao fundo a Serra da Piraoca, com destaque para a vegetação de cerrado (A); *Dioclea bicolor* Benth. (B); *Lafoensia pacari* A. St.-Hil (C) e *Qualea grandiflora* Mart. (D).

Fonte: Cavalcanti (2014), Queiroz (2015) e Vidany (2024).

4. Considerações finais

A presente síntese das fitofisionomias que ocorrem no percurso da XV RCC destaca a diversidade e a importância, para o Brasil e o mundo, do seu componente florístico. São apresentados dados de riqueza, diversidade e graus de endemismo dessas diferentes fitofisionomias amazônicas e sua importância na manutenção do ciclo hidrológico (regime de chuvas no planeta) entre outros serviços ecossistêmicos que influenciam a vida como um todo.

Conhecer essas fitofisionomias é imperativo para que avancemos nas discussões sobre os efeitos do desmatamento na Amazônia nas mudanças climáticas globais e no aumento de eventos extremos, pois a perda da diversidade reduz a capacidade produtiva e afeta diretamente as populações tradicionais, que dependem de diversas espécies e condições naturais para sua sobrevivência, mas também pode causar consequências ecológicas definitivas e impactar todos no planeta.

Referências

ADENEY, J. M.; CHRISTENSEN, N. L.; VICENTINI, A.; COHN-HAFT, M. White-sand ecosystems in Amazonia. **Biotropica**, v. 48, n. 1, p. 7-23, 2016. DOI: https://doi.org/10.1111/btp.12293.

ALARCÓN, J. G. S.; PEIXOTO, A. L. Florística e fitossociologia de um trecho de um hectare de floresta de terra firme, em Caracaraí, Roraima, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**: ciências naturais, v. 2, n. 2, p. 33-60, 2007. Disponível em: http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-81142007000200004&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 23 jul. 2025.

ALMEIDA, S. S.; RIBEIRO, G. O.; PIRES, J. M. Abundância, riqueza florística e similaridade em duas florestas de terra firme da Amazônia Oriental. In: LISBOA, P. L. B. (org.). **Caxiuanã**. Belém, PA: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1997. p. 263-271.

AMARAL, A. G.; MUNHOZ, C. B. R.; WALTER, B. M. T.; AGUIRRE-GUTIÉRREZ, J.; RAES, N. Richness pattern and phytogeography of the Cerrado herb-shrub flora and implications for conservation. **Journal of Vegetation Science**, v. 28, n. 4, p. 848-858, 2017. DOI: https://doi.org/10.1111/jvs.12541.

ANDERSON, A. B.; PRANCE, G. T.; ALBUQUERQUE, B. W. P. de. Estudos sobre a vegetação das Campinas Amazônicas - III: a vegetação lenhosa da Campina da Reserva Biológica INPA - SUFRAMA (Manaus - Caracaraí, km 62). **Acta Amazonica**, v. 5, n. 3, p. 225-246, 1975. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-43921975053225.

ANDERSON, A. B. White-sand vegetation of Brazilian Amazonia. **Biotropica**, v. 13, n. 3, p. 199-210, 1981. DOI: https://doi.org/10.2307/2388125.

ANTONELLI, A.; SANMARTÍN, I. Why are there so many plant species in the Neotropics? **Taxon**, v. 60, n. 2, p. 403-414, 2011. DOI: https://doi.org/10.1002/tax.602010.

AYRES, J. M. **As matas de várzea do Mamirauá**: médio Rio Solimões. 3. ed. Belém, PA: Sociedade Civil Mamirauá, 2006. (Estudos de Mamirauá, v. 1). Disponível em: https://mamiraua.org.br/documentos/991b060471d420eebb124b6b03f47a85.pdf. Acesso em: 23 jul. 2025.

BEHLING, H.; HOOGHIEMSTRA, H. Neotropical savanna environments in space and time: late quaternary interhemispheric comparisons. In: MARKGRAF, V. (ed.). **Interhemispheric climate linkages**. Oxford: Academic Press, 2001. cap. 18, p. 307-323. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-012472670-3/50021-5.

BORGHETTI, F.; BARBOSA, E.; RIBEIRO, L.; RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. South American savannas. In: SCOGINGS, P. F.; SANKARAN, M. (ed.). **Savanna woody plants and large herbivores**. Chichester: John Wiley & Sons, 2020. cap. 4, p. 77-122. DOI: https://doi.org/10.1002/9781119081111.ch4.

BRAGA, P. I. S. Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico da floresta amazônica. **Acta Amazonica**, v. 9, n. 4, p. 58-80, 1979. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-43921979094s053.

BRIENEN, R. J. W.; PHILLIPS, O. L.; FELDPAUSCH, T. R.; GLOOR, E.; BAKER, T. R.; LLOYD, J.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; MONTEAGUDO, A.; MALHI, Y.; LEWIS, L. S.; VÁSQUEZ MARTINEZ, R.; ALEXIADES, M.; ALVAREZ DAVILA, E.; ALVAREZ-LOAYZA, P.; ANDRADE, A.; ARAGAO, L. E. O. C.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; ARETS, E. J. M. M.; ARROYO, L.; AYMARD, G.; BANKI, O.; BARALOTO, C.; BARROSO, J.; BONAL, D.; BOOT, R. G. A.; CAMARGO, J. L. C.; CASTILHO, C. V. de; CHAMA, V.; CHAO, K. J.; CHAVE, J.; COMISKEY, J. A.; CORNEJO VALVERDE, F.; COSTA, L. da; OLIVEIRA, E. de; DI FIORE, A.; ERWIN, T.; FAUSET, S.; FORSTHOFER, M.; GALBRAITH, D.; GROOT, N.; HÉRAULT, B.; HIGUCHI, N.; HONORIO CORONADO, E. N.; KEELING, H.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, W. F.; LAURANCE, S. G. W.; LICONA, J.; MAGNUSSEN, W. E.; MARIMON, B. S.; MARIMON JUNIOR, B. H.; MENDOZA, C.; NEILL, D.; NOGUEIRA, E. M.; NUNEZ, P.; PALLQUI CAMACHO, N. C.; PARADA, A.; PARDO-MOLINA, G.; PEACOCK, J.; PEÑA-CLAROS, M.; PICKAVANCE, G. C.; PITMAN, N.; POORTER, L.; PRIETO, A.; QUESADA, C. A.; RAMIREZ, F.; RAMIREZ-ANGULO, H.; RESTREPO, Z.; ROOPSIND, A.; RUDAS, A.; SALOMÃO, R.; SCHWARZ, M.; SILVA, N.; SILVA-ESPEJO, J. E.; SILVEIRA, M.; STROPP, J.; TALBOT, J.; TER STEEGE, H.; TERAN-AGUILAR, J.; TERBORGH, J.; THOMAS-CAESAR, R.; TOLEDO, M.; TORELLO-RAVENTOS, M.; UMETSU, R. K.; VAN DER HEIJDEN, G. M. F.; VAN DER HOUT, P.; GUIMARÃES VIEIRA, I. C.; VIEIRA, S. A.; VILANOVA, E.; VOS, V. A.; ZAGT, R. J. Long-term decline of the Amazon carbon sink. **Nature**, v. 519, n. 7543, p. 344-348, 2015. DOI: https://doi.org/10.1038/nature14283.

CAVALCANTI, T. B. Lafoensia. In: JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO. **Flora e funga do Brasil**. 2014. Disponível em: https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB8784. Acesso em: 25 jul. 2025.

COMITA, L. S.; ENGELBRECHT, B. M. J. Seasonal and spatial variation in water availability drive habitat associations in a tropical forest. **Ecology**, v. 90, n. 10, p. 2755-2765, 2009. DOI: https://doi.org/10.1890/08-1482.1.

COOMES, D. A.; GRUBB, P. J. Amazonian caatinga and related communities at La Esmeralda, Venezuela: forest structure, physiognomy and floristics, and control by soil factors. **Vegetatio**, v. 122, p. 167-191, 1996. DOI: https://doi.org/10.1007/BF00044699.

COOMES, D. A. Nutrient status of Amazonian caatinga forests in a seasonally dry area: nutrient fluxes, litterfall and analyses of soils. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 27, n. 6, p. 831-839, 1997. DOI: https://doi.org/10.1139/x97-008.

CORLETT, R. T.; TOMLINSON, K. W. Climate change and edaphic specialists: irresistible force meets immovable object? **Trends in Ecology & Evolution**, v. 35, n. 4, p. 367-376, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.12.007.

COSTA, M. T. R.; BOVINI, M. G. Mollia. In: JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO. **Flora do Brasil 2020**. 2020. Disponível em: http://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB85084. Acesso em: 25 jul. 2025.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBERK, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, p. 253-260, 1997. DOI: https://doi.org/10.1038/387253a0.

CRUZ JUNIOR, F. W.; BURNS, S. J.; KARMANN, I.; SHARP, W. D.; VUILLE, M.; CARDOSO, A. O.; FERRARI, J. A.; DIAS, P. L. S.; VIANA JUNIOR, O. Insolation drive changes in atmospheric circulation over the past 116,000 years in subtropical Brazil. **Nature**, v. 434, p. 63-65, 2005. DOI: https://doi.org/10.1038/nature03365.

DAMASCO, G.; VICENTINI, A.; CASTILHO, C. V.; PIMENTEL, T. P.; NASCIMENTO, H. E. M. Disentangling the role of edaphic variability, flooding regime and topography of Amazonian white-sand vegetation. **Journal of Vegetation Science**, v. 24, n. 2, p. 384-394, 2013. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2012.01464.x.

DEMARCHI, L. O.; SCUDELLER, V. V.; MOURA, L. C.; DIAS-TERCEIRO, R. G.; LOPES, A.; WITTMANN, F. K.; PIEDADE, M. T. F. Floristic composition, structure and soil-vegetation relations in three white-sand soil patches in central Amazonia. **Acta Amazonica**, v. 48, n. 1, p. 46-56, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-4392201603523.

DEMARCHI, L. O.; SCUDELLER, V. V.; MOURA, L. C.; LOPES, A.; PIEDADE, M. T. F. Logging impact on Amazonian white-sand forests: perspectives from a sustainable development reserve. **Acta Amazonica**, v. 49, n. 4, p. 316-323, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-4392201802332.

DE SIMONE, O.; HAASE, K.; MÜLLER, E.; JUNK, W. J.; GONSIOR, G. A.; SCHMITT, W. Impact of root morphology on metabolism and oxygen distribution in roots and rhizosphere from two Central Amazon floodplain tree species. **Functional Plant Biology**, v. 29, n. 9, p. 1025-1035, 2002. DOI: https://doi.org/10.1071/PP01239.

DUCKE, A.; BLACK, G. A. Notas sôbre a fitogeografia da Amazônia Brasileira. **Boletim Técnico do Instituto Agronômico do Norte**, n. 29, p. 1-62, 1954. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/385909. Acesso em: 23 jul. 2025.

DUIVENVOORDEN, J. F. Patterns of tree species richness in rain forests of the middle Caquetá area, Colombia, NW Amazonia. **Biotropica**, v. 28, n. 2, p. 142-158, 1996. DOI: https://doi.org/10.2307/2389070.

EDWARDS, E. J.; OSBORNE, C. P.; STROMBERG, C. A. E.; SMITH, S. A.; GRASSES, C.; BOND, W. J.; CHRISTIN, P.-A.; COUSINS, A. B.; DUVALL, M. R.; FOX, D. L.; FRECKLETON, R. P.; GHANNOUM, O.; HARTWELL, J.; HUANG, Y.; JANIS, C. M.; KEELEY, J. E.; KELLOGG, E. A.; KNAPP, A. K.; LEAKEY, A. D. B.; NELSON, D. M.; SAARELA, J. M.; SAGE, R. F.; SALA, O. E.; SALAMIN, N.; STILL, C. J.; TIPPLE, B. The origins of C4 grasslands: integrating evolutionary and ecosystem science. **Science**, v. 328, n. 5968, p. 587-591, 2010. DOI: https://doi.org/10.1126/science.1177216.

ELLWANGER, J. H.; KULMANN-LEAL, B.; KAMINSKI, V. L.; VALVERDE-VILLEGAS, J. M.; VEIGA, A. B. G. da; SPILKI, F. R.; FEARNSIDE, P. M.; CAESAR, L.; GIATTI, L. L.; WALLAU, G. L.; ALMEIDA, S. E. M.; BORBA, M. R.; HORA, V. P. da; CHIES, J. A. B. Beyond diversity loss and climate change: impacts of Amazon deforestation on infectious diseases and public health. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 92, n. 1, e20191375, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/0001-3765202020191375.

FERRAZ, J.; OHTA, S.; SALLES, P. C. Distribuição dos solos ao longo de dois transectos em floresta primária ao norte de Manaus (AM). In: HIGUCHI, N.; CAMPOS, M. A. A.; SAMPAIO, P. T. B.; SANTOS, J. dos (ed.). Pesquisas florestais para conservação da floresta e reabilitação de áreas degradadas da Amazônia. Manaus: Espaço, 1998. p. 111-143.

FERREIRA, C. da S.; PIEDADE, M. T. F.; TINÉ, M. A. S.; ROSSATO, D. R.; PAROLIN, P.; BUCKERIDGE, M. S. The role of carbohydrates in seed germination and seedling establishment of *Himatanthus sucuuba*, an Amazonian tree with populations adapted to flooded and non-flooded conditions. **Annals of Botany**, v. 104, n. 6, p. 1111-1119, 2009. DOI: https://doi.org/10.1093/aob/mcp212.

FERREIRA, L. V.; ALMEIDA, S. S.; AMARAL, D. D.; PAROLIN, P. Riqueza e composição de espécies da floresta de igapó e várzea da estação científica Ferreira Penna: subsídios para o plano de manejo da floresta nacional de Caxiuanã. **Pesquisas, Botânica**, n. 56, p. 103-116, 2005. Disponível em: https://www.anchietano.unisinos.br/publicacoes/botanica/volumes/056/a04.pdf. Acesso em: 23 jul. 2025.

FERREIRA, L. V. O uso de análise de lacunas e paisagens para a identificação de áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade no bioma Amazônia. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 54.; REUNIÃO AMAZÔNICA DE BOTÂNICA, 3., 2003, Belém, PA. **Botânica**: desafios da botânica brasileira no novo milênio: inventário, sistematização, conservação e uso da diversidade vegetal: resumos. Belém, PA: Sociedade Botânica do Brasil: UFRA: Museu Paraense Emílio Goeldi: Embrapa Amazônia Oriental, 2003. p. 143-144.

FIASCHI, P.; PIRANI, J. R. Review of plant biogeographic studies in Brazil. **Journal of Systematic Evolution**, v. 47, n. 5, p. 477-496, 2009. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1759-6831.2009.00046.x.

FINE, P. V. A.; GARCÍA-VILLACORTA, R.; PITMAN, N. C. A.; MESONES, I.; KEMBEL, S. W. A floristic study of the white-sand forests of Peru. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 97, n. 3, p. 283-305, 2010. DOI: https://doi.org/10.3417/2008068.

FRANCO, W.; DEZZEO, N. Soils and soil water regime in the Terra-firme-Caatinga forest complex near San Carlos de Rio Negro, State of Amazonas, Venezuela. **Interciencia**, v. 19, n. 6, p. 305-316, 1994.

FURCH, K. Chemistry of várzea and igapó soils and nutrient inventory in their floodplain forests. In: JUNK, W. J. (ed.). **The Central Amazon floodplain**: ecology of a pulsing system. Berlin: Springer, 1997. p. 47-68. (Ecological studies, v. 126). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-03416-3_3.

GENTRY, A. H. Neotropical floristic diversity: phytogeographical connections between Central and South America, pleistocene climatic fluctuations, or an accident of the anden orogeny? **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 69, n. 3, p. 557-593, 1982a. DOI: https://doi.org/10.2307/2399084.

GENTRY, A. H. Patterns of neotropical plant species diversity. **Evolutionary Biology**, v. 15, p. 1-84, 1982b. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6968-8_1.

GENTRY, A. H. Tree species richness of upper amazonian forest. **Proceedings of the National Academic Science**, v. 85, n. 1, p. 156-159, 1988. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.85.1.156.

GUEVARA, J. E.; DAMASCO, G.; BARALOTO, C.; FINE, P. V. A.; PEÑUELA, M. C.; CASTILHO, C.; VINCENTINI, A.; CÁRDENAS, D.; WITTMANN, F.; TARGHETTA, N.; PHILLIPS, O.; STROPP, J.; AMARAL, I.; MAAS, P.; MONTEAGUDO, A.; JIMENEZ, E. M.; THOMAS, R.; BRIENEN, R.; DUQUE, A.; MAGNUSSON, W.; FERREIRA, C.; HONORIO, E.; MATOS, F. de A.; AREVALO, F. R.; ENGEL, J.; PETRONELLI, P.; VASQUEZ, R.; TER STEEGE, H. Low phylogenetic beta diversity and geographic neo-endemism in Amazonian white-sand forests. **Biotropica**, v. 48, n. 1, p. 34-46, 2016. DOI: https://doi.org/10.1111/btp.12298.

GUILLAUMET, J.-L. Some structural and floristic aspects of the forest. **Experientia**, v. 43, p. 241-251, 1987. DOI: https://doi.org/10.1007/BF01945547.

HAFFER, J. Hypotheses to explain the origin of species in Amazonia. In: VIEIRA, I. C. G.; SILVA, J. M. C. da; OREN, D. C.; D'INCAO, M. A. (org.). **Diversidade biológica e cultural da Amazônia**. Belém, PA: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001. p. 45-118.

HOPKINS, M. J. G. Are we close to knowing the plant diversity of the Amazon? Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 91, e20190396, 2019. Suppl. 3. DOI: https://doi.org/10.1590/0001-3765201920190396.

HOPKINS, M. J. G. Modelling the known and unknown plant biodiversity of the Amazon Basin. **Journal of Biogeography**, v. 34, n. 8, p. 1400-1411, 2007. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01737.x.

HUGHES, C. E.; PENNINGTON, R. T.; ANTONELLI, A. Neotropical plant evolution: assembling the big picture. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 171, n. 1, p. 1-18, 2013. DOI: https://doi.org/10.1111/boj.12006.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**: sistema fitogeográfico: inventário das formações florestais e campestres: técnicas e manejo de coleções botânicas: procedimentos para mapeamentos. 2. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro, 2012. 275 p. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf. Acesso em: 23 jul. 2025.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. **Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 106, p. 110-127, 1989. Disponível em: https://publications.gc.ca/collections/collection_2016/mpo-dfo/Fs41-31-106-eng.pdf. Acesso em: 23 jul. 2025.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F. An introduction to South American wetland forests: distribution, definitions and general characterization. In: JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J.; PAROLIN, P. (ed.). **Amazonian floodplain forests**: ecophysiology, biodiversity and sustainable management. Dordrecht: Springer, 2010. p. 3-26. DOI: https://doi.org/10.1007/978-90-481-8725-6_1.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; KANDUS, P.; LACERDA, L. D.; BOZELLI, R. L.; ESTEVES, F. A.; CUNHA, C. N. da; MALTCHIK, L.; SCHÖNGART, J.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; AGOSTINHO, A. A. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation**: marine and freshwater ecosystems, v. 24, n. 1, p. 5-22, 2014. DOI: https://doi.org/10.1002/aqc.2386.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; SCHÖNGART, J.; COHN-HAFT, M.; ADENEY, J. M.; WITTMANN, F. A classification of major naturally occurring Amazonian lowland wetlands. **Wetlands**, v. 31, n. 4, p. 623-640, 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/s13157-011-0190-7.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; SCHÖNGART, J.; WITTMANN, F. A classification of major natural habitats of Amazonian white water river floodplains (várzeas). **Wetlands Ecology and Management**, v. 20, n. 5, p. 461-475, 2012. DOI: https://doi.org/10.1007/s11273-012-9268-0.

JUNK, W. J. Wetlands of tropical South America. In: WHIGHAM, D. F.; HEJNY, S.; DYKYJOVA, D. (ed.). **Wetlands of the world**: inventory, ecology and management. Dordrecht: Springer, 1993. v. 1, p. 679-739. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-015-8212-4_14.

JUNK, W. J.; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J.; PIEDADE, M. T. F. A classification of the major habitats of Amazonian black-water river floodplains and a comparison with their white-water counterparts. **Wetlands Ecology and Management**, v. 23, n. 4, p. 677-693, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s11273-015-9412-8.

KUBITZKI, K. The ecogeographical differentiation of Amazonian inundation forests. **Plant Systematics and Evolution**, v. 162, p. 285-304, 1989. DOI: https://doi.org/10.1007/BF00936922.

KUBITZKI, K. The psammophilous flora of northern South America. **Memoirs of the New York Botanical Garden**, v. 64, p. 248-253, 1990.

LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R. Alterações em características químicas de solos da região amazônica pela introdução de pastagens. **Acta Amazonica**, v. 30, n. 1, p. 71-80, 2000. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-43922000301080.

LUIZÃO, F. J.; LUIZÃO, R. C. C.; PROCTOR, J. Soil acidity and nutrient deficiency in central Amazonian heath forest soils. **Plant Ecology**, v. 192, p. 209-224, 2007. DOI: https://doi.org/10.1007/s11258-007-9317-6.

LUIZE, B. G.; MAGALHÃES, J. L. L.; QUEIROZ, H.; LOPES, M. A.; VENTICINQUE, E. M.; NOVO, E. M. L. de M.; SILVA, T. S. F. The tree species pool of Amazonian wetland forests: Which species can assemble in periodically waterlogged habitats? **PLoS One**, v. 13, n. 5, e0198130, 2018. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198130.

MACEDO, M.; PRANCE, G. T. Notes of the vegetation of Amazonia II. The dispersal of plants in white sand campinas: the campinas as functional islands. **Brittonia**, v. 30, p. 203-215, 1978. DOI: https://doi.org/10.2307/2806654.

MAGNUSSON, W. E.; LIMA, A. P.; ALBERNAZ, A. L. K. M.; SANAIOTTI, T. M.; GUILLAUMET, J. L. Composição florística e cobertura vegetal das savanas na região de Alter do Chão, Santarém - PA. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 31, n. 1, p. 165-177, 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-84042008000100015.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 3, p. 1033-1050, 2016. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.4420.

MARQUES, E. **Conheça a Piranheira, suas propriedades e benefícios**. 4 nov. 2020. Disponível em: https://www.coisasdaroca.com/plantas-medicinais/piranheira.html. Acesso em: 25 jul. 2025.

MATTA, L. B. V. **As Lecythidaceae Poit. na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Tupé**. 2011. 143 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. Disponível em: https://ri.inpa.gov.br/handle/1/12708. Acesso em: 28 jul. 2025.

MAYLE, F. E.; BURBRIDGE, B.; KILLEEN, T. J. Millennial scale dynamics of southern Amazonian rain forests. **Science**, v. 290, n. 5500, p. 2291-2294, 2000. DOI: https://doi.org/10.1126/science.290.5500.2291.

MELACK, J. M.; HESS, L. L. Remote sensing of the distribution and extent of wetlands in the Amazon basin. In: JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J.; PAROLIN, P. (ed.). **Amazonian floodplain forests**: ecophysiology, biodiversity and sustainable management. Dordrecht: Springer, 2010. p. 43-60. DOI: https://doi.org/10.1007/978-90-481-8725-6_3.

MELO, A. **Hura crepitans**: conheça a planta nativa conhecida como "árvore dinamite". 20 dez. 2023. Disponível em: https://revistacasaejardim.globo.com/paisagismo/noticia/2023/12/hura-crepitans-conheca-a-planta-nativa-conhecida-como-arvore-dinamite.ghtml. Acesso em: 25 jul. 2025.

MENDONÇA, B. A. F. de; FERNADES FILHO, E. I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; PAULA, M. D. de. Os solos das Campinaranas na Amazônia brasileira: ecossistemas arenícolas oligotróficos. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 827- 839, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.5902/1980509820581.

MONTERO, J. C.; PIEDADE, M. T. F.; WITTMANN, F. Floristic variation across 600 km of inundation forests (Igapó) along the Negro River, Central Amazonia. **Hydrobiologia**, v. 729, p. 229-246, 2014. DOI: https://doi.org/10.1007/s10750-012-1381-9.

MORIM, M. P.; IGANCI, J. R. V.; GUERRA, E. Abarema. In: JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO. **Flora e funga do Brasil**. 2020. Disponível em: https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB22761. Acesso em: 25 jul. 2025.

NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; STICKLER, C.; ALENCAR, A.; AZEVEDO, A.; SWETTE, B.; BEZERRA, T.; DIGIANO, M.; SHIMADA, J.; MOTTA, R. S. da; ARMIJO, E.; CASTELLO, L.; BRANDO, P.; HANSEN, M. C.; MCGRATH-HORN, M.; CARVALHO, O.; HESS, L. Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. **Science**, v. 344, n. 6188, p. 1118-1123, 2014. DOI: https://doi.org/10.1126/science.1248525.

OLIVEIRA, A. A. **Diversidade, estrutura e dinâmica do componente arbóreo de uma floresta de terra firme de Manaus, Amazonas**. 1997. 187 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

OLIVEIRA, A. A. de. Inventários quantitativos de árvores em matas de terra firme: histórico com enfoque na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 30, n. 4, p. 543-567, 2000. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-43922000304567.

OLIVEIRA, A. N. de; AMARAL, I. L. do. Florística e fitossociologia de uma floresta de vertente na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 34, n. 1, p. 21-34, 2004. DOI: https://doi.org/10.1590/S0044-59672004000100004.

OLIVEIRA, A. N. de; AMARAL, I. L. do; RAMOS, M. B. P.; NOBRE, A. D.; COUTO, L. B.; SAHDO, R. M. Composição e diversidade florístico-estrutural de um hectare de floresta densa de terra firme na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 627-641, 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000400005.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. A study of the origin of central Brazilian forests by the analysis of plant species distribution patterns. **Edinburgh Journal of Botany,** v. 52, n. 2, p. 141-194, 1995. DOI: https://doi.org/10.1017/S0960428600000949.

OLIVEIRA WITTMANN, A. de; PIEDADE, M. T. F.; PAROLIN, P.; WITTMANN, F. Germination in four low várzea tree species of central Amazonia. **Aquatic Botany**, v. 86, n. 3, p. 197-203, 2007. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2006.10.001.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 425 p.

PAROLIN, P.; ADIS, J.; RODRIGUES, W. A.; AMARAL, I.; PIEDADE, M. T. F. Floristic study of an igapó floodplain forest in Central Amazonia, Brazil (Tarumã-Mirim, Negro River). **Amazoniana**, v. 18, n. 1/2, p. 29-47, 2004. Disponível em: https://pure.mpg.de/rest/items/item_1507136_1/component/file_1507135/content. Acesso em: 24 jul. 2025.

PAROLIN, P. Submerged in darkness: adaptations to prolonged submergence by woody species of the Amazonian floodplains. **Annals of Botany**, v. 103, n. 2, p. 359-376, 2009. DOI: https://doi.org/10.1093/aob/mcn216.

PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, A. **Fatos florestais da Amazônia 2010**. Belém, PA: Imazon, 2010. 124 p. Disponível em: https://imazon.org.br/PDFimazon/Portugues/livros/atos-florestais-da-amazonia-2010.pdf. Acesso em: 24 jul. 2025.

PENNINGTON, R. T.; HUGHES, C. E. The remarkable congruence of New and Old World savanna origins. **New Phytologist**, v. 204, n. 1, p. 4-6, 2014. DOI: https://doi.org/10.1111/nph.12996.

PIRES, J. M.; PRANCE, G. T. The vegetation types of the Brazilian Amazon. In: PRANCE, G. T.; LOVEJOY, T. (ed.). **Key environments**: Amazonia. Oxford: Pergamon Press, 1985. cap. 7, p. 109-145.

PIRES, J. M. Tipos de vegetação da Amazônia. In: SIMÕES, M. F. (ed.). **O Museu Goeldi no ano do sesquicentenário**. Belém, PA: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1973. p. 179-202. (Museu Paraense Emílio Goeldi. Publicações avulsas, 20). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/395111. Acesso em: 24 jul. 2025.

PORTO, M. L.; LONGHI, H. M.; CITANDINI, V.; RAMOS, R. F.; MARIATH, J. E. de A. Levantamento fitossociológico em área de "mata-de-baixio" na Estação Experimental de Silvicultura Tropical - INPA - Manaus - Amazonas. **Acta Amazonica**, v. 6, n. 3, p. 301-318, 1976. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-43921976063301.

PRANCE, G. T. Estudos sobre a vegetação das Campinas Amazônicas - I: introdução a uma série de publicações sobre a vegetação das Campinas Amazônicas. **Acta Amazonica**, v. 5, n. 3, p. 207-209, 1975. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-43921975053207.

PRANCE, G. T. Islands in Amazonia. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**: biological sciences, v. 351, n. 1341, p. 823-833, 1996. DOI: https://doi.org/10.1098/rstb.1996.0077.

PRANCE, G. T. Notes on the vegetation of Amazonia III. The terminology of Amazonian Forest types subject to inundation. **Brittonia**, v. 31, n. 1, p. 26-38, 1979. DOI: https://doi.org/10.2307/2806669.

PRANCE, G. T.; RODRIGUES, W. A.; SILVA, M. F. da. Inventário florístico de um hectare de mata de terra firme km 30 da Estrada Manaus-Itacoatiara. **Acta Amazonica**, v. 6, n. 1, p. 9-35, 1976. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-43921976061009.

PUNYASENA, S. W. Estimating neotropical palaeotemperature and palaeoprecipitation using plant family climatic optima. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 265, n. 3/4, p. 226-237, 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2008.04.025.

QUEIROZ, L. P. Cynometra. In: JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO. **Flora do Brasil 2020**. 2020. Disponível em: http://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB78664. Acesso em: 25 jul. 2025.

QUEIROZ, L. P. Dioclea. In: JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO. **Flora e funga do Brasil**. 2015. Disponível em: https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB22942. Acesso em: 25 jul. 2025.

RAMOS, G.; CARDOSO, D. B. O. S. Aldina. In: JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO. **Flora do Brasil 2020**. 2020. Disponível em: http://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB82624. Acesso em: 25 jul. 2025.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. Analysis of the floristic composition of the

Brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 60, n. 1, p. 57-109, 2003. DOI: https://doi.org/10.1017/S0960428603000064.

RULL, V. Neotropical biodiversity: timing and potential drivers. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 26, n. 10, p. 508-513, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.05.011.

RULL, V. Speciation timing and Neotropical biodiversity: the tertiary quaternary debate in the light of the molecular phylogenetic evidence. **Molecular Ecology**, v. 17, n. 11, p. 2722-2729, 2008. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2008.03789.x.

RUOKOLAINEN, K.; TUOMISTO, H.; VORMISTO, J.; PITMAN, N. Two biases in estimating range sizes of Amazonian plant species. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, n. 6, p. 935-942, 2002. DOI: https://doi.org/10.1017/S0266467402002614.

SAMAÚMA: Ceiba pentandra. (Malvaceae). Disponível em: https://aflorestasensivel.com.br/especies/samauma/. Acesso em: 25 jul. 2025.

SAPORETTI-JUNIOR, A. W.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SOUZA, A. L. de; SOARES, M. P.; ARAÚJO, D. S. D.; MEIRA-NETO, J. A. A. Influence of soil physical properties on plants of the Mussununga Ecosystem, Brazilian. **Folia Geobotanica**, v. 47, p. 29-39, 2012. DOI: https://doi.org/10.1007/s12224-011-9106-9.

SAWAKUCHI, A. O.; SCHULTZ, E. D.; PUPIM, F. N.; BERTASSOLI JUNIOR, D. J.; SOUZA, D. F.; CUNHA, D. F.; MAZOCA, C. E.; FERREIRA, M. P.; GROHMANN, C. H.; WAHNFRIED, I. D.; CHIESSI, C. M.; CRUZ, F. W.; ALMEIDA, R. P.; RIBAS, C. C. Rainfall and sea level drove the expansion of seasonally flooded habitats and associated bird populations across Amazonia. **Nature Communications**, v. 13, 4945, 2022. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-022-32561-0.

SCHAEFER, C. E. G. R.; LIMA, H. N. de; TEIXEIRA, W. G.; VALE JUNIOR, J. F. do; SOUZA, K. W. de; CORRÊIA, G. R.; MENDONÇA, B. A. F. de; AMARAL, E. F. do; CAMPOS, M. C. C.; RUIVO, M. de L. P. Solos da região amazônica. In: CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. (ed.). **Pedologia**: solos dos biomas brasileiros. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. cap. 3, p. 111-175.

SCHEEL-YBERT, R.; GOUVEIA, S. E. M.; PESSENDA, L. C. R.; AVARENA, R.; COUTINHO, L. M.; BOULET, R. G. L. Holocene palaeoenvironmental evolution in the São Paulo state (Brazil), based on anthracology and soil δ 13C analysis. **The Holocene**, v. 13, n. 1, p. 73-81, 2003. DOI: https://doi.org/10.1191/0959683603hl596rp.

SCHLÜTER, U. B.; FURCH, B.; JOLY, C. A. Physiological and anatomical adaptations by young *Astrocaryum jauari* Mart. (Arecaceae) in periodically inundated biotopes of central Amazonia. **Biotropica**, v. 25, n. 4, p. 384-396, 1993. DOI: https://doi.org/10.2307/2388862.

SCHÖNGART, J.; PIEDADE, M. T. F; LUDWIGSHAUSEN, S.; HORNAS, V.; WORBES, M. Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, n. 4, p. 581-597, 2002. DOI: https://doi.org/10.1017/S0266467402002389.

SCHÖNGART, J.; PIEDADE, M. T. F.; WITTMANN, F.; JUNK, W. J.; WORBES, M. Wood growth patterns of *Macrolobium acaciifolium* (Benth.) Benth. (Fabaceae) in Amazonian black-water and white-water floodplain forests. **Oecologia**, v. 145, p. 454-461, 2005. DOI: https://doi.org/10.1007/s00442-005-0147-8.

SCUDELLER, V. V.; VEGAS-VILARRÚBIA, T. Distribution and β-diversity of tree species in igapó forests (Negro River basin, Brazilian Amazon). **Journal of Vegetation Science**, v. 29, n. 6, p. 1052-1064, 2018. DOI: https://doi.org/10.1111/jvs.12680.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas do Brasil em resumo - 2013**: dados de 2007-2012. Brasília, DF: SFB, 2013. 188 p. Disponível em: https://www.gov.br/florestal/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/publicacoes-diversas/florestas_do_brasil_em_resumo_2013_atualizado.pdf. Acesso em: 24 jul. 2025.

SHEPHERD, G. J. **Conhecimento de diversidade de plantas terrestres do Brasil**. Campinas: Unicamp, 2000. 54 p.

SIMÕES, A. O. Himatanthus. In: JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO. **Flora e funga do Brasil**. 2014. Disponível em: https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB15563. Acesso em: 25 jul. 2025.

SIMON, M. F.; GRETHER, R.; QUEIROZ, L. P. de; SKEMA, C.; PENNINGTON, R. T.; HUGHES, C. E. Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 106, n. 48, p. 20359-20364, 2009. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.0903410106.

SIMON, M. F.; PENNINGTON, T. Evidence for adaptation to fire regimes in the tropical savannas of the Brazilian cerrado. **International Journal of Plant Sciences**, v. 173, n. 6, p. 711-723, 2012. DOI: https://doi.org/10.1086/665973.

SIOLI, H. Tropical river: the Amazon. In: WHITTON, B. A. (ed.). **River ecology**. Los Angeles: University of California Press, 1975. cap. 18, p. 461-488.

STROPP, J.; VAN DER SLEEN, P.; ASSUNÇÃO, P. A.; SILVA, A. L. da; TER STEEGE, H. Tree communities of white-sand and terra-firme forests of the upper Rio Negro. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 4, p. 521-544, 2011. DOI: https://doi.org/10.1590/S0044-59672011000400010.

SWARTZIA polyphylla DC. Disponível em: https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:519994-1. Acesso em: 25 jul. 2025a.

SWARTZIA polyphylla, in Brazil called Paracutaca, Fabáceas (ex-Leguminosas) family. Amazon rainforest, Brazil. Disponível em: https://stock.adobe.com/br/images/swartzia-polyphylla-in-brazil-called-paracutaca-fabaceas-ex-leguminosas-family-amazon-rainforest-brazil/304186394. Acesso em: 25 jul. 2025b.

TARGHETTA, N. **Comparação florística e estrutural entre florestas de igapó e campinarana ao longo de gradientes hidro-edáficos na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Uatumã, Amazônia Central**. 2012. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. Disponível em: https://ri.inpa.gov.br/handle/1/11883. Acesso em: 24 jul. 2025.

TER STEEGE, H.; PITMAN, N. C. A.; SABATIER, D.; BARALOTO, C.; SALOMÃO, R. P.; GUEVARA, J. E.; PHILLIPS, O. L.; CASTILHO, C. V.; MAGNUSSON, W. E.; MOLINO, J.-F.; MONTEAGUDO, A.; VARGAS, P. N.; MONTERO, J. C.; FELDPAUSCH, T. R.; CORONADO, E. N. H.; KILLEEN, T. J.; MOSTACEDO, B.; VASQUEZ, R.; ASSIS, R. L.; TERBORGH, J.; WITTMANN, F.; ANDRADE, A.; LAURANCE, W. F.; LAURANCE, S. G. W.; MARIMON, B. S.; MARIMON JUNIOR, B.-H.; VIEIRA, I. C. G.; AMARAL, I. L.; BRIENEN, R.; CASTELLANOS, H.; LÓPEZ, D. C.; DUIVENVOORDEN, J. F.; MOGOLLÓN, H. F.; MATOS, F. D. de A.; DAVILA, N.; GARCÍA-VILLACORTA, R.; STEVENSON DIAZ, P. R.; COSTA, F.; EMILIO, T.; LEVIS, C.; SCHIETTI, J.; SOUZA, P.; ALONSO, A.; DALLMEIER, F.; DUQUE MONTOYA, A. J.; PIEDADE, M. T. F.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; ARROYO, L.; GRIBEL, R.; FINE, P. V. A.; PERES, C. A.; TOLEDO, M.; AYMARD C., G. A.; BAKER, T. R.; CERÓN, C.; ENGEL, J.; HENKEL, T. W.; MAAS, P.; PETRONELLI, P.; STROPP, J.; ZARTMAN, C. E.; DALY, D.; NEILL, D.; SILVEIRA, M.; PAREDES, M. R.; CHAVE, J.; LIMA FILHO, D. de A.; JØRGENSEN, P. M.; FUENTES, A.; SCHÖNGART, J.; VALVERDE, F. C.; DI FIORE, A.; JIMÉNEZ, E. M.; PENUELA MORA, M. C.; PHILLIPS, J. F.; RIVAS, G.; VAN ANDEL, T. R.; VON HILDEBRAND, P.; HOFFMAN, B.; ZENT, E. L.; MALHI, Y.; PRIETO, A.; RUDAS, A.; RUSCHEL, A. R.; SILVA, N.; VOS, V.; ZENT, S.; OLIVEIRA, A. A.; SCHUTZ, A. C.; GONZALES, T.; NASCIMENTO, M. T.; RAMIREZ-ANGULO, H.; SIERRA, R.; TIRADO, M.; UMAÑA-MEDINA, M. N.; VAN DER HEIJDEN, G.; VELA, C. I. A.; VILANOVA TORRE, E.; VRIESENDORP, C.; WANG, O.; YOUNG, K. R.; BAIDER, C.; BALSLEV, H.; FERREIRA, C.; MESONES, I.; TORRES-LEZAMA, A.; URREGO GIRALDO, L. E.; ZAGT, R.; ALEXIADES, M. N.; HERNÁNDEZ, L.; HUAMANTUPA-CHUQUIMACO, I.; MILLIKEN, W.; PALACIOS CUENCA, W.; PAULETTO, D.; VALDERRAMA SANDOVAL, E.; VALENZUELA GAMARRA, L.; DEXTER, K. G.; FEELEY, K. J.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; SILMAN, M. R. Hyperdominance in the Amazonian Tree Flora. **Science**, v. 342, n. 6156, 1243092, 2013. DOI: https://doi.org/10.1126/science.1243092.

TERBORGH, J.; ANDRESEN, E. The composition of Amazonian forests: patterns at local and regional scales. **Journal of Tropical Ecology**, v. 14, n. 5, p. 645-664, 1998. DOI: https://doi.org/10.1017/S0266467498000455.

TUOMISTO, H.; RUOKOLAINEN, K.; AGUILAR, M.; SARMIENTO, A. Floristic patterns along a 43-km long transect in an Amazonian rain forest. **Journal of Ecology**, v. 91, n. 5, p. 743-756, 2003. DOI: https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2003.00802.x.

TUOMISTO, H.; RUOKOLAINEN, K.; KALLIOLA, R.; LINNA, A.; DANJOY, W.; RODRIGUES, Z. Dissecting Amazonian biodiversity. **Science**, v. 269, n. 5220, p. 63-66, 1995. DOI: https://doi.org/10.1126/science.269.5220.63.

VALENCIA, R.; BALSLEV, H.; PAZ Y MIÑO-C, G. High tree alpha-diversity in Amazonian Ecuador. **Biodiversity and Conservation**, v. 3, p. 21-28, 1994. DOI: https://doi.org/10.1007/BF00115330.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991. 123 p. Disponível em: https://jbb.ibict.br/bitstream/1/397/1/1991_classificacaovegetal_Velloso1991.pdf. Acesso em: 25 jul. 2025.

VICENTINI, A. As florestas de terra-firme. In: OLIVEIRA, A. A. de; DALY, D. C. (ed.). **Florestas do Rio Negro**. São Paulo: Companhia das Letras, 2001. cap. 5, p. 143-177.

VICENTINI, A. A vegetação ao longo de um gradiente edáfico no Parque Nacional do Jaú. In: BORGES, S. H.; IWANAGA, S.; DURIGAN, C.; PINHEIRO, M. (ed.). **Janelas para a biodiversidade no Parque Nacional do Jaú**: uma estratégia para o estudo da biodiversidade na Amazônia. Manaus: Fundação Vitória Amazônica, 2004. p. 117-143.

VIDANY, B. **Qualea grandiflora Mart**. 2024. Disponível em: https://www.inaturalist.org/photos/353058433. Acesso em: 25 jul. 2025.

WALDHOFF, D.; FURCH, B.; JUNK, W. J. Fluorescence parameters, chlorophyll concentration, and anatomical features as indicators for flood adaptation of an abundant tree species in central Amazonia: *Symmeria paniculata*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 48, n. 3, p. 225-235, 2002. DOI: https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00037-0.

WERTH, D.; AVISSAR, R. The local and global effects of Amazon deforestation. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. D20, 8087, 2002. DOI: https://doi.org/10.1029/2001JD000717.

WITTMANN, F.; HOUSEHOLDER, E.; PIEDADE, M. T. F.; ASSIS, R. L. de; SCHÖNGART, J.; PAROLIN, P.; JUNK, W. J. Habitat specifity, endemism and the neotropical distribution of Amazonian white-water floodplain trees. **Ecography**, v. 36, n. 6, p. 690-707, 2013. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07723.x.

WITTMANN, F.; JUNK, W. J. Amazon River basin. In: FINLAYSON, C. M.; MILTON, G. R.; PRENTICE, R. C.; DAVIDSON, N. C. (ed.). **The wetland book**. Dordrecht: Springer, 2016. p. 1-20. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-007-6173-5_83-2.

WITTMANN, F.; JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F. The várzea forests in Amazonia: flooding and the highly dynamic geomorphology interact with natural forest succession. **Forest Ecology and Management**, v. 196, n. 2/3, p. 199-212, 2004. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.02.060.

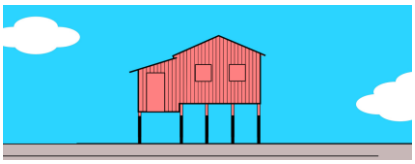
WITTMANN, F.; PAROLIN, P. Aboveground roots in Amazonian floodplain trees. **Biotropica**, v. 37, n. 4, p. 609-619, 2005. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.00078.x.

WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J.; JUNK, W. J. Phytogeography, species diversity, community structure and dynamics of central Amazonian floodplain forests. In: JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J.; PAROLIN, P. (ed.). **Amazonian floodplain forests**: ecophysiology, biodiversity and sustainable management. Dordrecht: Springer, 2010. p. 61-102. DOI: https://doi.org/10.1007/978-90-481-8725-6_4.

WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J.; MONTERO, J. C.; MOTZER, T.; JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; QUEIROZ, H. L.; WORBES, M. Tree species composition and diversity gradients in white- water forests across the Amazon Basin. **Journal of Biogeography**, n. 8, v. 33, p. 1334-1347, 2006. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01495.x.

WORBES, M. Growth rings, increment and age of tree in inundation forest, savannas and a mountain forest in the Neotropics. **IAWA Bulletim**, v. 10, n. 2, p. 109-122, 1989.

Capítulo 6



Paisagens e Sociedade do Médio Rio Amazonas, entre Manaus e Santarém

Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer
Hedinaldo Narciso Lima

1. Introdução

Nos últimos vinte anos, os pedólogos brasileiros vivenciaram a rica experiência de apreciar setores pouco conhecidos do território nacional drenados pela gigantesca Bacia Amazônica, por ocasião das notáveis viagens de campo das sucessivas RCCs, do Acre, Roraima e Rondônia. Tais viagens permitiram descortinar os solos de setores de cabeceiras de drenagem de importantes tributários do Rio Amazonas: Juruá e Purus (Acre); Madeira (Rondônia) e Rio Negro e Rio Branco (Roraima). Apesar da ampla cobertura de ambientes, litologias, relevos contrastantes sob clima úmido ou semiúmido, essas incursões não retrataram os espaços que provavelmente representam o mais extenso e desconhecido ambiente pedológico de toda a Amazônia brasileira: as Várzeas Holocênicas.

A sub-bacia do Médio Amazonas, palco da *XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos*: RCC das várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno (XV RCC), é o setor mais populoso dessa região, com cidades do porte de Santarém e Manaus, ambas visitadas na viagem. Essa região foi percorrida por naturalistas como: Rodrigues Ferreira, Wallace, Bates, Martius, Sternberg, entre tantos, que descreveram a várzea, a floresta e sua complementaridade. Na chegada dos europeus, havia os ricos povos omágua, entre outros, detentores de uma cultura sofisticada e diversa de usos do solo. Revelou-se também um imenso acervo etnológico da memória de culturas amazônidas "extintas", na forma de solos arqueológicos, que cativaram a imaginação de muitos pedólogos brasileiros (como Guido Ranzani, 1970) e estrangeiros (como Wim Sombroek, 1966), que nos deixaram linhas preciosas dos estudos das então chamadas Terras Pretas de Índio.

O objetivo, portanto, é apresentar, embora sucintamente, elementos da paisagem do Médio Rio Amazonas, entre Manaus e Santarém, roteiro da XV RCC.

2. Fundamentos da geologia e do relevo

A bacia paleozoica do Amazonas é uma vasta bacia sedimentar com eixo aproximadamente leste-oeste e que possui uma pilha de sedimentos que pode alcançar mais de 5.000 metros, que variam em idade desde o Ordoviciano Superior (Grupo Trombetas) ao Permiano Superior (Grupo Tapajós). Juntamente com a bacia do Solimões, separa os blocos geotectônicos do Cráton Amazônico, que se prolongam num contínuo por baixo da enorme pilha sedimentar sobreposta, de sul a norte. A bacia do Amazonas corresponde atualmente à antiga bacia denominada Médio Amazonas e à bacia do Baixo Amazonas e limita-se a ocidente com a bacia do Solimões (Arco de Purus) e pelo oriente com o rifte mesozoico do Marajó, na ombreira do rifte, denominada de "Arco de Gurupá" (Silva et al., 2003) (Figura 6.1A). As sub-bacias possuem condições estruturais e sedimentológicas distintas e são separadas por altos estruturais do embasamento, sotoposto.

Portanto, a sub-bacia do Médio Amazonas é o setor compreendido entre o Arco de Purus, próximo à foz do Rio Purus, e o Arco de Monte Alegre, abaixo do qual se tem a sub-bacia do Baixo Amazonas, que se estende até o Arco de Gurupá, que separa a bacia do Amazonas da bacia de Marajó. Entre os Arcos de Purus e Iquitos, tem-se a bacia do Solimões, e acima do Arco de Iquitos, a bacia do Acre (Figura 6.1).

A região do Médio Amazonas é o setor mais densamente povoado da Bacia Amazônica e possui alguns dos mais importantes afluentes da calha principal do Amazonas, como os rios Negro, Uatumã, Nhamundá e Trombetas, pela margem esquerda, e Madeira e Tapajós, pela margem direita.

Os sedimentos paleozoicos que assoalham a bacia pouco afloram em superfície, estando extensamente recobertos por vasta sedimentação flúvio-deltaica do Cretáceo (Formação Alter do Chão) ao Neógeno (Grupo Barreiras e correlatos), que recobre quase toda a extensão, exceto as bordas colinosas do embasamento cristalino do Cráton Amazônico. Há uma grande predominância de rochas areníticas em toda a sequência, desde o Paleozoico até o Cretáceo, influenciando na infiltração e no armazenamento de água profunda. Há um vastíssimo (e pouco estudado) aquífero subterrâneo em toda a bacia, fora toda a água corrente à superfície.

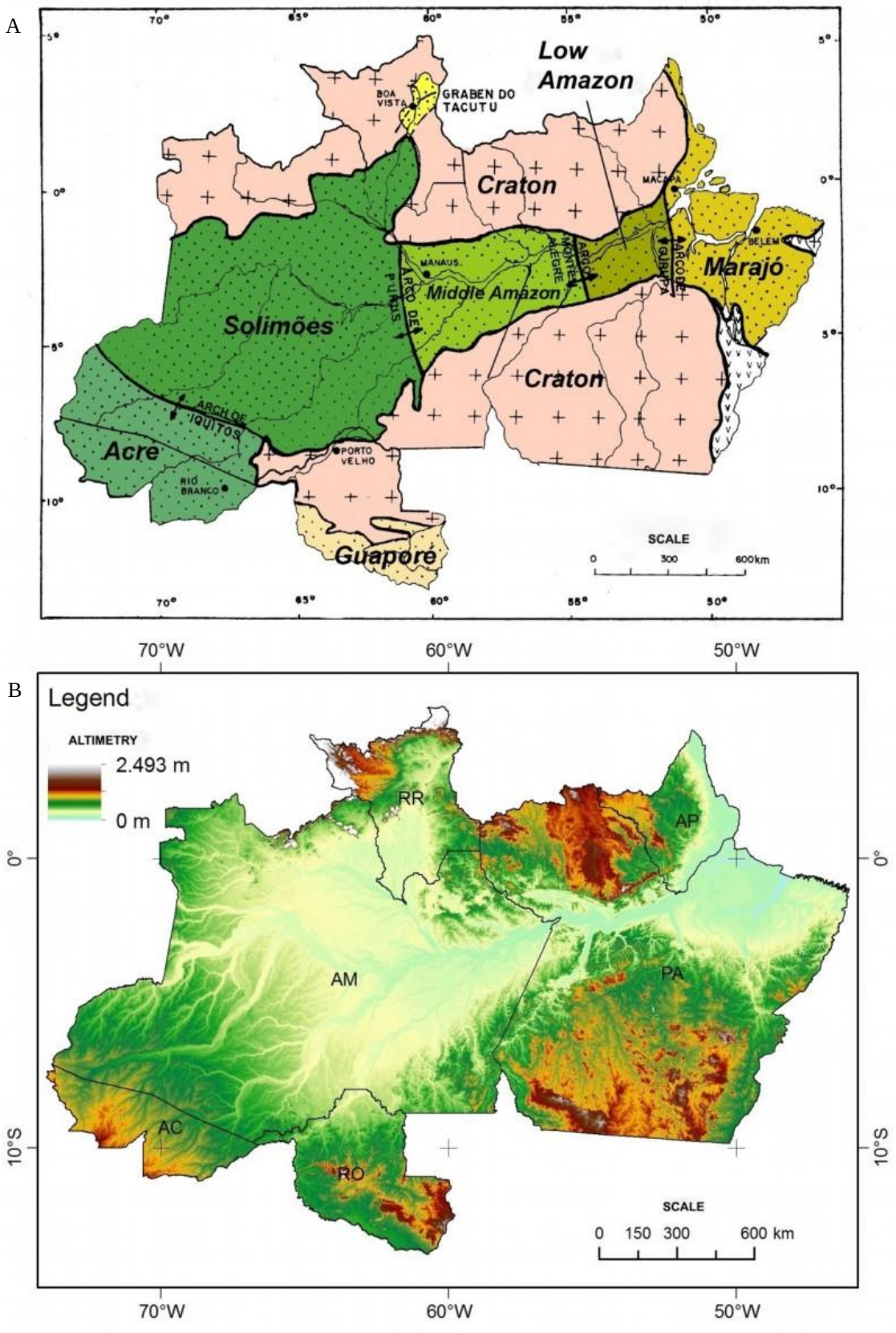


Figura 6.1. O Cráton Amazônico (A) e as sub-bacias sedimentares (B) que formam a bacia sedimentar paleozoica do Amazonas.

Fonte: Schaefer et al. (2017).

Alguns fatos importantes sobre sua evolução devem ser destacados aqui: (i) o longo hiato de contínua erosão e soerguimento, sem deposição, do final do Paleozoico (Permiano) ao Cretáceo inicial; (ii) a renovação da subsidência e a deposição dos sedimentos fluviais e estuarinos do Cretáceo tardio, com sedimentação provinda do Cráton Amazônico, de fontes ao norte e ao sul da bacia, em ambiente continental ou litorâneo, muito quente e intemperizado (arenitos maduros, de cores variegadas e cauliníticos); (iii) a vasta inversão do sentido da deposição no Neógeno (Formação Solimões), no pós-Mioceno, seguindo o soerguimento final dos Andes e a formação do proto-Rio Amazonas, correndo de oeste para leste, alternante com um sistema de lagos e pântanos extensos, configurando a abertura final da bacia ao Atlântico; (iv) até 16 milhões de anos atrás, não existia o Rio Amazonas como o conhecemos, de oeste para leste, mas, sim, um sistema lacustrino de grandes dimensões, alimentado por drenagens que provinham das bordas norte e sul do Cráton Amazônico. Nesses tempos, o soerguimento inicial dos Andes criara uma bacia subandina nos sopés da jovem cadeia de montanhas, mas ainda aberta ao Pacífico e sem constituir a barreira orográfica elevada, atual.

Na frase lapidar de Euclides da Cunha (viagem ao Purus, escrito em 1905 – em *À margem da história*), ao denominar o Amazonas o Mediterrâneo sulamericano, temos um resumo paleogeográfico cheio de hipérboles e deveras preciso na descrição da inversão de drenagem fluvial (Cunha, 1975):

> […]. Não existiam os Andes, e o Amazonas, largo canal entre as altiplanuras das Guianas e as do continente, separava-as, ilhadas. Para as bandas do sul o maciço Brasileiro: de Goiás, […] o de Minas e parte do planalto paulista. […] ao abrir-se a época terciária, se realiza o fato prodigioso do alevantamento dos Andes; novas terras afloram nas águas; tranca-se, num extremo, o canal amazônico, transmudando-se no maior dos rios; ampliam-se os arquipélagos esparsos, e estreitam-se em istmos, e fundem-se; arredondam-se, maiores, os contornos das costas; e integra-se, lentamente, a América.

Do ponto de vista geopedológico, pode-se dizer que o Médio Amazonas é a zona onde a sedimentação cretácica é a mais destacada e representativa, formando extensos platôs, muitos dos quais são recobertos de bauxita (logo abaixo dos Latossolos cauliníticos) pelo extremo intemperismo da Formação Alter do Chão sob clima tropical úmido, desde o Oligoceno. A própria natureza do sedimento Cretáceo já é pré-intemperizada, e a reserva química, muito reduzida. É desde o Cretáceo médio que os sedimentos depositados na bacia sedimentar do Amazonas são predominantemente pobres e ácidos. Portanto, não surpreende que os Latossolos deles desenvolvidos tenham alto grau de intemperismo, baixa disponibilidade de nutrientes e acidez elevada.

Em alguns casos, ocorrem sedimentos do Neógeno, argilosos, configurando espessos mantos de Latossolos Amarelos, notoriamente cauliníticos. Os pesquisadores franceses da ORSTOM, e colegas brasileiros, evidenciaram que a caulinita nos Latossolos parece ser neoformada da ressilificação do substrato mais oxídico (bauxitas), causada pela vegetação florestal, numa ciclagem de longa duração. É um caso incrível, talvez mais comum do que se possa imaginar, e supostamente válido para todos os biomas florestados do Brasil.

Consequentemente, os solos desenvolvidos das coberturas sedimentares desde o final do Cretáceo são muito intemperizados (pré-intemperizados), pois a região experimentou, quase continuamente, condições tropicais úmidas ou semiúmidas nos últimos 100 milhões de anos, ainda que com alternâncias mais secas e frias, durante os períodos glaciais. Em forte contraste com essa vastidão de sedimentos pobres, ácidos, dessaturados, temos as várzeas atuais onde transitam sedimentos ricos, importados das elevações andinas após o soerguimento da cordilheira. São esses sedimentos, numa mescla confusa de aluviões de maior ou menor energia, em que se assentam os solos mais ricos da Amazônia.

O modelo digital de elevação da área percorrida mostra a predominância absoluta de terrenos de baixa altitude, abaixo de 100 metros, palco da viagem da RCC. Apenas os perfis PA-05 e PA-07, na região dos platôs de Alter do Chão, alcançam altitudes superiores a 100 metros e correspondem aos topos aplainados e dissecados dos remanescentes do Cretáceo, profundamente alterados e recobertos por mantos latossólicos de natureza caulinítica (Figura 6.2). Nesses verdadeiros restos de aplainamentos antigos, ocorrem manchas expressivas de cerrados desenvolvidos dos arenitos ou de couraça laterítica, e houve na última década a expansão da sojicultura nessa região de platôs em clima um pouco mais sazonal.

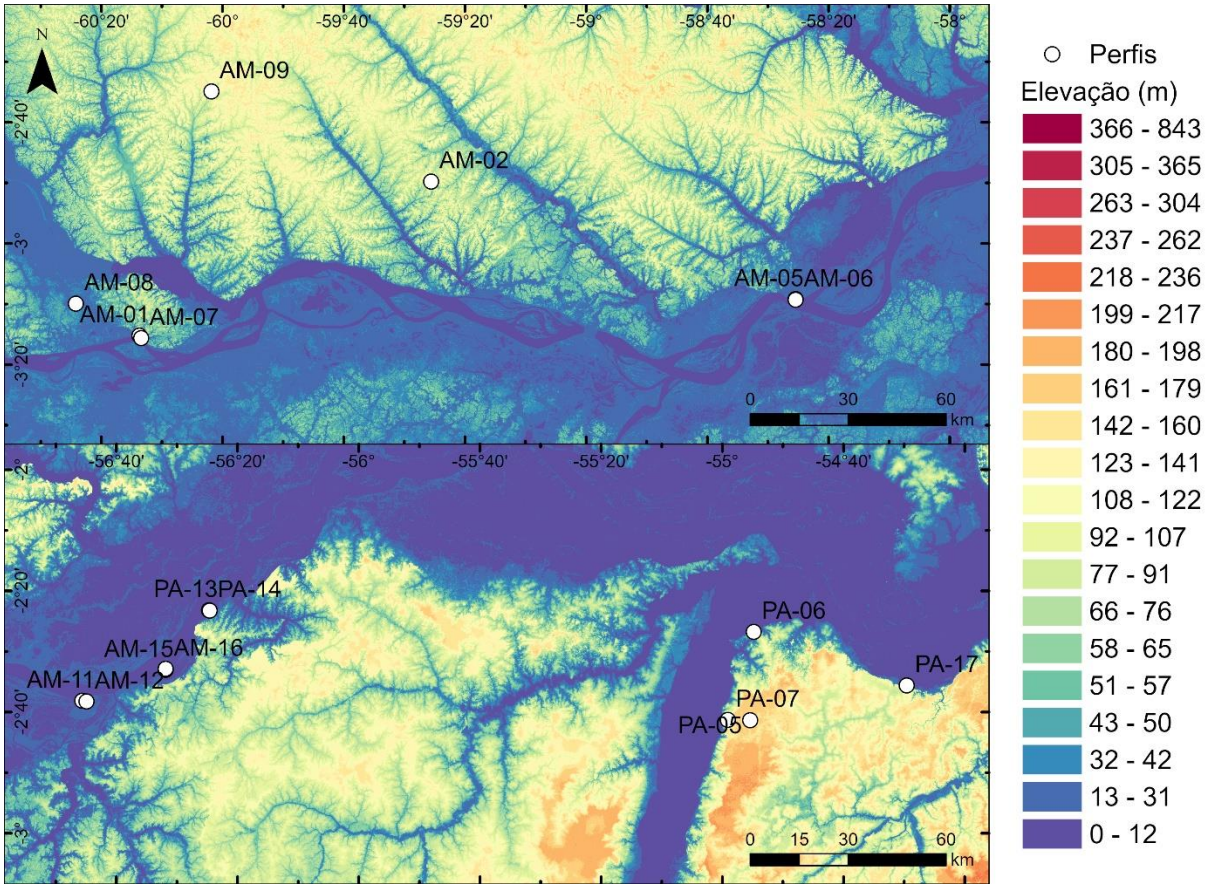


Figura 6.2. Mapas ilustrativos - modelo digital de elevação, com a localização dos perfis de solos da XV RCC.

Esses Latossolos Amarelos, concrecionários ou não, foram descritos e mapeados de forma pioneira num trabalho clássico do IPEAN (Falesi et al., 1969), sob coordenação do saudoso professor Ítalo Falesi, que identificou Latossolos Amarelos de textura desde muito argilosa até argilosa e média, além de Latossolos de textura arenosa, que hoje seriam classificados como Neossolos Quartzarênicos. Nesse trabalho pioneiro e clássico, Falesi já descrevia a presença de Espodossolos sobre a Formação Alter do Chão ou em depósitos arenosos, pleistocênicos, sendo então denominados de Podzóis Hidromórficos. Na carta de solos de Manacapuru, é possível identificar a grande mancha de Lateritas Hidromórficas distróficas identificadas (atuais Plintossolos) que formam o paleocanal do Ariaú, que ligava o Negro ao Amazonas. No perfil visitado na RCC, ocorrem as maiores manchas mapeadas de Plintossolos Háplicos (verde claro no mapa) da região, associados a Gleissolos Háplicos Tb Distróficos (Figuras 6.3 e 6.4).

Os outros perfis de Terra Firme assentam-se sobre os arenitos da Formação Alter do Chão, fortemente intemperizados e latossolizados, como no caso dos perfis AM-01, AM-02 e AM-09, sendo este último um Espodossolo desenvolvido de espesso pacote arenoso de topo, possivelmente formado pela transformação do manto latossólico em clima superúmido ou de um depósito arenoso mais recente. Espodossolos ocorrem tanto associados a LA da Formação Alter do Chão quanto a LVA e LA do embasamento granítico-gnáissico, como sugerido por Lucas et al. (1984), Bravard e Righi (1990), Andrade et al. (1997), Dubroeucq e Volkoff (1998), Mafra et al. (2002). O perfil AM-01 exemplifica um clássico perfil de Terra Preta de Índio na borda do Rio Solimões, na região de Iranduba, e foi alvo de intensos estudos arqueológicos e pedológicos nas últimas duas décadas (Lima et al., 2002), embora sua caracterização mais antiga publicada seja do IPEAN (Falesi et al., 1970).

Os mapas indicando os materiais de origem extraídos do mapa geológico (escala genérica, aproximada) (Figura 6.5) e a unidade de mapeamento com a classe de solos dominante ilustram o roteiro de perfis de Terra Firme (mais velhos, mais uniformes) e de Várzea (jovens, e mais variados em suas propriedades) (Figura 6.6). Da mesma forma, fazem-no os trabalhos do IPEAN já citados (Falesi et al., 1969, 1970).

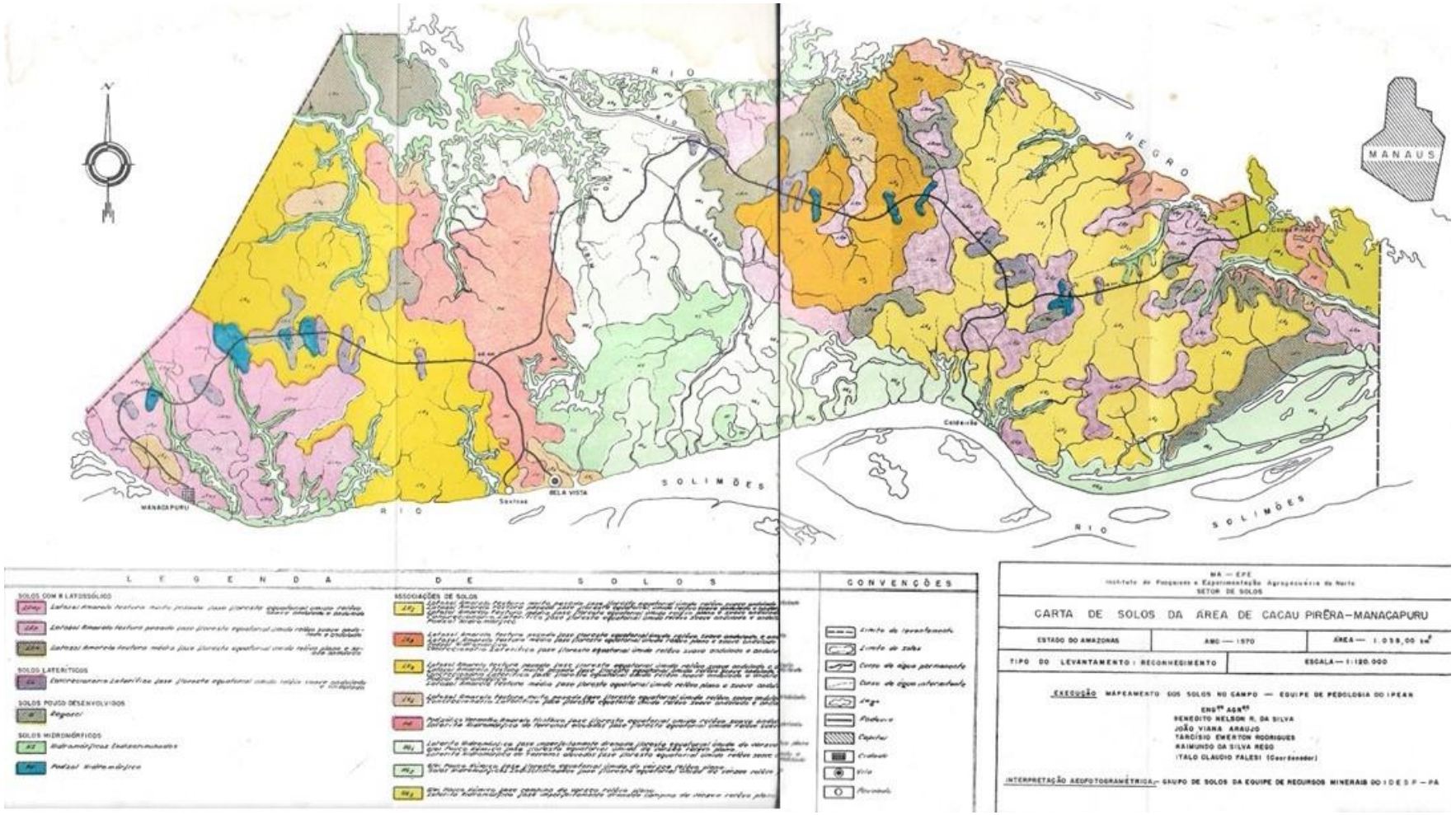


Figura 6.3. Reprodução de mapa de solo, abrangendo uma parte do percurso da XV RCC: Solos da área Cacau Pirêra-Manacapuru com a primeira descrição completa de uma Terra Preta de Índio na colônia japonesa de Manacapuru. A distribuição em toposequência, com transição de vegetação florestada até arbustiva (Campinarana) e graminosa (Campinas) no interflúvio Rio Preto da Eva/Urubu já antecipa a ideia de uma pedossequência de progressiva destruição de argila, por acidólise, nos topos aplainados da Formação Alter do Chão. Nesse sentido, parece relevante que os estudos pioneiros de Ítalo Falesi e grupo tenham avançado na compreensão da gênese desses corpos e solos arenizados por via pedogenética.

Fonte: Falesi et al. (1969, 1970).

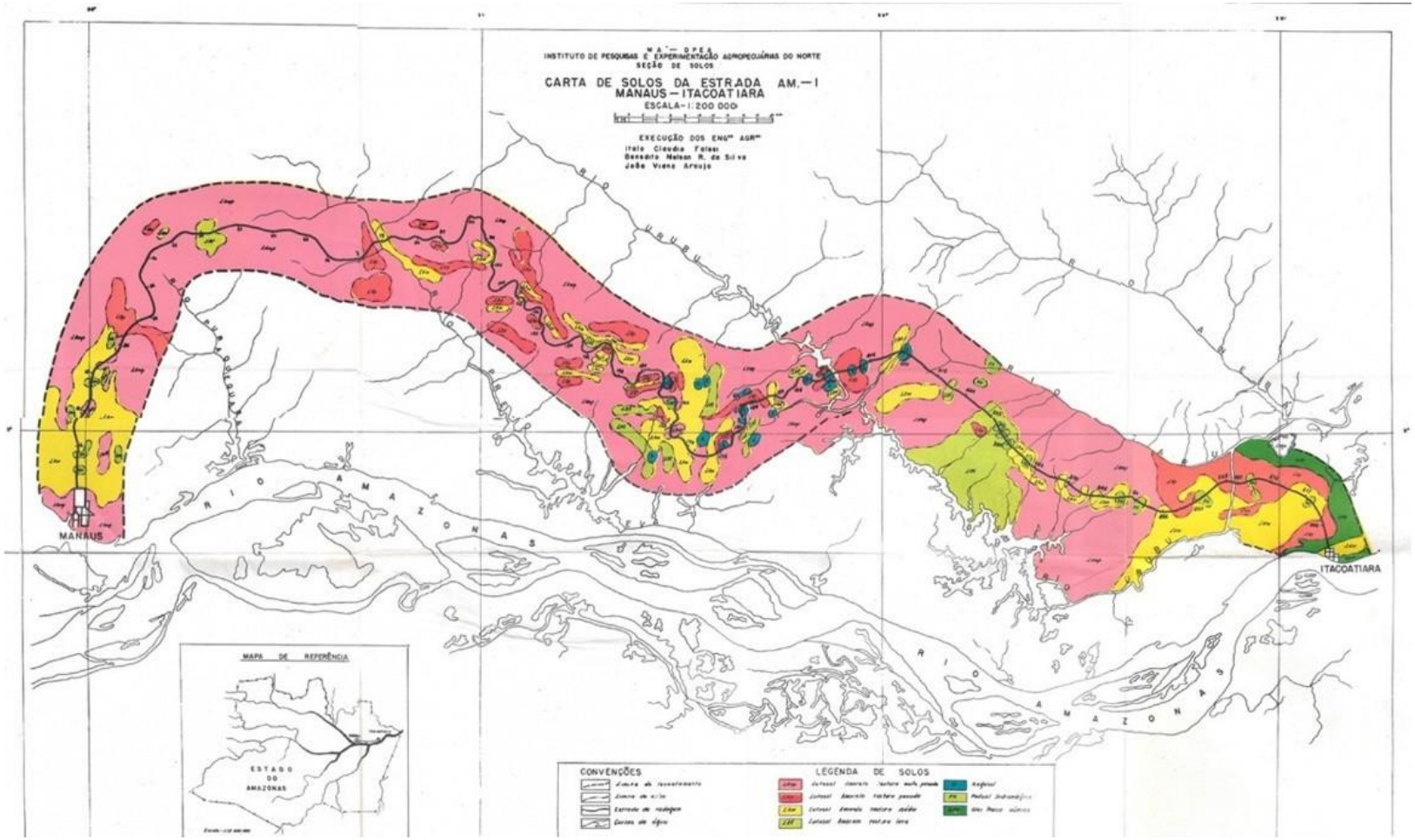


Figura 6.4 Reprodução de mapa de solo, abrangendo uma parte do percurso da XV RCC: Mapa de Solos da Estrada Manaus-Itacoatiara revelando as manchas esparsas de Podzóis Hidromórficos (Espodossolos) associados a Regossolos (Neossolos Regolíticos) e Latossolos Amarelos arenosos (Neossolos Quartzarênicos) e Latossolos Amarelos de textura média na legenda original. A distribuição em toposequência, com transição de vegetação florestada até arbustiva (Campinarana) e graminosa (Campinas) no interflúvio Rio Preto da Eva/Urubu já antecipa a ideia de uma pedossequência de progressiva destruição de argila, por acidólise, nos topos aplainados da Formação Alter do Chão. Nesse sentido, parece relevante que os estudos pioneiros de Ítalo Falesi e grupo tenham avançado na compreensão da gênese desses corpos e solos arenizados por via pedogenética.

Fonte: Falesi et al. (1969, 1970).

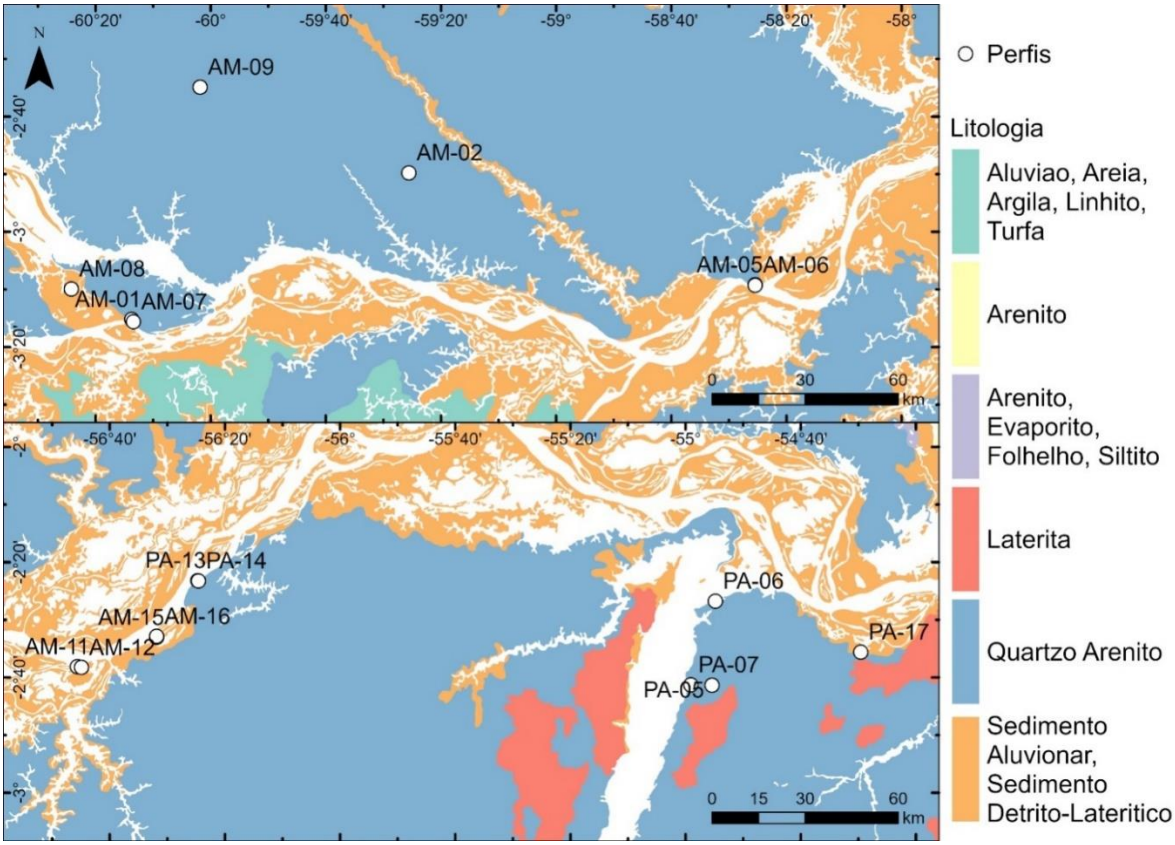


Figura 6.5. Mapas ilustrativos - material de origem, com a localização dos perfis de solos da XV RCC.

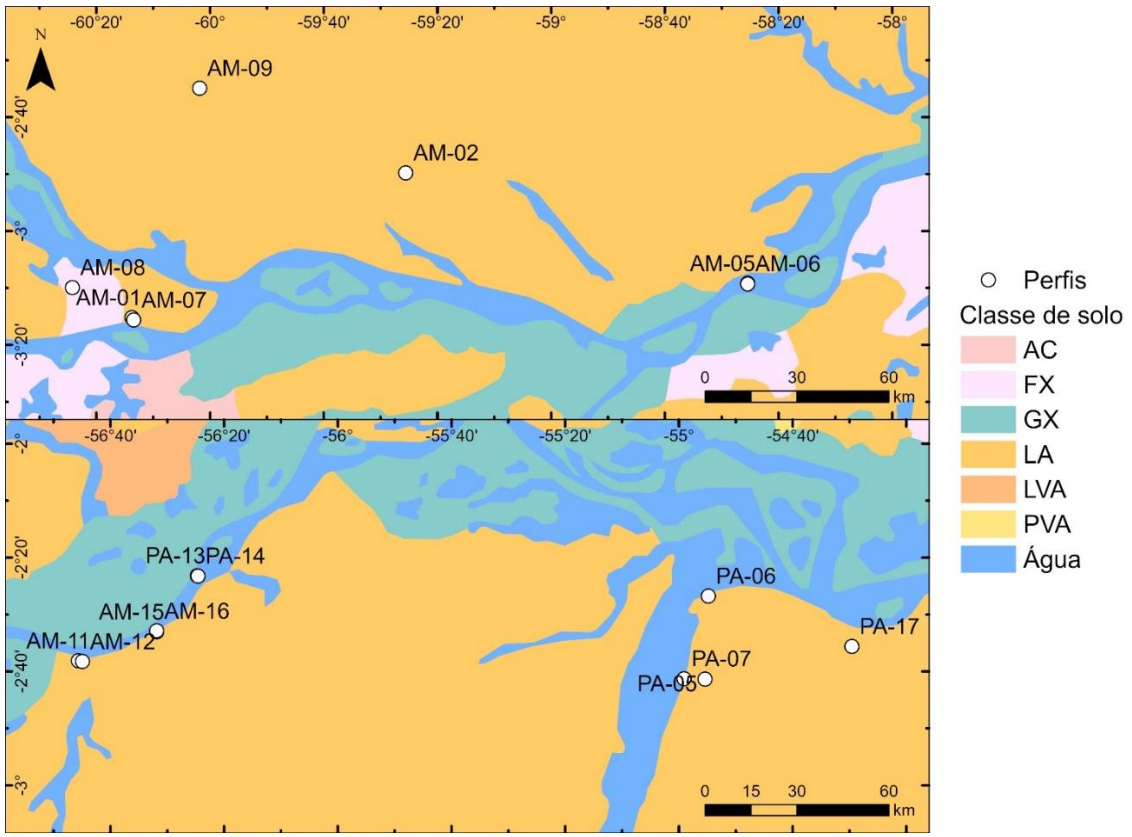


Figura 6.6. Mapas ilustrativos - classes de solos dominantes, com a localização dos perfis de solos da XV RCC.

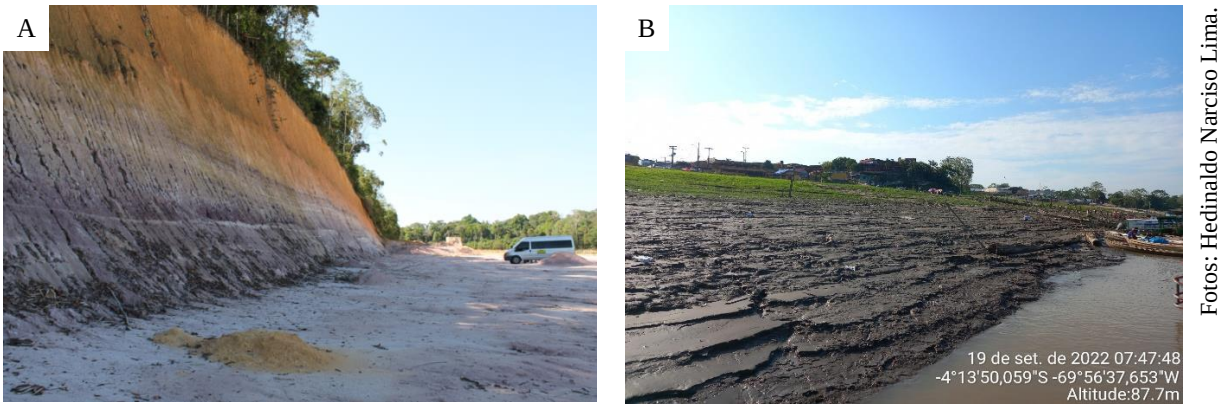
3. Solos da Amazônia

Apesar de a Amazônia ser dominada por terras baixas (baixos platôs dissecados em colinas ou tabuleiros), boa parte da região é associada a solos bem drenados e encontra-se muito influenciada pelo clima tropical úmido e por oscilações do nível do mar, que acompanharam as grandes mudanças climáticas do Quaternário (glaciais e interglaciais). Poucas regiões brasileiras possuem uma influência tão marcante dos regimes hidrológicos fluviais e marinhos nos solos quanto a Amazônia, fenômeno este operante em escalas de tempo variáveis (Schaefer et al., 2023). Pode-se experimentar anos de pouca chuva, quando o nível dos lagos e rios desce muito, até cheias extraordinárias, quando fenômenos climáticos continentais (El Niño, La Niña) afetam toda a extensão da Bacia Amazônica. O caminho percorrido na XV RCC é um dos mais emblemáticos exemplos desses extremos.

Dada a vasta extensão da região, o conhecimento dos solos da Amazônia, cujos estudos sistemáticos tiveram início a partir de 1950 (Falesi et al., 1969, 1970; Falesi, 1986; Rodrigues, 1996), com muitos deles concentrados em certas partes da região, é ainda comparativamente incipiente. Apesar de inúmeros trabalhos e do esforço de muitos pesquisadores que têm contribuído para o avanço do conhecimento dos solos da Amazônia, e do Rio Amazonas, em particular, há necessidade de ampliar esse conhecimento para uma melhor compreensão dos ecossistemas amazônicos, especialmente seus solos, suas inter-relações e adaptações, em resposta às intervenções humanas.

O interesse atual da pedologia amazônica é bem destacado pela realização de três das últimas Reuniões Brasileiras de Correlação e Classificação de Solos (Acre, Roraima e Rondônia), além da presente viagem.

É urgente e fundamental conhecer as limitações impostas pelo ambiente, sejam físicas ou químicas, e as práticas de convivência desenvolvidas pela população amazônida, especialmente das populações ribeirinhas, para enfrentar as limitações do meio. Apesar de a região amazônica estar submetida a um longo e profundo processo de intemperismo, as características químicas e mineralógicas dos solos são surpreendentemente variadas e ditadas pela natureza do material de origem e variações climáticas (regionais e locais). Áreas extensas de solos eutróficos, concentrados, existem onde há influência atual (ao longo da planície aluvial do Amazonas) ou pretérita (terraços e baixos planaltos das bacias do Acre e do Alto Amazonas) com sedimentos andinos (Figura 6.7A); ou, ainda, onde afloram rochas de maior riqueza química (calcários e pelíticas carbonáticas em Monte Alegre-Ererê; basaltos e diabásios em Roraima, Pará e Amapá). De modo geral, nas demais áreas, as condições bioclimáticas atuais, aliadas a certa homogeneidade das características do material de origem sedimentar ou cristalino, e geoformas suavizadas, levam à formação generalizada de solos muito profundos, intemperizados e pobres. Sobre esses, a mais extensa e pujante floresta tropical formou-se (Figura 6.7B).



Fotos: Hedinaldo Narciso Lima.

Figura 6.7. Superfície de domínio de Latossolos e Argissolos sobre sedimentos da Formação Alter do Chão – Manaus, AM (A); deposição recente de sedimentos holocênicos nas várzeas do Rio Solimões - Tabatinga, AM (B).

O controle geomorfológico na distribuição dos solos amazônicos é marcante. Num esboço geral, geoformas colinosas e morros residuais aplainados de baixos platôs estão geralmente associados a Latossolos Vermelho-Amarelos em áreas de rochas cristalinas ou Latossolos Amarelos nas áreas de sedimentos terciários; nos terços médio e inferior das colinas ou morros residuais aplainados ocorrem Argissolos, podendo apresentar plintita ou petroplintita, e ainda Neossolos Quartzarênicos e Espodossolos (Figura 6.8). Na planície aluvial (várzea) dos rios de águas brancas, predominam Gleissolos e Neossolos Flúvicos. Plintossolos e solos com caráter plíntico são predominantes nas terras baixas do Alto Amazonas, nos interflúvios Madeira/Purus/Juruá e Solimões/Japurá (Schaefer et al., 2000).

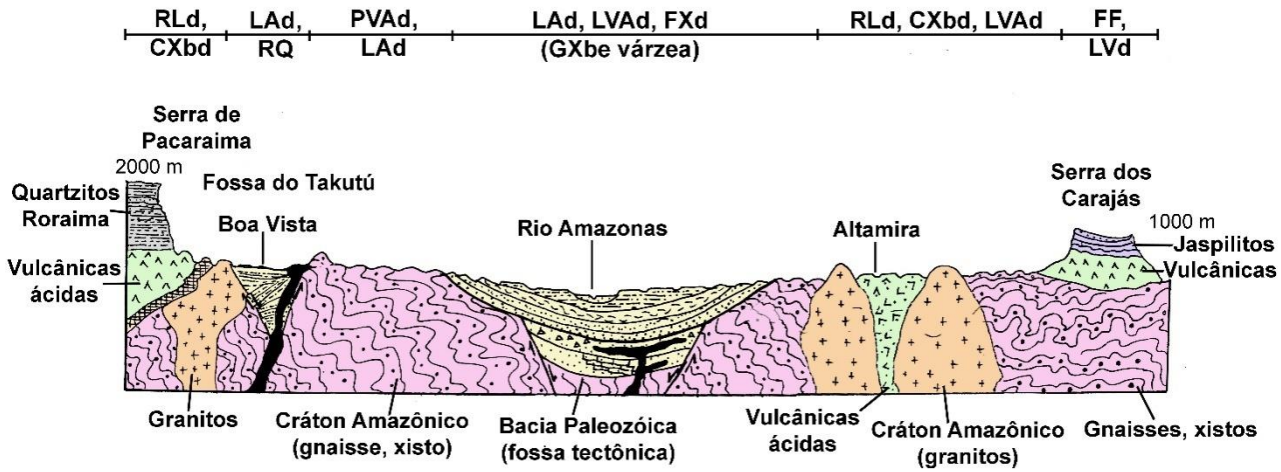


Figura 6.8. Corte geral ilustrando o controle geomorfológico na distribuição dos solos amazônicos, num corte topográfico das terras altas de Roraima até Carajás. RL: Neossolo Litólico; LA: Latossolo Amarelo; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; FX: Plintossolo Háplico; CX: Cambissolo Háplico; LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo; FF: Plintossolo Pétrico; RQ: Neossolo Quartzarênico; GX: Gleissolo Háplico; LV: Latossolo Vermelho; d: distrófico; b: argila de atividade baixa; e: eutrófico.

Fonte: Schaefer et al. (2000, 2023).

3.1. As Terras Pretas de Índio da Amazônia: exceções no ambiente de terra firme e de várzea

As Terras Pretas de Índio (TPI), denominadas *Amazon Dark Earths* na língua inglesa, são áreas cujos solos apresentam horizontes superficiais escuros e férteis. As cores escuras desses horizontes superficiais são devidas à elevada concentração de algumas formas aromáticas de carbono (*black carbon*), de origem predominantemente pirogênica (Glaser, 2007). Essas formas de carbono são muito estáveis e com alto poder pigmentante, apresentando também uma grande densidade de cargas negativas, o que confere elevada capacidade de troca de cátions (CTC) às TPI (Liang et al., 2006).

Desde a tese seminal de Sternberg (1956), sabe-se que ocorrem manchas de Terra Preta (com evidências arqueológicas) nas várzeas do Médio Amazonas, como ilustrado no mapa original de 1956 (Figura 6.9). Nesse esboço geomorfológico na Ilha do Careiro, estão identificadas áreas onde existem Terras Pretas (quadrados negros), ou cerâmica arqueológica (quadrados vermelhos), em plena várzea, enterrados.

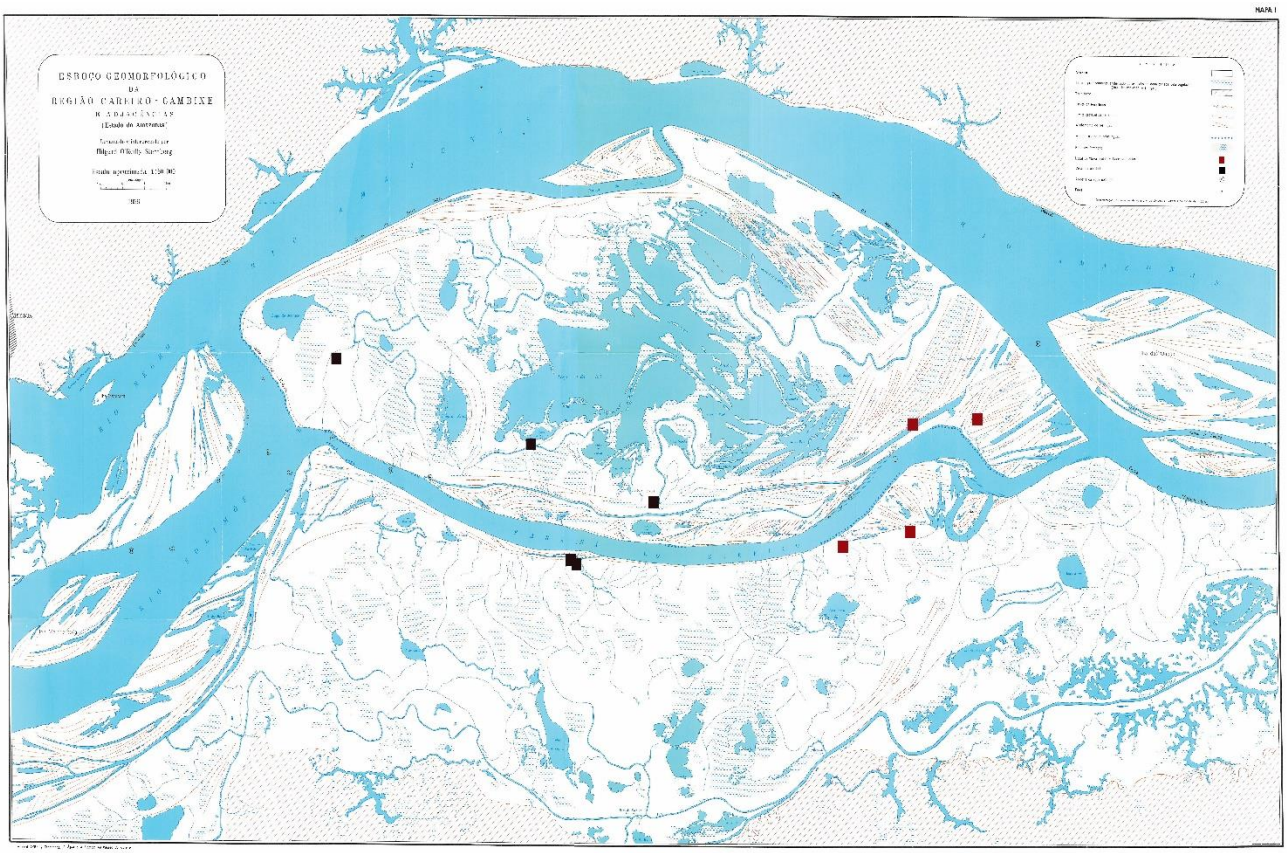


Figura 6.9. Mapa geomorfológico da várzea do Careiro, e identificação de sítios arqueológicos com Terra Preta na várzea, estudados por Souza.

Fonte: Souza (2011).

As TPI são também caracterizadas por elevadas concentrações dos cátions cálcio, magnésio, zinco e manganês (Smith, 1980; Lima et al., 2002; Lehmann et al., 2003; Kämpf; Kern, 2005). Os horizontes enriquecidos das TPI também apresentam normalmente artefatos cerâmicos arqueológicos e elevada concentração de fósforo (P) total e disponível quando comparados com os solos adjacentes, formados do mesmo material de origem (Sombroek, 1966; Kern; Kämpf, 1989; Lima, 2001; Lehmann et al., 2003; Glaser; Woods, 2004; Kern et al., 2003; Woods et al., 2009; Teixeira et al., 2009). Datações por técnicas radiocarbônicas indicam que a formação e a ocupação das áreas de TPI ocorreram principalmente entre 500 e 2500 anos antes do presente (AP) (Neves et al., 2004) e foram mais estudadas em Terra Firme, embora ocorram muitos sítios de várzea, enterrados ou não (Souza, 2011).

4. As várzeas e os povos originários do Amazonas

Os espanhóis de Francisco Orellana desceram de Quito pela artéria fluvial do Amazonas em 1541, numa viagem épica que revelaria o grande rio até sua foz atlântica e uma imensa população ribeirinha nas duas margens, especialmente a jusante de Manaus. Quase cem anos depois, a artéria seria pela primeira vez penetrada no sentido oposto, da foz até as encostas dos Andes (Rio Napo) pelos portugueses de Pedro Teixeira (1637), numa viagem que, além de épica, dilataria os limites de Tordesilhas e revelaria a riquíssima várzea do Rio Amazonas, logo em seguida varada por inúmeras expedições e entradas de caça ao índio (Homma, 2002). Por meio da Figura 6.10, busca-se representar o que seria a paisagem da várzea avistada pelos portugueses de Pedro Teixeira em 1637, na façanha de subida do Rio Amazonas numa caravela. As inúmeras aldeias dos Omágua formavam um corredor quase contínuo de habitações, baseadas na cultura da mandioca e do milho e na pesca abundante no rio e seus inúmeros paranás e lagos de várzea.

Inaugurou-se assim um período trágico nas relações culturais entre os povos originários e os europeus, cujo saldo seria a construção de uma sociedade única, apesar da violência histórica da colonização.

O rio comandava (e ainda comanda) a vida do amazônida. Abrir estradas, e conservá-las, em região tão densamente drenada por rios, e superúmida, não é tarefa para quaisquer engenheiros. A Amazônia é um gigantesco corpo atravessado de veias e artérias fluviais possantes, que sempre atraíram as gentes às suas beiras piscosas. Desde o extrativismo da pesca, da coleta de ovos de quelônios, da caça ao peixe-boi (para o consumo de carne – mixira e banha), do cultivo ou manejo do cacau e do guaraná, da instalação dos primeiros engenhos de cana-de-açúcar, do cultivo da juta e da malva por imigrantes japoneses, a rica várzea foi seu palco maior até pouco tempo atrás - este é o foco desta RCC.

Entre os anos de 1879 e 1912 deu-se o Ciclo da Borracha, um curto momento histórico importante pelo uso de recursos florestais amazônicos, não ligados à várzea. Só bem mais tardiamente, abriu-se o acesso às Terras Firmes, com a abertura da Belém-Brasília em 1960 e, logo depois, da Transamazônica (1972, ano da motosserra). Os eixos rodoviários criados resultaram na maior migração em massa do Nordeste e demais regiões para grandes espaços florestados convertidos, onde o limitado contingente populacional facilitava a propagação da pecuária bovina em pastagens plantadas à custa da floresta derrubada, ao mesmo tempo em que milhares de serrarias aproveitavam uma parte da imensa riqueza madeireira desperdiçada.

Grandes castanhais tombaram e queimaram, e, até 2000, 70% deles já estavam perdidos (Homma, 2002). Ao longo desse período, levas contínuas de agricultores chegaram à Amazônia tangidos pela decadência cafeeira, avanço da soja nos minifúndios e pelo sonho de conquistar um pedaço de terra prometida.

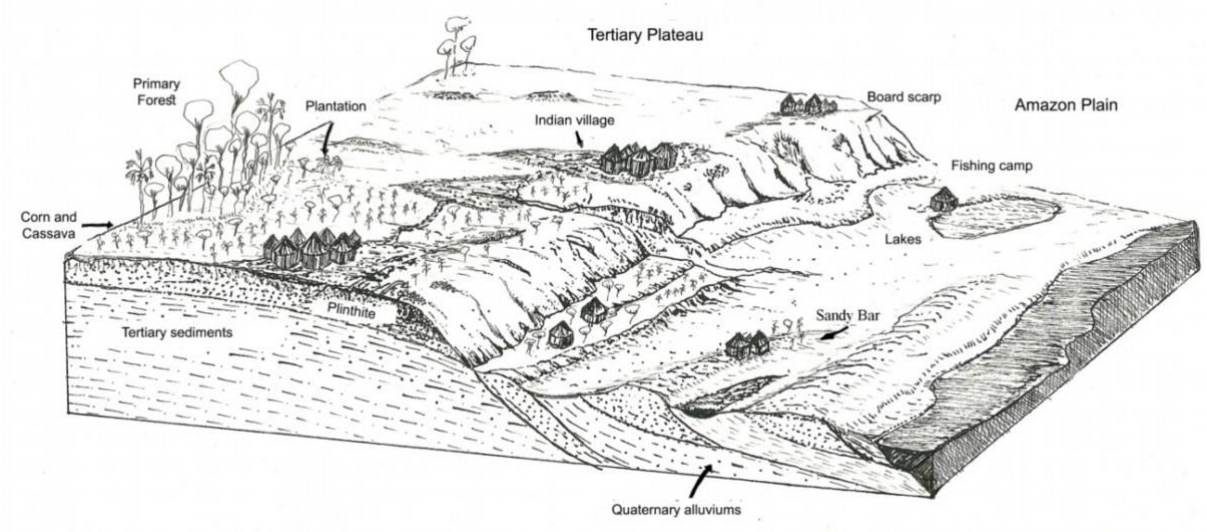


Figura 6.10. A paisagem da várzea e paisagem construída pelos povos pré-colombianos, como avistada pelos portugueses de Pedro Teixeira em 1637, na façanha de subida do Rio Amazonas numa caravela.

Fonte: Lima et al. (2002).

5. Perfis da XV RCC e contextos geológicos e geomorfológicos

Esta RCC apresenta um conjunto fortemente representativo dos solos da várzea, mas também de alguns terraços e da terra firme no seu entorno, classificados segundo Santos et al. (2018). Na várzea, especificamente, foram observados 11 perfis clássicos, e alguns *intergrades*, em relevo plano, com grande variação físico-química (desde eutróficos, na várzea atual, até mais desenvolvidos e álicos, na paleovárzea ou terraço). São os perfis AM-05 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico), AM-06 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico), AM-07 (Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico), AM-08 (Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico), AM-11 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico), AM-12 (Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico), AM-15 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico), AM-16 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico), PA-13 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico), PA-14 (Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico) e PA-17 (Organossolo Háplico Hêmico típico). Na terra firme, observou-se, especialmente, Latossolos Amarelos e solos arenosos – Neossolo Quartzarênico e Espodossolo –, representados pelos perfis AM-01, AM-02, AM-09, PA-05, PA-06 e PA-07 (detalhes – vide Capítulo 9).

Há muito se reconhece a existência na Amazônia de duas ordens de paisagem inteiramente diferentes: as várzeas e as terras firmes. Enquanto nas várzeas predominam solos muito jovens, formados a partir de sedimentos quaternários, com processo incipiente de

pedogênese, nas terras firmes os solos são bem mais evoluídos, formados a partir de sedimentos mais antigos ou de rochas cristalinas muito mais antigas e profundamente intemperizadas.

Sobre essas diferentes formações pedológicas, umas mais ricas em nutrientes, outras, mais pobres, desenvolve-se uma exuberante e rica vegetação, fato que levou os primeiros naturalistas que visitaram a Amazônia a associarem a riqueza da flora a uma riqueza química do ambiente: *"*as florestas primordiais das zonas equatoriais são soberbas e grandiosas por sua vastidão e por mostrarem uma força de desenvolvimento e um vigor nunca testemunhados em climas temperados*"* (Wallace, 1870). Bates (1844) também imaginava que a floresta dependia de uma riqueza abundante do solo. Todavia, o conhecimento atual nega totalmente essa correlação, notadamente no ambiente mais bem drenado de terra firme, onde a biomassa florestal alcança máxima expressão.

As terras firmes são as porções de terra situadas acima das áreas de influência dos rios e que, portanto, não sofrem hidromorfismo ou inundação fluvial. Como já destacado, os solos bem drenados de terra firme da bacia sedimentar do Amazonas são formados a partir de sedimentos cretáceos/terciários da Formação Alter do Chão/Barreiras, originados de material pré-intemperizado proveniente da erosão dos dois flancos do Cráton (Guianas e do Brasil Central). Têm reserva química praticamente negligível.

As principais feições pedológicas dominantes nos ambientes de terra firme da Amazônia são os Latossolos Amarelos distróficos, de textura argilosa (dominante) até média, às vezes com caráter alumínico, nas posições de topo, transicionando para plíntico no terço superior e argissólico nos sopés das encostas. Nos ambientes de várzeas amazônicas, há presença predominante de Gleissolos e Neossolos Flúvicos, frequentemente com argila de atividade alta (Lima et al., 2006; Campos et al., 2011), fato este decorrente do caráter deposicional, representado por planícies e terraços aluviais holocênicos.

Um fato marcante em toda a planície amazônica onde sedimentos são constantemente adicionados (depositados) ou erodidos nas várzeas e diques arenosos é o hidromorfismo, causado pelo nível elevado do lençol freático em toda as terras baixas da Amazônia, o que afeta até mesmo áreas de deposição recente. É que, muitas vezes, os sedimentos têm cores gleizadas herdadas do material depositado, pela constante redeposição e retrabalhamento aluvionar. Assim sendo, mesmo em áreas de diques arenosos recentes, tem-se cores gleizadas em solos aluviais, o que torna a classificação desses *intergrades* tarefa complexa.

Desde os trabalhos pioneiros do IPEAN, nos anos 1960, percebeu-se a dificuldade de separar os solos hidromórficos da várzea pelo grau de desenvolvimento, textura e gleização, sendo a maioria das unidades de mapeamento dos solos de várzeas classificada, naquela ocasião, como Glei Pouco Húmicos eutróficos, e pelas associações com Lateritas Hidromórficas (Plintossolos Háplicos) nos terraços pouco mais elevados. Os Neossolos Flúvicos (solos aluviais) dos diques arenosos não foram separados nos primeiros levantamentos, dada a generalização da gleização como processo de formação nas várzeas, e nos próprios sedimentos aluviais, de cores acinzentadas. Tal dificuldade foi bem retratada nesta RCC, onde muitos *intergrades* Gleissolos/Neossolos Flúvicos foram apresentados (Gleissolos neofluvissólicos).

A composição granulométrica da maioria dos solos de várzea, especialmente os Gleissolos e Neossolos Flúvicos, revela predomínio das frações mais finas - silte e argila - e baixos teores de areia. De acordo com dados de Lima et al. (2006) e Guimarães et al. (2013), os teores de silte são muito elevados na várzea, notadamente nos Gleissolos, podendo representar mais de 50% dos componentes da TFSA, o que evidencia o baixo grau de pedogênese nesses ambientes (Figura 6.10, Tabela 6.1).

Tabela 6.1. Composição granulométrica de Gleissolos da várzea do Rio Solimões (Manacapuru, AM, e Iranduba, AM).

Horizonte	Profundidade	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	(cm)	---------- g kg^{-1} ----------			
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico típico					
Ag	0 - 20	8	5	567	420
Cg_1	20 - 65	10	46	612	332
Cg_2	65 - 90	22	82	604	292
2Cg	90 - 130	109	557	238	96
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico típico					
Ag	0-13	7	11	447	535
Cg_1	13- 33	2	4	726	268
Cg_2	33 - 52	3	7	806	184
Cg	52 - 85	2	5	679	315
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico					
Ag	0 - 7	6	4	738	208
Cg_1	7 - 22	4	89	703	284
Cg_2	22 - 60	8	127	690	175
Cg_3	60 - 132	3	13	733	251
Cg_4	132 - 180$^+$	11	19	781	189
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico					
Ag	0 - 3	15	37	694	253
Cg_1	3 - 49	3	41	726	230
Cg_2	49 -76	81	144	595	180
Cg_3	76 -117	12	11	603	373
$2Cg_4$	117 - 155	518	57	129	297
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico chernossólico					
Ag	0 - 25	3	27	744	227
Cg_1	25 - 43	4	36	747	214
Cg_2	43 - 70	125	87	636	152
Cg_3	70 - 150	13	27	671	290

Fonte: Guimarães et al. (2013).

As condições restritas de drenagem, resultantes das características ambientais e da granulometria fina e argila de atividade alta dos sedimentos originais, condicionaram um processo de intemperismo menos acentuado do que aquele observado nos solos bem drenados, o que resulta em perfis mais rasos e de maior riqueza de componentes minerais, quando comparados com os solos bem drenados. No Tabela 6.2, apresenta-se um exemplo dessa expressiva diversidade mineralógica de solos de várzea (para mais detalhes – vide o capítulo específico).

Tabela 6.2. Composição mineralógica das frações argila, silte e areia fina de solos de várzeas amazônicas.

Hor.	Prof.(cm)	Argila	Silte	Areia fina
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico típico (Médio Amazonas)				
A	0 – 13	Cl, Vm, Es, Mi/Il, Ct, Qz	Qz, Ct, Mi/Il, Es, Cl, Vm, Fs	Qz, Mi/Il, Vm, Ct, Fs, Pg
2Cg	62 – 100	Cl, Vm, Es, Mi/Il, Ct, Qz	Qz, Ct, Mi/Il, Es, Cl, Vm, Fs	Qz, Mi/Il, Vm, Ct, Fs, Pg
Neossolo Flúvico Ta Eutrófico (Médio Amazonas)				
A	0 – 5	Cl, Vm, Es, Mi/Il, Ct, Qz	Qz, Ct, Mi/Il, Es, Cl, Vm, Fs	Qz, Mi/Il, Vm, Ct, Fs, Pg
5C5	50 – 150	Cl, Vm, Es, Mi/Il, Ct, Qz	Qz, Ct, Mi/Il, Es, Cl, Vm, Fs	Qz, Mi/Il, Vm, Ct, Fs, Pg
Neossolo Flúvico Ta Eutrófico (Alto Solimões)				
A	0 – 14	Cl, Vm, Es, Mi/Il, Ct, Qz	Qz, Ct, Mi/Il, Es, Cl, Vm, Fs	Qz, Mi/Il, Vm, Ct, Fs, Pg
3C3	70 – 100	Cl, Vm, Es, Mi/Il, Ct, Qz	Qz, Ct, Mi/Il, Es, Cl, Vm, Fs	Qz, Mi/Il, Vm, Ct, Fs, Pg

Ct – caulinita; Cl – clorita; Es – esmectita; Fs – feldspato; Il – ilita; Mi – mica; Pg – plagioclásio; Qz – quartzo; Vm – vermiculita.

Fonte: Lima (2001).

Apesar da expressiva riqueza química da maioria de seus solos, a várzea apresenta limitações importantes ao cultivo, que podem tornar o cotidiano nesse ambiente um grande desafio para os seus habitantes, por exemplo:

a) as grandes cheias que limitam o tempo para o cultivo e que, dependendo da velocidade da subida das águas, podem causar a perda de toda a produção, especialmente de culturas que não resistem ao excesso de água nos solos, como mandioca e banana;

b) o fenômeno das terras caídas, que literalmente arrasta cultivos, residências e outros bens materiais construídos com muito custo (Figura 6.11);

c) e, mais recentemente, as grandes secas que se têm repetido com maior frequência. Neste caso, além das perdas de cultivo, a escassez de água para as necessidades diárias impõe uma dura realidade, com as quais os ribeirinhos não têm desenvolvido uma forma de convívio.

Foto: Guilherme Resende Corrêa.



Figura 6.11. Fenômeno de terras caídas – Iranduba, AM.

6. Os povos amazônidas das várzeas: a organização inicial da ocupação amazônica

Nesta RCC foram destacados e discutidos aspectos de uso, manejo e da dinâmica de ocupação das várzeas pelos povos amazônidas, pois trata-se de um dos mais ricos e complexos mecanismos de adaptação tropical (Witkoski, 2007) a um meio altamente dinâmico e sazonal, em que se entrelaçam águas, terras e florestas num tecido socioambiental único no mundo tropical. É o maior espaço tropical de inundação do planeta, estirado desde o sopé dos Andes até a foz do Amazonas (Schaefer et al., 2023), com imensas variações hidrológicas, atingindo (na altura da foz do Juruá) impressionantes 120 km de largura de planície fluvial. Uma bacia que transporta, sozinha, 20% de toda a água doce por via fluvial, globalmente.

Na várzea, a posse da terra camponesa (caboclos ribeirinhos) tem um padrão bem definível: a centralidade da mandioca, entre os cultivos, e da pesca, quase sempre extrativa e artesanal. Há uma dimensão temporal bem particular: o tempo de trabalho, o tempo da produção, regidos pelo tempo da natureza, ditado pelas águas, em suas cheias e vazantes poderosas. Nas vazantes, a abundância de peixes basta para a opulência de proteína animal. Nas cheias, somem os peixes, e passam os animais domesticados a ter um papel crucial na dieta (galinhas, porcos, bovinos), desde que sejam protegidos das grandes águas. Há um entrelace sutil entre as forças do trabalho incansável dos homens e a gigantesca força das águas que drenam quase um terço de um continente inteiro (Schaefer et al., 2000).

A XV RCC apresentou os solos mais representativos da Terra Firme adjacente à Várzea. Num vasto domínio de Latossolos e Argissolos, ocorrem espaços hidromórficos em áreas arenizadas pelo intemperismo, sendo ocorrentes ali os Espodossolos e os Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos. Mas há dois setores com climas distintos que foram visitados. De Manaus até Parintins e fronteira do Pará, o clima mais úmido, equatorial, reveste-se de uma floresta equatorial pujante. Na região de Santarém, na altura da foz do Rio Tapajós, temos um corredor seco que atravessa a Amazônia, de sudeste a noroeste, e cria um núcleo de clima mais seco e sazonal, além de abrigar a maior mancha de cerrados equatoriais da Bacia Amazônica: os campos cerrados de Alter do Chão, Monte Alegre/Ererê.

Uma visão de síntese aproximada sobre os pedoambientes (usos e outras características gerais) apresentados na RCC está resumida a seguir (Tabela 6.3).

Tabela 6.3. Pedoambientes da Várzea e transição Várzea-Terra Firme na região entre Iranduba e Santarém, na Bacia Amazônica.

Pedoambiente	Aspectos gerais, do uso, perfil fundiário	Culturas principais e animais	Características geoecológicas
Neossolos Flúvicos	Tamanho médio de 25-35 ha de propriedade, com cultivo em 10-20% da área (aprox.); casas de alvenaria ou palafitas baixas, e casas de farinha nas partes altas; até 8 anos de pousio (capoeira madura) e cultivos de até 4 anos; pousios manejados.	Roça de milho, pomares, cacau, banana, mandioca e macaxeira de ciclo precoce, batata doce e hortaliças, feijão caupi em consórcio com milho (Figura 6.12). Galinhas e patos, bovinos.	Praias (fertilidade maior), restinga e diques aluviais arenosos (mais longos e alargados); inundações mais curtas e episódicas; maior renovação nas praias; uso dos currais na rotação com hortaliças.
Gleissolos	Tamanho médio de 25-35 ha de propriedade, com cultivo em 10-20% da área (aprox.), menos comum que no anterior; palafitas elevadas ou casas flutuantes; pousios de 1/2 anos com 3/4 anos de cultivos.	Extrativismo de canarana, malva, juta; hortaliças em jiraus ou área drenada, melancia, repolho, pimentão.	Margens de lagos e antigos lagos colmatados; inundações prolongadas e extensas.
Plintossolos	Áreas reduzidas (menos de 10% do total das propriedades); casas de alvenaria, chiqueiros, currais; pousios mais longos que 4 anos, e cultivos de até 2 anos.	Mandioca, batata-doce, consórcio milho/feijão em menor proporção, melancia. Bovinos, suínos, caprinos e galinhas.	Terraços aluviais antigos, ligeiramente basculhados.
Argissolos plínticos, Argissolos	Áreas com menos de 15% das propriedades; casas de alvenaria e outras estruturas permanentes; currais e retiros para época de cheias; pousios longos (> 10 anos), exceto em TPI.	Mandioca e macaxeira (tardios), milho/feijão, frutíferas (mamão e banana) muito comuns nas TPI. Hortaliças, jerimum, maxixe, cheiro verde, pimentas, guaraná, melancia, laranjas, limão, cupuaçu, cacau. Bovinos e galinhas.	Borda erodida dos platôs de terra firme, com frequente afloramento de couraça laterítica (canga) ou arenitos ferruginizados da Formação Alter do Chão, material latossolizado; muito comum a presença de TPI nos limites com a várzea ou lagos.

Foto: Hedinaldo Narciso Lima.



Figura 6.12. Cultivo de hortaliças e frutas em ambientes de várzea do Rio Solimões – Iranduba, AM.

7. Considerações finais

Como mencionado no Capítulo 1 deste Guia de Campo, nesta RCC, após eventos anteriores aventurou-se pelas bordas do bioma Amazônia em território brasileiro, mas agora se adentra a região central da Amazônia brasileira, contemplando um dos seus ambientes mais especiais: as várzeas ou planície de inundação do Rio Amazonas/Solimões. O intuito é aprofundar o conhecimento sobre os solos da Amazônia e discutir seu potencial de uso e seu manejo sustentável na mais extensa área de solos férteis da região.

Repleta de simbolismos, a XV RCC estende-se desde o encontro do Negro com o Solimões, um pouco mais a montante, até o encontro do Amazonas com o Tapajós, um pouco mais a jusante, passando ainda pela foz do Madeira. É uma região densamente povoada, para os padrões amazônicos, onde o uso do solo é mais intenso nas áreas de várzeas para atender cidades mais populosas como Manaus, Santarém, Parintins e Itacoatiara.

Representa para todos os seus participantes uma excelente oportunidade de conhecer não apenas os solos, nosso objetivo principal, mas também um pouco de sua gente e sua cultura, especialmente os ribeirinhos, que, como destacado neste capítulo, convivem cotidianamente com um belo e fértil ambiente, mas igualmente duro e desafiador.

Que o conhecimento gerado e adquirido nesta RCC ajude-nos, a todos, a compreender, valorizar e amar ainda mais a Amazônia, e que possam muitos de nós, de alguma maneira, contribuir para melhorar as condições de vida de seu povo.

Referências

ANDRADE, H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; DEMATTÊ, J. L. I.; ANDRADE, F. V. Pedogeomorfologia e micropedologia de uma seqüência de Latossolo-areia quartzosa hidromórfica sobre rochas cristalinas do estado do Amazonas. **Geonomos**, v. 5, n. 1, p. 55-66, 1997. DOI: https://doi.org/10.18285/geonomos.v5i1.189.

BATES, H. W. **The naturalist on the River Amazonas**. London, 1844.

BRAVARD, S.; RIGHI, D. Micromorphology of an Oxisol-Spodosol catena in Amazonia. In: DOUGLAS, L. A. **Soil micromorphology**: a basic and applied science. Amsterdam: Elsevier, 1990. p. 169-174. (Developments in soil science, 19). DOI: https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)70327-1.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; SOUZA, R. V. C. C.; ALMEIDA, M. C. Caracterização e classificação de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 598-609, 2011. DOI: https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000300016.

CUNHA, E. da. **À margem da História**. São Paulo: Cultrix; Brasília, DF: INL, 1975. 228 p.

DUBROEUCQ, D.; VOLKOFF, B. From Oxisols to Spodosols and Histosols: evolution of the soil mantles in the Rio Negro basin (Amazonia). **Catena**, v. 32, n. 3/4, p. 245-280, 1998. DOI: https://doi.org/10.1016/S0341-8162(98)00045-9.

FALESI, I. C.; CRUZ, E. de S.; PEREIRA, F. B.; LOPES, E. de C. **Os solos da área Manaus - Itacoatiara**. Belém, PA: IPEAN, 1969. 116 p. (IPEAN. Estudos e Ensaios, n. 1). Disponível em: https://edepot.wur.nl/482699. Acesso em: 16 jul. 2025.

FALESI, I. C. Estado atual de conhecimento de solos da Amazônia brasileira. In: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, 1., 1984, Belém, PA. **Anais** [...]. Brasília, DF: EMBRAPA-Departamento de Difusão de Tecnologia; Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1986. v. 1, p. 168-191. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 36). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/393167/1/CPATUDoc36v1.pdf. Acesso em: 30 jun. 2025.

FALESI, I. C.; SILVA, B. N. R. da; ARAUJO, J. V.; RODRIGUES, T. E.; REGO, R. da S.; GUIMARÃES, G. de A. **Os solos da área Cacau Pirêra - Manacapurú**. Belém, PA: IPEAN, 1970. 198 p. (IPEAN. Solos da Amazônia, v. 2, n. 3). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/386453. Acesso em: 15 jul. 2025.

GLASER, B. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 362, n. 1478, p. 187-196, 2007. DOI: https://doi.org/10.1098/rstb.2006.1978.

GLASER, B.; WOODS, W. I. (ed.). **Amazonian dark earths**: explorations in space and time. Berlin: Springer, 2004. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-05683-7.

GUIMARÃES, S. T.; LIMA, H. N.; TEIXEIRA, W. G.; NEVES JUNIOR, A. F.; SILVA, F. W. R.; MACEDO, R. S.; SOUZA, K. W. Caracterização e classificação de Gleissolos da várzea do Rio Solimões (Manacapuru e Iranduba), Amazonas, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 2, p. 317-326, 2013. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000200003.

HOMMA, A. K. O. O dilema da Amazônia. In: SPITZ, A.; PEITER, G. (coord.). **A questão social e as saídas para a pobreza**. Rio de Janeiro: Oficina Social, 2002. p. 19-31. (Cadernos da Oficina Social, 11).

KÄMPF, N.; KERN, D. C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P. da; CARDOSO, E. J. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. v. 4, p. 277-320.

KERN, D. C.; D'AQUINO, G.; RODRIGUES, T. E.; FRAZÃO, F. J. L.; SOMBROEK, W.; MYERS, T. P.; NEVES, E. G. Distribution of Amazonian Dark Earths in the Brazilian Amazon. In: LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, W. I. (ed.). **Amazonian Dark Earths**: origin, properties, management. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. cap. 4, p. 51-75. DOI: DOI: https://doi.org/10.1007/1-4020-2597-1_4.

KERN, D. C.; KÄMPF, N. O efeito de antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na região de Oriximiná-PA. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 13, p. 219-225, 1989.

LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, W. I. (ed.). **Amazonian Dark Earths**: origin, properties, management. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. 523 p. DOI: https://doi.org/10.1007/1-4020-2597-1.

LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; KINYANGI, J.; GROSSMAN, J.; O'NEILL, B.; SKJEMSTAD, J. O.; THIES, J. B.; LUIZAO, F. J.; PETERSEN, J.; NEVES, E. G. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 70, n. 5, p. 1719-1730, 2006. DOI: https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0383.

LIMA, H. N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental.** 2001. 176 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Disponível em: http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/7934. Acesso em: 30 jun. 2025.

LIMA, H. N.; MELLO, J. W. V. de; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C.; LIMA, A. M. N. Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 59-68, 2006. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000100007.

LIMA, H. N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; GILKES, R. J.; KER, J. C. Pedogenesis and pré-Colombian land use of "Terra Preta Anthrosols" ("Indian black earth") Western Amazonia. **Geoderma**, v. 110, n. 1/2, p. 1-17, 2002. DOI: https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00141-6.

LUCAS, Y.; CHAUVEL, A.; BOULET, R.; RANZANI, G.; SCATOLINI, F. Transição Latossolos-Podzóis sobre a formação Barreiras na região de Manaus, Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, p. 325-335, 1984. Disponível em: https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/23D00010.pdf. Acesso em: 30 jun. 2025.

MAFRA, A. L.; MIKLÓS A. A. W.; VOLKOFF, B.; MELFI, A. J. Pedogênese numa seqüência Latossolo-Espodossolo na região do alto Rio Negro, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 2, p. 381-394, 2002. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000200012.

NEVES, E. G.; PETERSEN, J. B.; BARTONE, R. N.; HECKENBERGER, M. J. The timing of Terra Preta formation in the central Amazon: archaeological data from three sites. In: GLASER, B.; WOODS, W. I. (ed.). **Amazonian dark earths**: explorations in space and time. Berlin: Springer, 2004. cap. 9, p. 125-134. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-05683-7_9.

RANZANI, G.; KINJO, T.; FREIRE, O. Ocorrências de ''plaggen epipedon'' no Brasil. **Noticia Geomorfologica**, v. 10, p. 55-62, 1970.

RODRIGUES, T. E. Solos da Amazônia. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Universidade Federal de Viçosa, 1996. p. 19-60.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003. Acesso em: 30 jun. 2025.

SCHAEFER, C. E. G. R.; LIMA, H. N.; VALE JÚNIOR, J. F. do; MELLO, J. W. V. de. Uso dos solos e alterações da paisagem na Amazônia: cenários e reflexões. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**: série ciências da terra, v. 12, p. 63-104, 2000.

SCHAEFER, C. E. G. R.; LIMA, H. N. de; TEIXEIRA, W. G.; VALE JUNIOR, J. F. do; SOUZA, K. W. de; CORRÊIA, G. R.; MENDONÇA, B. A. F. de; AMARAL, E. F. do; CAMPOS, M. C. C.; RUIVO, M. de L. P. Solos da região amazônica. In: CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. (ed.). **Pedologia**: solos dos biomas brasileiros. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. cap. 3, p. 111-175.

SCHAEFER, C. E. G. R.; LIMA, H. N.; TEIXEIRA, W. G.; VALE, J. F. do; CORRÊA, G. R.; MENDONÇA, B. A. F. de; MELO, V. F.; AMARAL, E. F. do; CAMPOS, M. C. C.; RUIVO, M. de L. P. Soils from Brazilian Amazonia. In: SCHAEFER, C. E. G. R. (ed.). **The soils of Brazil**. Cham: Springer, 2023. cap. 4, p. 85-128. (World soils book series). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-19949-3_4.

SILVA, A. J. P. da; LOPES, R. da C.; VASCONCELOS, A. M.; BAHIA, R. B. C. Bacias sedimentares paleozóicas e meso-cenozóicas interiores. In: BIZZI, L. A.; SCHOBBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (ed.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**: texto, mapas & SIG. Brasília, DF: CPRM, 2003. cap. 2, p. 55-85. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/5006. Acesso em: 30 jun. 2025.

SMITH, N. J. H. Anthrosols and human carrying capacity in Amazônia. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 70, n. 4, p. 553-566, 1980. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1980.tb01332.x.

SOMBROEK, W. G. **Amazon soils**: a reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region. Wageningen: PUDOC, 1966. 292 p.

SOUZA, K. W. de. **Gênese, mineralogia, micromorfologia e formas de fósforo em arqueo-antropossolos da várzea do Rio Amazonas**. 2011. 247 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Disponível em: http://locus.ufv.br/handle/123456789/1615. Acesso em: 30 jun. 2025,

STERNBERG, H. O. **A água e o homem na várzea do Careiro**. Rio de Janeiro, 1956. 229 p. Tese de concurso à cátedra de Geografia do Brasil da Faculdade Nacional de Filosofia da Universidade do Brasil.

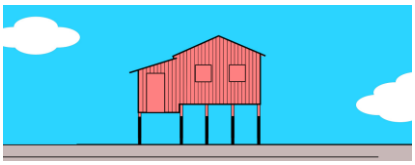
TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia**: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. 1 CD-ROM. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/684554. Acesso em: 30 jun. 2025.

WALLACE, A. R. **A narrative of travels on the Amazon and Rio Negro**. London: Macmillan and Co., 1870.

WITKOSKI, A. C. **Terras, florestas e águas de trabalho**: os camponeses amazônicos e as formas de uso de seus recursos naturais. Manaus: EDUA, 2007. v. 1, 486 p.

WOODS, W. I.; TEIXEIRA, W. G.; LEHMANN, J.; STEINER, C.; WINKLERPRINS, A.; REBELLATO, L. (ed.). **Amazonian dark earths**: Wim Sombroek's vision. Berlin: Springer, 2009. 502 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9031-8.

Capítulo 7



Histórico das transformações de uso e ocupação dos solos das várzeas no Rio Amazonas no trecho de Manaus a Santarém

Alfredo Kingo Oyama Homma

1. Introdução

A área de estudo da *XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC* das várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno (XV RCC) integra Manaus, no estado do Amazonas, e a mesorregião do Baixo curso do Rio Amazonas, no estado do Pará. Ao longo do tempo ocorreram mudanças nas designações dessas mesorregiões e na criação de novos municípios.

Como atividades de campo desta XV RCC, foram realizadas a análise e a observação de 17 perfis de solos, sendo onze no estado do Amazonas e seis no estado do Pará. No estado do Amazonas foram estudados um em Manaus, três em Iranduba, um em Rio Preto da Eva, dois em Itacoatiara e quatro em Parintins, enquanto no estado do Pará foram dois em Juruti, dois em Belterra e dois em Santarém. Essas regiões envolvem seculares áreas de várzeas e a interface das terras firmes com povoamentos surgidos com a abertura de rodovias a partir da década de 1960, que serão motivo de breve comentário (Figura 7.1).



Figura 7.1. Microrregiões Manaus, Rio Preto da Eva, Itacoatiara e Parintins no estado do Amazonas e microrregiões Óbidos e Santarém no estado do Pará.
Os pontos amarelos representam os locais visitados pelos participantes da XV RCC.

A população do estado do Amazonas, com 3.941.613 habitantes, conforme o *Censo demográfico 2022* (IBGE, 2022), é similar à do estado da Paraíba e pouco superior à do estado do Espírito Santo. A criação da Zona Franca de Manaus, em 1967, e a evolução do Polo Industrial de Manaus (PIM) induziram a migração para Manaus, onde se concentra mais da metade da população estadual (2.054.731 habitantes).

A mesorregião centro-amazonense é constituída de 30 municípios de um total de 62 no estado do Amazonas e seis microrregiões. A área de estudo compreendeu as microrregiões Manaus, Rio Preto da Eva, Itacoatiara e Parintins. O município de Autazes, que faz parte da microrregião Manaus, vai se tornar um centro produtor de potássio do país, em decorrência das imensas jazidas ali existentes, com a exploração pela Brazil Potash, já em operação. Essa mesorregião sofreu um processo de "balcanização", com a criação de vários municípios ao longo de cinco décadas, como consequência do Polo Industrial de Manaus, promovendo fluxo de capitais para essas localidades. No estado do Pará, fenômeno similar ocorreu na mesorregião do sudeste paraense, resultante de projetos minerais e fluxo de migrantes.

No estado do Pará, a área de estudo refere-se à mesorregião do Baixo curso do Rio Amazonas, constituída de 15 municípios de um total de 144 existentes, e foram escolhidas duas microrregiões, a saber: Óbidos e Santarém. O município de Belterra tem a sua origem com a transferência dos plantios de seringueira de Fordlândia (Aveiro) iniciado, em 1927, por Henry Ford (1863-1947), quando, em 1935, ocorreu a incidência do mal das folhas em quase mil hectares de seringais plantados (Homma, 2013).

Este texto tem a finalidade de oferecer informações sobre os aspectos geográficos, históricos e socioeconômicos da interface de uso e ocupação dos solos das várzeas no Rio Amazonas no trecho de Manaus a Santarém.

2. O Rio comanda a vida

Até o final da década de 1950, a agricultura da região amazônica estava restrita à ocupação filiforme das várzeas da calha do Rio Amazonas e seus afluentes, com reduzida população. Na concepção do famoso escritor paraense Leandro Tocantins (1919-2004), *O rio comanda a vida* (Tocantins, 1983), proporciona a locomoção, a fonte proteica e o desenvolvimento da agricultura de subsistência durante a vazante. Desde a fundação da cidade de Belém (1616) e de Manaus (1669) até os primeiros anos da República, os momentos econômicos e sociais mais expressivos, nacional e internacionalmente, ocorreram durante a economia do cultivo de cacau (semidomesticado) e da extração de borracha, atividades dependentes dos rios.

Desenvolvida ao longo das margens da calha do Rio Amazonas até a foz, com várias gradações quanto ao tipo de agricultura, geralmente em solos de alta fertilidade natural, sujeitos a inundações anuais, a agricultura representou a primeira forma de ocupação na região, facilitada pelo acesso da navegação fluvial. São pontos de referência do desenvolvimento agrícola nessa região de abrangência as cidades de Manacapuru, Itacoatiara, Parintins, AM, e Santarém e Belterra, PA, localizadas na calha dos rios Amazonas e Tapajós.

São feitos comentários históricos sobre duas rodovias pioneiras no estado do Amazonas que foram motivo de visita dos participantes da XV RCC. A Rodovia Torquato Tapajós (1853-1897) (AM-010) foi inaugurada em 05/09/1965, conectando Manaus a Itacoatiara. Com 250 km de extensão, ela teve como destaque a implantação da Colônia Ephigênio Salles, no dia 10/11/1958, com a vinda do primeiro grupo de 17 famílias, compostas por 107 imigrantes japoneses, que se estabeleceram no km 41,5. A seguir, vieram o segundo grupo de seis famílias com 29 pessoas em 30/09/1959, o terceiro grupo de 15 famílias com 91 pessoas em 11/08/1960 e o quarto grupo de 16 famílias com 91 pessoas em 10/08/1961. A Colônia Ephigênio Salles destacou-se na produção de pimenta-do-reino, guaraná, pupunheira, aves e ovos, cupuaçu, mamão, banana e outras frutas e hortaliças (Homma et al., 2011).

Em contraposição à fertilidade dos solos de várzea, as áreas de terra firme, a despeito da exuberância da floresta, caracterizam-se pela baixa fertilidade dos solos. Para contornar a falta de adubo químico e orgânico na época, a saída encontrada foi a produção de aves para obter esterco. Efetuava-se o armazenamento de água de chuva da cobertura das casas de cavacos para uso na época seca. Até o início da década de 1970, saindo de Manaus até Itacoatiara, a floresta ocupava ambos os lados da rodovia. A região sofreu forte especulação imobiliária, com a implantação de sítios, fábricas, conjuntos habitacionais etc.

Nessa rodovia, no km 30, estão localizadas a Embrapa Amazônia Ocidental, fundada em 1969 pelo Ministro da Agricultura Ivo de Arzua Pereira (1925-2012), a Estação Experimental de Dendê do Rio Urubu (1979), a Fazenda Aruanã, de 3 mil hectares com 300 mil castanheiras plantadas na década de 1980, e as tentativas de plantio de seringueiras de diversos planos (Prohevea, Probor I, II e III), criação de aves, plantios de laranjeira e pés de abacaxi, a sede da Mil Madeireira e o porto de embarque da soja Hermasa-Amaggi, em Itacoatiara, que vem de Rondônia via balsa, descendo o Rio Madeira (Silva; Homma, 2019).

A Rodovia Manuel Urbano da Encarnação (1805-1897) (AM-070), inaugurada em 31/12/1965, foi chamada de "Estrada da Juta" devido à produção de juta na região de Iranduba e Manacapuru, introduzida por imigrantes japoneses. Com 93 km, possui três pontes, entre elas a megaponte jornalista Phelippe Daou (1928-2016), com 3.595 m, inaugurada em 2011 pela presidente Dilma Rousseff (governo de 2011 a 2016), sobre o Rio Negro, que ligou os municípios de Manaus e Iranduba. As principais atividades produtivas surgiram com a implantação da Colônia de Bela Vista em 23/09/1953, com as primeiras 23 famílias japonesas, que perdurou até o dia 20/10/1962, quando veio o sexto e último grupo de 14 famílias para o então município de Manacapuru, a fim de desenvolver culturas de seringueira, pimenta-do-reino, cafeeiro, guaraná, banana e anuais de mandioca, arroz, abacaxi e hortaliças.

Não poderia deixar de comentar duas rodovias emblemáticas que apresentam interconexão com as áreas de várzeas: a BR-174, que foi inaugurada em 06/04/1977 pelo presidente Ernesto Geisel (1907-1996), com 1.902 km, unindo Manaus a Pacaraima (Roraima), com destaque para o plantio empresarial de guaranazeiro e de cana-de-açúcar para atender a Coca-Cola, fruteiras, culturas anuais, criação de aves, tentativa de plantio de cubiu, criatórios de peixes, entre outros; e a BR-163, que também foi percorrida pelos participantes da XV RCC, com 3.579 km, unindo o município de Tenente Portela, RS, a Santarém, PA, cujo trecho paraense foi inaugurado em 20/10/1976 pelo presidente Ernesto Geisel e asfaltado no governo do presidente Bolsonaro, em 14/02/2020, tornando-se um importante eixo de exportação de soja

e milho do estado de Mato Grosso. Com o início do embarque de grãos por barcaças no porto de Miritituba, Itaituba, descendo o Rio Tapajós, reduziu-se a importância da BR-163 no transporte de soja e fertilizantes no trecho de Itaituba para Santarém.

O domínio espacial das várzeas como área de produção agrícola tem perdido a sua importância no decorrer do tempo pela mudança do enfoque da navegação fluvial em favor de rodovias desde a década de 1960. Assim, essas áreas têm-se caracterizado por apresentar um forte sentido migratório para os principais núcleos urbanos, com crescimento nas conexões das "estradas líquidas" com as rodovias, como acontece em Manaus, Itacoatiara e Santarém. A agricultura dos municípios da calha do Rio Amazonas apresenta caráter estagnante, com algumas exceções, após 50 anos de domínio de juta e malva.

3. A bacia hidrográfica do Rio Amazonas

A bacia hidrográfica amazônica é superior a seis milhões de km², abrangendo uma área de drenagem envolvendo seis países sul-americanos. Escoa um quinto do volume de água doce do planeta e possui uma extensão navegável da ordem de 20 mil km (Soares, 1963, 1977).

O Rio Amazonas, eixo hídrico do sistema, tem sua origem na nascente do Rio Apurimac, no Peru, entre os montes Mismi, com 5.699 m de altitude, e Kcahuich, com 5.577 m, situado ao sul da cidade de Cuzco e próximo ao Lago Titicaca, estendendo-se pelo Brasil até o Oceano Atlântico. Descreve uma trajetória de 6.992 km, com mais de mil afluentes no seu percurso, descarregando 165 mil m³ de água por segundo no oceano e constituindo-se no maior rio do mundo em extensão e volume de água (Junk, 1983; Martini et al., 2008). O Rio Nilo tem 6.852 km.

A descoberta da existência de um rio subterrâneo que corre embaixo do Rio Amazonas, anunciada em 08/2011, surpreendeu os cientistas do mundo inteiro. Efetuada pela professora Elizabeth Tavares Pimentel (UFAM), durante sua pesquisa de doutorado, orientada pelo prof. Valiya Hamza, do Observatório Nacional, recebeu batismo de Rio Hamza. Este rio nasce no estado do Acre, com 4 km de profundidade, mais de 6.000 km de comprimento e velocidade de 10 m/ano a 100 m/ano, enquanto o Rio Amazonas apresenta de 0,1 m/s a 2 m/s e com largura variando de 200 km a 400 km.

Nos seus afluentes estão localizadas as maiores hidrelétricas do país e do mundo. Destaca-se a de Samuel (1989), a de Santo Antônio (2012) e a de Jirau (2016) no estado de Rondônia; Balbina (1989) no estado do Amazonas; Tucuruí (1984) e Belo Monte (2016) no estado do Pará, sendo esta a primeira pertencente à bacia do Rio Tocantins. A Hidrelétrica de Belo Monte era a terceira maior do mundo, mas passou para a quarta posição e logo será a quinta, deslocada pela construção de duas mega-hidrelétricas na China (Xiluodu e Baihetan), afetando, também, a posição de Itaipu (1984).

A navegação pelo Rio Amazonas e seus afluentes e a passagem de Portugal para o domínio espanhol de 1580 a 1640 permitiram o controle político da Amazônia, empurrando a linha de Tordesilhas (1494), que passava em Belém e Laguna, SC. Já a partir da década de 1980, a pesquisa agrícola iria expandir a fronteira agrícola até então restrita à faixa costeira do país.

O espanhol Francisco de Orellana (1511-1546) foi o primeiro a descer o Rio Amazonas (1541-1542). Durante a viagem, o escrivão da armada, Frei Gaspar de Carvajal (1504-1584), relata o ataque sofrido de índias guerreiras, que daí receberam a denominação de Amazonas, da mitologia grega. Em sentido inverso, Pedro Teixeira (1585-1641) subiu o Rio Amazonas (1637-1638), tendo como escrivão Cristóbal de Acunã (1597-1676), que demarcou os locais visitados, o que serviu como provas da conquista nos futuros tratados internacionais. Entre 1560 e 1561, a expedição de Pedro de Ursua (1526-1561), assassinado a mando de Lope de Aguirre (1510-1561), cruzou o canal de Cassiquiare que une as bacias dos rios Orinoco e Negro (Homma, 2013).

Logo depois da fundação de Belém, em 12/01/1616, houve a fase das "drogas do sertão" - aproveitamento do óleo de ovos de tartaruga -, o que levou à quase dizimação desse animal, e o ciclo do cacau, que durou até a época da Independência do Brasil (Smith, 1974).

Foi a navegação fluvial que permitiu viabilizar a economia do cacau e mais tarde a da borracha. Foi a razão para que Irineu Evangelista de Sousa (1813-1889), o Barão de Mauá, implantasse a Companhia de Navegação e Comércio do Amazonas, iniciando a navegação a vapor, criada pelo contrato formalizado entre Mauá e o governo imperial, oficializado com o Decreto nº 1.037, de 30/08/1852 (Brasil, 1852).

A agricultura nas várzeas da calha do Rio Amazonas depende da sincronia da vazante e da cheia, equivalente a um prédio de nove andares (Figura 7.2). As lavouras de juta e de malva são fortemente influenciadas por esse ciclo. Durante a vazante, efetua-se o plantio e quando começa a cheia, dependendo da velocidade da subida das águas, pode ocorrer a sua perda total, o que é válido para outros cultivos anuais.

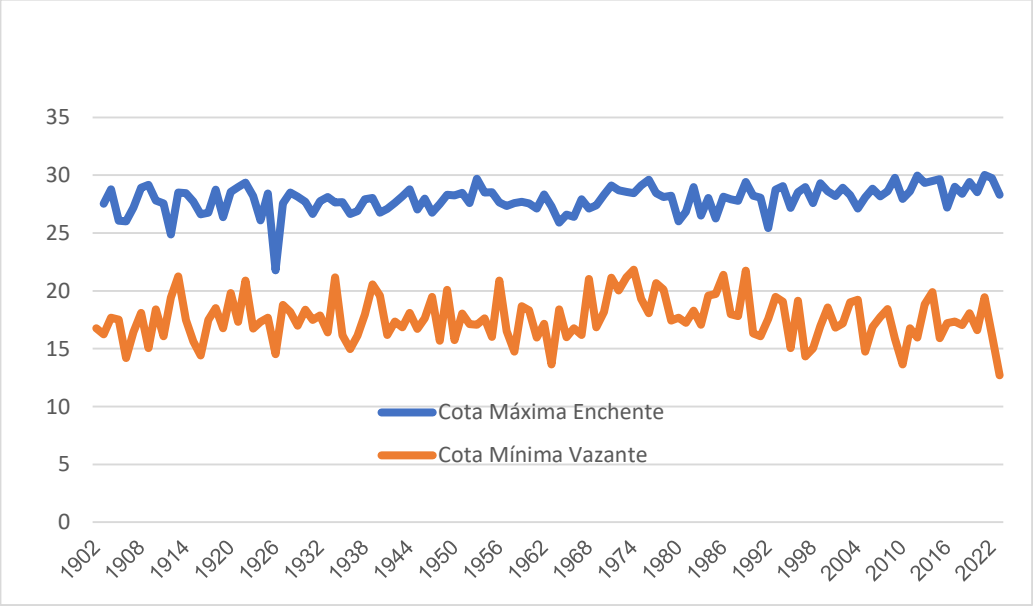


Figura 7.2. Níveis máximo e mínimo do Rio Negro em Manaus, 1902-2024.

Só nestes 24 anos do século XXI, ocorreram sete cheias e quatro vazantes excepcionais, trazendo prejuízos para a agricultura, os transportes e para o setor industrial. A seca de 2024, a maior da história desde 1902 (Tabela 7.1), evidenciou que o sistema de navegação fluvial, do qual depende o Polo Industrial de Manaus, pela primeira vez, ficou, também, colapsado. Esse aspecto reacendeu a importância da melhoria da rodovia BR-319 (Manaus a Porto Velho). Esta rodovia, construída entre 1968 e 1973 sob a administração do ministro Mário David Andreazza (1918-1988), com 885 km, foi inaugurada em 27/03/1976 e abandonada na década de 1980, deixando moradores ao longo do seu trecho trafegável em dificuldade.

Tabela 7.1. Dez maiores cheias e vazantes do Rio Negro, Manaus, 1902 a 2024.

Maiores cheias		Menores vazantes	
2021	30,02	2005	14,75
2012	29,97	1958	14,74
2009	29,77	1926	14,54
2022	29,75	1916	14,42
1953	29,69	1997	14,34
2015	29,66	1906	14,20
1976	29,61	1963	13,64
2014	29,50	2010	13,63
1989	29,42	2023	12,70
2019	29,42	2024	12,11

Fonte: Porto de Manaus (2025).

4. Os ciclos econômicos extrativos

O ciclo do cacau nas várzeas perdeu a sua competitividade para os cacaueiros plantados no município de Canavieiras, Bahia, para onde os frutos/mudas foram levados pelo francês Louis Frederic Warneaux em 1746. Com a queda da economia cacaueira, nasceu a importância do látex da seringueira advinda da descoberta do processo de vulcanização em 1839 por Charles Goodyear (1800-1860) e, em 1888, da fabricação de pneumáticos para bicicletas por John Boyd Dunlop (1840-1921) (Homma et al., 2010).

Essa importância não passou despercebida dos ingleses, tanto que, em 1876, Henry Alexander Wickham (1846-1928) efetuou o contrabando de 70 mil sementes de seringueira, coletadas próximo a Santarém, para o Jardim Botânico de Kew Garden, Londres, e, posteriormente, levadas para o então Ceilão e disseminadas no sudeste asiático.

A economia da borracha chegou a participar como terceiro produto da pauta das exportações nacionais de 1887 a 1917, vindo logo depois do café e do algodão. Foi responsável pela construção de muitas obras de infraestrutura para apoiar a exportação da borracha. É uma árvore singular da floresta amazônica que gerou riqueza colossal para a época, manteve curto período no apogeu e, drasticamente, teve seu eixo deslocado para o sudeste asiático. Com a queda dos preços da borracha, a Amazônia entra em um período de letargia econômica (1920-1940), com a população e a economia estagnadas até o surgimento da juta.

Com a crise da borracha, a castanha-da-amazônia, o óleo de pau-rosa, o guaraná, a madeira, as peles de animais silvestres, entre outros, não conseguiram ocupar o vácuo provocado pela biopirataria de um produto ativo da economia. Com a entrada do Japão na II Guerra Mundial, em 07/12/1941, os seringais do sudeste asiático ficaram privados de fornecer para as tropas aliadas, reacendendo a economia da borracha que persistiu até 1945. Ocorreu, então, uma corrente migratória de nordestinos em direção aos seringais da Amazônia, que ficaram conhecidos como "soldados da borracha".

5. Tentativas de aproveitamento das várzeas amazônicas

No tocante à terra inundável, a água de rios é responsável pela formação de grupos de solos de elevada fertilidade, que caracterizam as chamadas várzeas de rios denominados de rios de água barrenta. Por outro lado, os rios conhecidos por água preta e água limpa determinam com o seu transbordamento a existência das áreas inundáveis de solos pobres. Como exemplo de rio de água barrenta, tem-se o próprio Rio Amazonas; de água preta, o conhecido Rio Negro; e de água limpa, o Rio Tapajós (Nascimento; Homma, 1984).

As várzeas de rios de água barrenta recebem periodicamente uma fertilização natural, ocasionada pela deposição de sedimentos contidos nessa água, durante a inundação. Esses estudos pioneiros foram efetuados pelo alemão Harald Felix Ludwig Sioli (1910-2004) quando trabalhava no Instituto Agronômico do Norte (IAN) (Sioli, 1951a, 1951b). Essa periódica fertilização, a própria irrigação natural ocorrente e a maior piscosidade permitiram um povoamento e maior fixação do agricultor do que nas áreas inundáveis onde os rios são de água preta ou limpa (Lima, 1956).

Nas áreas de várzeas férteis, a agricultura alimentar e a produção de fibras apresentaram um papel de destaque até a década de 1970, usando-se até mesmo pequenas fontes naturais de água no beneficiamento da mandioca e das fibras de juta e malva. Também se ressalta o aproveitamento da cobertura herbácea forrageira, existente em vastas extensões para a criação de gado bovino e bubalino.

A administração dos recursos hídricos pela sistematização de áreas de várzeas para fins agrícolas só viria a ocorrer na década de 1970 a partir da experiência de Jari, do multimilionário americano Daniel Keith Ludwig (1897-1992). Na década de 1950, ocorreu a sistematização em pequenas plantações de arroz feita por colonos japoneses nas várzeas do Rio Guamá (Pará) e, posteriormente, em pequenas extensões nas várzeas do Rio Caeté (nordeste paraense) e na foz do Rio Amazonas. Os agricultores gaúchos tiveram sucesso em Roraima e chegaram a abastecer a cidade de Manaus com a produção de arroz até 2007, quando foi proibido pelo STF por ocupar áreas indígenas, e no município de Cachoeira do Arari (Marajó), a partir de 2011, que sofre pressões de movimentos sociais e ambientais (Castro et al., 2016).

Enfatiza-se a importância dos recursos hídricos para a pesca e a aquicultura uma vez que a superfície das águas interiores da Amazônia Legal ocupa uma extensão superior a 27.178 km², maior que a superfície do estado de Sergipe. É fácil perceber a potencialidade para a produção de pescado, com a qual os estados de Rondônia, Mato Grosso, Maranhão, Pará, Roraima, Tocantins e Amazonas se destacaram como os sete maiores produtores de peixe nativo em criatório em 2024 (Anuário Peixe BR da Piscicultura, 2025).

Processos adequados de pesca e aquicultura podem representar um excelente investimento para a produção de proteína a baixo custo e a manutenção do equilíbrio ecológico, como alternativa para a pecuária, desde que haja a segurança na produção de rações e no avanço da tecnologia de domesticação.

Na década de 1950, acreditava-se que o melhor aproveitamento das áreas de várzeas seria por meio da macrossistematização e da microssistematização, a primeira a ser realizada pelo governo e a segunda, pelos produtores com auxílio do governo, como o caminho do desenvolvimento dessas áreas. Ações isoladas concebidas no planejamento do uso dos recursos hídricos em área de várzea não deverão evidenciar benefícios muito significativos (Andrade, 2011).

A Figura 7.3, apresentada por Sioli (1951b), ilustra as diferentes situações encontradas num corte transversal típico através do vale de um rio de água barrenta. No exemplo mostrado, observa-se que junto ao leito do rio está a várzea, com uma margem temporariamente estável, como escarpa, outra de barranco, íngreme. Nas partes mais baixas da várzea suavemente inclinada, estão os campos. Na porção mais alta da várzea estão a mata ciliar e as casas de moradia. Atualmente, muitas dessas casas dispõem de painéis solares.

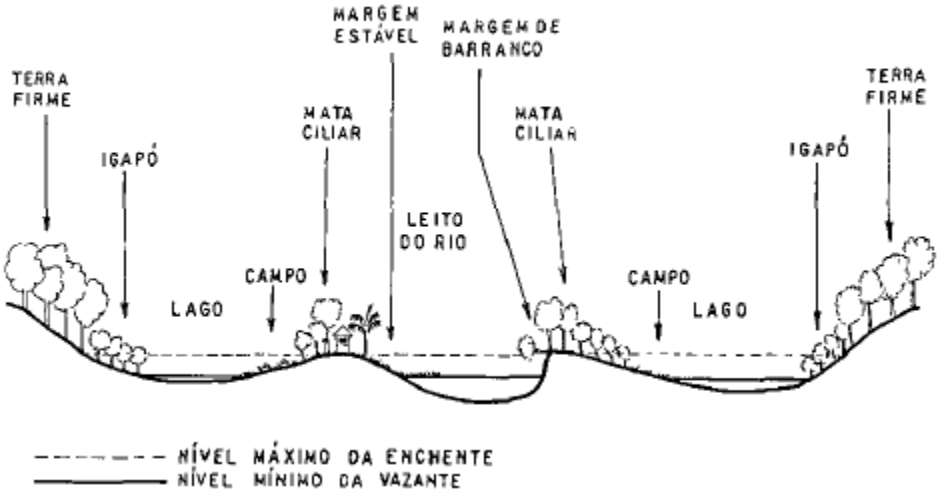


Figura 7.3. Corte transversal típico de um rio de água barrenta.

Fonte: Sioli (1951b).

Junto à várzea, seguindo para dentro, surge a depressão lacustre. Junto ao lago, existe uma faixa inundável denominada de igapó, localizada contígua ao barranco da terra firme. O igapó também é encontrado como área permanentemente inundada localizada entre a várzea baixa e a terra firme, no vale de certos rios de água barrenta, como, por exemplo, na foz do Rio Guamá (Pará). Como outros exemplos de rios de água barrenta da região, cita-se com destaque todo o eixo do Rio Solimões-Amazonas e mencionam-se afluentes, como Juruá, Purus e Madeira.

Deve ser ressaltado que os rios de água barrenta apresentam, de um modo geral, maior piscosidade do que os rios de água limpa ou preta.

A Figura 7.4, encontrada no trabalho de Sioli (1951b), mostra uma seção transversal de rio de água limpa, onde pode ser observado que a floresta de terra firme avança, em geral, de um lado a outro até a margem do rio. Exemplificando os rios de água limpa localizados na região, mencionam-se Tapajós, Xingu e Tocantins. O encontro do primeiro com o Rio Amazonas oferece um visual bastante apreciado, pela beleza da distinção dos dois tipos de água.

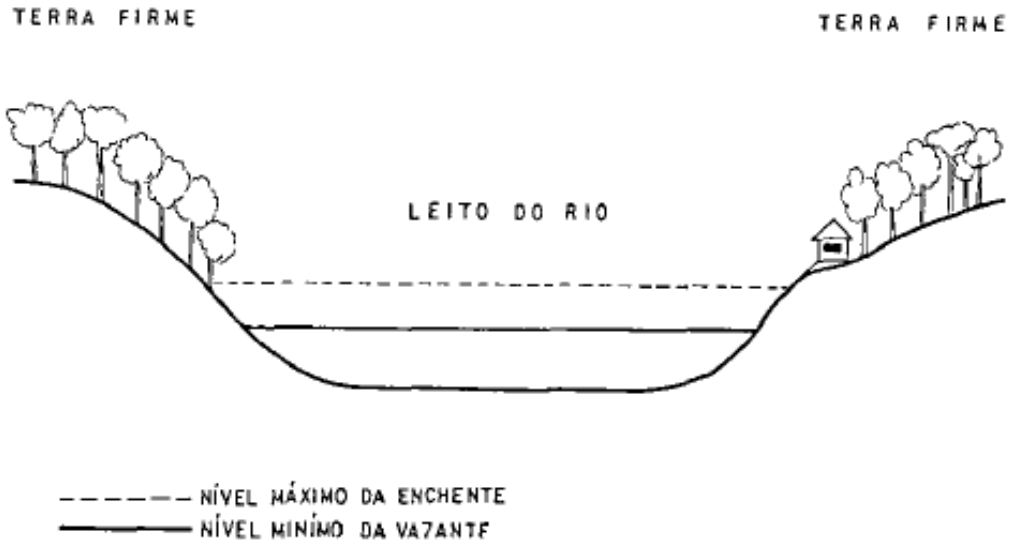


Figura 7.4. Corte transversal típico do vale de um rio de água limpa.

Fonte: Sioli (1951b).

No caso do rio de água preta (Figura 7.5), conforme mostrado por Sioli (1951b), após o leito do rio, de um modo geral, seguem-se o igapó e a terra firme cobertos de floresta. Como exemplo de rios de água preta, além do Rio Tefé, tem-se o conhecido Rio Negro, que se une com a água do Rio Solimões (barrenta) para formar o Rio Amazonas, constituindo o encontro desses dois rios um espetáculo da natureza, também, pela nítida diferença de suas águas.

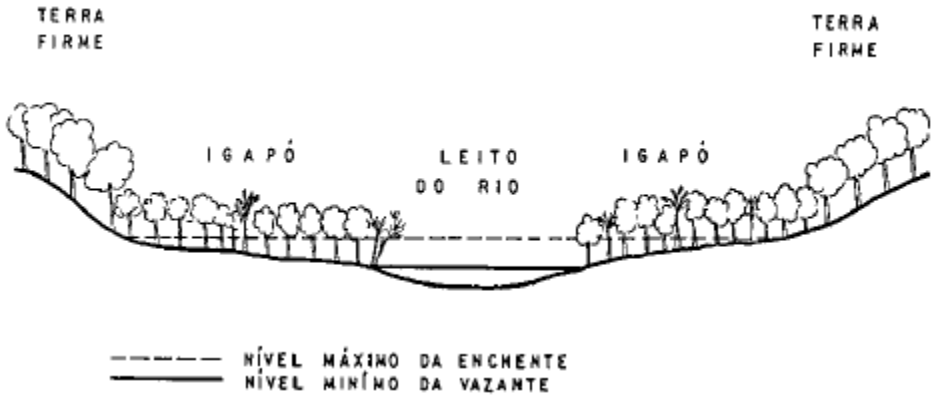


Figura 7.5. Corte transversal típico do vale de um rio de água preta.

Fonte: Sioli (1951b).

6. Construtores de canais

Neste texto as "terras pretas" não serão comentadas, pois é tema já bastante estudado pelos especialistas de solos, historiadores, antropólogos e geólogos. Procurou-se efetuar um pequeno comentário sobre canais "para fabricação de terras férteis", que necessitam de maiores estudos e cuja presença está desaparecendo.

No início do século XIX, diversos megacanais foram construídos, dos quais os mais famosos são o canal de Suez, inaugurado em 1869 depois de 10 anos de construção por Ferdinand de Lesseps (1805-1894), e o canal do Panamá, inaugurado em 1914, também, depois de 10 anos de construção. Há dezenas de outros canais construídos no mundo.

Na Amazônia, também, não tem sido diferente. O canal mais famoso foi concluído em 1821 unindo os afluentes dos rios Tocantins e Moju, na cidade de Igarapé-Miri, estado do Pará. Esse canal foi visitado por diversos viajantes como Alfred Russel Wallace (1823-1913) e Henry Walter Bates (1825-1892) (Homma, 2013). A ideia de construção desse canal foi do português Sebastião Freire da Fonseca, proprietário de fazenda nas imediações da cidade de Igarapé-Miri, concluído em dois anos, unindo os rios Sant'Ana de Igarapé-Miri e Moju, com o apoio do governador da Província do Pará, Antônio José de Sousa Manoel de Menezes (1792-1860), Conde de Vila Flor. Esse canal tinha uma extensão de 600 m, com 8 m de largura, permitindo a redução do tempo de navegação e evitando o perigo da navegação na foz do Rio Tocantins. Atualmente, esse canal tem mais de 100 m de largura devido à ampliação pelo fluxo da corrente.

Outro canal histórico foi construído em Rondônia pelo engenheiro José de Souza Martins Álvares Afonso, que abriu um acesso de 700 m de comprimento, ligando os rios Madeira e Candeias, a cerca de 45 km de Porto Velho, reduzindo em 3 horas a viagem de barco a motor, e foi concluído por volta de 1950.

Em 1967, Herman Khan (1922-1983) lançou a ideia da construção de uma megabarragem de terra de 40 km de extensão, com 640 m de base, 30 m acima do nível da cheia, pista de rolamento na parte superior de 15 m e capacidade de gerar 77.000 MW, em Óbidos, cinco vezes superior à de Itaipu, onde o Rio Amazonas apresenta sua menor largura (em torno de 2 km). Essa megabarragem inundaria 18 milhões de hectares, quase o estado do Paraná, e uniria as bacias dos rios da Prata, Paraná e Orinoco. Cidades como Santarém, Parintins, Itacoatiara e até Manaus ficariam inundadas e mudaria o eixo da Terra (Tabela 7.1).

Sternberg (1998) e Raffles e Winklerprins (2003) fizeram um relato de diversos "canais*",* *"*cavados*",* *"*furos*"* e *"*valas*"*, cujas denominações variam nos estados do Amapá, Maranhão, Pará, Amazonas e Acre. O objetivo era reduzir o tempo de navegação unindo rios com sinuosidade ao efetuar uma anastomose, abrir vias para extração madeireira por serrarias e, mais importante, "criar novas terras férteis", drenando a água barrenta do Rio Amazonas com sedimentos durante a cheia para áreas baixas, campos etc. Feitos por ribeirinhos utilizando apenas enxada, terçado, pás e machado, estes cavavam canais de 1 m de profundidade e 2 m de largura, cuja extensão poderia chegar de 150 m a 200 m.

A novidade da década de 1950 está relacionada com as pesquisas de colmatagem realizadas em Maicuru, pelo IAN, apoiadas nas pesquisas desenvolvidas por Harald Sioli, que divulgou dois clássicos trabalhos sobre limnologia e sedimentação na várzea do Rio Amazonas (Sioli, 1951a, 1951b). Essas pesquisas apoiaram a ideia de construção dos canais de colmatagem de Maicuru. Felisberto Cardoso de Camargo calculava que a quantidade de sedimentos em suspensão variava de 50 g/m³ a 200 g/m³ de água. Como a vazão do Rio Amazonas é da ordem de 16 milhões m³/dia e capacidade transportadora de sedimentos de 200g/m³, Camargo estimava que 3 milhões de toneladas de sedimentos, de alta fertilidade, eram despejadas diariamente no Oceano Atlântico. A abertura de cinco canais perdurou no período de 1951 a 1953 (Tabela 7.2) (Andrade, 2011).

Tabela 7.2. Canais de colmatagem na Estação Experimental de Maicuru.

Canal	Ano construção	Largura (m)	Profundidade (m)	Velocidade água (m/h)	Vazão (m³/24h)
Antônio Novais Filho	1951	32	5,5	5.538	15.550.704
Manuel Maroja Neto	1951	29	5,0	3.000	6.955.200
Fernando de Sousa Costa	1952	19	3,5	9.000	4.224.000
Vicente Chermont de Miranda	1952	16	3,0	2.571	1.974.528
Remanso	1953	16	3,0	5.000	3.840.000

Fonte: Soares (1963) e Porto de Manaus (2025).

O objetivo da abertura dos canais era "obrigar o Rio Amazonas a depositar parte de sua carga de erosão de solos e elementos fertilizantes no meio do caminho para criar 'terra de alta fertilidade'" (Camargo, 1958, p. 15). O IAN pretendia aumentar a área de terras cultiváveis, preenchendo o Lago Grande, situado na margem esquerda do Rio Amazonas, no município de Monte Alegre. O batismo dos canais estava relacionado a ex-ministros da agricultura (Antônio Novais Filho (1898-1978) e Fernando de Sousa Costa (1886-1946), responsáveis pela criação do IAN); ao ex-governador do Pará, Manuel Maroja Neto (1880-1964) e ao introdutor de búfalos no Marajó, Vicente Chermont de Miranda (1849-1907), que foi motivo de reportagem da revista *Time* e visita de técnicos da Rockfeller Foundation (Figuras 7.6 e 7.7). Foi em um desses canais, no dia 18/07/1957, quando nadava, após um dia de serviço, onde faleceu o botânico americano George Alexander Black (1916-1957), pesquisador do IAN.

Como observou Sternberg (1998), o IAN estava tentando alcançar "o que os agricultores da várzea já realizavam em suas propriedades: o desvio de águas carregadas de limo para áreas baixas". Devido à escala do projeto, em vez de ocorrer sedimentação, a força do influxo de água do Rio Amazonas causou erosão acelerada e a expansão imprevista do lago (Raffles; Winklerprins, 2003). Apesar desse resultado não intencional, as margens dos canais estão povoadas e servem para o transporte entre o Rio Amazonas e as comunidades do Lago Grande, encurtando a viagem até a cidade de Monte Alegre[1].

[1] Essas terras artificiais de várzeas seriam um tema interessante para dissertações e teses. Todos os pesquisadores do IAN que trabalharam no Campo Experimental de Maicuru e foram entrevistados por mim já faleceram.



Figura 7.6. Construção do canal Vicente Chermont de Miranda, Maicuru, município de Monte Alegre, PA.

Fonte: Arquivo pessoal do autor.

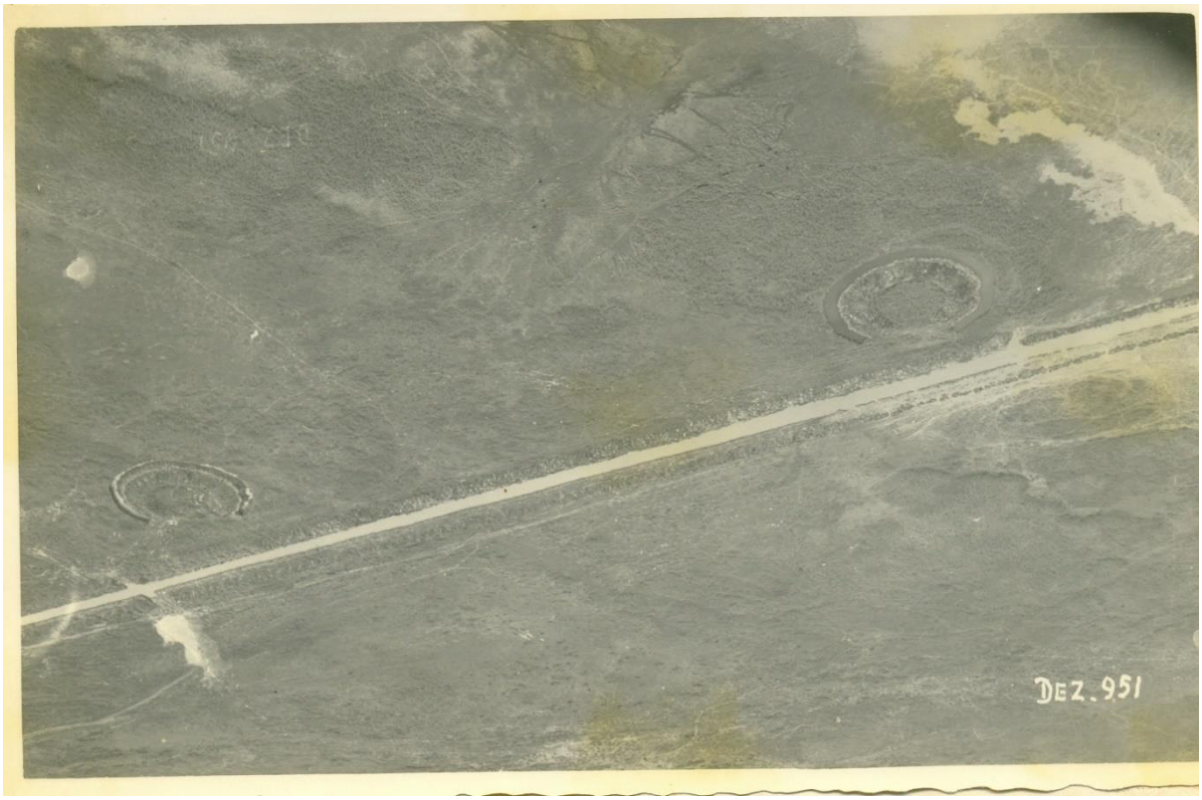


Figura 7.7. Construção do canal Novais Filho, Maicuru, município de Monte Alegre, PA.

Fonte: Arquivo pessoal do autor.

7. Agricultura de várzea e a interface com a terra firme

O aproveitamento das várzeas amazônicas sofreu mudanças nos últimos séculos. Elas forneciam alimentos que sustentavam as populações ribeirinhas e as cidades localizadas ao longo da calha do Rio Amazonas e seus afluentes. A ameaça malthusiana na década de 1950 colocara as várzeas amazônicas como provedoras de alimentos para a população regional e nacional.

O sucesso da pecuária desenvolvida nas áreas de várzeas depende de o proprietário ter uma área de pasto em terra firme. As melhores propriedades são aquelas que possuem áreas de terra firme em continuação às áreas de várzeas, evitando com isso o transporte do rebanho em embarcações na época das cheias. No passado, era comum os criadores de gado disporem de "marombas", currais suspensos sobre o rio, apoiados em estacas e toras de madeira, onde era acomodado o rebanho, trazendo ilhas de capim flutuantes para alimentação. Trabalho penoso, viável para pequenos rebanhos, no qual, na expressão de um criador da época, "o boi é que criava o dono".

Com a abertura da rodovia Belém-Brasília, em 1960, durante o governo do presidente Juscelino Kubitschek (1902-1976), a secular "civilização das várzeas" foi sendo transformada na "civilização da terra firme", com o avanço da pecuária, a extração madeireira, o fluxo de posseiros e colonos, mudando o contexto espacial e seus contingentes populacionais. Em 1975, a área desmatada da Amazônia Legal foi calculada em 14 milhões de hectares (3% da região) com base nas primeiras imagens do satélite Landsat 1 (lançado em 1972), mas saltou para mais de 82 milhões de hectares em 2024 (18% do total). Diversos artigos científicos publicados entre as décadas de 1970 e 1980, em algumas prestigiadas revistas científicas internacionais, fixaram 2020 como o ano no qual se observaria o "fim da Amazônia".

7.1. A produção agrícola na área de estudo da XV RCC

A Tabela 7.3 mostra as principais culturas anuais e permanentes nas mesorregiões, de que fazem parte as microrregiões estudadas, e nos respectivos estados, para efeito de comparação. Este quadro de produção sofreu profundas alterações se se comparar a partir da década de 1970.

Tabela 7.3. Produção das principais lavouras anuais e perenes nas mesorregiões centro-amazonense e Baixo curso do Rio Amazonas e dos estados do Amazonas e Pará (2023).

Anuais e perenes	Centro-amazonense	Amazonas	Baixo Amazonas	Pará
Mandioca	417.439	732.439	756.994	3.769.677
Cana-de-açúcar	349.610	357.257	3.166	1.209.026
Açaí	88.522	105.211	13.503	1.576.302
Abacaxi	45.138	50.060	7.910	342.532
Banana	38.907	153.270	28.676	440.861
Laranja	25.024	27.002	7.924	257.176
Melancia	21.225	47.883	19.150	85.051
Mamão	14.313	16.471	1.222	15.789
Maracujá	14.270	15.425	1.576	15.230
Batata-doce	3.379	5.263	-	169
Coco-da-baía	2.808	3.106	2.144	172.251
Malva	2.388	2.388	117	669
Limão	2.081	2.839	57.974	67.275
Goiaba	1.322	1.498	70	4.173
Milho	899	8.265	475.112	1.739.135
Guaraná	566	611	8	22
Abacate	351	564	10	290
Cacau	299	597	13.401	138.471
Tangerina	198	212	281	1.007
Feijão	186	948	1.774	20.479
Café	68	405	65	179
Juta	40	40	-	-
Melão	22	84	35	35
Arroz	12	7.003	3.732	120.410
Tomate	10	26	1.364	3.788
Borracha	8	11	-	1.272
Urucum	6	11	189	795
Sorgo	-	-	-	81.965
Soja	-	23.455	388.780	3.156.487
Pimenta-do-reino	-	12	1.984	38.102
Palmito	-	-	-	253
Manga	-	10	-	151
Dendê	-	-	-	2.835.049
Castanha de caju	-	-	37	718
Amendoim	-	-	11	102

Fonte: IBGE (2024d).

A economia da juta iniciou-se em 1937 na Vila Amazônia, estado do Amazonas, dado o sucesso da aclimatação efetuada por Ryota Oyama (1882-1972), e começou a entrar em declínio a partir da década de 1970, por causa da entrada da malva, em 1971, nas várzeas do estado do Amazonas, uma erva daninha das terras firmes paraenses, uma sósia da juta, com maior capacidade germinativa das sementes, que ao serem transplantadas para os solos das várzeas tiveram um desempenho sem precedentes (Ferreira, 2016; Homma, 2016; Homma et al., 2021) (Figuras 7.8 e 7.9).

A cadeia produtiva da juta tornou-se o primeiro sistema integrado de agronegócio da região quando as fábricas de fiação e tecelagem de juta foram implantadas em Parintins, Manaus, Santarém, Belém e Castanhal (Benchimol, 2009). Essa cadeia produtiva envolvia, além dos operários fabris que atuavam nas fábricas de fiação e tecelagem de juta, no seu auge, cerca de 60 mil produtores que se dedicavam ao plantio da juta e, a partir de 1971, da malva, acantonados nos beiradões dos rios e igarapés amazônicos.

A vantagem da juta e da malva era que proporcionava renda durante a época das cheias quando os peixes escasseavam. A criação da Suframa em 1967 provocou a drenagem de mão de obra, associada à visão míope dos empresários de sacaria de juta de iniciar a importação da fibra da Índia e Bangladesh a partir de 1971, com um terço do preço, quebrando a autossuficiência alcançada em 1951, levando ao gradativo declínio (Figuras 7.8 e 7.9).

As indústrias de fiação e tecelagem de juta no país somente despertaram para o perigo quando a partir de 2011 iniciou-se a importação de sacarias da Índia, com restrições de venda de juta em bruto, a preços muito mais competitivos. A política de verticalização da fibra de juta na Índia e em Bangladesh realçou a importância de se reativar o parque produtivo já completamente desorganizado (Witkoski et al., 2010; Ferreira; Homma, 2023).

Com o declínio da juta e da malva, uma nova geografia agrícola passou a se consolidar na mesorregião centro-amazonense (várzea e terra firme) com as lavouras de mandioca, açaí, abacaxi, cana-de-açúcar, banana, melancia, laranja, maracujá, mamão e batata-doce. Na mesorregião do Baixo curso do Rio Amazonas, as lavouras de mandioca, milho, soja, limão, banana, melancia, açaí, arroz, cacau e laranja passaram a ganhar importância (Figuras 7.10 e 7.11).

Fotos: Arquivo da família de Ryota Oyama.



Figura 7.8. Corte das hastes de juta, amarrio dos feixes e seu transporte para a maceração.



Fotos: Arquivo da família de Ryota Oyama.

Figura 7.9. Colocação dos feixes para maceração, secagem das fibras e enfardamento.

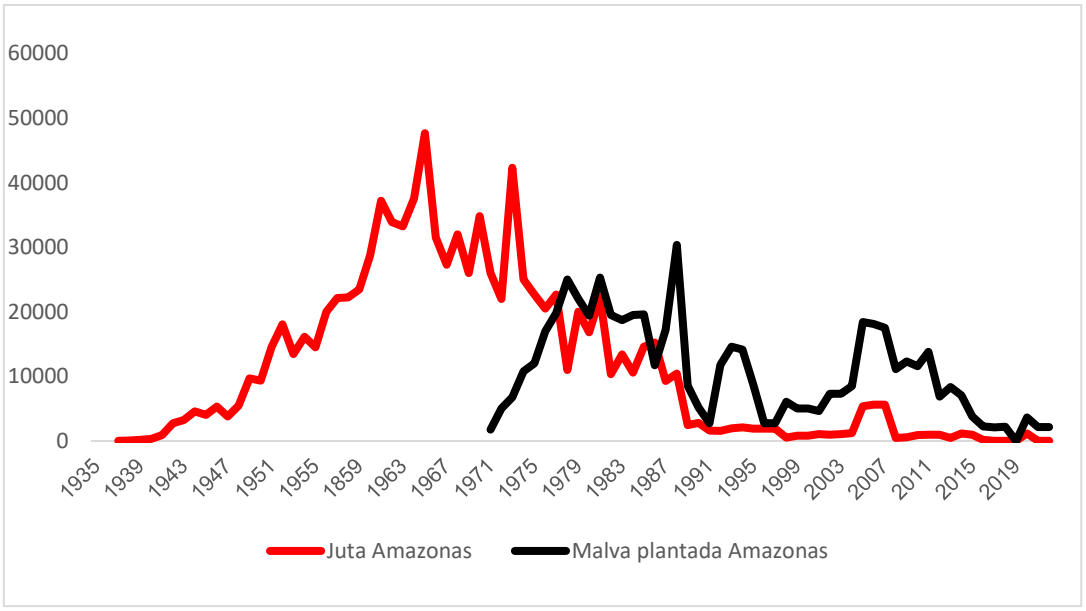


Figura 7.10. Produção de juta e malva no estado do Amazonas, 1937-2022.

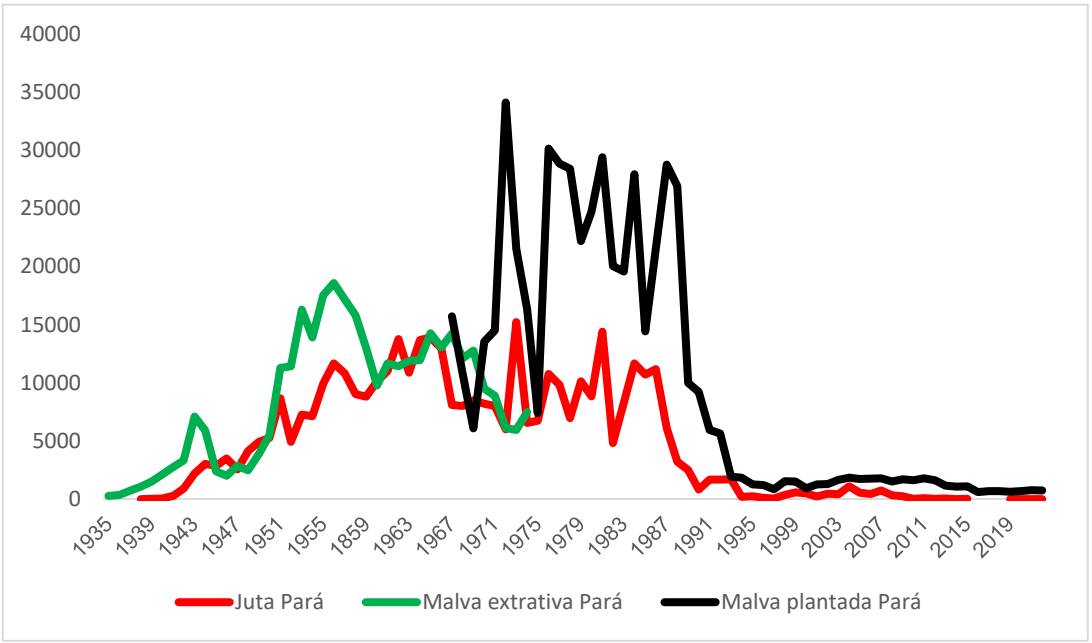


Figura 7.11. Produção de juta e malva no estado do Pará, 1935-2022.

Denota-se a participação do "açaí de mato", como é conhecida a *Euterpe precatoria*, na mesorregião centro-amazonense, mas já com o cultivo desta espécie e da *Euterpe oleracea*. Há um desafio no abastecimento alimentar de Manaus, o qual depende de importações de farinha de mandioca e carne bovina do estado do Pará e de hortaliças e frutas do Sul e Sudeste, embarcadas em Belém, via barcaças. Devido ao consumo de peixe, produtos como cheiro verde chegam a ser enviados por via aérea. O município de Monte Alegre tornou-se um polo produtor de limão para exportar para Manaus, outras cidades da calha do Rio Amazonas e para o exterior (Homma, 2015).

A mesorregião do Baixo curso do Rio Amazonas transformou-se em polo produtor de mandioca, voltado, também, para o abastecimento do estado vizinho. As Figuras 7.10 e 7.11 ilustram a decadência das lavouras de juta e malva, ainda com fraco domínio na mesorregião centro-amazonense. Cabe destaque o maior plantio de açaizeiros, em duas fazendas, totalizando 1.400 ha irrigados, no município de Óbidos, implantado pelo catarinense Luís Eloy Vacarro (1938-2021).

O início do cultivo da soja na mesorregião do Baixo curso do Rio Amazonas foi em 1996, ocupou o Planalto Santareno e promoveu a ocupação das áreas de pequenos produtores, acompanhando o contorno geométrico das propriedades e deixando resquícios de velhas mangueiras e cemitérios como testemunhas dessa ocupação. O cultivo do milho entrou a reboque da lavoura da soja estimulado pela inauguração do complexo da Cargill em Santarém em 2003. Antes a soja produzida era embarcada no porto de Itacoatiara, pertencente ao Grupo Maggi (1997) (Homma, 2005).

O guaraná constitui um destaque para a mesorregião centro-amazonense, assim como outros cultivos como o de laranja, cana-de-açúcar, abacaxi, entre os principais, para o abastecimento da cidade de Manaus e de suas indústrias.

7.2. Gado bovino, bubalino, pesca e piscicultura

A produção animal nas várzeas sempre ficou limitada pela disponibilidade de pastos por ocasião das cheias, e, na foz do Rio Amazonas, no Marajó, encontra-se a maior concentração do rebanho bubalino no país, além da criação bovina. Em tempos mais recentes tem ocorrido a alavancagem da extração de açaí manejado nas áreas de várzeas estuarinas.

A população rural dispersa ao longo dos rios revela baixa densidade demográfica e pobreza em termos de infraestrutura. Apesar dessas limitações, os rios apresentam disponibilidade de peixe, sendo o consumo per capita do estado do Amazonas (13,998 kg/ano) o mais alto do país, mais de cinco vezes a média brasileira, e o estado do Pará fica em terceira colocação com 11,141 kg/ano (IBGE, 2024b; Anuário Peixe BR da Piscicultura, 2025). A despeito da disponibilidade de água, o estado do Amazonas é 7º criador de peixes nativos do país e o estado do Pará está na 4ª colocação, em 2024 (Anuário Peixe BR da Piscicultura, 2025).

A Tabela 7.4 identifica a participação da pecuária bovina e bubalina em ambas as mesorregiões estudadas. A queda de produção das lavouras de juta e malva não provocou desemprego, foi gradativa, migrando a mão de obra para o Polo Industrial de Manaus, e essas antigas áreas foram ocupadas pelo rebanho bovino.

A mesorregião centro-amazonense destaca-se na produção de ovos, visível na quantidade de galinhas, superior à do estado do Pará. Aproveitando-se da disponibilidade de soja e milho e da dificuldade de importação de ovos, a avicultura amazonense teve um salto. Com menos da metade da população do estado do Pará, produz mais que o dobro de ovos.

A criação de pirarucu e tambaqui na mesorregião centro-amazonense teve um avanço, a despeito da importação de Rondônia e Roraima para o abastecimento de Manaus. Persiste, ainda, a dificuldade quanto ao alto preço das rações para peixes.

Tabela 7.4. Produção animal e piscicultura nas mesorregiões centro-amazonense e Baixo curso do Rio Amazonas e dos estados do Amazonas e Pará (2023).

Produção	Centro-amazonense	Amazonas	Baixo Amazonas	Pará
Bovino	407.377	2.377.089	1.665.083	25.040.621
Bubalino	115.566	128.058	152.101	683.604
Equino	12.273	41.314	54.623	527.421
Suíno	34.903	75.971	65.660	706.812
Caprino	8.766	15.414	10.049	66.252
Ovino	19.667	38.681	30.840	272.487
Galinhas	2.756.154	3.107.103	410.592	2.569.114
Leite (1.000 litros)	30.506	43.381	81.853	580.398
Ovos (1.000 dúzias)	56.860	62.657	5.803	39.798
Pirarucu	231.400	271.580	12.100	143.700
Tambacu, tambatinga	-	7.700	61.684	4.165.194
Tambaqui	5.330.394	6.475.064	129.162	9.263.927

Fonte: IBGE (2024c).

7.3. A decadência da economia extrativa

Com relação à produção extrativa, cabe destaque a extração de castanha-da-amazônia em ambas as mesorregiões (Tabela 7.5) (Figura 7.12). A silvicultura não apresenta relevância em ambas as mesorregiões. As experiências pontuais no plantio de mogno brasileiro na mesorregião centro-amazonense apresentam problemas com relação ao corte para raleamento e para comercialização.

Essas duas mesorregiões eram ativos centros produtores de óleo essencial de pau-rosa, utilizado como componente do Chanel 5 até 1990, que atingiu o apogeu na década de 1950, para, então, caminhar para o desaparecimento com o esgotamento dos estoques próximos aos cursos dos rios.

Tabela 7.5. Produção dos principais produtos extrativos e silvicultura nas mesorregiões centro-amazonense e Baixo curso do Rio Amazonas e dos estados do Amazonas e Pará (2023).

Produto extrativo	Centro-amazonense	Amazonas	Baixo Amazonas	Pará
Açaí	29.493	43.877	1.361	167.625
Castanha-da-amazônia	5.365	11.291	7.386	9.390
Palmito	-	-	-	3.230
Borrachas	34	378	16	20
Carvão vegetal	566	949	1.366	129.647
Lenha (m³)	291.489	563.778	149.121	1.332.537
Madeira tora (m³	417.604	906.211	2.002.228	4.985.861
Cumaru	34	35	75	90
Silvicultura				
Carvão vegetal	-	-	-	19.140
Lenha (m³)	-	-	-	-
Madeira tora (m³)	-	-	180.000	3.179.269

Fonte: IBGE (2024a).



Fotos: Marcelo Casimiro Cavalcante (A), Alfredo Kingo Oyama Homma (B) e Manoel da Silva Cravo (C).

Figura 7.12. Vista aérea da Fazenda Aruanã com 300 mil castanheiras em Itacoatiara, AM, plantio de 1.400 ha de açaizeiros no município de Óbidos, PA, e plantio de guaranazeiros em Maués, AM.

8. Considerações finais

Uma das principais ações de pesquisa que precisa ser desenvolvida nessas quatro microrregiões no estado do Amazonas e duas no estado do Pará está relacionada com a geração de tecnologias que garantam a segurança alimentar da cidade de Manaus e de outros polos populacionais ao longo do Rio Amazonas, com destaque para Manacapuru, Itacoatiara, Parintins, Santarém, Belém, Macapá, entre as principais. As microrregiões estudadas no estado do Amazonas, ao contrário da microrregião do estado do Pará, têm maior peso relativo na participação estadual.

É urgente a geração de alternativas de renda e emprego para as populações ribeirinhas e de terra firme dessas microrregiões, para reduzir a pressão de incorporação de novas áreas de mata e de vegetação secundária, sobretudo aquelas marginais aos cursos de água.

É preciso melhorar o sistema intermodal rodovia e rio, bastante precário, obras mal feitas, em comparação com as dos ingleses construídas no início do século XX (o Porto Flutuante de Manaus, maior do mundo, construído em 1907, e o Porto de Belém, construído pelo americano Percival Farquhar (1864-1953) em 1909, entre outras obras).

A revolução que poderia ser feita nas próximas décadas seria o incentivo à piscicultura para promover a substituição da pecuária extensiva na região e a criação de programa de domesticação de espécies extrativas, cuja oferta já chegou ao seu limite, com estímulo ao seu plantio. Entre as espécies, nativas e exóticas, com mercado assegurado, poderiam ser mencionadas a castanheira (50 mil ha), tucumã (5 mil ha), pau-rosa (40 mil ha), açaizeiro (50 mil ha), cacaueiro (200 mil ha), seringueira (160 mil ha), dendezeiro (200 mil ha), reflorestamento (1 milhão ha), entre outras, em um programa para os próximos 10 anos (Didonet, 2012; Homma, 2019). Muitas dessas espécies poderiam ser utilizadas para dar sentido econômico na recuperação de Área de Reserva Legal (ARL) e Área de Proteção Permanente (APP).

Referências

ANDRADE, E. B. de (ed.). **O homem que tentou domar o Amazonas**: biografia do cientista Felisberto Camargo, polêmico, ousado e futurista. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2011. 190 p. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/904114. Acesso em: 23 jun. 2025.

ANUÁRIO PEIXE BR DA PISCICULTURA. São Paulo: PeixeBr, 2025. Disponível em: https://www.peixebr.com.br/anuario-2025/. Acesso em: 23 mar. 2025.

BENCHIMOL, S. **Amazônia**: formação social e cultural. 3. ed. Manaus: Editora Valer, 2009.

BRASIL. **Decreto nº 1.037, de 30 de agosto de 1852**. Concede a Ireno Evangelista de Sousa privilegio exclusivo por trinta annos para a navegação a vapor no rio Amazonas. 1852. Disponível em: https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1824-1899/decreto-1037-30-agosto-1852-559381-publicacaooriginal-81578-pe.html. Acesso em: 23 jun. 2025.

CAMARGO, F. C. de. Report of the Amazon Region. In: PROBLEMS of humid tropical regions. Paris: Unesco, 1958. p. 11-24. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000017765. Acesso em: 23 jun. 2025.

CASTRO, G. S. A.; MAGALHÃES, L. A.; FONSECA, M. F.; HOMMA, A. K. O.; MIRANDA, E. E. de. Inteligência territorial para o desenvolvimento agropecuário de Roraima. **Ciência da Informação**, v. 45, n. 3, p. 77-95, set./dez. 2016. DOI: https://doi.org/10.18225/ci.inf..v45i3.4049.

DIDONET, A. A. **Comércio de frutos de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* G. Mey) e produção de resíduos nas feiras de Manaus, AM**. 2012. 68 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.

FERREIRA, A. da S. **Fios dourados dos trópicos**: culturas, histórias, singularidades e possibilidades (juta e malva - Brasil e Índia). 2016. 467 f. Tese (Doutorado em Ciências Sociais) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. DOI: https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2016.972891.

FERREIRA, A. da S.; HOMMA, A. K. O. A malva como sucedânea da juta no Brasil: do êxito ao fracasso. **Somanlu**: revista de estudos amazônicos, v. 23, n. 1, p. 20-43, jan./jun. 2023. DOI: https://doi.org/10.69696/somanlu.v23i1.13064.

HOMMA, A. K. O. A expansão da soja na Amazônia: a repetição do modelo da pecuária? In: ANDRADE, E. B. (ed.). **A geopolítica da soja na Amazônia**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental; Museu Paraense Emílio Goeldi, 2005. cap. 4, p. 89-126.

HOMMA, A. K. O. "Agriculturização" na Amazônia: conflitos e oportunidades. In: SILVA, L. de J. de S.; PINHEIRO, J. O. C.; MUNIZ, A. W. (ed.). **Pesquisa e agricultura familiar**: intercambio de ações e conhecimentos para transferência tecnológica na Amazônia. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2019. cap. 1, p. 17-45. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1109679. Acesso em: 23 jun. 2025.

HOMMA, A. K. O. **A imigração japonesa na Amazônia**: sua contribuição ao desenvolvimento agrícola. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2016. 255 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1047845. Acesso em: 23 jun. 2025.

HOMMA, A. K. O.; COSTA, N. A. da; GARCIA, A. R.; SANTOS, J. C. dos. **Linha do tempo do baixo Amazonas Paraense**: (re) territorialização de um espaço de várzeas. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2010. 62 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 366). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/883911. Acesso em: 23 jun. 2025.

HOMMA, A. K. O.; FERREIRA, A. da S.; FREITAS, M. C. da S.; FRAXE, T. de J. P. (org.). **Imigração japonesa na Amazônia**: contribuição na agricultura e vínculo com o desenvolvimento regional. Manaus: EDUA, 2011. p. 165-237.

HOMMA, A. K. O. **História da agricultura na Amazônia**: da era pré-colombiana ao terceiro milênio. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2013. E-book.

HOMMA, A. K. O. Horticultura tropical da Amazônia: oportunidades e desafios. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE INTERAMERICANA DE HORTICULTURA TROPICAL, 61., 2015, Manaus. **Anais** [...]. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 1-40.

HOMMA, A. K. O.; NAKANO, Y.; ISHIZUKA, H. (ed.). **Imigração japonesa no Estado do Amazonas (1927-1942)**: comemoração dos 90 anos da vinda da 1ª turma de Koutakusseis em 20 de junho de 1931 na Vila Amazônia, Parintins, Amazonas. Belém, PA, 2021. 411 p.

IBGE. **Censo demográfico 2022**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/22827-censo-demografico-2022.html. Acesso em: 23 jun. 2025.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. **Tabela 289**: quantidade produzida e valor da produção na extração vegetal, por tipo de produto extrativo - referência 2023. Rio de Janeiro, 2024a. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/289#resultado. Acesso em: 7 dez. 2024.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. **Tabela 2393**: aquisição alimentar domiciliar per capita anual por grupos, subgrupos e produtos. Rio de Janeiro, 2024b. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/2393#resultado. Acesso em: 6 mar. 2024.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. **Tabela 3939**: efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho - referência 2023. Rio de Janeiro, 2024c. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939#resultado. Acesso em: 7 dez. 2024.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. **Tabela 5457**: área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes - referência 2023. Rio de Janeiro, 2024d. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado. Acesso em: 7 dez. 2024.

JUNK, W. J. As águas da região amazônica. In: SALATI, E.; JUNK, W. J.; SHUBART, H. O. R.; OLIVEIRA, A. E. de. **Amazônia**: desenvolvimento, integração e ecologia. São Paulo: Brasiliense; Brasília, DF: CNPq, 1983. p. 45-100.

LIMA, R. R. **A agricultura nas várzeas do estuário do Amazonas**. Belém, PA: Instituto Agronômico do Norte AN, 1956. 164 p. (IAN. Boletim técnico, 33).

MARTINI, P. R.; DUARTE, V.; ARAI, E.; MORAES, J. A. Metodologia de medição das extensões dos rios Amazonas e Nilo utilizando imagens Modis e Geocover. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE SENSORIAMENTO, 13., 2008, Havana. **Anais** [...]. Havana: Selper, 2008.

NASCIMENTO, C.; HOMMA. A. **Amazônia**: meio ambiente e tecnologia agrícola. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1984. 282 p. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 27). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/386339. Acesso em: 23 jun. 2025.

PORTO DE MANAUS. Disponível em: http://www.portodemanaus.com.br/?pg=maxmi.php#. Acesso em: 23 jun. 2025.

RAFFLES, H.; WINKLERPRINS, A. M. G. Further reflections on Amazonian environmental history: transformations of rivers and streams. **Latin American Research Review,** v. 38, n. 3, p.165-187, Oct. 2003. DOI: https://doi.org/10.1353/lar.2003.0041.

SILVA, L. de J. de S.; HOMMA, A. K. O. Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária da Amazônia Ocidental (IPEAAOc): alguns aspectos da nossa história. In: EMBRAPA Amazônia Ocidental: 50 anos do IPEAAOc. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 17-28. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1118576. Acesso em: 23 jun. 2025.

SIOLI, H. **Alguns resultados e problemas da limnologia amazônica**. Belém, PA: Instituto Agronômico do Norte, 1951a. p. 3-44. (IAN. Boletim técnico, 24).

SIOLI, H. **Sobre a sedimentação na várzea do Baixo Amazonas**. Belém, PA: Instituto Agronômico do Norte, 1951b. p. 45-65 (IAN. Boletim técnico, 24).

SMITH, N. J. H. Destructive exploitation of the South American river turtle. **Yearbook of the Association of Pacific Coast Geographers**, v. 36, p. 85-102, 1974.

SOARES, L. de C. **Amazônia**: guia da excursão n. 8, realizada por ocasião do XVIII Congresso Internacional de Geografia. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Geografia, 1963. 341 p.

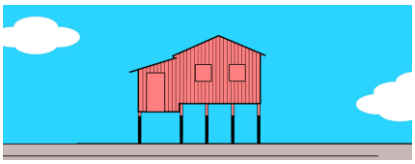
SOARES, L. de C. Hidrografia. In: IBGE. **Geografia do Brasil**: região Norte. Rio de Janeiro: SERGRAF/IBGE, 1977. v. 1, p. 95-166.

STERNBERG, H. O. **A água e o homem na várzea do Careiro**. 2. ed. Belém, PA: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1998. 320 p. (Coleção Friedrich Katzer).

TOCANTINS, L. **O rio comanda a vida**: uma interpretação da Amazônia. 8. ed. Rio de Janeiro: Record, 1988. 284 p.

WITKOSKI, A. C.; FERREIRA, A. S.; HOMMA, A. K. O.; FRAXE, T. J. P. (org.). **A cultura de juta e malva na Amazônia Ocidental**: sementes de uma nova racionalidade ambiental? 1. ed. São Paulo: Annablume, 2010.

Capítulo 8



Dinâmica fluvial do Médio curso do Rio Amazonas e processos associados

Iris Celeste Nascimento Bandeira
Naziano Pantoja Filizola Junior
Wenceslau Geraldes Teixeira
Marcelo Eduardo Dantas

1. Introdução

A Bacia Amazônica, com aproximadamente seis milhões de quilômetros quadrados (Molinier et al., 1994), é composta de mais de 1700 rios, entre eles o Rio Amazonas, que apresenta a maior descarga líquida do mundo (Filizola; Guyot, 2009) e é um dos maiores em suprimento sedimentar (Filizola et al., 2011). Possui também uma extensa área de várzea, condicionada a uma morfodinâmica fluvial complexa, com distribuição irregular de sedimentos, acarretando a formação de diversas unidades de relevo, associadas a solos de textura, granulometria e composição química muito variadas. Nesse ambiente de grande diversidade hídrica, geomorfológica, biológica e pedológica, existem inúmeras famílias que vivem à base da agricultura e da pesca, dependendo do solo e da água para sua sobrevivência (Porro, 1995).

Visando contribuir para o entendimento da formação dos solos da várzea do Rio Amazonas (Figura 8.1) e ampliar o conhecimento pedológico, foi realizada em outubro de 2024 a *XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos* (XV RCC) na Amazônia Central, onde foram visitados inúmeros perfis, localizados em relevo de baixos platôs (vide Capítulo 3), a grande maioria em regiões de várzea, às margens do Rio Amazonas.

As informações coletadas durante a RCC, somadas à pesquisa bibliográfica e análise de imagens de satélite, permitiram apresentar sucintamente um quadro geral da dinâmica fluvial e sua relação com processos de inundação, sedimentação, erosão e de movimentos de massa, assim como mostrar as principais unidades geomorfológicas e os solos formados em decorrência desses processos.

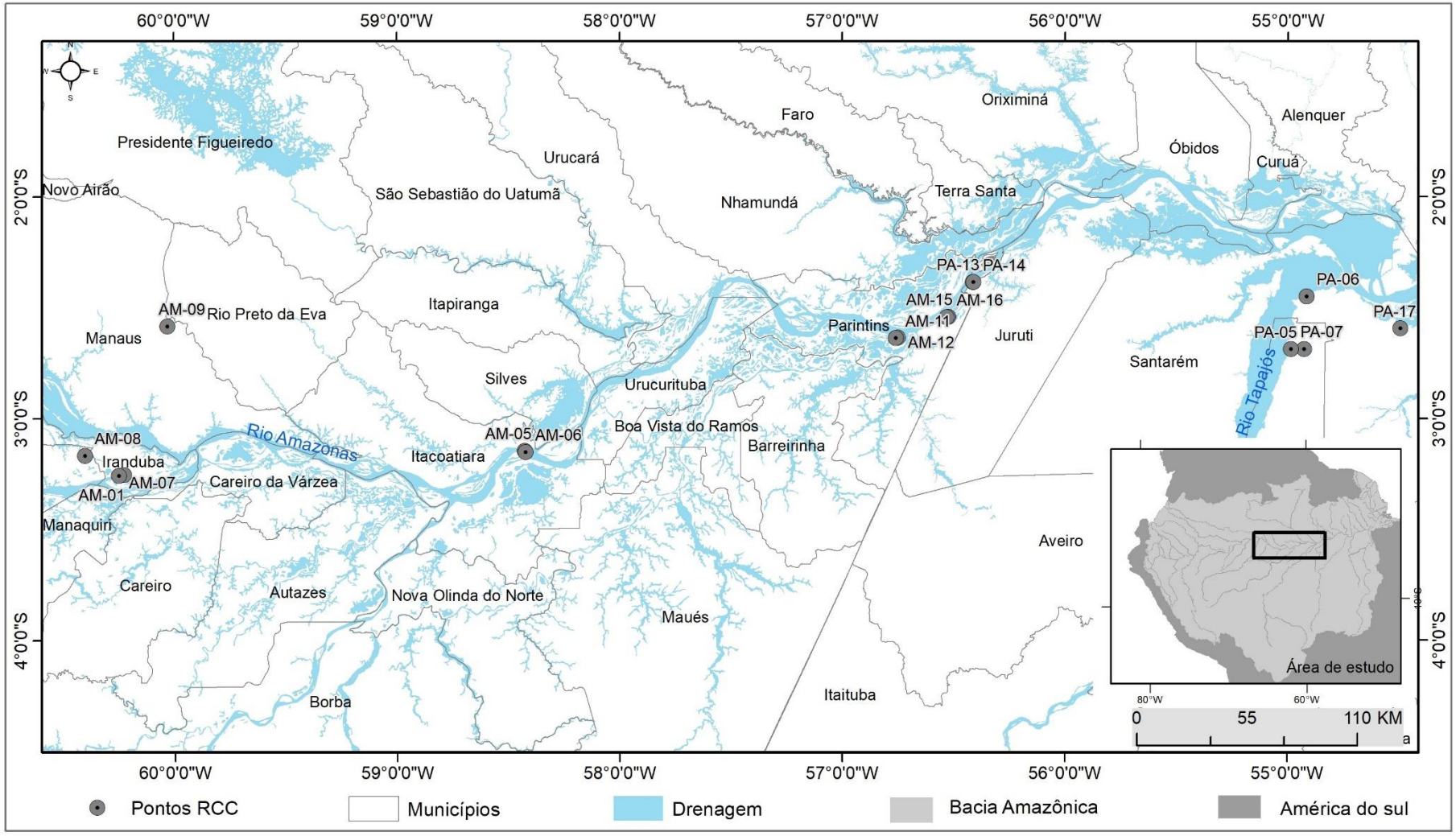


Figura 8.1. Mapa de localização do Médio curso do Rio Amazonas e dos perfis da XV RCC.

2. Dinâmica fluvial

A várzea do Médio curso do Rio Amazonas apresenta uma extensa área de inundação, composta de depósitos aluvionares referentes ao Holoceno (últimos 10.000 anos), limitados por terrenos mais elevados dos baixos platôs das Formações Solimões e Alter do Chão (Projeto Radambrasil, 1976; Reis et al., 2006; Vasquez; Rosa-Costa, 2008), com idades que remontam ao Pleistoceno e até ao Plioceno (quase 3 milhões de anos). Essas áreas de várzea (Figura 8.2) apresentam, na sua grande maioria, depósitos compostos com mais de 80% de materiais finos (silte e argila) e menos de 20% de areias (Mertes et al., 1996). Nas áreas com presença de areias, predominantemente médias a finas, tem-se a formação de Neossolos Flúvicos, que foram transportados e depositados em consequência das inundações maiores do Rio Amazonas. Os fluxos desse rio, tanto hídricos quanto sedimentológicos, são de enormes proporções, com vazões médias máximas[1] de 236.000 $m^3\ s^{-1}$ e uma variação de 0,8 a 1,2 bilhões de toneladas anuais de sedimentos (Filizola et al., 2011; Armijos et al., 2020), para uma bacia com 6.112 milhões de km^2 de área (Molinier et al., 1994). O volume de água alcança seu pico de cheia anual, na região, normalmente entre os meses de maio e junho. Curiosamente, esse pico chega em Óbidos com, aproximadamente, um mês de antecedência em relação ao de Manacapuru, situada cerca de 700 km a montante. Tal comportamento singular justifica-se em face das significativas contribuições hídricas do Rio Madeira na vazão para o Rio Amazonas (14%), cujo pico de cheia acontece, em geral, entre os meses de fevereiro e abril, impactando sobremaneira os volumes em Óbidos.

Devido à variabilidade anual do fluxo de água do Rio Amazonas, o processo de transporte de matéria favorece a deposição de 160 a 200 milhões de toneladas de sedimentos por ano, no trecho entre Manacapuru e Óbidos (Meade, 1985; Filizola; Guyot, 2009; Filizola et al., 2011). No entanto, os fluxos de sedimentos na estação de Óbidos seguem uma dinâmica atrelada às contribuições hídricas dos dois principais tributários (rios Madeira e Negro), gerando, ali, um efeito de histereses na relação entre as concentrações de sedimentos em suspensão e as vazões (Filizola et al., 2011). Esses processos variáveis de fluxos de água e sedimentos condicionam uma intensa dinâmica que propicia distintos processos deposicionais e erosivos ao longo de toda a várzea (Figura 8.2). Uma grande área de deposição ativa encontra-se entre as cidades de Parintins e Santarém, associada principalmente aos grandes lagos e à

[1] Valor baseado na compilação de dados hidrológicos da Agência Nacional de Águas (ANA), entre 1970 e 2023 (Agência Nacional de Águas, 2025).

ocorrência de inúmeras ilhas na calha do Amazonas. Uma extensa área de erosão, com aproximadamente 414 km^2, pode ser identificada por uma variabilidade temporal nos processos de redução de ilhas e de formação de barras de acreção, sendo o trecho entre Juruti e Óbidos o que mais apresenta setores de várzea submetidos a processos erosivos.

Essa dinâmica variável permite a formação de inúmeras unidades geomorfológicas distintas na várzea (Mertes et al., 1996; Latrubesse; Franzinelli, 2002; Latrubesse, 2015; Park; Latrubesse, 2019). Em escala regional, é possível visualizar extensas áreas da planície fluvial e grandes ilhas associadas a lagos com mais de 15 km de largura (Figuras 8.3A e 8.3B), além de longos deltas intralacustres e barras de acreção com mais de 20 km de comprimento e extensos diques margeando o Rio Amazonas (Figura 8.3). Em escala de detalhe, verifica-se que essas unidades geomorfológicas maiores são formadas por subunidades de relevo. Como exemplo, há as planícies fluviais recortadas por um complexo mosaico de lagos menores, canais de várzea e canais abandonados, bordeados por diques de baixas amplitudes (Figura 8.3F), que apresentam diferenciações topográficas (30 a 150 cm) devido ao processo de sedimentação fluvial, os quais podem permanecer inundados por mais tempo, interferindo na tipologia de formação dos solos.

Portanto, a existência dessas unidades e a sua variabilidade espacial e topográfica possibilitam a funcionalidade ecológica e os ciclos biogeoquímicos de habitats locais (Mertes; Magadzire, 2007; Latrubesse, 2012). Do mesmo modo, as unidades condicionam a formação de grandes áreas com vegetação de floresta de várzea nas áreas suscetíveis a inundações (Kalliola et al., 1992), a estruturação de diferentes tipos de solo e o modo de ocupação humana da várzea. Unidades geomorfológicas com maior amplitude altimétrica, como os diques marginais, são menos suscetíveis à inundação e à sedimentação, representando as regiões mais ocupadas e cultivadas. A dinâmica intensa pode também afetar a preservação dos sítios arqueológicos (Campos et al., 2024), pois a sedimentação pode encobrir artefatos antigos, ou erodir e facilitar sua remoção, dificultando o estudo de vestígios de povos ancestrais nesse ambiente.

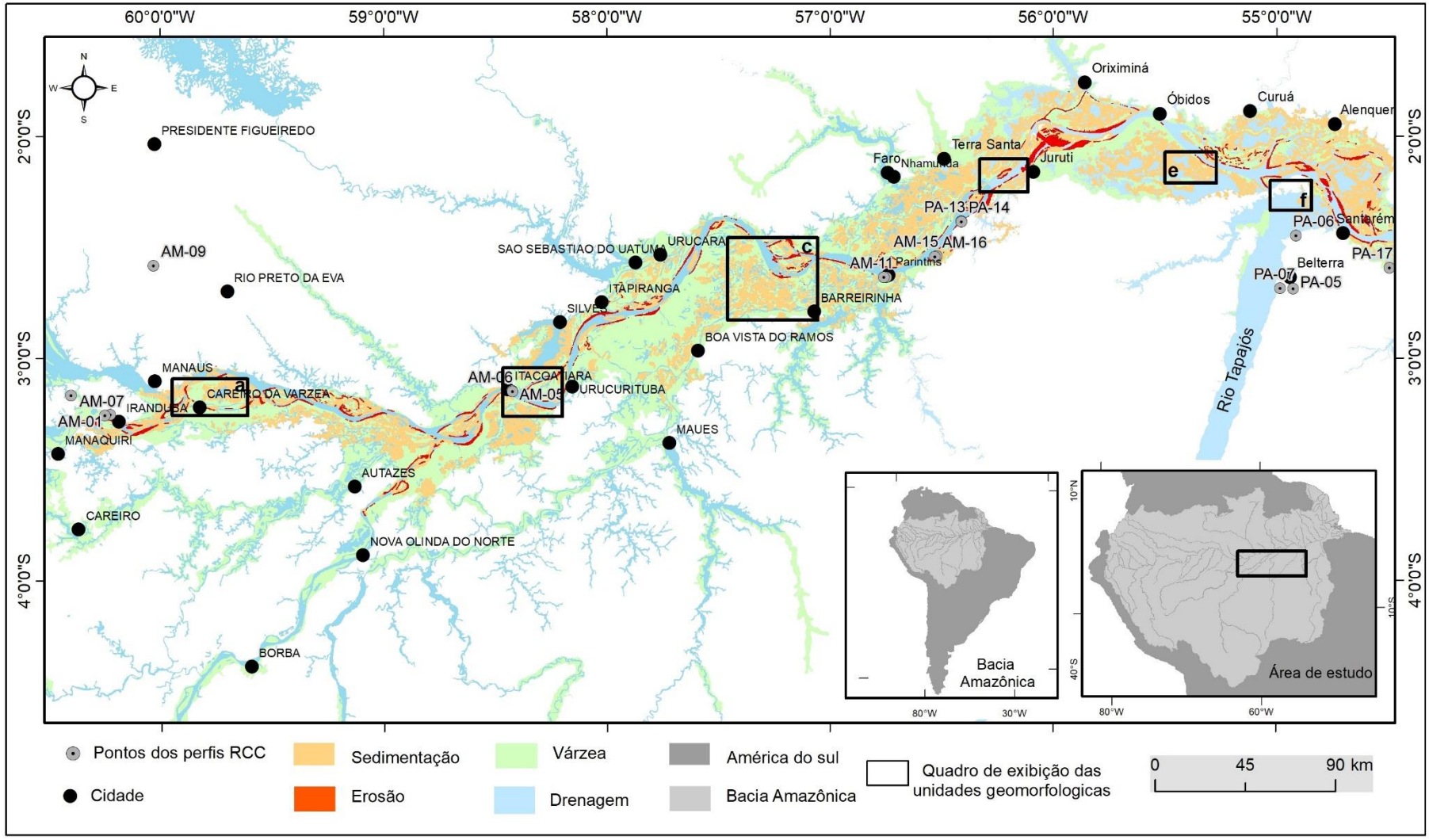


Figura 8.2. Mapa exibindo áreas de sedimentação e de erosão entre os anos de 1984 e 2023.

Fonte: Dantas e Maia (2010), Dantas e Teixeira (2013) e Global Surface Water (2025).

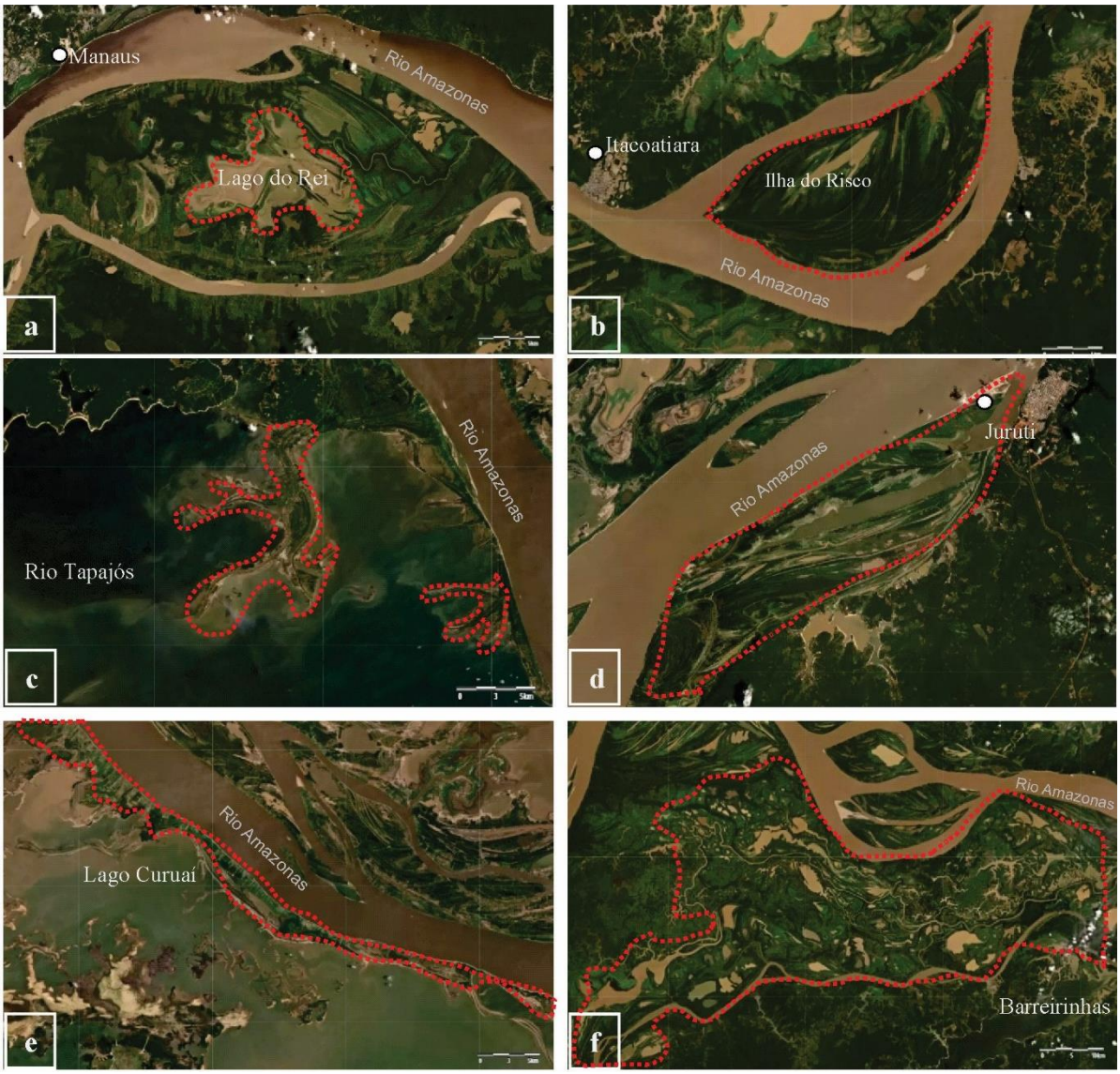


Figura 8.3. Unidades geomorfológicas da várzea, delimitadas em vermelho sobre imagens Planet de 2023: lagos associados a ilhas (A); extensas ilhas (B); deltas (C); barras de acreção (D); diques marginais associados ao extenso Rio Amazonas (E) e planícies compostas de mosaico de canais, associados a lagos menores (F).

3. Processos fluviais no Médio Rio Amazonas

O Rio Amazonas apresenta características hidroclimáticas e hidrossedimentares diferenciadas, que ocasionam processos de inundação, erosão e sedimentação em escalas regionais, que podem ultrapassar quilômetros de distância, diferentes daqueles que predominam nos rios de outras bacias brasileiras (Latrubesse, 2008). Um dos primeiros estudos que miraram as particularidades da dinâmica fluvial do Amazonas foi o do cientista Monteiro (1969), ao abordar o fenômeno de terras caídas e a formação de lagoas marginais em meia-lua, no conceito popular amazônida (sinonimizado como ipuêra, termo indígena). Nesse trabalho pioneiro e clássico, há notável descrição hidrossedimentológica do fenômeno complexo, condicionantes controladores, aspectos sociais e econômicos.

3.1. Inundação

A inundação na região do Baixo Rio Amazonas é parte do ciclo natural da várzea (Andrade et al., 2017), ocorrendo de forma sazonal, no qual, durante seis meses, os rios encontram-se na fase da enchente (dezembro a maio), e nos outros seis meses encontram-se na fase da vazante (junho a novembro). Segundo Filizola et al. (2002), os rios amazônicos apresentam variabilidade dos níveis de cheia entre 2 e 18 m de amplitude, com alteração nas cotas máximas e mínimas, a depender da estação fluviométrica. No ano de 2021, registrou-se a maior cheia histórica na maioria das estações fluviométricas da bacia do Rio Amazonas. No entanto, na estação de Óbidos, onde passam cerca de 80% de toda a água captada pela bacia, o registro local da maior cheia foi no ano de 2009 (Agência Nacional de Águas, 2009) com o nível de 8,6 m (Figura 8.4). Em 2023, registrou-se a maior vazante histórica (Espinoza et al., 2024), tendo a régua da estação de Óbidos registrado o valor negativo de -67 cm.

Durante as maiores cheias, o alcance da inundação é muito expressivo, podendo atingir 70 quilômetros de largura (Figura 8.5), entre as comunidades Silves e Maués, no estado do Amazonas, por exemplo.

Essa elevação da cota fluviométrica do Rio Amazonas está condicionada principalmente ao índice pluviométrico da região e a mudanças nos padrões climáticos. Modelos climáticos de longo prazo mostram eventos extremos de precipitação na região amazônica (Marengo et al., 2009), que provocam inundações atípicas, fora da média (Seneviratne et al., 2012), com interações complexas no tempo e no espaço entre o sistema principal e seus afluentes (Callède et al., 2004). Esses modelos já indicavam uma elevação da inundação de várzea na Amazônia desde 1980, como consequência de um aumento na amplitude das vazões máximas, e também uma tendência à intensificação das secas, fato comprovado pelos últimos eventos e registrado por Fassoni-Andrade et al. (2023) e Espinoza et al. (2024).

Essa frequente variação no nível da água do rio acarreta não só a saturação do solo durante as inundações, com a presença do lençol freático muito próximo à superfície nos terrenos de várzea, como também condiciona os solos hidromórficos.

As inundações causam danos significativos às comunidades ribeirinhas (Figuras 8.6A e 8.6B), como perdas materiais e de plantações e casos de afogamento, mas, por outro lado, renovam a fertilidade natural dos solos aluviais. Nas cidades, essas inundações provocam destruição das infraestruturas públicas e privadas (Figuras 8.6C e 8.6D), interrupção do fluxo normal de tráfego e redução da acessibilidade (Andrade; Szlafsztein, 2015). Para tentar mitigar esse risco muitas famílias fazem marombas (alteamentos artificiais do piso) e, quando podem, realizam alteamento da palafita ou transferem a casa para outro lugar.

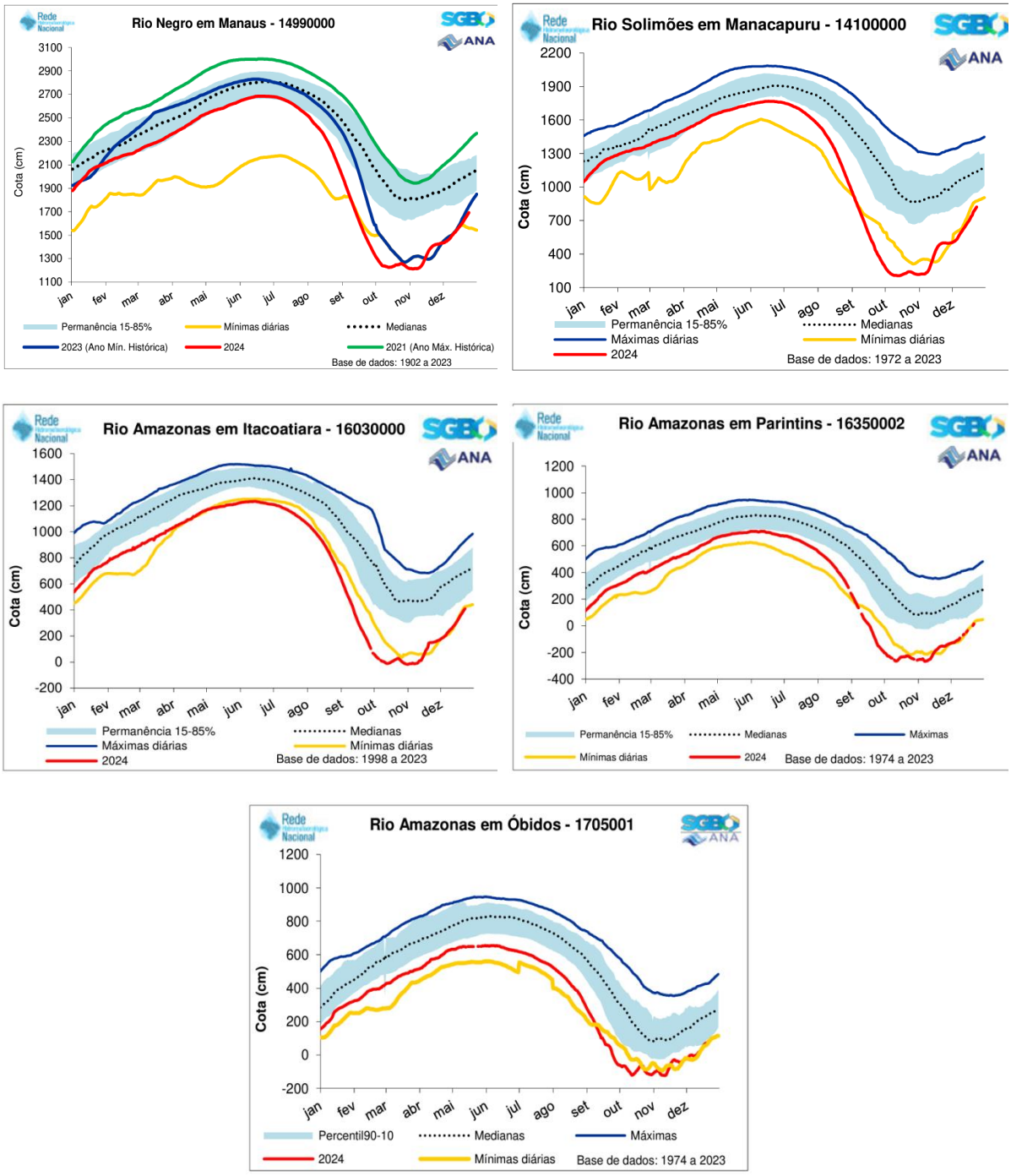


Figura 8.4. Cotagramas das estações fluviométricas de Manaus, Manacapuru, Itacoatiara, Parintins e Óbidos.Informa-se que as cotas indicadas nos gráficos são valores associados a uma referência de nível local e arbitrária, válida para as réguas linimétricas específicas de cada estação, sem relação direta com o nível do mar.

Fonte: Boletim Hidrológico da Bacia do Amazonas (2024).

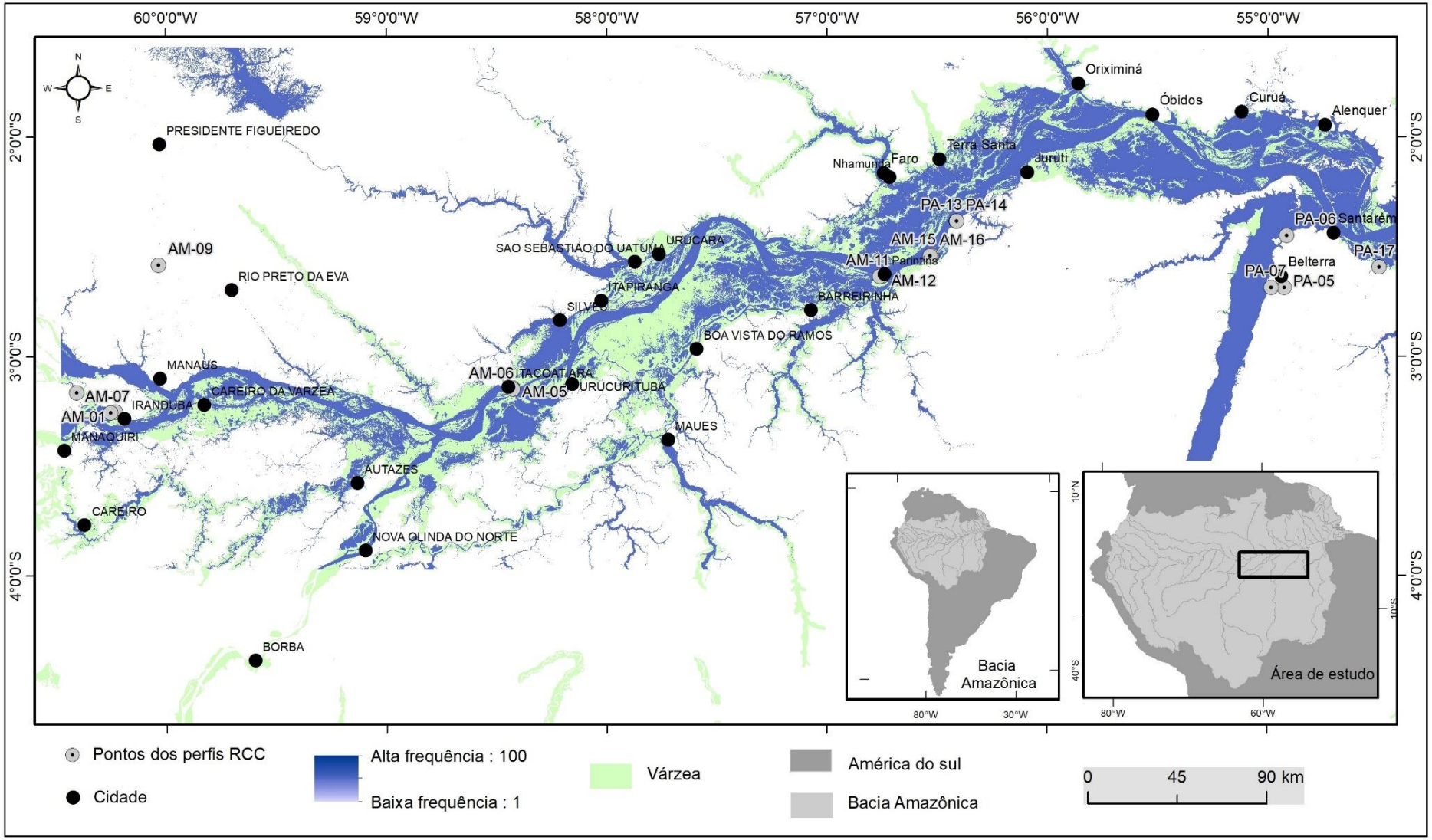
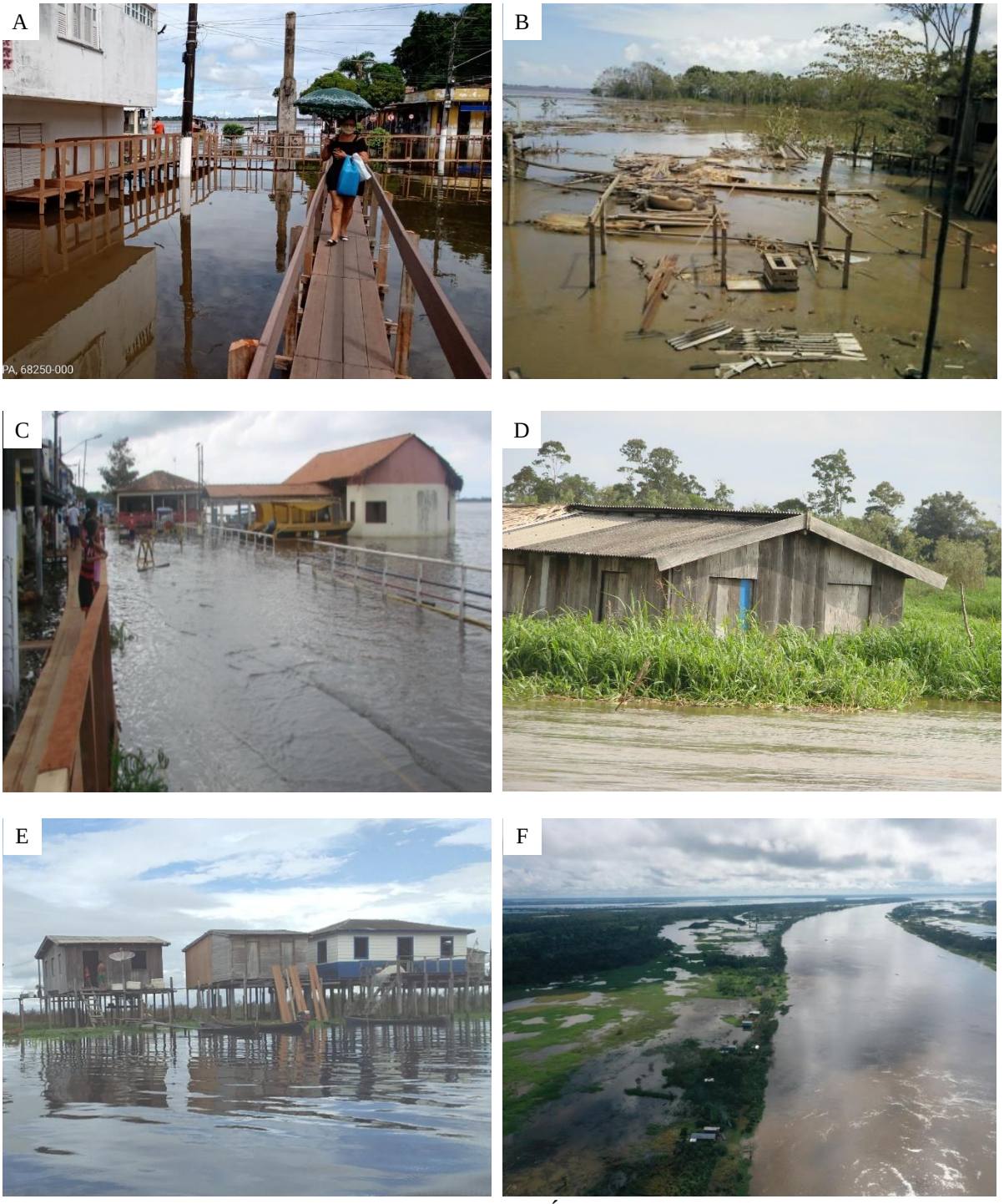


Figura 8.5. Mapa de frequência da inundação no Médio Rio Amazonas.

Fonte: Dantas e Maia (2010), Dantas e Teixeira (2013) e Fassoni-Andrade (2020).



Fotos: Iris Celeste Nascimento Bandeira (C, D, E) e Antônio Gilmar Honorato de Souza (F).

Figura 8.6. Fotografias ilustrando: centro da cidade de Óbidos, PA, atingido pela inundação de 2022 (A); região de várzea do município de Santarém, atingida pela inundação e movimentos de massa em junho de 2011 (B); orla da cidade de Juruti, PA, atingida pela inundação de 2012 (C); casa de madeira localizada na zona rural do Município de Juruti, PA, atingido pela inundação do Rio Amazonas em 2012 (D); casas sobre palafitas, instaladas à margem do afluente do Rio Amazonas com risco de serem atingidas pela inundação em 2022 (E); inundação do Rio Amazonas, zona rural de Manacapuru, AM, em 2023 (F).

Fonte: Defesa Civil de Óbidos (A), Luzardo e Teixeira (2012) (B).

Contrapondo-se às inundações, existem os eventos de seca, que comprometem significativamente a conectividade das comunidades ribeirinhas com os polos regionais. Nesses polos situam-se os principais serviços de apoio governamental e rede de comércio e serviços, onde se encontram os produtos básicos para sobrevivência, sobretudo em condições de isolamento causadas pela estiagem extrema, como ocorrido em 2023.

3.2. Sedimentação

A sedimentação nas várzeas refere-se ao processo pelo qual os sedimentos transportados pelo Rio Amazonas e afluentes são depositados sobrepondo-se a camadas sedimentares preexistentes e remodelando a paisagem (Sternberg, 1953; Iriondo, 1982; Mcgrath et al., 1992). Ocorre, sobretudo, devido à diminuição da velocidade da água e à redução da capacidade de transporte de sedimentos e logo após os pulsos de inundação, quando o Rio Amazonas já tenha ultrapassado os limites dos diques marginais e avançado para as áreas de várzea, onde a decantação lenta acontece, depositando materiais mais finos. Segundo Bonnet et al. (2008), o Rio Amazonas domina a entrada de água na várzea com cerca de 77% do total anual. Durante um período de 39 anos (1984 a 2023), ele trouxe sedimentos que propiciaram a sedimentação de uma área de 2.154 km2 (Figura 8.2), a uma alta taxa anual que favoreceu a formação de depósitos de espessura variável, entre milímetros a metros (Figura 8.8). Segundo Filizola e Guyot (2009), a taxa de sedimentação normal para as várzeas na bacia do Rio Amazonas varia de 3 a 6 mm por ano.

Essa sedimentação, resultante das inundações anuais, promove a formação de solos jovens e rejuvenescidos (Irion, 1984), com pouco ou nenhum desenvolvimento do perfil, com características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas diferenciadas, decorrentes de fontes de sedimentos de composição granulométrica mineralógica e orgânica diversas (Rodrigues; Oliveira, 1996).

No geral, os solos dessa região são associados a rios com alta carga sedimentar (rios de água barrenta), que apresentam fertilidade mais elevada do que os rios de água preta ou rios de água clara (Junk et al., 2011). Em função da topografia plana e da presença de água (Teixeira et al., 2010; Quesada et al., 2011), mostram características mais adequadas para a utilização na agricultura (Rodrigues; Oliveira, 1996; Schaefer et al., 2023). Todavia, há restrições em algumas regiões, pois elementos limitantes, como o sódio, são impróprios para a produção agrícola (Fajardo et al., 2009).

Os solos de várzea do Médio Rio Amazonas estão representados principalmente por Gleissolos Háplicos Ta Eutróficos neofluvissólicos e Gleissolos Háplicos Ta Eutróficos vertissólicos. Em menor proporção, verifica-se os Neossolos Flúvicos Ta Eutróficos,

Vertissolos Hidromórficos Órticos, Cambissolos Flúvicos Ta Eutróficos e, localmente, Organossolos Háplicos, a depender da localização topográfica, da qualidade das águas, dos sedimentos que os inundam (Victoria et al., 1989; Teixeira et al., 2019; Schaefer et al., 2023) e da frequência da inundação. Os Gleissolos Háplicos neofluvissólicos estão associados às planícies fluviais e diques (Tabela 8.1), uma vez que essa unidade geomorfológica está condicionada a uma dinâmica fluvial com inundações e deposições sedimentares sazonais, o que propicia a acreção vertical e lateral e a formação de solos pouco evoluídos. Nas áreas sazonalmente inundáveis das barras de acreção e nas regiões lagunares, por serem regiões onde o fluxo hídrico é mais lento comparado a outras unidades geomorfológicas, geralmente se observam altas concentrações de sedimentos em suspensão nas águas, onde está ocorrendo deposição de siltes e argilas expansivas (esmectíticas), com a formação de Gleissolos Háplicos vertissólicos e Vertissolos Hidromórficos (Figura 8.9G). Segundo Schaefer et al. (2017), esse ambiente associa-se a solos com características vérticas. Em alguns depósitos com grande quantidade de matéria orgânica, formam-se os Organossolos Háplicos.

O processo de sedimentação gera impactos à população ribeirinha. Denominado pela população local de "terras crescidas", ele provoca o alteamento do solo e o aterramento de imóveis, obrigando a deslocamento de moradias e causando prejuízos para a agricultura familiar (Fonseca; Bandeira, 2022; Nascimento et al., 2023).

Fotos: Iris Celeste Nascimento Bandeira.



Figura 8.8. Fotografias de: sede da comunidade Boca de Cima do Aritapera – Santarém, PA, aterrada por sedimentos trazidos pela cheia do Amazonas, em maio de 2021 (A), e dique marginal do Rio Amazonas, apresentando feições elevadas na superfície, associadas à sedimentação e a fluxos turbulentos durante a cheia do rio (B).

Tabela 8.1. Solos identificados nas várzeas do Médio Rio Amazonas[1].

Número perfil	Localização	Solo	Relevo		Processo
			1:50.000	1:2.000	
AM-05	Itacoatiara	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura siltosa	Planície fluvial	Planície lagunar	Inundação e deposição
AM-06	Itacoatiara	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/siltosa/média	Planície fluvial	Dique	Inundação e deposição
AM-07	Iranduba	Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, textura média/siltosa	Planície fluvial	Planície fluvial	Inundação, deposição e erosão marginal
AM-11	Parintins	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico, textura siltosa-média/média-siltosa	Barra de acreção	Planície fluvial	Inundação e deposição
AM-12	Parintins	Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico, textura média	Planície fluvial	Planície fluvial	Inundação e deposição
AM-15	Parintins	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/arenosa/siltosa	Ilha	Dique	Inundação, deposição e erosão marginal
AM-16	Parintins	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa	Ilha	Planície lagunar	Inundação e deposição
PA-13	Juruti, Fazenda São Joaquim	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa/siltosa	Barra de acreção	Planície fluvial	Inundação e deposição
PA-14	Juruti, Fazenda São Joaquim	Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico, textura argilosa/siltosa	Barra de acreção	Planície lagunar	Inundação e deposição

[1] Classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

Fonte: Santos et al. (2018).

Fotos Iris Celeste Nascimento Bandeira (A, B, C, D, F, G, H) e Vinlei Álvaro de Oliveira (E).

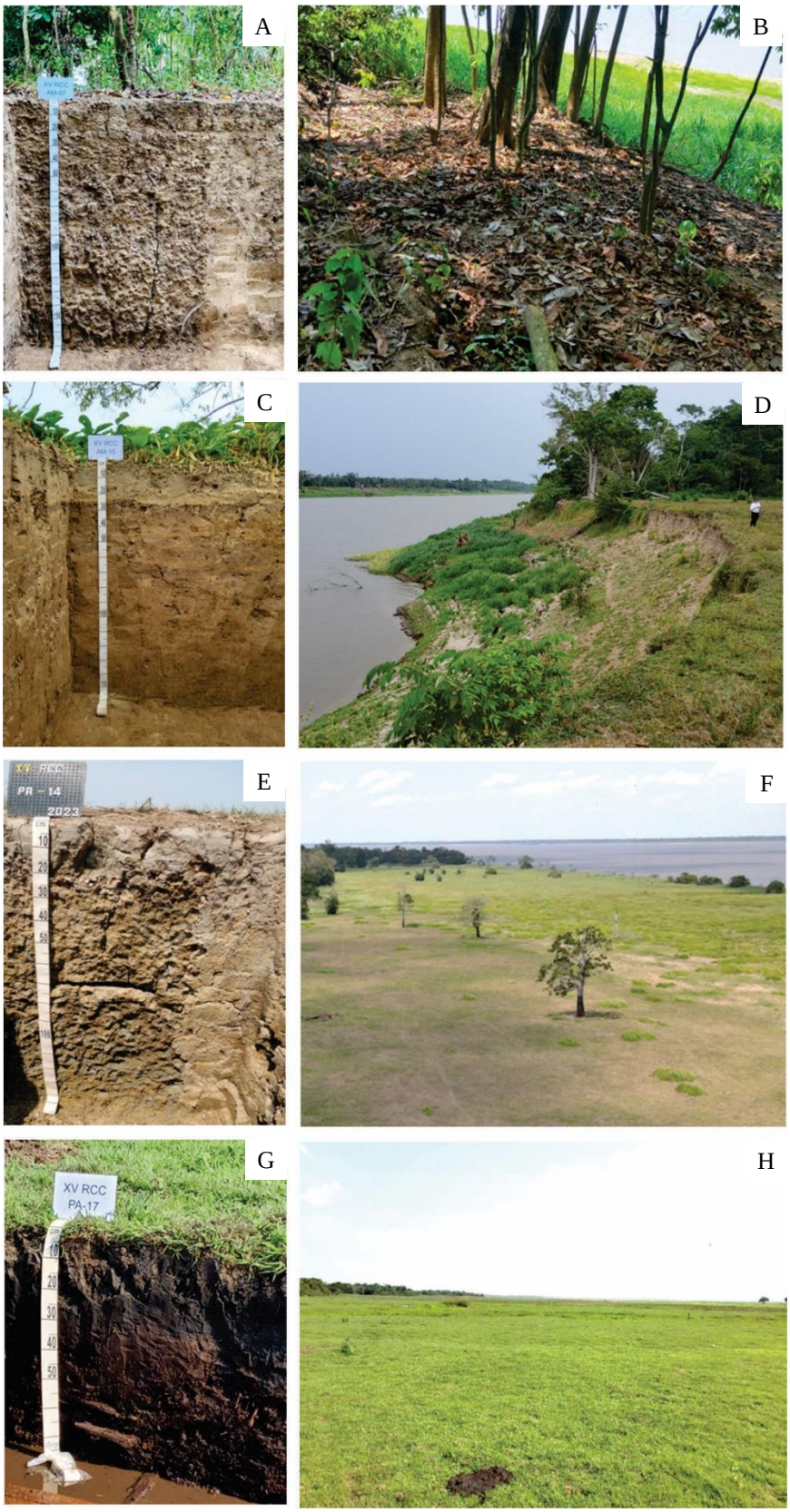


Figura 8.9. Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico (AM-07) em área de planície fluvial, frequentemente inundada (A), com presença de trincas abertas nas margens, associadas a intenso processo de terras caídas (B). Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico (AM-15) localizado em borda de ilha sujeita a processos de inundação e sedimentação (C), mas com as margens do rio apresentando alta suscetibilidade a terras caídas (D). Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico (PA-14) (E) sob relevo de barra de acreção sazonalmente inundada (F) e Organossolo Háplico Hêmico típico (PA-17) (G) em relevo plano de planície flúvio-lagunar (H).

3.3. Terras caídas

Em contraposição às "terras crescidas", tem-se também as "terras caídas", termos regionais usados para designar os processos de erosão fluvial associados a movimentos de massa, vinculados à dinâmica fluvial de grandes rios (Monteiro, 1969; Bandeira et al., 2018). Esses movimentos causam perda não só de solos, mas também de bens materiais e de vida, como acontece, nos últimos 10 anos, com cerca de 9.500 pessoas[2] que se encontram em situação de risco (Figura 8.10). No entanto, esse número pode ser ainda maior, visto que ainda restam muitas localidades para serem mapeadas. Ademais, grande parte dessas pessoas que estão em risco, na zona rural, pertence a uma população ribeirinha, já em alta vulnerabilidade social (Scherer, 2004), podendo vir a perder suas casas e suas plantações por causa desses movimentos de massa.

Esses processos de "terras caídas" estão condicionados à variação do nível da água do rio, podendo ocorrer tanto na cheia, em condição intermediária, ou na estiagem. Na cheia, o solapamento caracteriza-se pelo colapso e pela submersão de extensas massas de terra (Figuras 8.11A e 8.11B), decorrentes do aumento da poropressão e da diminuição da resistência e da coesão (Bandeira et al., 2018). Em condição intermediária, quando o rio está enchendo ou vazando, ou seja, quando o nível da água não estiver atingindo o topo do talude marginal, observa-se a erosão nos estratos mais suscetíveis, na porção mais profunda do rio (Figuras 8.11C e 8.11D), descalçando a porção superior das margens, que colapsa/desaba, devido à gravidade (Bandeira et al., 2023). Essa condição erosiva na base do talude pode ser provocada também por *pipings*.

Durante a estiagem, ocorrem predominantemente processos de escorregamento devido ao alívio da pressão hidrostática (Figuras 8.11E e 8.11F). E, dependendo da tipologia do material que constitui as margens, esse movimento pode apresentar uma evolução lenta, como a das argilas expansivas, por exemplo. Muitas vezes esses processos estão inter-relacionados, ou seja, numa mesma margem pode ocorrer a erosão associada a movimentos de massa mais lentos, como os rastejos, e, devido à mudança dos agentes, pode desencadear escorregamentos e solapamentos.

Há também o desenvolvimento de trincas na superfície (Figura 8.11G), que muitas vezes são "preenchidas" por óxidos de ferro, preservando-as nos sedimentos, promovendo um processo de instabilidade das margens semelhante à queda de blocos (Bandeira et al., 2023).

Outro processo observado nas margens dos rios é a erosão por patamares (Figura 8.11H). À medida que o nível de água vai descendo ou subindo, o escoamento do rio erode as camadas pouco consolidadas pela abrasão.

[2] Número de pessoas em risco por terras caídas baseado na compilação de dados das campanhas de setorização de risco, empreendidas pelo SGB/CPRM, ao longo dos últimos 10 anos, na região de várzea, onde foi realizada a RCC.

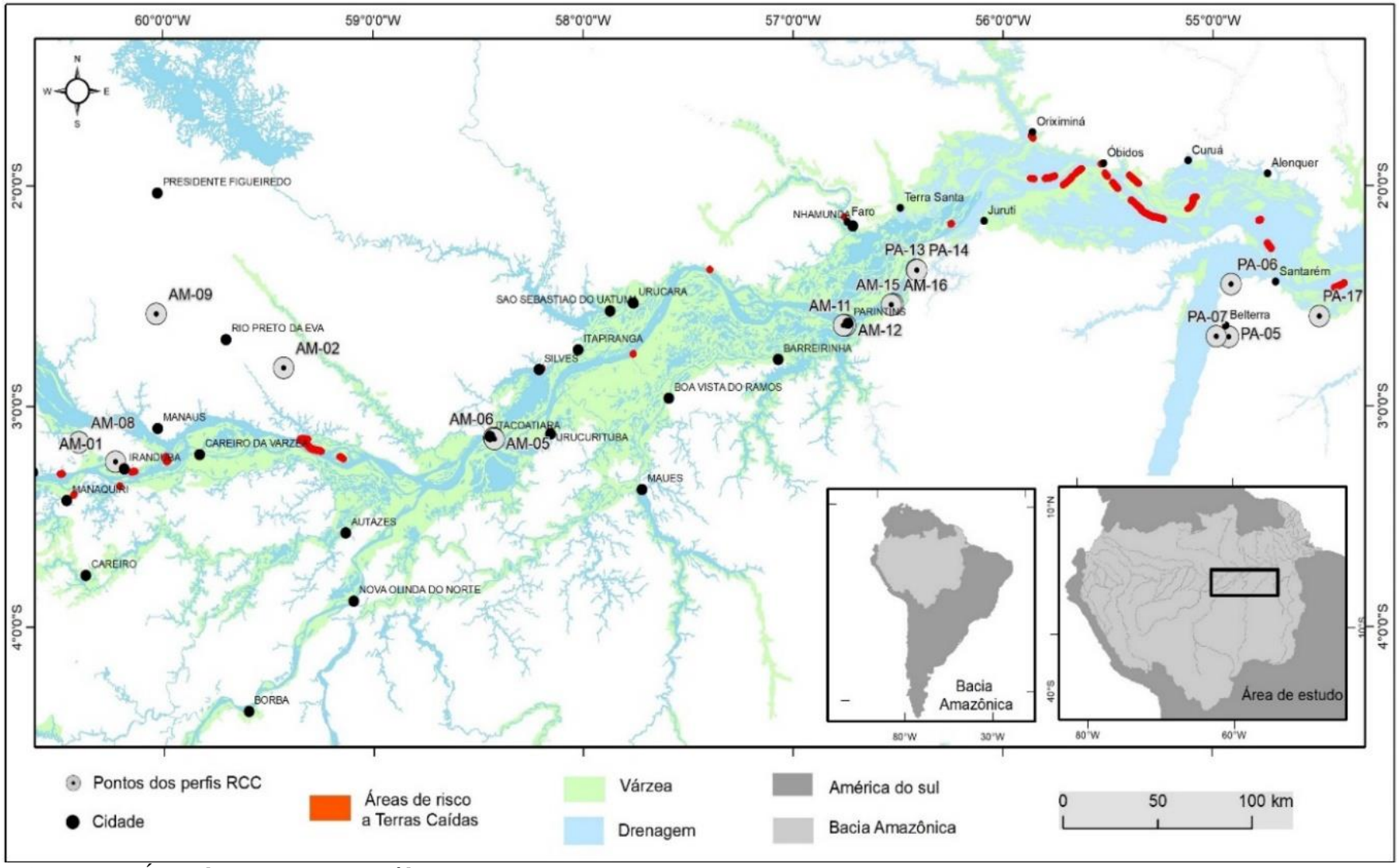


Figura 8.10. Áreas de risco por terras caídas.

Compilação dos dados dos mapeamentos das áreas de risco realizada pelo Serviço Geológico do Brasil entre os anos de 2010 e 2024.

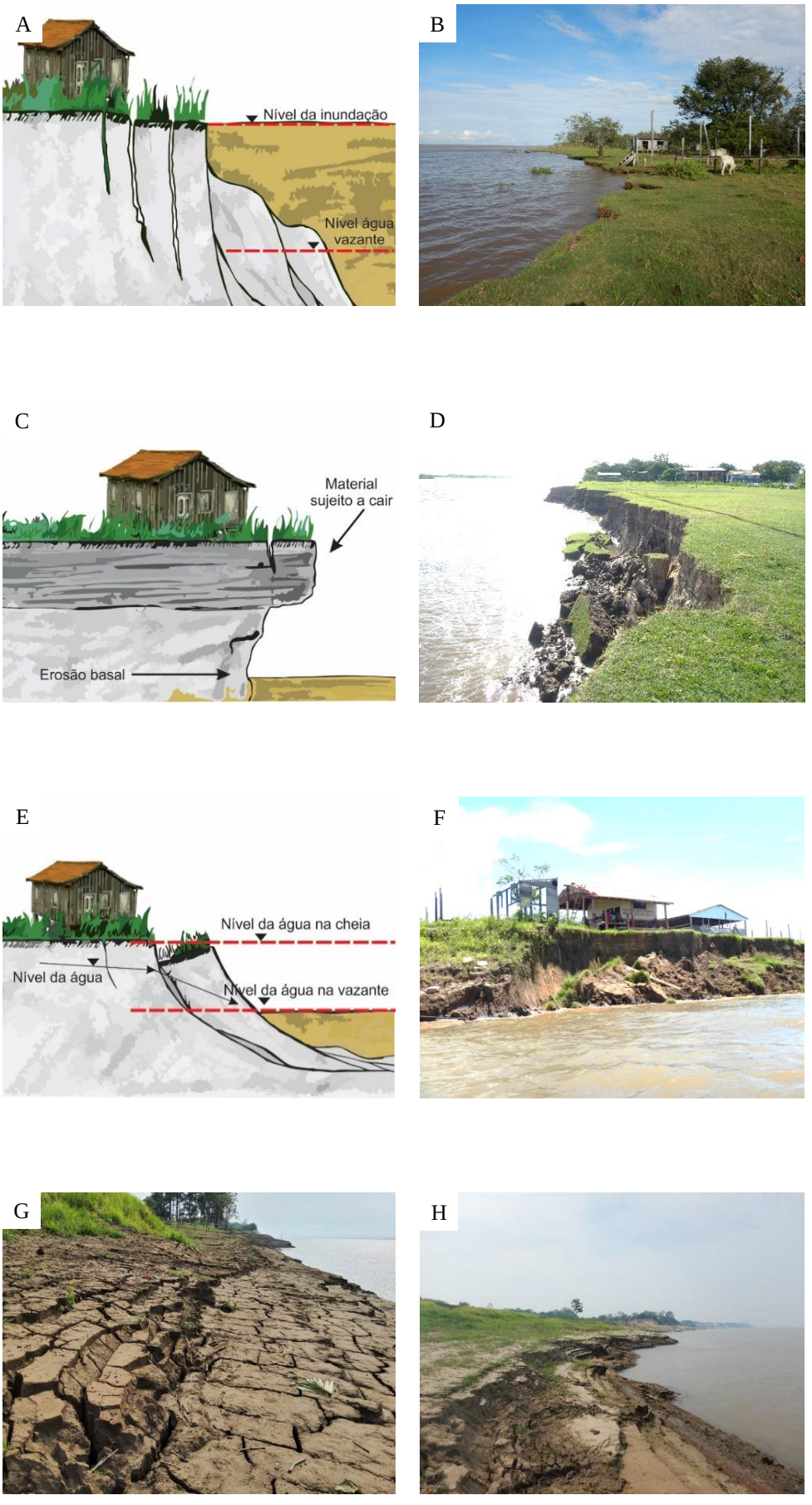


Figura 8.11. Esquema exibindo o processo de terras caídas no período de cheia dos rios amazônicos (A); fotografia mostrando o solapamento da margem esquerda do Rio Amazonas, no município de Porto de Moz, PA (B); esquema exibindo o processo de terras caídas em condição de nível intermediário do rio (C); queda de material do topo do talude marginal, às margens do Rio Amazonas, município de Porto de Moz, PA (D); esquema mostrando terras caídas na vazante do rio (E); fotografias de: dique marginal com cicatrizes de deslizamento na margem esquerda do afluente do Rio Amazonas, Santarém, PA (F); trincas de contração, associadas a degraus de abatimento na margem direita do Rio Amazonas, município de Óbidos, PA (H) e erosão fluvial por patamares, com cicatrizes de deslizamentos na margem do Rio Amazonas, município de Juruti, PA (H).

Fotos e ilustrações: Iris Celeste Nascimento Bandeira.

4. Considerações finais

O Rio Amazonas, no setor percorrido na RCC, revela processos de inundação e de deposição muito dinâmicos, que exercem forte controle no padrão de distribuição dos solos e formas de uso e manejo da maior planície fluvial do planeta. A morfodinâmica fluvial condiciona a formação e a ampliação de unidades de relevo e a diferenciação dos solos, assim como influencia os ritmos de vida das famílias ribeirinhas, que se deslocam de um lugar para outro à medida que as áreas são inundadas e/ou sedimentadas.

Os fenômenos de terras caídas, há muito conhecidos no Rio Amazonas, são responsáveis pela retirada de grandes massas de solo, que colocam em risco muitas comunidades ribeirinhas no trecho de mais de 700 km ao longo do Rio Amazonas, afetando o transporte de sedimentos.

A variabilidade espaço-temporal dos processos morfodinâmicos fluviais, no trecho analisado, impacta no fluxo dos sedimentos em suspensão no rio, assim como no balanço hidrossedimentológico. Esse balanço, por sua vez, permite uma associação com as feições geomorfológicas mapeáveis (ilhas, barras etc.) e as hidrológicas (velocidade e direção de corrente), o qual, quando realizado à mesma escala do mapeamento de unidades pedológicas de várzea, pode permitir inferir áreas mais suscetíveis à sedimentação e à erosão. Essas associações derivadas dos balanços hidrossedimentares foram realizadas primeiramente entre as décadas de 80 e 90 com técnicas disponíveis à época. Porém, o uso de novas tecnologias permite, hoje, um trabalho mais refinado. Essa nova abordagem poderá gerar maior nível de detalhe das áreas sensíveis, relacionar a sedimentação e a formação dos solos e assim possibilitar melhoria nas condições de vida das comunidades ribeirinhas quanto a conviver com os fenômenos decorrentes da grande variabilidade dos processos de sedimentação e erosão.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília, DF: ANA, 2009. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2009_rel.pdf. Acesso em: 16 jul. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Hidroweb**. Brasília, DF: ANA, 2025. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/hidroweb/download. Acesso em: 23 jul. 2025.

ANDRADE, M. M. N. de; BANDEIRA, I. C. N.; FONSECA, D. D. F.; BEZERRA, P. E. S. ANDRADE, A. de S.; OLIVEIRA, R. S. de. Flood risk mapping in the Amazon. In: HROMADKA, T.; RAO, P. (ed.). **Flood risk management**. London: IntechOpen, 2017. cap. 2. DOI: https://doi.org/10.5772/intechopen.68912.

ANDRADE, M. M. N. de; SZLAFSZTEIN, C. F. Community participation in flood mapping in the Amazon through interdisciplinary methods. **Natural Hazards**, v. 78, n. 3, p. 1491-1500, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s11069-015-1782-y.

ARMIJOS, E.; CRAVE, A.; ESPINOZA, J. C.; FILIZOLA, N.; ESPINOZA-VILLAR, R.; AYES, I.; FONSECA, P.; FRAIZY, P.; GUTIÉRREZ, O.; VAUCHEL, P.; CAMENEN, B.; MARTIÍNEZ, J. M.; SANTOS, A. dos; SANTINI, W.; COCHONNEAU, G.; GUYOT, J. L. Rainfall control on Amazon sediment flux: Synthesis from 20 years of monitoring. **Environmental Research Communications**, v. 2, n. 5, 051008, 2020. https://doi.org/10.1088/2515-7620/ab9003.

BANDEIRA, I. C. N.; ADAMY, A.; ANDRETTA, E. R.; CONCEIÇÃO, R. A. C. da; ANDRADE, M. M. N. de. Terras caídas: fluvial erosion or distinct phenomenon in the Amazon? **Environmental Earth Sciences**, v. 77, 222, 2018. DOI https://doi.org/10.1007/s12665-018-7405-7.

BANDEIRA, I. C. N.; FONSECA, D. D. S.; AZEVEDO, A. A. Erosão e terras caídas. In: GUIDICINI, G.; BARTORELLI, A. (ed.). **Barragens na região Amazônica**: condicionantes fisiográficos, geológicos e paleoclimáticos. São Paulo: ABGE, 2023. p. 235-249.

BOLETIM HIDROLÓGICO DA BACIA DO AMAZONAS. Manaus: Serviço Geológico do Brasil, n. 54, 30 dez. 2024. Disponível em: https://www.sgb.gov.br/sace/boletins/Amazonas/20241230_15-20241230%20-%20155156.pdf. Acesso em: 23 jul. 2025.

BONNET, M. P.; BARROUX, G.; MARTINEZ, J. M.; SEYLER, F.; MOREIRA-TURCQ, M.; COCHONNEAU, G.; MELACK, J. M.; BOAVENTURA, G.; MAURICE-BOURGOIN, L.; LEÓN, J. G.; ROUX, E.; CALMANT, S.; KOSUTH, P.; GUYOT, J. L.; SEYLER, P. Floodplain hydrology in an Amazon floodplain lake (Lago Grande de Curuai). **Journal of Hydrology**, v. 349, n. 1/2, p. 18-30, 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.10.055.

CALLÈDE, J.; GUYOT, J. L.; RONCHAIL, J.; L'HÔTE, Y.; NIEL, H.; OLIVEIRA, E. de. Evolution du débit de l'Amazone à Óbidos de 1903 à 1999 = Evolution of the River Amazon's discharge at Óbidos from 1903 to 1999. **Hydrological Sciences Journal**, v. 49, n. 1, p. 85-97, 2004. DOI: https://doi.org/10.1623/hysj.49.1.85.53992.

CAMPOS, V. D. S.; SHOCK, M. P.; PRESTES-CARNEIRO, G. Terras crescidas e terras antigas: novas aplicações do sensoriamento remoto à prospecção de sítios arqueológicos em várzeas amazônicas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**: ciências humanas, v. 19, n. 1, e20220059, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/2178-2547-BGOELDI-2022-0059.

DANTAS, M. E.; MAIA, M. A. M. Compartimentação geomorfológica. In: MAIA, M. A. M.; MARMOS, J. L. (org.). **Geodiversidade do estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010. cap. 3, p. 27-44. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/16624. Acesso em: 22 jul. 2025.

DANTAS, M. E.; TEIXEIRA, S. G. Origem das paisagens. In: JOÃO, X. da S. J.; TEIXEIRA, S. G.; FONSECA, D. D. F. (org.). **Geodiversidade do estado do Pará**. Belém, PA: CPRM, 2013. cap. 3, p. 23-52. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/16736. Acesso em: 22 jul. 2025.

ESPINOZA, J.-C.; JIMENEZ, J. C.; MARENGO, J. A.; SCHONGART, J.; RONCHAIL, J.; LAVARO-CASIMIRO, W.; RIBEIRO, J. V. M. The new record of drought and warmth in the Amazon in 2023 related to regional and global climatic features. **Scientific Reports**, v. 14, 8107, 2024. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-024-58782-5.

FAJARDO, J. D. V.; SOUZA, L. A. G. de; ALFAIA, S. S. Características químicas de solos de várzeas sob diferentes sistemas de uso da terra, na calha dos rios baixo Solimões e médio Amazonas. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 4, p. 731-740, 2009. DOI: https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000400001.

FASSONI-ANDRADE, A. C. **Mapeamento e caracterização do sistema rio-planície da Amazônia central via sensoriamento remoto e modelagem hidráulica**. 2020. 167 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: http://hdl.handle.net/10183/211269. Acesso em: 22 jul. 2025.

FASSONI-ANDRADE, A. C.; PAIVA, R. C. D. de; WONGCHUIG, S.; BARBOSA, C.; DURAND, F.; SILVA, T. S. F. Expressive fluxes over Amazon floodplain revealed by 2D hydrodynamic modelling. **Journal of Hydrology**, v. 625, pt. B, 130122, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130122.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L.; MOLINIER, M.; GUIMARÃES, V.; OLIVEIRA, E.; FREITAS, M. A. de. Caracterização hidrológica da Bacia Amazônica. In: RIVAS, A.; FREITAS, C. E. de C. (org.). **Amazônia**: uma perspectiva interdisciplinar. Manaus: EDUA, 2002. p. 33-53.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L. Suspended sediment yields in the Amazon basin: an assessment using the Brazilian national data set. **Hydrological Processes**, v. 23, n. 22, p. 3207-3215, 2009. DOI: https://doi.org/10.1002/hyp.7394.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L.; WITTMANN, H.; MARTINEZ, J. M.; OLIVEIRA, E. de. The significance of suspended sediment transport determination on the amazonian hydrological scenario. In: MANNING, A. (ed.). **Sediment transport in aquatic environments**. Rijeka: InTech, 2011. cap. 3. p. 45-64. DOI: https://doi.org/10.5772/19948.

FONSECA, D. D. F.; BANDEIRA, I. C. **Setorização de áreas de risco geológico**: Santarém, Pará. [Belém, PA]: CPRM, 2022. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22704. Acesso em: 22 jul. 2025.

GLOBAL SURFACE WATER. 2025. Disponível em: https://global-surface-water.appspot.com/. Acesso em: 22 jul. 2025.

IRIONDO, M. H. Geomorfologia da planície Amazônica. In: SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO NO BRASIL, 4., 1981, Rio de Janeiro. **Atas** [...]. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1982. p. 323-348.

IRION, G. Sedimentation and sediments of Amazonian rivers and evolution of the Amazonian landscape since Pliocene times. In: SIOLI, H. (ed.). **The Amazon**: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. Dordrecht: Springer Netherlands, 1984. cap. 7, p. 201-214. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-009-6542-3_7.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; SCHÖNGART, J.; COHN-HAFT, M.; ADENEY, J. M.; WITTMANN, F. A classification of major naturally-occurring Amazonian lowland wetlands. **Wetlands**, v. 31, n. 4, p. 623-640, 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/s13157-011-0190-7.

KALLIOLA, R.; SALO, J.; PUHAKKA, M.; RAJASILTA, M.; HÄME, T.; NELLER, R. J.; RÄSÄNEN, M. E.; ARIAS, W. A. D. Upper amazon channel migration. **Naturwissenschaften**, v. 79, n. 2, p. 75-79, 1992. DOI: https://doi.org/10.1007/BF01131806.

LATRUBESSE, E. M. Amazon lakes. In: BENGTSSON, L.; HERSCHY, R. W.; FAIRBRIDGE, R. W. (ed.). **Encyclopedia of lakes and reservoirs**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012. p. 13-26. (Encyclopedia of earth sciences series). DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4410-6_36.

LATRUBESSE, E. M.; FRANZINELLI, E. The Holocene alluvial plain of the middle Amazon River, Brazil. **Geomorphology**, v. 44, n. 3/4, p. 241-257, 2002. DOI: https://doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00177-5.

LATRUBESSE, E. M. Large rivers, megafans and other Quaternary avulsive fluvial systems: a potential "who's who" in the geological record. **Earth-Science Reviews**, v. 146, p. 1-30, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.03.004.

LATRUBESSE, E. M. Patterns of anabranching channels: the ultimate end-member adjustment of mega rivers. **Geomorphology**, v. 101, n. 1/2, p. 130-145, 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.05.035.

LUZARDO, R.; TEIXEIRA, S. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa**: Santarém, Pará. [Belém, PA]: CPRM, 2012. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18366. Acesso em: 22 jul. 2025.

MAIS de 80 mil pessoas são afetadas pela seca dos rios no Amazonas, aponta Defesa Civil. 25 set. 2023. Disponível em: https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2023/09/25/mais-de-80-mil-pessoas-sao-afetadas-pela-seca-dos-rios-no-amazonas-aponta-defesa-civil.ghtml. Acesso em: 22 jul. 2025.

MARENGO, J. A.; JONES, R.; ALVES, L. M.; VALVERDE, M. C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, v. 29, n. 15, p. 2241-2255, 2009. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.1863.

MCGRATH, D.; CALABRIA, J.; AMARAL, B. do; FUTEMMA, C.; CASTRO, F. de. Varzeiros, geleiros e o manejo dos recursos naturais na várzea do Baixo Amazonas. **Papers do NAEA**, v. 1, n. 1, 1992. Papers do NAEA nº 004. DOI: http://dx.doi.org/10.18542/papersnaea.v1i1.12040.

MEADE, R. H. **Suspended sediment in the Amazon River and its tributaries in Brazil during 1982-84**. Denver: U.S. Geological Survey, 1985. 39 p. (Open-File Report, n. 85-492). DOI: https://doi.org/10.3133/ofr85492.

MERTES, L. A. K.; DUNNE, T.; MARTINELLI, L. A. Channel-floodplain geomorphology along the Solimões-Amazon River, Brazil. **Geological Society of America Bulletin**, v. 108, n. 9, p. 1089-1107, 1996. DOI: https://doi.org/10.1130/0016-7606(1996)108%3C1089:CFGATS%3E2.3.CO;2.

MERTES, L. A. K.; MAGADZIRE, T. T. Large rivers from space. In: GUPTA, A. (ed.). **Large rivers**: geomorphology and management. Chichester: John Wiley & Sons, 2007. cap. 25, p. 535-552. DOI: https://doi.org/10.1002/9780470723722.ch25.

MOLINIER, M.; GUYOT, J. L.; OLIVEIRA, E. de; GUIMARÃES, V.; CHAVES, A. Hidrologia da bacia do Rio Amazonas. **A Água em Ciência**, n. 3, p. 31-36, 1994. Disponível em: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/b_fdi_35-36/41720.pdf. Acesso em: 22 jul. 2025.

MONTEIRO, M. Y. **O sacado (morfo-dinâmica fluvial)**. Manaus: INPA, 1969.

NASCIMENTO, A. Z. A.; FLEISCHMANN, A. S.; FASSONI-ANDRADE, A. C.; ALVEZ, P. C.; PERREIRA, H. C.; PAPA, F.; NASCIMENTO, A. C. S. do; SILVA, A. C. C. Mapeamento de risco a erosão e sedimentação nas comunidades ribeirinhas do Rio Solimões-Amazonas. In.: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, *25.*, 2023, Aracaju. ***Anais*** […]. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2023. Disponível em: *https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=14727*. *Acesso em: 22 jul. 2025.*

PARK, E.; LATRUBESSE, E. M. A geomorphological assessment of wash-load sediment fluxes and floodplain sediment sinks along the lower Amazon River. **Geology**, v. 47, n. 5, p. 403-406, 2019. DOI: https://doi.org/10.1130/G45769.1.

PORRO, A. **O povo das águas**: ensaios de etno-história amazônica. Rio de Janeiro: Vozes, 1995. Disponível em: http://etnolinguistica.wdfiles.com/local--files/biblio%3Aporro-1996-povo/Porro_1996_OPovoDasAguas.pdf. Acesso em: 22 jul. 2025.

PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SA.21-Santarém**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1976. (Levantamento de recursos naturais, v. 10).

QUESADA, C. A.; LLOYD, J.; ANDERSON, L. O.; FYLLAS, N. M.; SCHWRZ, M.; CZIMCZIK, C. I. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. **Biogeosciences**, v. 8, n. 6, p. 1415-1440, 2011. DOI: https://doi.org/10.5194/bg-8-1415-2011.

REIS, N. J.; ALMEIDA, M. E.; RIKER, S. L.; FERREIRA, A. L. (org.). **Geologia e recursos minerais do estado do Amazonas**. Manaus: CPRM: CIAMA, 2006. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/2967. Acesso em: 22 jul. 2025.

RODRIGUES, T. E.; OLIVEIRA, R. C. de. Solos de várzeas da Amazônia: uso e potencialidade. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22., 1996, Manaus. **Palestras** [...]. Manaus: Universidade do Amazonas, 1996. p. 215-221. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/394281. Acesso em: 22 jul. 2025.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003. Acesso em: 22 jul. 2025.

SCHAEFER, C. E. G. R.; LIMA, H. N. de; TEIXEIRA, W. G.; VALE JUNIOR, J. F. do; SOUZA, K. W. de; CORRÊIA, G. R.; MENDONÇA, B. A. F. de; AMARAL, E. F. do; CAMPOS, M. C. C.; RUIVO, M. de L. P. Solos da região amazônica. In: CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. (ed.). **Pedologia**: solos dos biomas brasileiros. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. cap. 3, p. 111-175.

SCHAEFER, C. E. G. R.; LIMA, H. N.; TEIXEIRA, W. G.; VALE, J. F. do; CORRÊA, G. R.; MENDONÇA, B. A. F. de; MELO, V. F.; AMARAL, E. F. do; CAMPOS, M. C. C.; RUIVO, M. de L. P. Soils from Brazilian Amazonia. In: SCHAEFER, C. E. G. R. (ed.). **The soils of Brazil**. Cham: Springer, 2023. cap. 4, p. 85-128. (World soils book series). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-19949-3_4.

SCHERER, E. Mosaico terra-água: a vulnerabilidade social ribeirinha na Amazônia - Brasil. In: CONGRESSO LUSO-AFRO-BRASILEIRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS, 8, 2004, Coimbra. **Anais** [...]. Coimbra: Afrontamento, 2004. p. 55-65. Disponível em: https://www.ces.uc.pt/lab2004/pdfs/EliseScherer.pdf. Acesso em: 2 jul. 2025.

SENEVIRATNE, S. I.; NICHOLLS, N.; EASTERLING, D.; GOODESS, C. M.; KANAE, S.; KOSSIN, J.; LUO, Y.; MARENGO, K.; MCINNES, K.; RAHIMI, M.; REICHSTEIN, M.; SORTEBERG, A.; VERA, Z.; ZHANG, X. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: FIELD, C. B.; BARROS, V.; STOCKER, T. F.; DAHE, Q. (ed.). **Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation**: special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. cap. 3, p. 109-230. DOI: http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781139177245.006.

STERNBERG, H. O. Sismicidade e morfologia na Amazônia Brasileira. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 25, n. 4, p. 443-453, 1953.

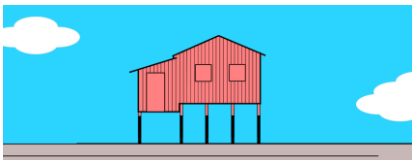
TEIXEIRA, W. G.; ARRUDA, W.; SHINZATO, E.; MACEDO, R. S.; MARTINS, G. C.; LIMA, H. N.; RODRIGUES, T. E. Solos. In: MAIA, M. A. M.; MARMOS, J. L. (org.). **Geodiversidade do estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010. cap. 6, p. 71-86. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/920216. Acesso em: 22 jul. 2025.

TEIXEIRA, W. G.; LIMA, H. N.; PINTO, W. H. A.; SOUZA, K. W. de; SHINZATO, E.; SCHROTH, G. O manejo do solo nas várzeas da Amazônia. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. da S. (ed.). **Manejo e conservação do solo e da água**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. cap. 22, p. 701-728.

VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. da (org.). **Geologia e recursos minerais do estado do Pará**. Belém, PA: CPRM, 2008. Disponível em: http://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/10443. Acesso em: 22 jul. 2025.

VICTORIA, R. L.; MARTINELLI, L. A.; RICHEY, J. E.; DEVOL, A. H.; FORSBERG, B. R.; RIBEIRO, M. N. G. Spatial and temporal variations in soil chemistry on the Amazon floodplain. **GeoJournal**, v. 19, n. 1, p. 45-52, 1989. DOI: https://doi.org/10.1007/BF00620548.

Capítulo 9



Solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos

Virlei Álvaro de Oliveira
José Francisco Lumbreras
Maurício Rizzato Coelho
Hedinaldo Narciso Lima
Luís Antônio Coutrim dos Santos
Raimundo Cosme de Oliveira Junior
Maria do Rosário Lobato Rodrigues
Gilvan Coimbra Martins
Jeferson Luís Vasconcelos de Macedo
Wenceslau Geraldes Teixeira
Sebastião Barreiros Calderano

1. Introdução

Dando sequência ao trabalho de desenvolvimento do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), realizou-se em outubro de 2024 mais uma atividade de apoio: a *XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos*: RCC das várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno. A XV RCC cumpre mais uma etapa desse tipo de evento e, assim como as anteriores, tem-se mantido fiel ao objetivo maior que é adentrar as regiões mais deficitárias para conhecer seus principais solos.

Após algumas incursões em unidades da federação nas bordas norte e sul da Amazônia brasileira, dessa feita o evento teve como objeto principal avançar no conhecimento dos solos das imensas e importantíssimas planícies de inundação e de seus entornos, numa porção centralizada da grande bacia sedimentar do Rio Amazonas. Tais ambientes, na realidade, constituem as terras onde se realizam os principais cultivos de produtos agropecuários consumidos regionalmente que, juntamente com a pesca e as atividades extrativistas, formam o sustentáculo da economia regional.

Diferentemente das edições anteriores, houve nesta a necessidade de assumir o desafio de desenvolver um roteiro valendo-se em grande parte do transporte fluvial, que é a principal forma de transporte nessa exuberante região do País. Assim, no entendimento e na expectativa dos organizadores, houve para os participantes, além dos ganhos já conhecidos proporcionados pelo acontecimento em si, a oportunidade ímpar de conhecer de perto um pouco da rotina e das peculiaridades da vida dos ribeirinhos e das maravilhas naturais da região.

Desde a realização da I RCC, em 1978, no Rio de Janeiro, o evento constitui um dos principais instrumentos para o desenvolvimento do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). Por conseguinte, a RCC tornou-se mecanismo indutor de grandes e importantes avanços para o conhecimento e a taxonomia dos solos brasileiros, até mesmo no que tange ao aprimoramento de metodologias analíticas de solo.

Foram estudadas durante a excursão as seguintes classes de solos, classificados segundo Santos et al. (2018): Argissolos Amarelos Distróficos (com horizonte A antrópico); Cambissolos Flúvicos Ta Eutróficos; Espodossolos Humilúvicos Hiperespessos; Gleissolos Háplicos Ta Eutróficos e Gleissolos Háplicos Ta Distróficos; Latossolos Amarelos Distróficos; Neossolos Quartzarênicos Órticos; Organossolos Háplicos Hêmicos; Plintossolos Argilúvicos Alumínicos e Vertissolos Hidromórficos Órticos.

Os trabalhos de observação e exame de perfis de solos da XV RCC tiveram início no dia seguinte à chegada dos participantes e à abertura da reunião, na noite de sexta-feira, 18 de outubro de 2024, na cidade de Manaus. O roteiro para o exame de 17 perfis de solo incluiu um percurso com deslocamento de oeste para leste dos estados do Amazonas e Pará. Teve início na região interfluvial Solimões-Negro, antes da confluência desses para formar o Rio Amazonas, e finalizou na cidade de Santarém, PA (leste), com itinerário rodoviário e fluvial ao longo do Rio Amazonas, de montante para jusante. O roteiro completo da XV RCC contemplou passagens pelas cidades de Manaus, Rio Preto da Eva, Itacoatiara, Parintins, Belterra e Santarém.

Aproximadamente 1.400 km foram percorridos ao longo das rodovias AM-070, BR-174, AM-010, BR-163, estradas vicinais e trechos fluviais (Figura 9.1). Na tarde de sexta-feira do dia 25 de outubro de 2024, ocorreu a plenária de encerramento da XV RCC, na cidade de Santarém.

Neste capítulo são apresentadas a descrição e a classificação taxonômica, segundo o SiBCS (Santos et al., 2018), dos 17 perfis de solos descritos e coletados previamente, que foram objeto de análise e discussão durante a XV RCC. A presente edição teve como objetivos: (i) testar e validar conceitos e critérios para definição e distinção taxonômica dos solos de importantes ambientes situados ao longo do Médio curso do Rio Amazonas, nos estados do Amazonas e Pará; (ii) direcionar estudos para solos de ambientes de grande importância para a região, situados em locais com dificuldade de acesso, e assim avançar num "segmento" de solos marcados pela presença de água em condição de inundações permanentes ou temporárias, como é o caso das áreas baixas ribeirinhas (planícies) do Rio Amazonas e de seu entorno e (iii) aumentar o conhecimento acerca de alguns solos que, embora não sejam os principais e tampouco exclusivos da região, são expressivos e importantes no que concerne à taxonomia, como é o caso de Espodossolos e de solos antrópicos, a exemplo dos popularmente conhecidos como Terras Pretas de Índio.

2. Material e métodos

2.1. Solos e ambientes estudados

Para a seleção dos pedoambientes e solos representativos das diversas regiões dos estados do Amazonas e Pará, foram consultados trabalhos e mapas de solos (Falesi et al., 1970, 1972; CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 1979; Santos, 1982; Marques et al., 1983; Rodrigues et al., 1991, 2001; Lima, 2001; IBGE, 2008b; 2010b; 2018; Teixeira et al., 2010) e outras publicações de interesse, como os mapas geológicos (Ferreira et al., 2006; IBGE, 2008a; 2010a; Vasquez et al., 2008).

Na escolha do percurso e dos solos, em razão da natureza aluvionar dos sedimentos que dão origem aos solos das planícies, além dos critérios e cuidados rotineiros quanto à logística e à operacionalidade, houve a preocupação de se contemplar as mais diversas situações possíveis nas planícies, no tocante à origem e à natureza dos sedimentos formadores, às feições próprias das planícies (diques, planícies de inundação, terraços etc.) e à posição de cada planície em relação ao rio principal e às características dos rios contribuintes a montante, entre outras.

A seleção, a descrição e a amostragem dos perfis da XV RCC ocorreram ao longo de três campanhas de campo. A primeira objetivou percorrer os ambientes previamente selecionados após consulta à literatura supracitada a fim de definir os locais de coleta. Foram também considerados os aspectos logísticos como distâncias percorridas, pavimentação das estradas vicinais, proximidade e viabilidade de hospedagem e alimentação para aproximadamente cem pessoas, bem como a facilidade de acesso e a segurança dos participantes durante o evento.

Outras duas campanhas de campo foram dedicadas à descrição e à coleta de 17 perfis de solos, que foram observados e discutidos durante a excursão (exceto o perfil AM-12), cujas localizações são mostradas na Figura 9.1.

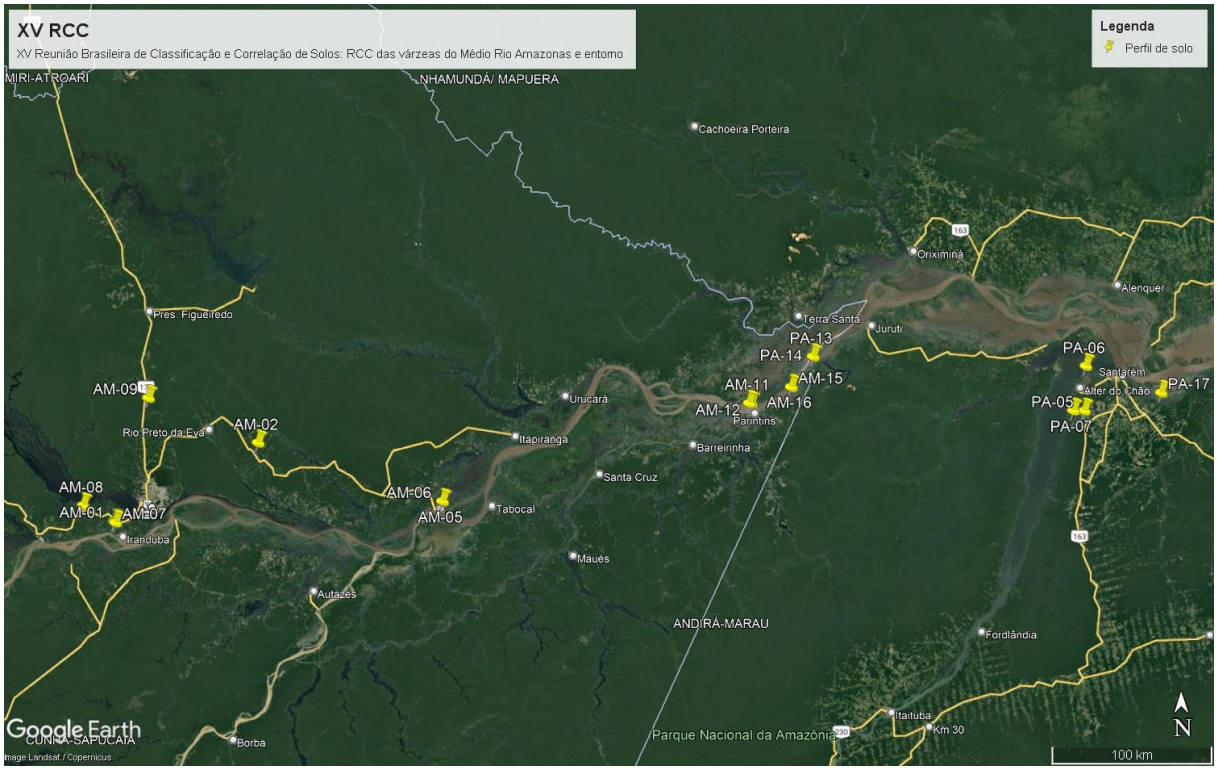


Figura 9.1. Mapa de localização dos perfis de solos da XV RCC nos estados do Amazonas e Pará.

2.2. Descrição, coleta e classificação dos perfis de solos

Os perfis foram descritos e amostrados conforme Reunião Técnica de Levantamento De Solos (1979), IBGE (2015) e Santos et al. (2015). A classificação taxonômica seguiu as normas estabelecidas por Santos et al. (2018) e foi revisada após a caracterização analítica e a discussão dos perfis de solo que ocorreram durante a excursão de campo da RCC. Visando fornecer informações para uso e manejo do solo, foram utilizados alguns termos do 5º nível categórico, como sugerido no SiBCS, em especial, relacionados a: subgrupamento textural (para solos de textura arenosa ou média), prefixos epi-, epimeso-, meso-, mesoendo- e endo-, e subclasse de atividade da fração argila.

Foram coletadas amostras deformadas em quantidade mínima de cerca de 3 kg (ou de aproximadamente 6 kg em caso de presença de cascalhos ou calhaus) para as determinações físicas e químicas consideradas rotineiras, assim como para algumas determinações especiais julgadas importantes, realizadas sob a denominação de "pesquisas coligadas" por pesquisadores convidados, como é o caso das análises micromorfológicas.

Para as determinações físicas relativas à retenção de água e densidade do solo, quando possível, foram coletadas amostras em anéis com volume de 100 cm^3, em triplicata, de todos os horizontes principais dos perfis (vide Capítulo 19). Para análises micromorfológicas, foram coletadas amostras na forma de pequenos monolitos de um ou mais horizontes, cuidadosamente esculpidos numa das faces de cada perfil, nas situações julgadas de interesse para obtenção de informações, principalmente a respeito da gênese dos solos (vide Capítulo 11).

2.3. Métodos de laboratório

Nos laboratórios da Embrapa Solos e da Embrapa Amazônia Ocidental, as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas com rolo de madeira e/ou martelo de borracha e passadas em peneira nº 10 (malha de 2 mm), obtendo-se a fração terra fina seca ao ar (TFSA), utilizada para as análises físicas e químicas (Claessen, 1997; Teixeira et al., 2017). No Laboratório de Gênese e Classificação de Solos do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), foram realizados testes e análises para caracterização de Organossolos nas amostras (totais) dos horizontes 2Ho1 e 2 Ho2 (perfil PA-17) (Teixeira et al., 2017; Santos et al., 2018).

A análise granulométrica foi realizada, após agitação lenta (por 16 horas), utilizando-se hidróxido de sódio 0,1 mol L^{-1} como agente dispersante químico. A separação das frações da areia (grossa, de 2 a 0,2 mm; e fina, de 0,2 a 0,05 mm) foi feita por peneiramento. Para a determinação da argila, utilizou-se o método da pipeta. O conteúdo de silte foi calculado por diferença. A argila dispersa em água foi também determinada após agitação lenta e leitura pelo método do densímetro. O cálculo da densidade de partículas foi realizado na TFSA pelo método do balão volumétrico, com emprego de álcool etílico. A densidade do solo foi determinada pelo método do cilindro volumétrico (cilindros metálicos de 100 cm^3), coletados em triplicata, sendo

os resultados representados pela média das repetições. A partir dos resultados de densidade do solo e de partículas, foi calculada a porosidade total. Os métodos utilizados estão detalhadamente descritos em Teixeira et al. (2017).

A análise de densidade de partícula de amostras do perfil PA-17, efetuada na TFSA dos horizontes Hd1, Hd2 e Hd3 e na amostra total (seca e moída) dos horizontes 2Ho1, 2Ho2, foi feita com picnômetro de ar (AccuPyc 1330 – Micromeritics, EUA) e em triplicata (os valores apresentados são da média aritmética).

A análise de densidade do solo dos horizontes Hd1, Hd2 e Hd3 (perfil PA-17) foi feita determinando-se o volume da TFSA após impermeabilização com plástico (policloreto de vinila – PVC) e pesagem da amostra seca e dentro d'água numa balança de Arquimedes (análises em triplicata e apresentado valor da média aritmética).

A análise de densidade do material orgânico do horizonte 2Ho1 (perfil PA-17) foi feita em amostras separadas manualmente da TFSA, com cerca de 30 a 50 cm^3, cortadas com serra manual, previamente secas em estufa e pesadas. As amostras, em triplicata, foram envolvidas com plástico-filme e imersas em proveta graduada, e o volume de água deslocado foi medido. A densidade foi calculada dividindo-se a massa seca pelo volume da amostra.

A análise de densidade dos horizontes hísticos Hd3 e 2Ho1 (perfil PA-17) foi feita em amostras com cerca de 30 a 50 cm^3, cortadas com serra manual, previamente secas em estufa e pesadas. As amostras foram envolvidas com plástico-filme e imersas em proveta graduada, e o volume de água deslocado foi medido. A densidade foi calculada dividindo-se a massa seca pelo volume da amostra.

A densidade da fração cascalho dos perfis AM-01 (horizonte Au2), AM-02 (horizonte Bwc1), AM-08 (horizonte 2Btgf2), AM-09 (horizonte 2E3), PA-06 (horizonte C) e PA-14 (horizonte 2C'vg1) foi determinada utilizando-se balança de Arquimedes. As amostras foram pesadas ao ar livre e quando imersas em água, e a densidade dessas frações foi calculada pela diferença entre esses pesos (teoria do empuxo).

As análises químicas e respectivos procedimentos analíticos são resumidos a seguir: pH determinado em água e em KCl 1 mol L^{-1} por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo:líquido (água ou KCl), na proporção 1:2,5, após agitação e repouso por 1 hora; carbono orgânico determinado por oxidação com dicromato de potássio (via úmida); Ca^{2+}, Mg^{2+} e Al^{3+}, extraídos com solução KCl 1 mol L^{-1}; $H^+ + Al^{3+}$, extraídos com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L^{-1} a pH 7,0; Na^+ e K^+, extraídos com solução Mehlich-1 (H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1} + HCl 0,05 mol L^{-1}) e P disponível, também extraído com solução Mehlich-1. A concentração dos elementos nas diferentes formas químicas foi determinada como discriminado a seguir: Ca^{2+} e Mg^{2+}, por espectroscopia de absorção atômica; P, por espectrofotometria; K^+ e Na^+, por fotometria de chama; Al^{3+} e $H^+ + Al^{3+}$, assim como o carbono orgânico e o nitrogênio, por titulometria. Os métodos utilizados estão detalhadamente descritos em Teixeira et al. (2017).

As concentrações de SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2 e P_2O_5 foram determinadas após digestão das amostras com ácido sulfúrico diluído 1:1, sendo os três primeiros utilizados no cálculo das relações moleculares Ki e Kr. O carbono e o nitrogênio totais foram determinados em analisador elementar automático de CHN (via seca). A partir dos resultados obtidos, foram calculados: a soma de bases (valor S); o valor T; a saturação por bases (V%); a saturação por alumínio m (%); a relação C/N; a saturação por sódio (%) e as relações moleculares Ki e Kr (Teixeira et al., 2017). Visando a melhor caracterização do Espodossolo (perfil AM-09), foram realizadas extrações de Al e Fe com oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) de acordo com Teixeira et al. (2017).

O preparo e respectivos procedimentos analíticos realizados nas amostras dos horizontes 2Ho1 e 2Ho2 (perfil PA-17), que apresentam elevado conteúdo de fibras e percentual menor de material mineral, são descritos a seguir: (i) o material orgânico (fíbrico e hêmico) foi separado manualmente, e essas amostras foram secas (em estufa a 50 ºC durante sete dias) e moídas; (ii) a TFSA foi separada das amostras que restaram do procedimento anterior e (iii) a amostra total, coletada em 26/10/2024 e conservada em geladeira, foi preparada conforme indicado para caracterização de Organossolos (Teixeira et al., 2017; Santos et al., 2018). Nas amostras preparadas conforme relatado no item (i), realizaram-se as análises químicas discriminadas a seguir: (a) pH em água e capacidade de troca catiônica (CTC) de acordo com o método descrito no *Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos* (Brasil, 2017); (b) Ca^{2+} e Mg^{2+} em ICP e K^+ e Na^+, por fotometria de chama, após digestão em micro-ondas conforme procedimentos descritos em *Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos* (Carmo et al., 2000) e (c) carbono e nitrogênio totais, via seca, em analisador elementar automático de CHN. Nas amostras de TFSA (item ii), seguiu-se a metodologia para análises de rotina, mencionadas anteriormente, à exceção do N da matéria orgânica do solo, mineralizado até amônio (NH_4^+) pela oxidação com ácido sulfúrico, em alta temperatura, na presença de catalisadores (método Kjeldahl). Nas amostras totais preparadas conforme relatado no item (iii), realizaram-se as análises (Teixeira et al., 2017; Santos et al., 2018): (a) umidade gravimétrica; (b) pH em água, em KCl e em $CaCl_2$, em solo úmido e em solo seco; (c) análise de carbono e nitrogênio totais por CHN (amostra seca e moída); (d) análise de material orgânico e material mineral e (e) em amostra úmida e molhada, avaliações de: grau de decomposição do material orgânico por meio da escala de decomposição de von Post; solubilidade em pirofosfato de sódio e conteúdo de fibras (esfregadas e não esfregadas).

3. Resultados

A seguir são apresentadas as descrições geral e morfológica, bem como os resultados analíticos dos 17 perfis selecionados, descritos, amostrados e classificados conforme Santos et al. (2018). As Figuras 9.3 a 9.20 mostram as fotografias dos perfis e respectivas localizações em imagem de satélite disponível no Google.

Perfil AM-01

Descrição geral

DATA DA DESCRIÇÃO – 16/05/2023

CLASSIFICAÇÃO – ARGISSOLO AMARELO Distrófico latossólico antrópico, textura média/argilosa/muito argilosa, epieutrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Perfil descrito em trincheira situada no lado direito da rodovia vicinal de acesso ao Campo Experimental do Caldeirão (Embrapa Amazônia Ocidental), a cerca de 0,4 km da sua sede. Município de Iranduba, estado do Amazonas. Coordenadas: 03° 15' 11,5" S e 60° 13' 42,7" W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Topo plano de platô em interflúvio amplo, com 0 a 2% de declive, sob floresta.

ALTITUDE – 50 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Sedimentos argilosos da Formação Alter do Chão, Cretáceo (Dino et al., 1999; Ferreira et al., 2006; IBGE, 2010a).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração das litologias supracitadas.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta equatorial perenifólia.

USO ATUAL – Área sob vegetação de floresta.

CLIMA – Am, tropical chuvoso, segundo a classificação de Köppen (1936), subtipo Am3 (vide Capítulo 4).

DESCRITO E COLETADO POR – Virlei Álvaro de Oliveira, José Francisco Lumbreras, Maurício Rizzato Coelho, Hedinaldo Narciso Lima, Luís Antônio Coutrim dos Santos, Maria do Rosário Lobato Rodrigues, Gilvan Coimbra Martins.

Descrição morfológica

Au1 0 - 8 cm, preto (10YR 2/1); franco-argiloarenosa; moderada a forte pequena e média granular; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

Au2 8 - 18 cm, preto (10YR 2/1); franco-argiloarenosa; moderada a forte pequena e média granular; friável, ligeiramente plástica a plástica e ligeiramente pegajosa a pegajosa; transição plana e gradual.

Au3 18 - 37 cm, preto (10YR 2/1); argiloarenosa; moderada a forte pequena e média granular; friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Au4 37 - 54 cm (37 - 54 cm), bruno muito escuro (10YR 2/2); argila; moderada pequena e média granular; friável, plástica e pegajosa; transição descontínua e gradual (0 - 17 cm).

Au5 54 - 73 cm (54 - 73 cm), bruno muito escuro (10YR 2/2); argila; moderada pequena e média granular; friável, plástica e pegajosa; transição descontínua e gradual (0 - 21 cm).

ABu 73 - 95 cm (73 - 109 cm), bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2), mosqueado pouco, pequeno e distinto, amarelo-brunado a amarelo-avermelhado (9YR 6/6); argila; moderada pequena e média blocos subangulares e fraca pequena e média granular; plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição descontínua e abrupta (0 - 36 cm).

BAu1 37 - 78 cm (37 - 80 cm), amarelo-brunado a amarelo-avermelhado (9YR 6/6), mosqueado abundante, grande e proeminente, bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2); argila; moderada pequena e média blocos subangulares e fraca a moderada pequena e média granular; plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição descontínua e gradual (0 - 43 cm).

BAu2 78 - 119 cm, amarelo-brunado a amarelo-avermelhado (9YR 6/6), mosqueado pouco a comum, médio e grande distinto, bruno (10YR 4/2); muito argilosa; moderada pequena e média blocos subangulares e fraca pequena e média blocos angulares; friável a firme, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e difusa.

Bt 119 - 153 cm, amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6); muito argilosa; moderada pequena e média blocos subangulares e fraca pequena e média blocos angulares; dura a muito dura, friável a firme, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e difusa.

Bw 153 - 200 cm^{+}, bruno-forte (7,5YR 5/6); muito argilosa; moderada pequena e média blocos subangulares e fraca pequena e média blocos angulares; dura a muito dura, friável a firme, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa.

RAÍZES – Muitas muito finas e finas, comuns médias e poucas grossas nos horizontes Au1 e Au2; comuns muito finas e finas, poucas médias e raras grossas no Au3 e Au4; poucas finas e muito finas no Au5, BAu1 e BAu2; raras muito finas no Bt e Bw.

POROS – Muitos poros muito pequenos e pequenos, poucos a comuns médios nos horizontes Au1, Au2, Au3, Au4, Au5 e ABu; muitos muito pequenos e pequenos e comuns médios no BAu1 e BAu2; comuns a muitos muito pequenos e comuns pequenos no Bt e Bw.

Observações:

- Serrapilheira com cerca de 3 cm de espessura.
- Muita atividade biológica (cupins, formigas e minhocas) nos horizontes Au e BAu1 e comum no BAu2.
- Os mosqueados nos horizontes ABu, BAu1 e BAu2 são resultantes da mistura dos horizontes A e B pela atividade biológica.
- Ocorrem fragmentos de cerâmica em comum quantidade nos horizontes Au, no entanto, não foi considerado como fase endopedregosa.
- Houve dúvida se é adequado aplicar a relação textural B/A para o caso dos solos com horizonte A antrópico (vide Santos et al., 2018, p. 57, item b), assim como quais espessuras considerar destes horizontes para o cálculo da relação B/A. A relação B/A foi de: (i) 1,62 para valor médio de (Au1 + Au2 + Au3 + Au4 + Au5 + ABu)/valor médio de (BAu2 + Bt + Bw) (Figura 9.2, sequência a’ → b’) e (ii) 1,94 para valor médio de (Au1 + Au2 + Au3)/valor médio de (BAu1 + BAu2 + Bt + Bw) (Figura 9.2, sequência c’ → d’).
- Houve sugestão para esclarecer, na definição do horizonte B textural (Santos et al., 2018, p. 56), que o teor médio de argila do horizonte A (e não todos os sub-horizontes A) deve ser

considerado quando se fizer confrontação com as relações B/A >1,50, >1,70 ou >1,80 para atender ao critério para horizonte B textural.

- Embora atenda à relação textural B/A para os Argissolos, este é um caso especial, pois se trata de um A antrópico que, por definição, já prevê em sua formação adição ou mistura de material externo. Diante disso, parte do grupo que participou da RCC propôs a seguinte classificação para o perfil: Latossolo Amarelo Distrófico argissólico antrópico. Neste caso, a nomenclatura dos horizontes seria: Au1, Au2, Au3, Au4, Au5, ABu, BAu1, BAu2, Bw1 e Bw2.

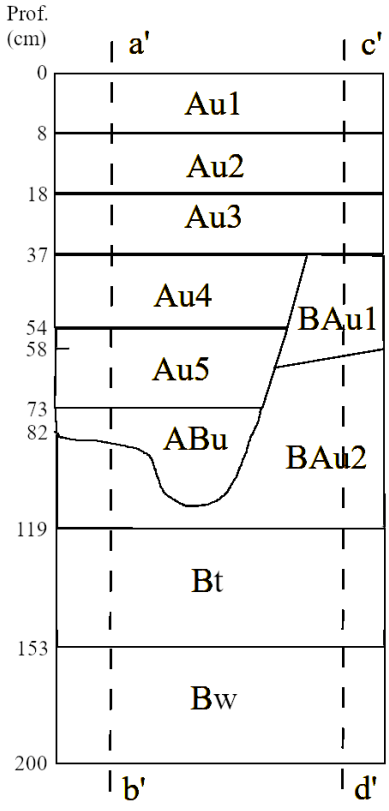


Figura 9.2. Transição entre os horizontes do perfil AM-01 e indicação das duas sequências usadas no cálculo da relação textural B/A (a' → b' e c' → d').

Resultados analíticos

Perfil AM-01
Amostra de laboratório: 23.2993-3002
Número de campo: AM-01

Horizonte		Frações da amostra total g kg^{-1}			Composição granulométrica da terra fina g kg^{-1}				Argila dispersa em água g kg^{-1}	Grau de flocul. %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm^{-3}		Porosidade dm^3 100 dm^{-3}
Símbolo	Profund. cm	Calh. >20 mm	Casc. 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partíc.	
Au1	0-8	0	10	990	351	202	144	304	164	46	0,47	1,21	2,40	50
Au2	8-18	0	16	984	329	208	134	328	204	38	0,41	1,32	2,55[(1)]	48
Au3	18-37	27	6	967	319	195	115	371	286	23	0,31	1,39	2,57	46
Au4	37-54	6	8	986	257	140	103	499	409	18	0,21	1,25	2,59	52
Au5	54-73	170	9	821	253	145	107	495	410	17	0,22	1,23	2,54	52
ABu	73-95	57	8	935	253	150	102	495	41	92	0,21	1,20	2,54	53
BAu1	37-78	0	1	999	225	121	75	579	449	22	0,13	1,31	2,64	50
BAu2	78-119	0	1	999	169	107	68	656	0	100	0,10	1,18	2,66	56
Bt	119-153	0	0	1000	169	94	51	686	0	100	0,07	1,34	2,66	50
Bw	153-200	0	1	999	168	95	59	678	0	100	0,09	1,33	2,66	50

Símbolo	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol$_c$ kg^{-1}								Valor V %	Saturação por alumínio %	P disponível mg kg^{-1}
	Água	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	Valor S	Al^{3+}	H^+	Valor T			
Au1	5,2	4,8	6,6	1,5	0,07	0,03	8,2	0,1	7,5	15,8	52	1	134
Au2	5,1	4,6	5,3	0,7	0,03	0,02	6,0	0,1	7,7	13,8	43	2	121
Au3	5,1	4,5	3,8	0,9	0,03	0,02	4,7	0,2	8,6	13,5	35	4	104
Au4	5,0	4,3	3,6	0,6	0,02	0,02	4,2	0,3	9,0	13,5	31	7	334
Au5	5,1	4,4	3,6	0,6	0,02	0,02	4,2	0,2	8,9	13,3	32	5	308
ABu	5,0	4,3	2,7	0,6	0,02	0,02	3,3	0,3	8,2	11,8	28	8	260
BAu1	4,9	4,4	1,9	0,4	0,01	0,01	2,3	0,2	4,7	7,2	32	8	117
BAu2	4,9	4,6	1,4	0,4	0,01	0,01	1,8	0,1	4,0	5,9	31	5	157
Bt	4,9	4,5	1,3	0,4	0,01	0,01	1,7	0,1	3,8	5,6	30	6	177
Bw	4,9	4,5	0,9	0,3	0,01	0,01	1,2	0,1	3,3	4,6	26	8	181

Símbolo	C orgânico g kg^{-1}	N total g kg^{-1}	Relação C/N	C total g kg^{-1}	Ataque sulfúrico g kg^{-1}						Relações moleculares			Equivalente de $CaCO_3$ g kg^{-1}
					SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	SiO_2/Al_2O_3 (Ki)	SiO_2/R_2O_3 (Kr)	Al_2O_3/Fe_2O_3	
Au1	21,7	2,3	9	29,9	111	72	47	8,3	3,4	0,5	2,62	1,85	2,41	
Au2	16,5	1,4	12	20,3	110	83	49	9,6	3,4	0,5	2,25	1,64	2,66	
Au3	13,1	1,2	11	19,4	128	103	56	11,3	3,7	0,5	2,11	1,57	2,89	
Au4	12,7	0,9	14	17,2	170	123	74	9,9	6,3	0,4	2,35	1,70	2,61	
Au5	11,0	0,9	12	14,2	178	128	75	10,4	6,7	0,4	2,36	1,72	2,68	
ABu	8,7	0,8	11	11,5	160	153	79	12,4	5,8	0,3	1,78	1,34	3,04	
BAu1	4,7	0,6	8	5,9	162	157	97	13,4	3,5	0,1	1,75	1,26	2,54	
BAu2	2,1	0,3	7	3,8	220	188	95	13,2	3,3	0,1	1,99	1,50	3,11	
Bt	1,4	0,4	4	2,7	237	189	99	14,1	3,2	0,1	2,13	1,60	3,00	
Bw	1,1	0,3	4	2,4	238	187	95	13,8	2,7	0,1	2,16	1,63	3,09	

Símbolo	Saturação por sódio %	Pasta saturada		Sais solúveis (extrato 1:5) cmol$_c$ kg^{-1}								Constantes hídricas dm^3 dm^{-3}		
		C. E. do extrato mS cm^{-1} 25ºC	Água %	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}	Retenção de água		Água disponível
												0,01 MPa	1,5 MPa	
Au1	<1											0,247	0,122	0,125
Au2	<1													
Au3	<1													
Au4	<1											0,278	0,183	0,095
Au5	<1													
ABu	<1													
BAu1	<1													
BAu2	<1													
Bt	<1											0,411	0,308	0,103
Bw	<1													

Relação textural: 1,62 (Figura 9.2, sequência a' → b') e 1,94 (Figura 9.2, sequência c' → d').

(1) Densidade dos cascalhos do horizonte Au2 = 2,09 kg dm^{-3}.



Foto: Gilvan Coimbra Martins.

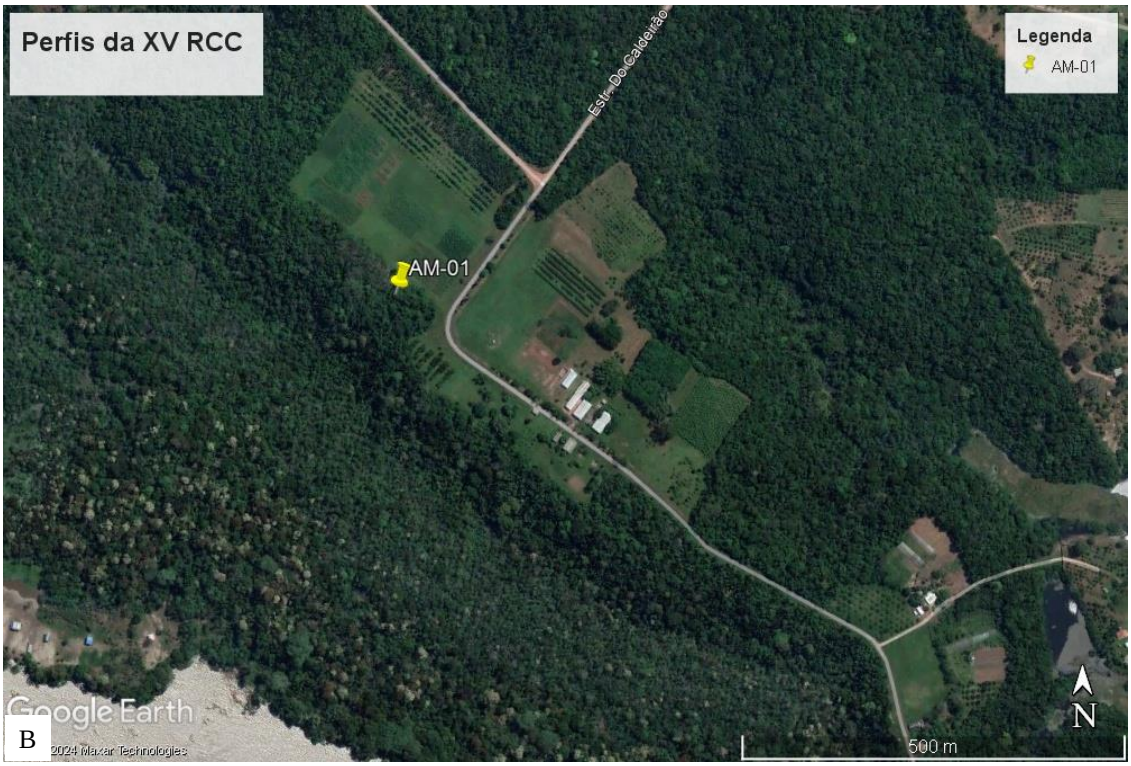


Figura 9.3. Fotografia do perfil AM-01 (A) e sua localização em imagem de satélite disponível no Google de 22/08/2021 (B) (Iranduba, AM).

Perfil AM-02

Descrição geral

DATA DA DESCRIÇÃO – 17/05/2023

CLASSIFICAÇÃO – LATOSSOLO AMARELO Distrófico petroplíntico, textura muito argilosa, A moderado, endoconcrecionário, álico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo forte ondulado.

LOCALIZAÇÃO – Perfil descrito em corte de estrada situado no lado direito da rodovia AM-010, a 41 km de Rio Preto da Eva no sentido para Itacoatiara (km 124/125). Município de Rio Preto da Eva, estado do Amazonas. Coordenadas: 02° 49' 46,2" S e 59° 25' 34,8" W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço médio de encosta, com 30 a 40% de declive, sob floresta.

ALTITUDE – 114 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Sedimentos argilosos, Formação Alter do Chão, Cretáceo (Dino et al., 1999; Ferreira et al., 2006; IBGE, 2010a).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração dos sedimentos supracitados.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL – Forte ondulado e ondulado.

EROSÃO – Laminar ligeira.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta equatorial perenifólia.

USO ATUAL – Área sob vegetação de floresta.

CLIMA – Am, tropical chuvoso, segundo a classificação de Köppen (1936), subtipo Am3 (vide Capítulo 4).

DESCRITO E COLETADO POR – Virlei Álvaro de Oliveira, José Francisco Lumbreras, Maurício Rizzato Coelho, Hedinaldo Narciso Lima, Luís Antônio Coutrim dos Santos, Maria do Rosário Lobato Rodrigues, Gilvan Coimbra Martins.

Descrição morfológica

A 0 - 7 cm, bruno (10YR 4/3, úmido) e bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, seco); argila; moderada pequena, média e grande granular e fraca a moderada pequena e média blocos subangulares; dura, firme, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e clara a gradual.

BA1 7 - 15 cm, bruno-amarelado (10YR 5/5, úmido) e bruno-amarelado-claro a amarelo-brunado (10YR 6/5, seco); muito argilosa; moderada pequena e média granular e blocos subangulares; dura, firme, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e gradual.

BA2 15 - 26 cm, amarelo-avermelhado a amarelo-brunado (8YR 6/6, úmido) e amarelo-brunado a amarelo-avermelhado (9YR 6/6, seco); muito argilosa; moderada pequena e

média granular e blocos subangulares; dura, firme, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e gradual.

Bw1 26 - 42 cm, amarelo-avermelhado (7,5YR 6,5/6, úmido); muito argilosa; moderada pequena e média granular e blocos subangulares; dura a ligeiramente dura, firme a friável, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e difusa.

Bw2 42 - 80 cm, amarelo-avermelhado (7,5YR 7/7, úmido); muito argilosa; moderada pequena granular e fraca pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e difusa.

Bw3 80 - 108 cm, amarelo-avermelhado (7,5YR 7/7, úmido); muito argilosa; moderada pequena granular e fraca pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e difusa.

Bw4 108 - 163 cm (45 - 63 cm), amarelo-avermelhado (7,5YR 7/7, úmido); muito argilosa; moderada pequena granular e fraca pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição ondulada e abrupta.

Bwc1 163 - 177 cm (8 - 14 cm), amarelo-avermelhado (7,5YR 7,5/6, úmido); muito argilosa cascalhenta; moderada pequena granular e fraca pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição ondulada e abrupta.

Bwc2 177 - 200 cm^{+} (11 - 25 cm), amarelo-avermelhado (7,5YR 7,5/6, úmido); muito argilosa; moderada pequena granular e fraca pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa.

RAÍZES – Comuns muito finas e finas, poucas a comuns finas e poucas médias nos horizontes A, BA1, BA2 e Bw1; comuns muito finas, poucas finas e raras médias no Bw2 e Bw3; poucas finas no Bw4; raras muito finas no Bwc1 e Bwc2.

POROS – Muitos poros muito pequenos, comuns pequenos e poucos médios nos horizontes A, BA1, BA2 e Bw1; muitos muito pequenos, comuns pequenos e poucos médios no Bw2, Bw3, Bw4 e Bw5; muitos muito pequenos e poucos pequenos no Bwc1 e Bwc2.

Observações:

- Serrapilheira com cerca de 2 cm de espessura.
- Houve sugestão sobre nomenclatura de horizontes como segue: A1, A2, AB e BA ou A, AB, BA, Bw1.
- Horizonte Bwc1 constituindo linha de pedra que se estende no barranco ao longo da encosta até o seu topo, contínuo e com espessura variável (máxima de 30 cm).
- Nódulos no horizonte Bwc1 muito frequentes, pequenos e grandes (0,5 a 2,5 cm), duros (muito duros), irregulares, vermelhos, ferruginosos.
- Nódulos no horizonte Bwc2 muito poucos, pequenos e grandes (0,5 a 2,5 cm), duros (muito duros), irregulares, vermelhos, ferruginosos.

Resultados analíticos

Perfil AM-02
Amostra de laboratório: 23.3003-3011
Número de campo: AM-02

Horizonte		Frações da amostra total g kg^{-1}			Composição granulométrica da terra fina g kg^{-1}				Argila dispersa em água g kg^{-1}	Grau de flocul. %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm^{-3}		Porosidade dm^3 100 dm^{-3}
Símbolo	Profund. cm	Calh. >20 mm	Casc. 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partíc.	
A	0 - 7	0	0	1000	178	57	179	586	533	9	0,31	1,05	2,33	55
BA1	-15	0	1	999	124	48	181	646	508	21	0,28	1,20	2,53	53
BA2	-26	0	2	998	116	47	128	709	0	100	0,18	1,23	2,52	51
Bw1	-42	0	2	998	83	36	124	758	0	100	0,16	1,23	2,56	52
Bw2	-80	0	3	997	97	33	83	786	0	100	0,11	1,16	2,55	55
Bw3	-108	0	3	997	95	37	96	771	0	100	0,12	1,03	2,58	60
Bw4	-163	0	5	995	93	37	59	811	0	100	0,07	1,27	2,56	50
Bwc1	-177	45	373	582	98	40	80	781	0	100	0,10		2,54[(1)]	
Bwc2	-200	0	66	934	112	39	86	762	0	100	0,11	1,22	2,59	53

Símbolo	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol$_c$ kg^{-1}								Valor V %	Saturação por alumínio %	P disponível mg kg^{-1}
	Água	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K$^+$	Na$^+$	Valor S	Al^{3+}	H$^+$	Valor T			
A	4,6	4,0	1,1	1,0	0,07	0,01	2,2	1,1	8,5	11,8	19	33	2
BA1	4,5	4,2	0,6		0,03	0,01	0,6	0,7	3,5	4,8	12	54	2
BA2	4,5	4,1	0,2		0,03	0,01	0,2	0,8	2,7	3,7	5	80	2
Bw1	4,5	4,1	0,1		0,02	0,01	0,1	0,8	2,0	2,9	3	89	1
Bw2	4,6	4,2	0,1		0,01	0,01	0,1	0,7	1,8	2,6	4	87	3
Bw3	4,7	4,2	0,1		0,01	0,01	0,1	0,6	1,5	2,2	5	86	3
Bw4	4,8	4,4	0,1		0,01	0,01	0,1	0,5	1,2	1,8	6	83	3
Bwc1	4,9	4,4	0,1		0,01	0,01	0,1	0,4	1,3	1,8	6	80	1
Bwc2	5,0	4,4	0,1		0,01	0,01	0,1	0,4	0,6	1,1	9	80	1

Símbolo	C orgânico g kg^{-1}	N total g kg^{-1}	Relação C/N	C total g kg^{-1}	Ataque sulfúrico g kg^{-1}						Relações moleculares			Equivalente de $CaCO_3$ g kg^{-1}
					SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	SiO_2/Al_2O_3 (Ki)	SiO_2/R_2O_3 (Kr)	Al_2O_3/Fe_2O_3	
A	17,8	2,1	8	39,0	261	168	32	12,8	0,2	0,1	2,64	2,35	8,24	
BA1	8,4	0,8	11	10,8	230	172	31	12,8	0,2	0,1	2,27	2,04	8,71	
BA2	6,0	0,7	9	8,3	202	173	33	12,7	0,2	0,1	1,98	1,77	8,23	
Bw1	4,1	0,5	8	5,8	249	190	33	13,4	0,2	0,1	2,23	2,01	9,04	
Bw2	2,9	0,3	10	3,9	243	189	25	13,1	0,2	0,1	2,19	2,02	11,87	
Bw3	2,3	0,3	8	3,2	249	189	23	13,5	0,2	0,1	2,24	2,08	12,90	
Bw4	1,7	0,2	9	2.0	246	189	24	12,5	0,2	0,1	2,21	2,05	12,36	
Bwc1	1,4	0,1	14	1,7	232	190	28	12,4	0,2	0,1	2,08	1,90	10,65	
Bwc2	1,0	0,2	5	1,5	249	191	30	11,6	0,1	0,1	2,22	2,01	10,00	

Símbolo	Saturação por sódio %	Pasta saturada		Sais solúveis (extrato 1:5) cmol$_c$ kg^{-1}								Constantes hídricas dm^3 dm^{-3}		
		C. E. do extrato mS cm^{-1} 25ºC	Água %	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K$^+$	Na$^+$	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl$^-$	SO_4^{2-}	Retenção de água		Água disponível
												0,01 MPa	1,5 MPa	
A	<1											0,308	0,239	0,069
BA1	<1													
BA2	<1											0,352	0,281	0,071
Bw1	<1													
Bw2	<1											0,369	0,324	0,045
Bw3	<1													
Bw4	<1											0,357	0,318	0,039
Bwc1	<1													
Bwc2	<1													

Relação textural: 1,20

(1) Densidade dos cascalhos do horizonte Bwc1 = 2,39 kg dm^{-3}.



Foto: José Francisco Lumbreras.



Figura 9.4. Fotografia do perfil AM-02 (A) e sua localização em imagem de satélite disponível no Google de 13/09/2022 (B) (Rio Preto da Eva, AM).

Perfil AM-05

Descrição geral

DATA DA DESCRIÇÃO – 16/10/2023

CLASSIFICAÇÃO – GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico neofluvissólico, textura siltosa, A moderado, Tma, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Perfil descrito em trincheira situada no lado esquerdo de estrada vicinal, a cerca de 900 m a jusante da estrada de acesso ao Terminal Hidroviário de Itacoatiara, a 200 m da barranca do Rio Amazonas. Município de Itacoatiara, estado do Amazonas. Coordenadas: 03º 09’ 11,5 S e 58º 25’ 26,2” W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Várzea interna da planície de inundação (planície lagunar) do Rio Amazonas, com 1 a 2% de declive, sob vegetação de aningal.

ALTITUDE – 23 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Sedimentos aluvionares argilossiltosos, Holoceno.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração dos sedimentos supracitados.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Muito mal drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta equatorial hidrófila de várzea (aningal).

USO ATUAL – Sem uso agrícola no local.

CLIMA – Am, tropical chuvoso, segundo a classificação de Köppen (1936), subtipo Am3 (vide Capítulo 4).

DESCRITO E COLETADO POR – José Francisco Lumbreras, Virlei Álvaro de Oliveira, Luis Antônio Coutrim dos Santos, Hedinaldo Narciso Lima, Maurício Rizzato Coelho, Raimundo Cosme Oliveira Junior, Maria do Rosário Lobato Rodrigues, Gilvan Coimbra Martins.

Descrição morfológica

Ag 0 - 5 cm, bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, úmido) e bruno (7,5YR 5/2, seco), mosqueado comum, médio e distinto, vermelho (2,5YR 5/6); francossiltosa; fraca a moderada pequena e média laminar que se desfaz em fraca a moderada pequena e média blocos subangulares e angulares; dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

2CAg 5 - 13 cm, cinzento (10YR 5/1,5, úmido e 7,5YR 5/1,5, seco), mosqueado comum, médio e distinto, vermelho (2,5YR 5/6); francossiltosa; moderada grande blocos angulares (cubos), com aspecto maciço in situ; dura a muito dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

3Cg1 13 - 33 cm, cinzento (10YR 5/1,5), mosqueado comum, médio e grande proeminente, vermelho a vermelho-amarelado (3,5YR 5/6) (nos poros de raízes e nas faces das estruturas); francossiltosa; moderada grande blocos angulares (cubos), com aspecto maciço in situ; muito dura, firme a muito firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara a abrupta.

3Cg2 33 - 65 cm, coloração variegada, composta de cinzento-esverdeado (10GY 6/1) e vermelho (2,5YR 4/6); franco-argilossiltosa; moderada a forte pequena e média blocos subangulares e angulares; dura a muito dura, firme a muito firme, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e clara a abrupta.

4Cg3 65 - 115 cm, cinzento-esverdeado (10GY 6/1), mosqueado abundante, médio e proeminente, vermelho-amarelado (5YR 5/6) e vermelho (2,5YR 4/8); francossiltosa; moderada média blocos angulares e subangulares; muito dura, firme a muito firme, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e clara a gradual.

4Cg4 115 - 150 cm^{+}, cinzento (N 6/), mosqueado abundante, médio e distinto, bruno (10YR 4/3) e comum, médio e proeminente, vermelho (2,5YR 4/8); francossiltosa; moderada a forte média e pequena blocos subangulares e angulares; muito dura, firme a muito firme, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa.

RAÍZES – Muitas muito finas e finas e comuns médias nos horizontes Ag e 2ACg; comuns a muitas muito finas e finas e poucas a comuns médias no 3Cg1 e 3 Cg2; comuns a poucas muito finas e finas no 4 Cg3; comuns muito finas e finas no 4Cg.

POROS – Poucos muito pequenos e pequenos nos horizontes Ag, 2CAg e 3Cg1; comuns a muitos muito pequenos e pequenos e comuns médios no 3Cg2; comuns a poucos muito pequenos e poucos pequenos e médios no 4Cg3; comuns a muitos muito pequenos e comuns a poucos médios no 4Cg4.

Observações:

- Serrapilheira com 2 a 3 cm de espessura.
- Por ocasião da descrição morfológica, o perfil encontrava-se úmido a partir de 42 cm de profundidade e ligeiramente úmido acima.
- Presença de camadas com muitos fragmentos de folhas e raízes, muitas não decompostas, entre os horizontes Ag e 2ACg.
- A estrutura das camadas 2CAg e 3Cg1 apresenta ligeira tendência de se separar em lâminas horizontalizadas (no sentido da sedimentação).
- Presença de fragmento de plástico a 35 cm de profundidade.
- Observa-se alteração nas cores do solo quando a parede do perfil fica exposta.
- Lençol freático a 140 cm de profundidade. Lençol freático ausente até 175 cm de profundidade durante a visita na RCC, ocasião em que o nível do Rio Amazonas estava muito baixo (período seco muito forte e histórico), em 21/10/2024.
- Observou-se muita atividade biológica ao longo do perfil por ocasião da RCC.
- A marca da cheia de 2022 nas árvores tem 3 m de altura do solo.

Resultados analíticos

Perfil AM-05
Amostra de laboratório: 23.3488-3493
Número de campo: AM-05

Horizonte		Frações da amostra total g kg^{-1}			Composição granulométrica da terra fina g kg^{-1}				Argila dispersa em água g kg^{-1}	Grau de flocul. %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm^{-3}		Porosidade dm^3 100 dm^{-3}
Símbolo	Profund. cm	Calh. >20 mm	Casc. 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partíc.	
Ag	0 - 5	0	0	1000	8	34	743	214	103	52	3,47	0,98	2,33	58
2CAg	-13	0	0	1000	7	29	751	214	104	51	3,52	0,80	2,49	68
3Cg1	-33	0	0	1000	4	34	751	212	103	51	3,55	1,08	2,45	56
3Cg2	-65	0	0	1000	1	7	659	333	251	25	1,98	1,07	2,44	56
4Cg3	-115	0	0	1000	5	14	717	265	251	5	2,71	1,35	2,52	46
4Cg4	-150	0	0	1000	2	11	726	260	252	3	2,79	1,32	2,43	46

Símbolo	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol$_c$ kg^{-1}								Valor V %	Saturação por alumínio %	P disponível mg kg^{-1}
	Água	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	Valor S	Al^{3+}	H^+	Valor T			
Ag	4,5	3,7	8,1	3,0	0,27	0,16	11,5	2,7	7,8	22,0	52	19	49
2CAg	4,5	3,6	6,6	3,3	0,24	0,17	10,3	3,2	7,9	21,4	48	24	44
3Cg1	4,7	3,6	4,9	3,1	0,22	0,13	8,3	4,3	5,4	18,0	46	34	33
3Cg2	4,8	3,6	7,0	6,6	0,26	0,14	14,0	2,8	4,8	21,6	65	17	11
4Cg3	5,1	3,9	11,1	6,9	0,26	0,17	18,4	0,7	3,5	22,6	81	4	8
4Cg4	5,5	4,4	12,3	7,8	0,27	0,19	20,6	0,2	2,7	23,5	88	1	9

Símbolo	C orgânico g kg^{-1}	N total g kg^{-1}	Relação C/N	C total g kg^{-1}	Ataque sulfúrico g kg^{-1}						Relações moleculares			Equivalente de $CaCO_3$ g kg^{-1}
					SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	SiO_2/ Al_2O_3 (Ki)	SiO_2/ R_2O_3 (Kr)	Al_2O_3/ Fe_2O_3	
Ag	15,7	1,4	11	16,7	196	112	59	5,6	1,1	0,7	2,98	2,22	2,98	
2CAg	14,5	1,3	11	15,4	197	118	58	5,6	1,6	0,6	2,84	2,16	3,19	
3Cg1	7,9	0,9	9	7,8	201	120	50	5,9	1,0	0,4	2,85	2,25	3,77	
3Cg2	7,4	1,0	7	9,4	236	149	46	5,3	0,7	0,4	2,69	2,25	5,09	
4Cg3	2,1	0,5	4	3,5	197	139	68	5,8	1,0	0,4	2,41	1,84	3,21	
4Cg4	2,1	0,3	7	2,6	245	147	67	7,0	1,3	0,5	2,83	2,19	3,44	

Símbolo	Saturação por sódio %	Pasta saturada		Sais solúveis (extrato 1:5) cmol$_c$ kg^{-1}								Constantes hídricas dm^3 dm^{-3}		
		C. E. do extrato mS cm^{-1} 25ºC	Água %	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}	Retenção de água		Água disponível
												0,01 MPa	1,5 MPa	
Ag	<1											0,42	0,146	0,274
2CAg	<1													
3Cg1	<1													
3Cg2	<1											0,392	0,203	0,189
4Cg3	<1											0,424	0,273	0,151
4Cg4	<1													

A



Foto: José Francisco Lumbreras.

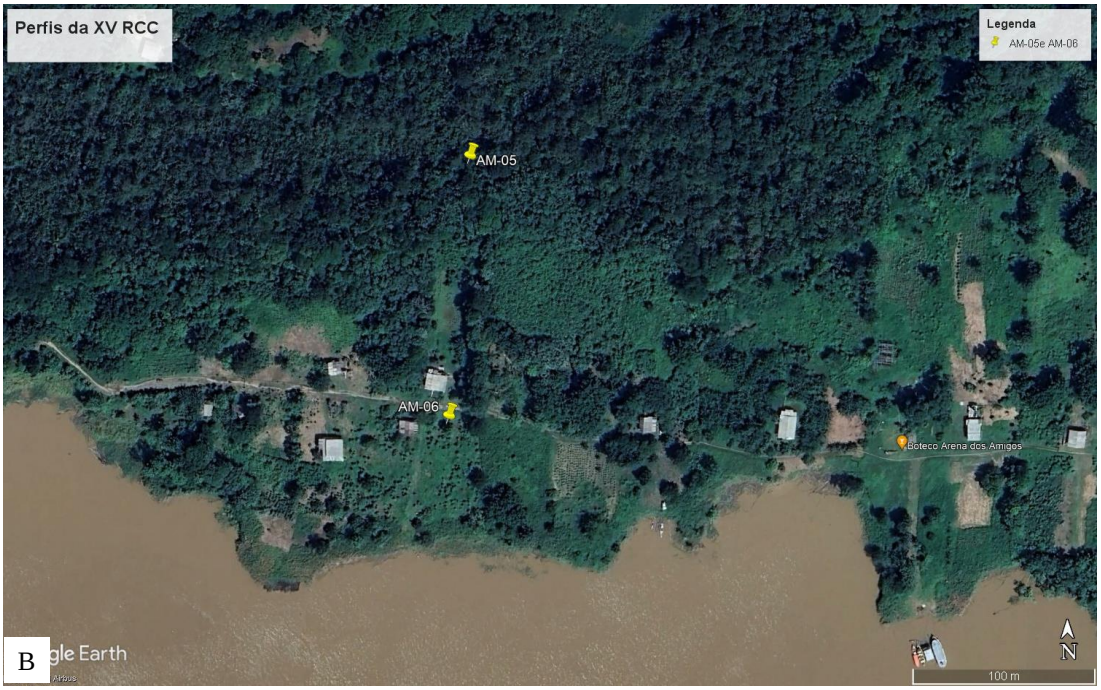


Figura 9.5. Fotografia do perfil AM-05 (A) e sua localização em imagem de satélite disponível no Google de 20/02/2024 (B) (Itacoatiara, AM).

Perfil AM-06

Descrição geral

DATA DA DESCRIÇÃO – 17/10/2023

CLASSIFICAÇÃO (Santos et al., 2018) – GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/siltosa/média, A moderado, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.

CLASSIFICAÇÃO (Santos et al., 2025) – NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico gleissólico, textura média/siltosa/média, A moderado, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Perfil descrito em trincheira situada no lado direito de estrada vicinal, a cerca de 2,9 km a jusante do Porto de Itacoatiara, a 60 m da barranca do Rio Amazonas. Município de Itacoatiara, estado do Amazonas. Coordenadas: 03º 09’ 16,1 S e 58º 25’ 26,6” W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Planície fluvial (dique) do Rio Amazonas, com 0 a 2% de declive, sob uso agrícola com pequenas lavouras de subsistência e pomares, relativamente arborizada.

ALTITUDE – 25 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Sedimentos aluviais argilossiltosos, Holoceno.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração dos sedimentos supracitados.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta equatorial higrófila de várzea.

USO ATUAL – Uso agrícola com pequenas lavouras de subsistência (mandioca, milho, abóbora, melão, banana etc.).

CLIMA – Am, tropical chuvoso, segundo a classificação de Köppen (1936), subtipo Am3 (vide Capítulo 4).

DESCRITO E COLETADO POR – Virlei Álvaro de Oliveira, José Francisco Lumbreras, Hedinaldo Narciso Lima, Maurício Rizzato Coelho, Luís Antônio Coutrim dos Santos, Raimundo Cosme Oliveira Junior, Maria do Rosário Lobato Rodrigues, Gilvan Coimbra Martins.

Descrição morfológica

Apg 0 - 5 cm, cinzento a bruno-acinzentado (10YR 5/1,5, úmido) e cinzento-claro (10YR 7/1,5, seco), mosqueado comum a abundante, médio e proeminente, vermelho (2,5YR 4/8); francossiltosa (micácea); moderada pequena e média laminar; ligeiramente dura a dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

2ACg 5 - 17 cm, cinzento (10YR 5/1), mosqueado abundante, médio e grande, proeminente, vermelho (2,5YR 4/8); francossiltosa; moderada média e pequena blocos subangulares e angulares; ligeiramente dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

3Cg1 17 - 42 cm, coloração variegada, composta de bruno a bruno-claro (7,5YR 5,5/4) e cinzento a bruno-acinzentado (10YR 5/1,5), mosqueado abundante, pequeno e médio distinto a proeminente, vermelho-amarelado (5YR 5/6); francossiltosa; fraca a moderada média e grande prismática composta de moderada média e pequena blocos subangulares e angulares; dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara a abrupta.

4Cg2 42 - 73 cm, cinzento (10YR 5/1), mosqueado abundante, médio e proeminente, vermelho-amarelado (5YR 5/6) e pouco, pequeno e proeminente, preto (10YR 2/1) (de manganês); francossiltosa; fraca a moderada média e grande prismática composta de moderada pequena e média blocos subangulares e angulares; dura a muito dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

5Cg3 73 - 105 cm, coloração variegada, composta de bruno (7,5YR 4/4) e cinzento a bruno-acinzentado (10YR 5/1,5), mosqueado comum, pequeno e distinto, preto (10YR 2/1) (de manganês); francossiltosa; moderada pequena e média blocos subangulares e angulares; dura a muito dura, firme; plástica e pegajosa; transição plana e clara a gradual.

6Cg4 105 - 156 cm, coloração variegada, composta de cinzento (10YR 5/1) e bruno (7,5YR 4/4); francossiltosa; moderada média e pequena blocos subangulares e angulares; muito dura, firme; plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

7Cg5 156 - 192 cm^{+}, cinzento a bruno-acinzentado (10YR 5/1,5), mosqueado abundante, pequeno e médio distinto, bruno (7,5YR 5/4); francossiltosa; moderada pequena e média blocos subangulares e angulares; muito dura, firme, plástica e pegajosa.

RAÍZES – Comuns muito finas e finas nos horizontes Apg e 2ACg; poucas muito finas e poucas a comuns finas no horizonte 3Cg1; poucas muito finas no horizonte 4Cg2 e raras muito finas nos demais horizontes.

POROS – Poucos a comuns muito pequenos e poucos pequenos no horizonte Apg; muitos muito pequenos e pequenos e comuns médios no 2ACg; muitos muito pequenos e pequenos e poucos médios no 3Cg1; muitos muito pequenos e pequenos e comuns médios nas demais camadas.

Observações:

- Por ocasião da descrição morfológica, o perfil encontrava-se ligeiramente úmido a partir de 42 cm de profundidade.
- Fendas poucas a comuns, com largura inferior a 1 cm, que alcançam até 90 cm de profundidade a partir da superfície do solo.
- A cor seca dos mosqueados é amarelo-avermelhada (5YR 6/6, seco).
- Houve os sequintes questionamentos a respeito da nomenclatura de horizontes: (i) se o terceiro horizonte (3Cg1) não poderia ser 2Big ou 2Bi ou (ii) se a nomenclatura de horizontes não poderia ser com menos descontinuidades: Apg, 2ACg, 2Cg1, 3Cg2, 3Cg3, 3Cg4 e 3Cg5.
- Houve dúvida se não deveria ser imperfeita a moderadamente drenado.

- Muitos entenderam que este solo deveria ser classificado como Neossolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, como proposto pelos descritores, pois é imperfeitamente drenado e, por situar-se em dique Alto do Rio Amazonas, fica submetido a inundação por períodos não muito longos e com água corrente. Diante do exposto, tendo em vista que os Gleissolos, por definição, são solos mal ou muito mal drenados, sugere-se alterar as cores do horizonte glei no SiBCS para que este solo possa se enquadrar como Neossolo Flúvico.
- Segundo as alterações na classe dos Gleissolos na 6ª ed. do SiBCS (Santos et al., 2025), este solo deve ser classificado como Neossolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico.

Resultados analíticos

Perfil AM-06
Amostra de laboratório: 23.3494-3500
Número de campo: AM-06

Horizonte		Frações da amostra total g kg^{-1}			Composição granulométrica da terra fina g kg^{-1}				Argila dispersa em água g kg^{-1}	Grau de flocul. %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm^{-3}		Porosidade dm^3 100 dm^{-3}
Símbolo	Profund. cm	Calh. >20 mm	Casc. 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partíc.	
Apg	0 - 5	0	0	1000	2	238	629	131	62	53	4,80	1,18	2,53	53
2ACg	-17	0	0	1000	1	146	693	160	124	22	4,34	1,12	2,39	53
3Cg1	-42	0	0	1000	2	207	654	137	123	10	4,79	1,30	2,44	47
4Cg2	-73	0	0	1000	6	103	687	203	144	29	3,38	1,41	2,39	41
5Cg3	-105	0	0	1000	6	171	645	177	145	18	3,63	1,43	2,40	40
6Cg4	-156	0	0	1000	4	216	642	137	124	10	4,67	1,36	2,40	43
7Cg5	-192	0	0	1000	3	81	744	172	166	4	4,31	1,38	2,46	44

Símbolo	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol$_c$ kg^{-1}								Valor V %	Saturação por alumínio %	P disponível mg kg^{-1}
	Água	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K$^+$	Na$^+$	Valor S	Al^{3+}	H$^+$	Valor T			
Apg	5,1	4,4	9,2	2,9	0,51	0,14	12,7	0,2	4,2	17,1	74	2	96
2ACg	4,9	4,0	7,8	3,1	0,24	0,13	11,3	1,0	4,1	16,4	69	8	79
3Cg1	5,3	4,3	8,8	2,9	0,21	0,13	12,0	0,2	3,2	15,4	78	2	73
4Cg2	5,4	4,2	9,7	3,5	0,22	0,18	13,6	0,2	3,0	16,8	81	1	26
5Cg3	5,8	4,5	10,2	3,9	0,21	0,18	14,5	0,1	2,1	16,7	87	1	19
6Cg4	6,0	4,6	9,6	4,4	0,18	0,16	14,3	0,1	2,0	16,4	87	1	81
7Cg5	6,0	4,6	10,1	5,7	0,24	0,16	16,2	0,1	2,0	18,3	89	1	51

Símbolo	C orgânico g kg^{-1}	N total g kg^{-1}	Relação C/N	C total g kg^{-1}	Ataque sulfúrico g kg^{-1}						Relações moleculares			Equivalente de $CaCO_3$ g kg^{-1}
					SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	SiO_2/Al_2O_3 (Ki)	SiO_2/R_2O_3 (Kr)	Al_2O_3/Fe_2O_3	
Apg	9,0	1,1	8	12,6	159	93	52	6,2	1,6	0,7	2,91	2,14	2,81	
2ACg	5,3	1,4	4	7,7	265	103	55	5,3	1,5	0,6	4,37	3,26	2,94	
3Cg1	3,2	0,9	4	5,0	185	107	56	6,4	1,4	0,8	2,94	2,20	3,00	
4Cg2	2,9	0,7	4	4,5	195	110	54	5,9	1,0	0,6	3,01	2,29	3,20	
5Cg3	1,7	0,4	4	2,3	151	104	65	5,2	1,0	0,7	2,47	1,77	2,51	
6Cg4	0,7	0,8	1	2,6	168	102	55	5,0	1,3	0,6	2,80	2,08	2,91	
7Cg5	1,2	0,7	2	2,5	223	122	59	6,3	1,3	0,6	3,11	2,37	3,25	

Símbolo	Saturação por sódio %	Pasta saturada		Sais solúveis (extrato 1:5) cmol$_c$ kg^{-1}								Constantes hídricas dm^3 dm^{-3}		
		C. E. do extrato mS cm^{-1} 25ºC	Água %	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K$^+$	Na$^+$	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl$^-$	SO_4^{2-}	Retenção de água		Água disponível
												0,01 MPa	1,5 MPa	
Apg	<1											0,369	0,126	0,243
2ACg	<1													
3Cg1	<1											0,356	0,153	0,203
4Cg2	1											0,387	0,187	0,200
5Cg3	1											0,349	0,191	0,158
6Cg4	<1													
7Cg5	<1													

Foto: José Francisco Lumbreras.

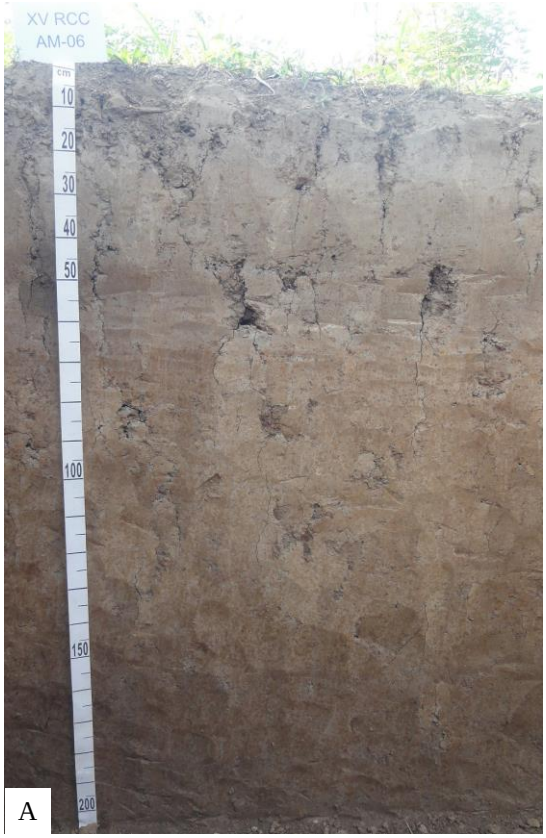




Figura 9.6. Fotografia do perfil AM-06 (A) e sua localização em imagem de satélite disponível no Google de 20/02/2024 (B) (Itacoatiara, AM).

Perfil AM-07

Descrição geral

DATA DA DESCRIÇÃO – 16/10/2023

CLASSIFICAÇÃO – CAMBISSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico gleissólico, textura média/siltosa, A moderado, Tma, fase floresta tropical higrófila de várzea, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Perfil descrito em trincheira situada no Campo Experimental do Caldeirão, Embrapa Amazônia Ocidental, margem esquerda do Rio Solimões, distante aproximadamente 100 m da barranca do rio. Município de Iranduba, estado do Amazonas. Coordenadas: 03º 09' 11,5 S e 58º 25' 26,2" W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Planície fluvial (dique) do Rio Amazonas, com 0 a 1% de declive, sob cobertura de floresta equatorial higrófila de várzea.

ALTITUDE – 22 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Sedimentos aluviais argilossiltosos, Holoceno.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração dos sedimentos supracitados.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta equatorial higrófila de várzea.

USO ATUAL – Sem uso agrícola no local.

CLIMA – Am, tropical chuvoso, segundo a classificação de Köppen (1936), subtipo Am3 (vide Capítulo 4).

DESCRITO E COLETADO POR – Hedinaldo Narciso Lima, Maurício Rizzato Coelho e Maria do Rosário Lobato Rodrigues.

Descrição morfológica

A1 0 - 4 cm, bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4), presença de lâminas milimétricas paralelas à superfície de cor bruno-forte (7,5YR 4/6), mosqueado pouco, proeminente, bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/3), franca; fraca muito grande, grande, média e pequena blocos angulares composta de fraca grande e média laminar; dura, firme, muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e clara.

A2 4 - 15 cm, coloração variegada, composta de bruno-amarelado-escuro (10YR 5/4), bruno-amarelado (10YR 5/6) e bruno-avermelhado (5YR 4/4), mosqueado médio e grande, proeminente, bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4) e bruno-forte (7,5YR 4/6); franca; fraca grande e média blocos subangulares e fraca média laminar; dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

BA 15 - 35 cm, coloração variegada, composta de bruno (10YR 5/3), bruno-acinzentado (10YR 5/2) e vermelho-amarelado (5YR 5/6); francossiltosa; fraca grande e média blocos subangulares; ligeiramente dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Bi 35 - 87 cm, coloração variegada, composta de bruno (10YR 4/3 e 7,5YR 4/4) e vermelho (2,5YR 4/6); franca; moderada a fraca grande e muito grande blocos subangulares e angulares; muito dura a extremamente dura, firme, plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e difusa.

2C 87 - 126 cm, coloração variegada, composta de bruno (7,5YR 4/3), bruno-acinzentado (10YR 5/2) e bruno-amarelado-escuro (10YR 3/4); francossiltosa; aspecto maciço composta de moderada média e grande prismática e moderada muito grande e grande blocos angulares; extremamente dura, muito firme, plástica, pegajosa a muito pegajosa, transição plana e clara.

2Cg 126 - 200 cm^{+}, coloração variegada, composta de bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2) e bruno-amarelado (10YR 5/6); francossiltosa; aspecto maciço composta de moderada a fraca muito grande e grande blocos subangulares e angulares; extremamente dura, muito firme, muito plástica e pegajosa a muito pegajosa.

RAÍZES – Muitas muito finas, poucas finas e médias nos horizontes A1 e A2; comuns muito finas, poucas finas e médias no horizonte BA; poucas muito finas e finas, raras grossas no horizonte Bi; raras muito finas e finas na camada 2C; e raras muito finas, finas e médias na 2Cg.

POROS – Poucos poros muito pequenos e pequenos no horizonte A1; poucos muito pequenos, pequenos e médios no A2; comuns muito pequenos, poucos pequenos e médios no BA; abundantes muito pequenos, comuns pequenos e poucos médios no horizonte Bi; e comuns muito pequenos e poucos pequenos nas camadas 2C e 2Cg.

Observações:

- Aventou-se a possibilidade de o horizonte Bi ser identificado como C1. Sendo assim, o perfil em questão seria um Neossolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico.
- Não se identificou evidências irrefutáveis de descontinuidade litológica em campo e, portanto, de caráter flúvico. Os números referentes à nomenclatura das camadas 2C e 2Cg foram inseridos após observação dos resultados analíticos.
- Perfil descrito úmido na parte superior até as duas últimas camadas, que estavam molhadas.
- Ausência de plintita em todas as camadas.
- Presença de segregação de ferro e de ferro e manganês relacionadas aos poros das raízes das três primeiras camadas e à superfície das estruturas laminares.
- Presença de mica em todos os horizontes e camadas.
- Foi feita sugestão para não se utilizar o conteúdo de óxidos de ferro para caracterizar os Cambissolos Flúvicos no 5º nível categórico, como previsto atualmente no SiBCS.
- No final do período de estiagem de 2023, a área do dique aluvial em que se encontra o perfil AM-07 apresentou rachaduras paralelas ao Rio Solimões e o nível do terreno (entre o local das fendas e o rio) sofreu um pequeno rebaixamento, sugerindo que esta área pode deslizar para o rio, fenômeno denominado de Terras Caídas (Figuras 9.7 e 9.8).

Resultados analíticos

Perfil AM-07
Amostra de laboratório: 23.501-3506
Número de campo: AM-07

Horizonte		Frações da amostra total g kg^{-1}			Composição granulométrica da terra fina g kg^{-1}				Argila dispersa em água g kg^{-1}	Grau de flocul. %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm^{-3}		Porosidade dm^3 100 dm^{-3}
Símbolo	Profund. cm	Calh. >20 mm	Casc. 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partíc.	
A1	0 - 4	0	0	1000	5	396	479	121	82	32	3,97	1,08	2,57	58
A2	-15	0	0	1000	3	431	472	93	82	12	5,05	1,22	2,59	53
BA	-35	0	0	1000	2	380	511	107	82	23	4,78	1,19	2,59	54
Bi	-87	0	0	1000	2	396	492	111	82	26	4,43	1,28	2,59	51
2C	-126	0	0	1000	6	236	611	147	124	16	4,14	1,33	2,56	48
2Cg	-200	0	0	1000	7	120	720	153	145	5	4,70	1,38	2,51	45

Símbolo	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol$_c$ kg^{-1}								Valor V %	Saturação por alumínio %	P disponível mg kg^{-1}
	Água	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K$^+$	Na$^+$	Valor S	Al^{3+}	H$^+$	Valor T			
A1	5,2	4,3	10,0	2,6	0,18	0,17	12,9	0,2	4,0	17,1	75	2	67
A2	5,4	4,7	10,5	2,2	0,35	0,13	13,2	0,1	3,6	16,9	78	1	71
BA	5,2	4,2	9,8	2,9	0,19	0,19	13,1	0,3	3,6	17,0	77	2	83
Bi	5,7	4,6	9,8	3,0	0,20	0,16	13,2	0,1	2,8	16,1	82	1	39
2C	5,8	4,6	10,1	4,0	0,17	0,36	14,6	0,1	2,5	17,2	85	1	67
2Cg	6,6	5,2	11,2	5,4	0,20	0,51	17,3	0	1,3	18,6	93	0	55

Símbolo	C orgânico g kg^{-1}	N total g kg^{-1}	Relação C/N	C total g kg^{-1}	Ataque sulfúrico g kg^{-1}						Relações moleculares			Equivalente de $CaCO_3$ g kg^{-1}
					SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	SiO_2/Al_2O_3 (Ki)	SiO_2/R_2O_3 (Kr)	Al_2O_3/Fe_2O_3	
A1	6,2	0,8	8	7,2	165	94	55	5,9	1,7	0,7	2,98	2,17	2,68	
A2	7,6	1,2	6	9,2	160	91	54	5,7	1,8	0,8	2,99	2,17	2,65	
BA	4,3	0,6	7	5,5	170	96	56	6,0	1,6	0,6	3,01	2,19	2,69	
Bi	3,2	0,6	5	4,4	161	89	55	5,2	1,5	0,6	3,08	2,20	2,54	
2C	3,1	0,6	5	3,9	179	97	55	5,1	1,2	0,7	3,14	2,30	2,77	
2Cg	2,2	0,4	6	3,0	181	109	55	6,1	1,6	0,7	2,82	2,13	3,11	

Símbolo	Saturação por sódio %	Pasta saturada		Sais solúveis (extrato 1:5) cmol$_c$ kg^{-1}								Constantes hídricas dm^3 dm^{-3}		
		C. E. do extrato mS cm^{-1} 25ºC	Água %	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K$^+$	Na$^+$	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl$^-$	SO_4^{2-}	Retenção de água		Água disponível
												0,01 MPa	1,5 MPa	
A1	1											0,307	0,118	0,189
A2	<1													
BA	1											0,324	0,127	0,197
Bi	1													
2C	2											0,311	0,135	0,176
2Cg	3													

Foto: Hedinaldo Narciso Lima.





Figura 9.7. Fotografia do perfil AM-07 (A) e sua localização em imagem de satélite disponível no Google de 22/08/2021 (B) (Iranduba, AM).



Fotos: Maria do Rosário Lobato Rodrigues (A) e José Francisco Lumbreras (B e C).

Figura 9.8. Fotografia de fendas no solo, vizinhas ao perfil AM-07.

Perfil AM-08

Descrição geral

DATA DA DESCRIÇÃO – 20/10/2023

CLASSIFICAÇÃO – PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Alumínico gleissólico, textura média/argilosa/muito argilosa, A moderado, epiálico, Tmoa, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Perfil descrito em trincheira distante aproximadamente 200 m da Rodovia AM-070, Km 42, lado esquerdo do sentido Iranduba para Manacapuru. Município de Iranduba, estado do Amazonas. Coordenadas: 03º 09’ 54,27” S e 60º 24’ 11,28” W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terraço aluvionar com 0 a 2% de declive sob capoeira.

ALTITUDE – 26 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Sedimentos aluvionares argilossiltosos, Pleistoceno.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração de sedimentos supracitados.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta equatorial higrófila de várzea (floresta ombrófila densa aluvial – IBGE, 2015).

USO ATUAL – Sem uso agrícola no local.

CLIMA – Am, tropical chuvoso, segundo a classificação de Köppen (1936), subtipo Am3 (vide Capítulo 4).

DESCRITO E COLETADO POR – Hedinaldo Narciso Lima, Maurício Rizzato Coelho e Maria do Rosário Lobato Rodrigues.

Descrição morfológica

A 0 - 6 cm, bruno (10YR 5/3); francossiltosa; moderada média e pequena blocos subangulares e moderada média e pequena granular; ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Btg1 6 - 30 cm, coloração variegada, composta de cinzento-claro (2,5Y 7/1) e amarelo (10YR 7/8), mosqueado comum, médio e pequeno proeminente, amarelo-avermelhado (7,5YR 7/8 e 7,5YR 6/8); francossiltosa; moderada média e grande prismática e muito grande e grande blocos angulares; extremamente dura, muito firme; muito plástica e muito pegajosa; transição plana e gradual.

2Btg2 30 - 49 cm, composta de cinzento-claro (2,5Y 7/1) e amarelo (10YR 7/8), mosqueado comum, pequeno e proeminente, amarelo-avermelhado (7,5YR 7/8); franco-argilossiltosa; moderada a forte grande e média blocos angulares; extremamente dura, muito firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e clara.

2Btgf1 49 - 67 (61 - 73) cm, cinzento-claro (5YR 7/1), mosqueado abundante, médio e pequeno proeminente, vermelho (2,5YR 5/8) e pouco, pequeno, proeminente, amarelo-avermelhado (7,5YR 7/8); argilossiltosa; moderada a fraca média e pequena blocos subangulares; extremamente dura, muito firme, muito plástica e muito pegajosa; transição ondulada e gradual (12 - 24 cm).

2Btgf2 67 - 101 cm, cinzento-azulado-claro (5PB 7/1), mosqueado abundante, médio, e proeminente, vermelho (2,5YR 4/6); argilossiltosa; aspecto maciço que se desfaz em fraca média e grande blocos subangulares e angulares; extremamente dura, muito firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e difusa.

2Cg1 101 - 151 cm, cinzento-esverdeado-claro (5PB 7,5/1), mosqueado comum, pequeno e médio proeminente, bruno-amarelado-escuro (10YR 4/6); argilossiltosa; aspecto maciço que se desfaz em fraca grande e muito grande blocos subangulares e angulares; superfície de compressão brilhante, abundante e moderada; extremamente dura, muito firme, muito plástica e muito pegajosa; transição descontínua e clara.

3Cg2 151 - 175 cm^{+}, cinzento-azulado-claro (10B 8/1), mosqueado comum, pequeno e proeminente, amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8), muito argilosa; aspecto maciço que se desfaz em fraca muito grande e grande blocos angulares; superfície de compressão brilhante, comum e moderada; superfície de fricção pouca; extremamente dura, extremamente firme; muito plástica e muito pegajosa.

RAÍZES – Muitas muito finas, comuns finas e médias e poucas grossas na camada A; poucas muito finas, finas e médias na camada Btg1; poucas muito finas e finas na camada 2Btg2; raras muito finas e finas na camada 2Btgf1; raras muito finas nas camadas 2Btgf2 e 2Cg1; e ausentes na camada 3Cg2.

POROS – Comuns poros muito pequenos e pequenos, poucos médios e grandes na camada A; comuns muito pequenos, pequenos e médios e poucos grandes na camada Btg1; comuns muito pequenos e poucos pequenos na camada 2Btg2; poucos muito pequenos, pequenos e médios na camada 2Btgf1; poucos muito pequenos e pequenos na camada 2Btgf2; poucos muito pequenos nas demais camadas.

Observações:

- Perfil encontrava-se úmido por ocasião da descrição.
- Aventou-se a possibilidade de os horizontes Btg1 e 2Btg2 serem identificados como Cg1 e Cg2, respectivamente. Caso sejam assim identificados, o solo em questão seria um Plintossolo Háplico Alumínico gleissólico.
- Pouca atividade biológica no perfil.
- Concentração de fragmentos de carvão na transição entre as camadas A e Btg1.
- Descrição de nódulos (plintita) por camada:
- A e Btg1 - ausentes; 2Btg2 - muito pouco, pequeno, macio, irregular, vermelho, ferruginoso; 2Btgf1 - pouco, pequeno, macio, irregular, vermelho, ferruginoso; 2Btgf2 - pouco e localmente frequente, pequeno e grande, macio, irregular, vermelho, ferruginoso; 2Cg1 - muito pouco, pequeno, macio, irregular, vermelho, ferruginoso; 3Cg2 - ausente.

- Houve dúvida se a quantidade de plintita nos horizontes 2Btgf1 e 2Btgf2 é suficiente para caracterizar um horizonte plíntico, isto é, ≥ 15% de plintita.
- Notou-se presença de *slickensides* em raros locais no horizonte 3Cg2, no entanto, não foram considerados suficientes para caráter vértico e para aplicação do sufixo "v".
- Sugeriu-se renomear os horizontes Bg1 (6 - 30 cm) e 2Bg2 (30 - 49 cm) como Eg1 e 2Eg2, o que caracterizaria um horizonte Bt por mais este motivo.
- Ocorrem fendas com mais de 1 cm de largura e em comum quantidade na superfície do solo.

Resultados analíticos

Perfil AM-08
Amostra de laboratório: 23.3507-3513
Número de campo: AM-08

Horizonte		Frações da amostra total g kg^{-1}			Composição granulométrica da terra fina g kg^{-1}				Argila dispersa em água g kg^{-1}	Grau de flocul. %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm^{-3}		Porosidade dm^3 100 dm^{-3}
Símbolo	Profund. cm	Calh. >20 mm	Casc. 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partíc.	
A	0 - 6	0	1	999	8	237	624	131	81	38	4,75	1,09	2,45	55
Btg1	-30	0	0	1000	3	175	662	160	0	100	4,13	1,39	2,52	45
2Btg2	-49	0	0	1000	4	101	531	365	0	100	1,46	1,66	2,51	34
2Btgf1	-67	0	8	992	34	98	407	461	0	100	0,88	1,44	2,53	43
2Btgf2	-101	0	28	972	25	102	406	467	0	100	0,87	1,65	2,60[(1)]	36
2Cg1	-151	0	13	987	35	73	421	470	0	100	0,89	1,62	2,67	39
3Cg2	-175	0	4	996	30	18	163	789	0	100	0,21	1,34	2,43	45

Símbolo	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol$_c$ kg^{-1}								Valor V %	Saturação por alumínio %	P disponível mg kg^{-1}
	Água	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K$^+$	Na$^+$	Valor S	Al^{3+}	H$^+$	Valor T			
A	4,2	3,8	0,6		0,08	0,05	0,7	1,8	4,7	7,2	10	72	2
Btg1	4,1	3,8	0,2		0,02	0,02	0,2	3,1	2,2	5,5	4	94	1
2Btg2	4,2	3,8	0,2		0,03	0,03	0,3	5,4	3,1	8,8	3	95	1
2Btgf1	4,5	3,9	0,2		0,05	0,05	0,3	7,3	3,7	11,3	3	96	0
2Btgf2	4,6	3,9	0,1		0,07	0,05	0,2	8,6	4,6	13,4	1	98	0
2Cg1	4,5	3,8	0,2		0,12	0,04	0,4	10,2	3,9	14,5	3	96	0
3Cg2	4,4	3,6	0,8		0,28	0,06	1,1	21,9	5,5	28,5	4	95	0

Símbolo	C orgânico g kg^{-1}	N total g kg^{-1}	Relação C/N	C total g kg^{-1}	Ataque sulfúrico g kg^{-1}						Relações moleculares			Equivalente de $CaCO_3$ g kg^{-1}
					SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	SiO_2/Al_2O_3 (Ki)	SiO_2/R_2O_3 (Kr)	Al_2O_3/Fe_2O_3	
A	13,7	1,5	9	15,8	68	38	14	5,2	0,2	0,1	3,04	2,46	4,26	
Btg1	3,4	0,6	6	4,4	82	62	20	5,9	0,2	0,1	2,25	1,86	4,87	
2Btg2	2,9	0,6	5	3,8	154	112	37	8,7	0,2	0,1	2,34	1,93	4,75	
2Btgf1	3,1	0,7	4	5,4	200	152	95	8,3	0,3	0,0	2,24	1,60	2,51	
2Btgf2	1,5	0,5	3	2,7	223	160	86	7,2	0,2	0,1	2,37	1,76	2,92	
2Cg1	1,2	0,5	2	1,7	223	172	70	7,5	0,2	0,0	2,20	1,75	3,86	
3Cg2	1,2	0,4	3	1,8	274	205	72	9,1	0,2	0,0	2,27	1,86	4,47	

Símbolo	Saturação por sódio %	Pasta saturada		Sais solúveis (extrato 1:5) cmol$_c$ kg^{-1}								Constantes hídricas dm^3 dm^{-3}		
		C. E. do extrato mS cm^{-1} 25ºC	Água %	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K$^+$	Na$^+$	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl$^-$	SO_4^{2-}	Retenção de água		Água disponível
												0,01 MPa	1,5 MPa	
A	<1											0,285	0,066	0,219
Btg1	<1													
2Btg2	<1											0,311	0,185	0,126
2Btgf1	<1													
2Btgf2	<1											0,379	0,277	0,102
2Cg1	<1													
3Cg2	<1													

Relação textural: 2,00

(1) Densidade dos cascalhos do horizonte 2Btgf2 = 2,93 kg dm^{-3}.

Foto: Hedinaldo Narciso Lima.

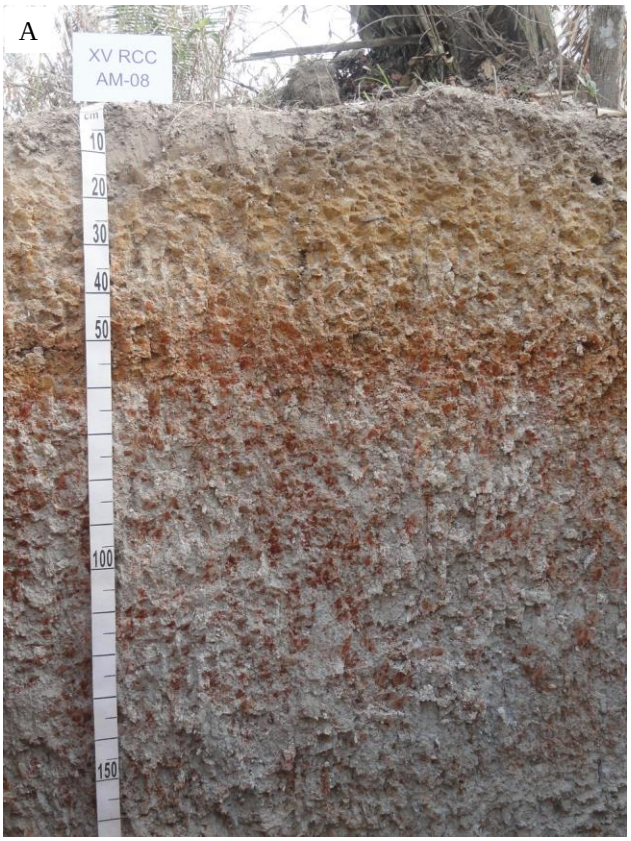




Figura 9.9. Fotografia do perfil AM-08 (A) e sua localização em imagem de satélite disponível no Google de 21/09/2022 (B) (Iranduba, AM).

Perfil AM-09

Descrição geral

DATA DA DESCRIÇÃO – 20 e 21/10/2023

CLASSIFICAÇÃO (Santos et al., 2018) – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa, A fraco, endodúrico, fase campinarana equatorial arbórea, relevo plano.

CLASSIFICAÇÃO (Santos et al., 2025): ESPODOSSOLO HÁPLICO Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa, A fraco, endodúrico, fase campinarana equatorial arbórea, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Perfil descrito em corte de barranco localizado na margem esquerda da BR-174, km 46, distante aproximadamente 30 m do seu meio-fio, sentido Manaus-Presidente Figueiredo. Área de preservação da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (Ceplac). Município de Manaus, estado do Amazonas. Coordenadas: 02º 34’ 54,0 S e 60º 01’ 49,8” W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Campinarana arborizada, com 0 a 3% de declive.

ALTITUDE – 71 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Arenitos, Formação Alter do Chão, Cretáceo (IBGE, 2010a).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração dos arenitos supracitados.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano e suave ondulado.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Excessivamente drenado/moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Campinarana equatorial arbórea (campinarana arborizada - IBGE, 2015).

USO ATUAL – Sem uso agrícola no local.

CLIMA – Am, tropical chuvoso, segundo a classificação de Köppen (1936), subtipo Am3 (vide Capítulo 4).

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho, Hedinaldo Narciso Lima, Maria do Rosário Lobato Rodrigues e Luis Antônio Coutrim dos Santos.

Descrição morfológica

A1 0 - 8 cm, bruno (7,5YR 5/2, úmido); areia; fraca muito pequena e pequena granular e grãos simples; solta, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

A2 8 - 23 cm, bruno-acinzentado (10YR 5/2); areia; grãos simples e fraca muito pequena granular; solta, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

AE 23 - 50 (42 - 57) cm, cinzento-claro (2,5Y 7/1) e localmente bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2); areia; grãos simples; solta, solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e difusa (19 - 34 cm).

E1 50 - 130 cm, cinzento-brunado-claro (2,5Y 6/2), mosqueado pouco, médio e grande proeminente, preto (10YR 2/1); areia; grãos simples; solta, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.

E2 130 - 250 cm, bruno-acinzentado (2,5Y 8/1); areia; grãos simples; solta, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.

2E3 250 - 321 (317- 325) cm, cinzento-claro (2,5Y 7/1); areia; grãos simples; solta, solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta (67-75 cm).

3Bh 321 - 326 (320 - 332) cm, preto (10YR 2/1) e camada de aproximadamente 1 cm no seu topo de coloração bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2); areia; grãos simples; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta (6 - 12 cm).

4Bhsm 326 - 366 (352 - 380) cm, coloração variegada, composta de amarelo-brunado (10YR 6/6), amarelo (2,5Y 8/6), bruno (7,5YR 4/4), bruno muito escuro (7,5YR 2,5/3) e amarelo-brunado (10YR 6/8); areia franca; maciça; muito dura e localmente dura e extremamente dura, muito firme (volumes brunos e negros) e localmente extremamente firme (volumes brunos e negros) e firme (volumes amarelados), não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara (20 - 35 cm).

4Bhs 366 - 380 cm, coloração variegada, composta de bruno-escuro (7,5YR 3/3), bruno-forte (7,5YR 5/6), preto (10YR 2/1) e bruno-claro-acinzentado (2,5Y 8/3); areia; maciça; dura e localmente muito dura (volumes brunos), firme e localmente muito firme (volumes brunos), não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta.

4Bs 380 - 396 cm, coloração variegada, composta de amarelo (2,5Y 7/6), bruno-amarelado-claro (2,5Y 6/4), bruno-amarelado-escuro (10YR 4/6) e bruno-escuro (10YR 3/3) (horizonte plácico); areia franca; maciça; dura e localmente muito dura (bruno escuro; horizonte plácico), firme e localmente muito firme (horizonte plácico), não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.

5C 396 - 410 cm^{+}, bruno-claro-acinzentado (2,5Y 8/2) e localmente (bolsões) bruno-acinzentado muito escuro (2,5Y 3/2) e cinzento (2,5Y 5/1); francoarenosa; maciça, dura, firme, não plástica e ligeiramente pegajosa.

RAÍZES – Muitas muito finas e finas, comuns médias e poucas grossas nos horizontes A1 e A2; muitas muito finas, comuns finas, poucas médias e raras grossas no horizonte AE; comuns muito finas e finas, poucas médias e raras grossas no horizonte E1; poucas muito finas e finas, raras médias e grossas no horizonte 2E2; poucas muito finas e finas, raras médias no horizonte 3E3; raras muito finas, finas e médias no horizonte 4Bh; raras muito finas no horizonte 4Bhsm; ausente nos demais horizontes.

POROS – Muitos poros muito pequenos, comuns pequenos e poucos médios nos horizontes A1 e A2; muitos muito pequenos e poucos pequenos no AE; muitos muito pequenos nos horizontes E1, E2 e 2E3; comuns muito pequenos no 3Bh; poucos muito pequenos nos horizontes 4Bhsm e 4Bhs; ausentes nos demais horizontes.

Observações:

- Presença de horizonte O de maior espessura nos arredores do perfil sob a copa de umiri (*Humiria balsamifera*).

- Os fragmentos de quartzo do horizonte 2E3 são predominantemente leitosos, poucos hialinos; os de tamanho calhaus observados em campo (ocupam menos de 5%) aparentam ser formados por aglomeração de areia grossa e cascalho. Não foram identificados em laboratório. A maioria dos grãos de cascalho e todos os de calhaus, ambos de quartzo, fragmentam-se ao manuseio. Aparentemente, são originalmente arredondados, perdendo atualmente esse formato para bordas arestadas devido à fragmentação natural. Os grãos de quartzo dos horizontes subjacentes são de menor tamanho e arestados, também provavelmente devido à fragmentação natural.
- No horizonte 4Bhsm os cascalhos estão concentrados em algumas faixas paralelas à superfície do terreno, estando a mais espessa presente em sua base. É também na base do 4Bhs que se concentra o maior conteúdo de cascalho deste horizonte. Nos demais horizontes, os cascalhos estão distribuídos de maneira uniforme em toda a sua extensão.
- As cores da coloração variegada do horizonte 4Bhsm estão dispostas em faixas aproximadamente paralelas à superfície do terreno, de diferentes espessuras, desde milimétricas até cerca de 3 cm de espessura. Invariavelmente, os volumes mais escurecidos (7,5YR 2,5/3) são predominantemente de consistência extremamente dura e extremamente firme.
- Na metade esquerda do horizonte Bhs, as suas cores variegadas estão distribuídas em faixas aproximadamente paralelas à superfície do terreno, cujas espessuras variam de milimétricas a centimétricas (5 cm). Há uma mudança de direção das faixas na metade direita do perfil, que passam a apresentar uma inclinação descendente (da esquerda para a direita) em relação à superfície do terreno.
- A lateral esquerda do horizonte 4Bs apresenta um horizonte plácico de coloração bruno-escura, espessura média de 1 cm e consistência úmida muito firme, que convola, aparecendo e desaparecendo em poucos centímetros em relação à face analisada, não apresentando continuidade lateral. No horizonte 4Bs, as cores que divergem da matriz principal (amarelo - 2,5Y 7/6) estão dispostas em faixas praticamente paralelas à superfície do terreno. Essas faixas ocupam menos de 20% de seu volume e apresentam espessuras variando entre 1 e 10 mm.
- Os bolsões do horizonte 5C são subarredondados, de diâmetro médio variando entre 3 e 5 cm. Correspondem às colorações escuras do horizonte, centradas nas cores 2,5Y 3/2 e 2,5Y 5/1. Esses bolsões ocupam menos de 10% do volume do horizonte, cuja base transiciona para um horizonte espódico (Bh?) de mesma coloração dos bolsões.
- A presença de elevada umidade acima do horizonte Bh (lençol freático suspenso) inviabilizou a sua descrição por ocasião da visita em 20/05/2023.
- Na análise micromorfológica observou-se estratificação cruzada no horizonte B espódico, sugerindo influência de deposição aluvionar (paleocanal ou face sedimentar da Formação Alter do Chão) (vide Capítulo 11).
- O carbono total e as extrações de Al e Fe com oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) são mostrados na Tabela 9.1.
- Segundo as alterações na classe dos Espodossolos na 6ª ed. do SiBCS (Santos et al., 2025), este solo deve ser classificado como Espodossolo Háplico Hiperespesso típico.

Resultados analíticos

Perfil AM-09
Amostra de laboratório: 23.3514-3524
Número de campo: AM-09

Horizonte		Frações da amostra total g kg^{-1}			Composição granulométrica da terra fina g kg^{-1}				Argila dispersa em água g kg^{-1}	Grau de flocul. %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm^{-3}		Porosidade dm^3 100 dm^{-3}
Símbolo	Profund. cm	Calh. >20 mm	Casc. 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partíc.	
A1	0 - 8	0	4	996	853	121	10	16	0	100	0,64	1,36	2,57	47
A2	-23	0	10	990	860	121	15	3	0	100	4,22	1,39	2,58	46
AE	-50	0	14	986	800	178	22	1	0	100	22,00	1,47	2,40	39
E1	-130	0	22	978	793	185	21	1	0	100	14,15	1,52	2,52	40
E2	-250	0	24	976	800	181	18	1	0	100	12,06	1,54	2,65	42
2E3	-321	0	65	935	844	137	19	0	0	100	37,14	1,63	2,56[(1)]	36
3Bh	-326	0	10	990	832	62	37	69	69	0	0,54	1,66	2,56	35
4Bhsm	-366	0	37	963	767	90	41	102	40	61	0,40	1,70	2,51	32
4Bhs	-380	0	11	989	847	42	30	81	40	51	0,37	1,72	2,57	33
4Bs	-396	0	8	992	824	52	28	96	40	58	0,29	1,69	2,50	33
5C	-410	0	8	992	328	377	107	188	161	15	0,57	1,69	2,49	32

Símbolo	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol$_c$ kg^{-1}								Valor V %	Saturação por alumínio %	P disponível mg kg^{-1}
	Água	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K$^+$	Na$^+$	Valor S	Al^{3+}	H$^+$	Valor T			
A1	4,1	3,1	0,1		0,04	0,04	0,2	0,5	1,8	2,5	8	71	2
A2	4,6	3,4	0,1		0	0,03	0,1	0,3	0,7	1,1	9	75	0
AE	4,5	3,3	0,1		0	0,05	0,1	0,3	1,8	2,2	5	75	1
E1	5,4	4,2	0,1		0	0	0,1	0	0	0,1	100	0	0
E2	5,8	5,0	0,1		0,03	0	0,1	0	0	0,1	100	0	0
2E3	5,8	4,9	0,1		0	0	0,1	0	0	0,1	100	0	0
3Bh	4,7	3,8	0,1		0	0,05	0,1	1,1	4,8	6,0	2	92	4
4Bhsm	4,9	4,3	0		0,03	0,04	0,1	0,7	7,3	8,1	1	87	53
4Bhs	5,0	4,4	0		0,03	0,04	0,1	0,5	7,2	7,8	1	83	43
4Bs	5,0	4,6	0		0,03	0,04	0,1	0,3	3,7	4,1	2	75	13
5C	5,1	4,6	0		0,03	0,04	0,1	0,3	2,5	2,9	3	75	4

Símbolo	C orgânico g kg^{-1}	N total g kg^{-1}	Relação C/N	C total g kg^{-1}	Ataque sulfúrico g kg^{-1}						Relações moleculares			Equivalente de $CaCO_3$ g kg^{-1}
					SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	SiO_2/Al_2O_3 (Ki)	SiO_2/R_2O_3 (Kr)	Al_2O_3/Fe_2O_3	
A1	4,7	0,2	24	4,0	16	2	2	0,5	0,1	0,0	na	na	na	
A2	3,1	0,7	4	9,6	10	1	1	0,4	0,1	0,0	na	na	na	
AE	3,8	0,4	10	6,0	10	1	1	0,4	0,1	0,0	na	na	na	
E1	0,2	0,1	2	0,3	9	1	1	0,3	0,1	0,0	na	na	na	
E2	0,3	0,1	3	0,2	13	0	1	0,3	0	0,0	na	na	na	
2E3	0,2	0,1	2	0,2	16	0	1	0,4	0,1	0,0	na	na	na	
3Bh	5,5	0,5	11	6,9	27	22	5	1,2	1,5	0,6	2,09	1,82	6,91	
4Bhsm	9,0	0,3	30	12,9	28	38	3	0,8	0,4	0,0	1,25	1,19	19,89	
4Bhs	9,9	0,4	25	11,8	26	38	3	0,7	0,4	0,0	1,16	1,11	19,89	
4Bs	3,9	0,3	13	8,5	35	30	2	1,4	0,2	0,0	1,98	1,90	23,55	
5C	2,8	0,3	9	4,6	83	91	1	2,2	0,1	0,0	1,55	1,54	142,87	

Símbolo	Saturação por sódio %	Pasta saturada		Sais solúveis (extrato 1:5) cmol$_c$ kg^{-1}								Constantes hídricas dm^3 dm^{-3}		
		C. E. do extrato mS cm^{-1} 25ºC	Água %	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K$^+$	Na$^+$	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl$^-$	SO_4^{2-}	Retenção de água		Água disponível
												0,01 MPa	1,5 MPa	
A1	2											0,063	0,004	0,059
A2	3													
AE	2													
E1	<1													
E2	<1													
2E3	<1													
3Bh	<1											0,113	0,065	0,048
4Bhsm	<1													
4Bhs	<1											0,118	0,068	0,050
4Bs	<1													
5C	1													

na: Não se aplica.

(1) Densidade dos cascalhos do horizonte 2E3 = 2,62 kg dm^{-3}.

Tabela 9.1. Conteúdos de carbono total, Fe e Al extraídos com oxalato ácido de amônio (Alo e Feo) e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Ald e Fed) na TFSA do perfil AM-09.

Horizonte	C total	Extração com oxalato		Extração com ditionito		Relações	
		Fe_2O_3	Al_2O_3	Fe_2O_3	Al_2O_3		
	---------- g kg^{-1} ----------					Feo/Fed	Alo/Ald
A1	4,0	0,013	0,030	0,157	0,181	0,083	0,166
A2	9,6	0,023	0,053	0,107	0,163	0,215	0,325
AE	6,0	0,013	0,055	0,072	0,155	0,181	0,355
E1	0,3	*	*	0,054	0,102	-	-
E2	0,2	*	*	0,061	0,100	-	-
2E3	0,2	*	*	0,039	0,115	-	-
3Bh	6,9	0,016	1,41	0,090	2,53	0,178	0,557
4Bhsm	12,9	0,069	9,41	0,102	15,70	0,676	0,599
4Bhs	11,8	0,142	9,07	0,167	16,90	0,850	0,537
4Bs	8,5	0,061	6,37	0,100	11,40	0,610	0,559
5C	4,6	0,009	3,27	0,051	4,52	0,176	0,723

*Teor do elemento abaixo do limite de detecção da técnica utilizada.

Foto: Luis Antonio Coutrim dos Santos.

A





B

Figura 9.10. Fotografia do perfil AM-09 (A) e sua localização em imagem de satélite disponível no Google de 24/07/2021 (B) (Manaus, AM).

Perfil AM-11

Descrição geral

DATA DA DESCRIÇÃO – 19/10/2023

CLASSIFICAÇÃO – GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico, textura siltosa-média/média-siltosa, A moderado, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Perfil descrito em trincheira situada em várzea recente na margem direita do Rio Amazonas, próximo ao Parque de Exposições e a cerca de 300 m a montante do Terminal Hidroviário Santa Rosa. Município de Parintins, estado do Amazonas. Coordenadas: 02º 38’ 08,3 S e 56º 45’ 36,6” W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Planície fluvial (barra de acreção) do Rio Amazonas, em local plano com 0 a 2% de declive, sob vegetação de campo hidrófilo.

ALTITUDE – 15 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Sedimentos aluvionares argilossiltosos, Holoceno (Ferreira et al., 2006; IBGE, 2010a).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração dos sedimentos supracitados.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano com microrrelevo do tipo gilgai.

RELEVO REGIONAL – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Mal drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Campo tropical hidrófilo de várzea.

USO ATUAL – Sem uso agrícola no local e, eventualmente, utilizado como pastagem natural.

CLIMA – Am, tropical chuvoso, segundo a classificação de Köppen (1936), subtipo Am3 (vide Capítulo 4).

DESCRITO E COLETADO POR – Virlei Álvaro de Oliveira, José Francisco Lumbreras, Raimundo Cosme Oliveira Junior, Jeferson Luís Vasconcelos de Macedo.

Descrição morfológica

A1 0 - 5 cm, bruno-acinzentado-escuro a bruno (10YR 4/2,5, úmido) e cinzento-brunado-claro a bruno-claro-acinzentado (10YR 6/2,5, seco), mosqueado pouco, médio e distinto, bruno-forte (7,5YR 4/6, úmido); francossiltosa; forte grande prismática com aspecto de maciça in situ; muito dura, friável a firme, plástica e pegajosa; transição plana e gradual a difusa.

A2 5 - 17 cm, bruno-acinzentado-escuro a bruno (10YR 4/2,5, úmido) e cinzento-claro a bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/2,5, seco), mosqueado comum, médio e distinto, bruno (7,5YR 4/4, úmido); francossiltosa; forte muito grande prismática com aspecto de maciça in situ; muito dura, friável a firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Cg1 17 - 41 cm, cinzento (5Y 6/1), mosqueado comum, médio e distinto, bruno-forte (7,5YR 5/6) e abundante, grande e proeminente, vermelho-amarelado (5YR 4,5/6); francossiltosa; moderada grande e muito grande prismática composta de moderada a forte média e grande

prismática e moderada a forte média e grande blocos angulares e subangulares; dura a muito dura, friável a firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Cg2 41 - 61 (56 - 64 cm), cinzento (N 5/), mosqueado comum, médio e proeminente, vermelho-amarelado (5YR 4/6) e abundante, grande e distinto, bruno-forte (7,5YR 5/6); francossiltosa; fraca a moderada grande e muito grande prismática composta de fraca grande blocos angulares; dura a muito dura, friável a firme, plástica e pegajosa; transição ondulada e abrupta (15 - 23 cm).

2Cg3 61 - 70 cm (69 - 72 cm), cinzento-escuro (N 4/), mosqueado comum, médio e proeminente, vermelho-amarelado (5YR 4/6) e abundante, grande e distinto, bruno-forte (7,5YR 4/6); francossiltosa; fraca a moderada grande e muito grande prismática composta de fraca grande blocos angulares; dura a muito dura; firme, plástica e pegajosa; transição ondulada e abrupta (5 - 16 cm).

3Cg4 70 - 86 (85 - 88 cm), bruno (10YR 4/3), mosqueado comum, médio e distinto, bruno-forte (7,5YR 4/6) e comum, grande e proeminente, vermelho-escuro (2,5YR 3/6); francossiltosa; aspecto maciço que se desfaz em fraca média blocos angulares; dura, friável a firme, ligeiramente plástica a plástica e ligeiramente pegajosa a pegajosa; transição ondulada e abrupta (13 - 19 cm).

4Cg5 86 - 115 cm, cinzento-escuro (N 4/), mosqueado comum, médio e distinto, bruno (7,5YR 5/4) e comum, grande e proeminente, vermelho-escuro (2,5YR 3/6); francossiltosa; aspecto maciço que se desfaz em fraca média blocos angulares; muito dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e abrupta.

4Cg6 115 - 160 cm, cinzento-esverdeado-escuro (10Y 4/1), mosqueado comum, médio e distinto, bruno (7,5YR 5/4) e comum, grande e proeminente, vermelho-escuro (2,5YR 3/6); francossiltosa; aspecto maciço que se desfaz em fraca média blocos angulares; muito dura, firme, plástica e pegajosa.

Tradagem:

4Cg6 160 - 175 cm, similar ao anterior.

4Cg7 175 - 210 cm^{+}, cinzento-esverdeado-escuro (10Y 4/1), mosqueado comum, bruno (7,5YR 5/4) e comum, vermelho-escuro (2,5YR 3/6); franco-argilossiltosa; plástica e pegajosa.

RAÍZES – Poucas muito finas no A1; poucas a comuns muito finas no A2 e Cg1; poucas raízes e fragmentos vegetais finos e médios, mortos, trazidos por cheias pretéritas junto com sedimentos nos horizontes Cg1, Cg2 e Cg3; poucas muito finas no Cg2, 2Cg3 e 3Cg4; raras muito finas no 4Cg5; ausentes no 4Cg6.

POROS – Poucos a comuns poros muito pequenos e raros pequenos (de raízes) nos horizontes A1 e A2; comuns a poucos muito pequenos e poucos pequenos e médios no Cg1; comuns a poucos muitos pequenos, pequenos e médios no Cg2, 2Cg3 e 3Cg4; poucos a comuns muito pequenos e poucos pequenos e médios no 4Cg5; poucos a comuns muito pequenos e poucos a raros pequenos e médios no 4Cg6.

Observações:

- O perfil foi aberto cerca de 15 dias antes do momento da descrição, quando se encontrava seco no horizonte A, ligeiramente úmido no Cg1 e úmido a partir de 41 cm de profundidade.

- Abundante ocorrência de microrrelevo do tipo gilgai nos arredores.
- Topo das estruturas do A1 ligeiramente abaulado, lembrando estrutura colunar, em razão do grande fendilhamento.
- Presença de muitas fendas profundas (iniciando-se na superfície) com cerca de 4 a 10 cm de espessura, alcançando até 80 cm na parede lateral da trincheira e 130 cm, no lado dos seus degraus.
- Não foi observada ocorrência de superfícies de compressão ou de fricção (*slickensides*) no perfil por ocasião da sua descrição.
- Os mosqueados ocorrem nas faces das estruturas, nas paredes das fendas e dentro de canais de raízes e de animais, onde penetra o oxigênio.
- Material do solo com aspecto maciço ao longo do perfil, exceto no horizonte Cg1.
- Há acumulação de material que penetra pelas fendas na altura do horizonte Cg4.
- O horizonte 3Cg4 é descontínuo nas paredes laterais da trincheira.
- São verificados pequenos alinhamentos horizontalizados associados à sedimentação do material a partir do topo do 3Cg4.
- Ocorrem bolsões de material distinto contendo marcas da deposição de sedimentos no topo do 4Cg6.
- Foi efetuada averiguação com utilização de trado a partir de 160 cm.
- A planície onde este perfil está localizado fica submersa em grande parte do ano e configura uma planície de acreção do leito principal do Rio Amazonas, que recebe sedimentos deste misturados com os dos seus contribuintes a montante, entre eles, os rios Negro, Madeira, Urubu e Uatumã. Esse local foi intencionalmente escolhido para realçar a diferença nos solos imposta pela natureza de cada planície.
- Houve dúvida quanto à classificação deste solo como Vertissolo, mas não foi possível classificá-lo como tal, pois não atende a alguns parâmetros desta classe, tais como conteúdo de argila ≥ 300 g kg^{-1} e presença de *slickensides*.
- Houve sugestão para melhorias na definição do caráter vértico no SiBCS (Santos et al., 2018), assim como aplicação do sufixo "v" em alguns horizontes, como a seguir: A1, A2, Cvg1, Cvg2, 2Cvg3, 3Cg1, 4Cg1, 4Cg3.

Resultados analíticos

Perfil AM-11
Amostra de laboratório: 23.3525-3532
Número de campo: AM-11

Horizonte		Frações da amostra total g kg^{-1}			Composição granulométrica da terra fina g kg^{-1}				Argila dispersa em água g kg^{-1}	Grau de flocul. %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm^{-3}		Porosidade dm^3 100 dm^{-3}
Símbolo	Profund. cm	Calh. >20 mm	Casc. 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partíc.	
A1	0-5	0	0	1000	40	105	667	187	124	34	3,56	1,38	2,56	46
A2	-17	0	0	1000	0	83	739	177	124	30	4,18	1,41	2,61	46
Cg1	-41	0	0	1000	1	164	661	174	144	17	3,81	1,26	2,58	51
Cg2	-61	0	0	1000	2	181	657	160	103	35	4,12	1,26	2,64	52
2Cg3	-70	0	0	1000	5	235	598	162	123	24	3,69	1,34	2,58	48
3Cg4	-86	0	0	1000	0	296	581	123	123	0	4,72	1,34	2,60	49
4Cg5	-115	0	0	1000	0	224	634	143	123	14	4,45	1,22	2,59	53
4Cg6	-160	0	0	1000	0	282	590	127	102	20	4,63	1,23	2,37	48

Símbolo	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol$_c$ kg^{-1}								Valor V %	Saturação por alumínio %	P disponível mg kg^{-1}
	Água	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	Valor S	Al^{3+}	H^+	Valor T			
A1	5,2	4,7	10,0	3,1	0,18	0,11	13,4	0,1	4,1	17,6	76	1	56
A2	5,1	4,4	9,7	2,8	0,19	0,09	12,8	0,3	4,1	17,2	74	2	52
Cg1	5,1	4,3	9,2	3,0	0,16	0,09	12,4	0,3	4,1	16,8	74	2	63
Cg2	4,7	4,1	8,6	2,9	0,15	0,08	11,7	0,6	4,9	17,2	68	5	71
2Cg3	4,8	4,2	7,1	3,2	0,13	0,07	10,5	0,5	5,0	16,0	66	5	59
3Cg4	4,7	4,1	6,8	1,8	0,12	0,07	8,8	0,8	4,1	13,7	64	8	55
4Cg5	5,2	4,5	7,1	3,2	0,12	0,07	10,5	0,2	4,2	14,9	70	2	61
4Cg6	5,6	5,0	7,6	2,9	0,11	0,07	10,7	0,1	2,5	13,3	80	1	77

Símbolo	C orgânico g kg^{-1}	N total g kg^{-1}	Relação C/N	C total g kg^{-1}	Ataque sulfúrico g kg^{-1}						Relações moleculares			Equivalente de $CaCO_3$ g kg^{-1}
					SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	SiO_2/ Al_2O_3 (Ki)	SiO_2/ R_2O_3 (Kr)	Al_2O_3/ Fe_2O_3	
A1	8,0	1,3	6	10,3	170	103	60	5,4	1,5	0,7	2,81	2,04	2,70	
A2	7,2	0,9	8	9,0	184	115	61	5,4	1,6	0,7	2,72	2,03	2,96	
Cg1	6,5	0,9	7	8,7	174	109	60	6,2	1,5	0,5	2,71	2,01	2,85	
Cg2	7,2	0,8	9	8,2	144	104	62	4,7	1,4	0,7	2,35	1,70	2,63	
2Cg3	5,3	0,8	7	7,9	168	104	58	6,0	1,5	0,7	2,75	2,02	2,82	
3Cg4	5,2	0,7	7	6,5	150	86	52	5,1	1,3	0,5	2,97	2,14	2,60	
4Cg5	6,5	0,8	8	7,8	138	97	59	4,4	1,4	0,7	2,42	1,74	2,58	
4Cg6	5,8	1,2	5	8,6	135	84	52	6,2	1,4	0,6	2,73	1,96	2,54	

Símbolo	Saturação por sódio %	Pasta saturada		Sais solúveis (extrato 1:5) cmol$_c$ kg^{-1}								Constantes hídricas dm^3 dm^{-3}		
		C. E. do extrato mS cm^{-1} 25ºC	Água %	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}	Retenção de água		Água disponível
												0,01 MPa	1,5 MPa	
A1	<1											0,431	0,169	0,262
A2	<1													
Cg1	<1											0,415	0,198	0,217
Cg2	<1											0,449	0,149	0,300
2Cg3	<1													
3Cg4	<1													
4Cg5	<1											0,443	0,130	0,313
4Cg6	<1													

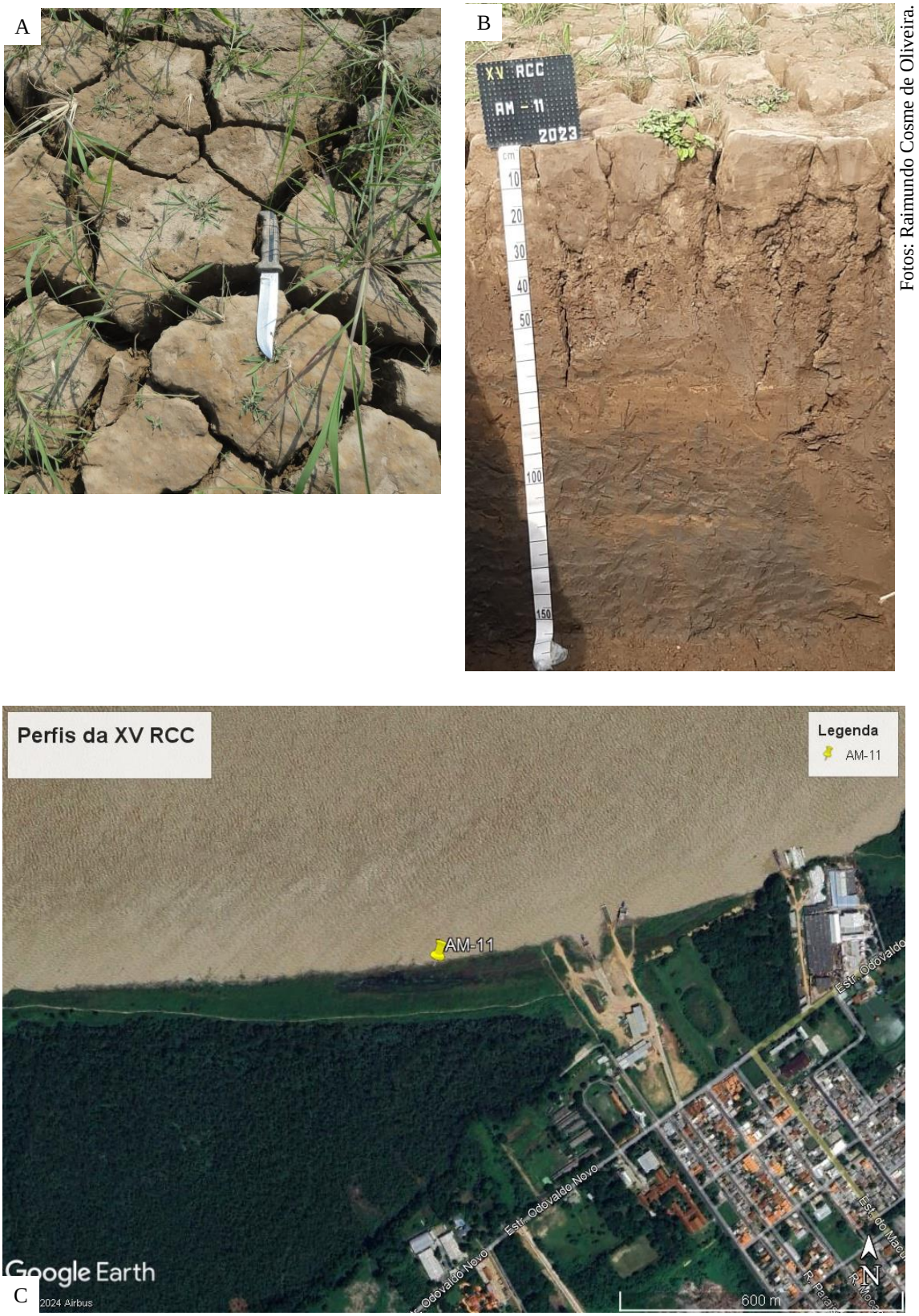


Figura 9.11. Fotografia mostrando fendas na superfície (A), ao lado do perfil AM-11 (B) e sua localização em imagem de satélite disponível no Google de 20/02/2024 (C) (Parintins, PA).

Perfil AM-12

Descrição geral

DATA DA DESCRIÇÃO – 19/10/2023

CLASSIFICAÇÃO (Santos et al., 2018) – GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico neofluvissólico, textura média, A moderado, álico, epialumínico, Tmoa, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano.

CLASSIFICAÇÃO (Santos et al., 2025) – NEOSSOLO FLÚVICO Ta Distrófico gleissólico, textura média, A moderado, álico, epialumínico, Tmoa, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Perfil descrito em trincheira situada na Fazenda do Sr. Manoel Lobato, a cerca de 300 m a sul da sua sede e a 2 km do centro da cidade de Parintins, estado do Amazonas. Coordenadas: 02º 38’ 15,8 S e 56º 44’ 55,5” W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Planície de inundação de pequeno córrego, em local com 0 a 1% de declive sob cobertura de pastagem plantada.

ALTITUDE – 22 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Sedimentos aluvionares argiloarenosos, Holoceno (Ferreira et al., 2006; IBGE, 2010a).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração dos sedimentos supracitados.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Mal drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta equatorial hidrófila de várzea.

USO ATUAL – Pastagem de capim *Cynodon*.

CLIMA – Am, tropical chuvoso, segundo a classificação de Köppen (1936), subtipo Am3 (vide Capítulo 4).

DESCRITO E COLETADO POR – José Francisco Lumbreras, Virlei Álvaro de Oliveira, Raimundo Cosme Oliveira Junior, Jeferson Luís Vasconcelos de Macedo.

Descrição morfológica

Apg1 0 - 5 cm, cinzento-escuro a bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/1,5), mosqueado abundante, médio e proeminente, bruno-avermelhado a vermelho (2,5YR 4/5); francoargilosa; moderada a forte pequena e média granular e moderada a forte pequena e média blocos subangulares; muito dura, friável, plástica a ligeiramente plástica e pegajosa a ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

2Apg2 5 - 11 cm, cinzento (N 5/), mosqueado abundante, médio e proeminente, vermelho (2,5YR 5/6); franco-argiloarenosa; moderada média e pequena blocos subangulares; muito dura, friável, plástica a ligeiramente plástica e pegajosa a ligeiramente pegajosa; transição plana e clara a gradual.

3Cg 11 - 38 (35 - 44) cm, bruno-acinzentado a bruno (10YR 5/2,5), mosqueado comum, pequeno e distinto, bruno-avermelhado (5YR 5/4); francoarenosa; fraca, pequena e média blocos subangulares; dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara (24 - 33 cm).

4Abg 38 - 63 cm, bruno (7,5YR 4/2); francoarenosa; fraca a moderada pequena e média blocos subangulares e grãos simples; dura, muito friável, plástica a ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

4C'g1 63 - 99 cm, cinzento-claro (10YR 7/1), mosqueado pouco, pequeno e difuso, bruno-amarelado-claro (10YR 6/4); francoarenosa; fraca pequena blocos subangulares; dura, muito friável a friável, plástica a ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

5C'g2 99 - 150 cm^{+}, cinzento-claro (2,5Y 7/1,5), mosqueado abundante, grande e distinto, bruno-claro (7,5YR 6/4) e comum, médio e proeminente, vermelho amarelado (5YR 5/6); francoarenosa; fraca pequena blocos subangulares; dura, muito friável a friável, plástica a ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

RAÍZES – Muitas muito finas e poucas a comuns finas, poucas médias e grossas no Apg1 e 2Apg2; comuns muito finas e poucas finas no 3Cg; comuns muito finas no 3Abg; poucas a comuns muito finas no 4C'g1 e 5C'g2.

POROS – Comuns a muitos, muito pequenos e comuns pequenos no Apg1; muitos muito pequenos e comuns pequenos no 2Apg2, 3Cg, 4Abg e 4C'g1; comuns a muitos muito pequenos e poucos pequenos no 5C'g2.

Observações:

- O perfil encontrava-se úmido por ocasião da descrição, e a consistência das amostras secas não foi tomada, em razão de forte chuva.
- Ocorre uma pequena camada, com cerca de 2 cm de espessura, constituída de raízes de gramíneas (como um tapete) na superfície.
- Houve dúvida na nomenclatura do 2Apg2 quanto ao uso do sufixo “p”.
- Os mosqueados ocorrem apenas em algumas partes do horizonte 5Cg2.
- Houve dúvida sobre a caracterização da classe de drenagem entre mal ou muito mal drenado.
- O local geralmente fica submerso por cerca de três meses no período de cheia do Rio Amazonas, com até 2 metros de água acima da superfície.
- O local onde o perfil está localizado constitui uma pequena planície interna de ilha, que recebe sedimentos locais, tendo sido intencionalmente escolhida para realçar a diferença nos solos imposta pela natureza deposicional de cada planície.
- Segundo as alterações na classe dos Gleissolos na 6ª ed. do SiBCS (Santos et al., 2025), este solo deve ser classificado como Neossolo Flúvico Ta Distrófico gleissólico.

Resultados analíticos

Perfil AM-12
Amostra de laboratório: 23.3533-3538
Número de campo: AM-12

Horizonte		Frações da amostra total g kg^{-1}			Composição granulométrica da terra fina g kg^{-1}				Argila dispersa em água g kg^{-1}	Grau de flocul. %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm^{-3}		Porosidade dm^3 100 dm^{-3}
Símbolo	Profund. cm	Calh. >20 mm	Casc. 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partíc.	
Apg1	0-5	0	0	1000	74	219	371	336	187	44	1,10	1,21	2,58	53
2Apg2	-11	0	0	1000	119	363	270	248	123	50	1,09	1,47	2,47	40
3Cg	-38	0	0	1000	146	502	216	136	40	71	1,59	1,59	2,60	39
4Abg	-63	0	0	1000	152	537	173	138	80	42	1,26	1,67	2,63	36
4C'g1	-99	0	0	1000	146	518	238	98	98	0	2,44	1,64	2,63	37
5C'g2	-150	0	0	1000	150	516	188	146	0	100	1,29	1,65	2,61	37

Símbolo	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol$_c$ kg^{-1}								Valor V %	Saturação por alumínio %	P disponível mg kg^{-1}
	Água	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K$^+$	Na$^+$	Valor S	Al^{3+}	H$^+$	Valor T			
Apg1	4,5	3,8	1,6	0,9	0,19	0,99	3,7	4,0	10,4	18,1	20	52	12
2Apg2	4,4	3,8	0,6	0,9	0,08	0,34	1,9	3,5	5,6	11,0	17	65	5
3Cg	4,8	4,1	0,3		0,04	0,13	0,4	1,8	2,3	4,5	9	82	3
4Abg	5,2	4,3	0,2		0,03	0,11	0,4	1,2	1,6	3,2	12	75	4
4C'g1	5,4	4,4	0,2		0,03	0,09	0,3	1,0	1,3	2,6	12	77	6
5C'g2	5,1	4,4	0,2		0,04	0,11	0,3	1,1	1,2	2,6	12	79	7

Símbolo	C orgânico g kg^{-1}	N total g kg^{-1}	Relação C/N	C total g kg^{-1}	Ataque sulfúrico g kg^{-1}						Relações moleculares			Equivalente de $CaCO_3$ g kg^{-1}
					SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	SiO_2/Al_2O_3 (Ki)	SiO_2/R_2O_3 (Kr)	Al_2O_3/Fe_2O_3	
Apg1	22,4	3,6	6	36,4	188	103	32	4,8	1,0	0,1	3,10	2,59	5,05	
2Apg2	9,8	1,9	5	16,0	124	75	18	4,2	0,6	0,1	2,81	2,44	6,54	
3Cg	3,1	0,6	5	4,7	68	47	6	3,9	0,3	0	2,46	2,27	12,30	
4Abg	1,9	0,4	5	2,5	60	45	4	4,3	0,4	0	2,27	2,14	17,66	
4C'g1	0,6	0,4	2	1,8	67	52	4	5,0	0,3	0	2,19	2,09	20,41	
5C'g2	0,4	0,3	1	1,3	70	55	6	5,1	0,3	0	2,16	2,02	14,39	

Símbolo	Saturação por sódio %	Pasta saturada		Sais solúveis (extrato 1:5) cmol$_c$ kg^{-1}								Constantes hídricas dm^3 dm^{-3}		
		C. E. do extrato mS cm^{-1} 25ºC	Água %	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K$^+$	Na$^+$	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl$^-$	SO_4^{2-}	Retenção de água		Água disponível
												0,01 MPa	1,5 MPa	
Apg1	5											0,407	0,123	0,284
2Apg2	3													
3Cg	3											0,173	0,075	0,098
4Abg	3											0,153	0,077	0,076
4C'g1	3													
5C'g2	4													



Foto: José Francisco Lumbreras.



Figura 9.12. Fotografia do perfil AM-12 (A) e sua localização em imagem de satélite disponível no Google de 20/02/2024 (B) (Parintins, AM).

Perfil AM-15

Descrição geral

DATA DA DESCRIÇÃO – 21/10/2023

CLASSIFICAÇÃO (Santos et al., 2018) – GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/arenosa/siltosa, A fraco, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.

CLASSIFICAÇÃO (Santos et al., 2025) – NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico gleissólico, textura média/arenosa/siltosa, A fraco, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Perfil descrito em trincheira situada na Fazenda do Sr. Bigode, a cerca de 130 m a sudeste da sua sede, a 20 m da barranca do Paraná de Parintins e a 25 km a jusante da sede municipal. Ilha Vila Nova, município de Parintins, estado do Amazonas. Coordenadas: 02º 33’ 03,1 S e 56º 31’ 53,6” W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Planície fluvial (dique em borda de ilha) do Rio Amazonas, em local com 1 a 2% de declive, sob cobertura de pastagem natural e relativamente arborizada.

ALTITUDE – 20 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Sedimentos aluvionares arenossiltosos, Holoceno (Ferreira et al., 2006; IBGE, 2010a).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração dos sedimentos supracitados.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano e suave ondulado.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Imperfeita a moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta equatorial higrófila de várzea.

USO ATUAL – Sem uso agrícola no local (pasto natural).

CLIMA – Am, tropical chuvoso, segundo a classificação de Köppen (1936), subtipo Am3 (vide Capítulo 4).

DESCRITO E COLETADO POR – José Francisco Lumbreras, Virlei Álvaro de Oliveira, Raimundo Cosme Oliveira Junior, Jeferson Luís Vasconcelos de Macedo.

Descrição morfológica

Ag 0 - 4 (2 - 9) cm, bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2), mosqueado comum, médio e proeminente, vermelho-amarelado (5YR 4/6); francoarenosa; fraca pequena granular e blocos subangulares; ligeiramente dura a dura, friável, ligeiramente plástica a plástica e ligeiramente pegajosa a pegajosa; transição ondulada e abrupta.

2C 4 - 11 (9 - 14) cm, bruno-acinzentado a bruno (10YR 5/2,5), mosqueado abundante, pequeno e distinto, vermelho-amarelado (5YR 5/6); areia franca; fraca pequena blocos subangulares e laminar (herdada da deposição aluvionar); macia a ligeiramente dura, muito friável, não plástica a ligeiramente plástica e não pegajosa a ligeiramente pegajosa; transição ondulada e abrupta (0 - 12 cm).

3Cg 11 - 15 cm, bruno-acinzentado-escuro a bruno (10YR 4/2,5), mosqueado comum, médio e proeminente, vermelho (2,5YR 4/6); francossiltosa; fraca pequena blocos angulares e subangulares com aspecto maciço in situ; dura, firme, ligeiramente plástica a plástica e ligeiramente pegajosa a pegajosa; transição plana e abrupta.

4C 15 - 19 (16 - 20) cm, bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4), mosqueado comum, médio e proeminente, vermelho (2,5YR 4/6) e bruno-acinzentado a cinzento-brunado-claro (10YR 5,5/2); francossiltosa; fraca pequena blocos subangulares e laminar (herdada da deposição aluvionar); macia a ligeiramente dura, muito friável, não plástica a ligeiramente plástica e não pegajosa a ligeiramente pegajosa; transição ondulada e abrupta (1 - 5 cm).

5Abg 19 - 23 (19 - 25) cm, bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2), mosqueado comum, pequeno e proeminente, vermelho (2,5YR 4/6) e comum, grande e proeminente, vermelho (10R 4/6); francossiltosa; fraca a moderada pequena e média blocos subangulares e angulares; dura, firme, plástica e pegajosa; transição ondulada e abrupta (0 - 9 cm).

5Cg1 23 - 41 cm, cinzento-brunado-claro a bruno-claro-acinzentado (10YR 6/2,5), mosqueado comum, médio e proeminente, vermelho (2,5YR 4/6); francossiltosa; fraca a moderada pequena e média blocos angulares e subangulares; dura a ligeiramente dura, friável a firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

6Cg2 41 - 60 cm, cinzento a cinzento-brunado-claro (2,5Y 6/1,5), mosqueado abundante, médio e grande proeminente, vermelho (2,5YR 4/6); francossiltosa; moderada a forte pequena e média blocos angulares e subangulares; dura, firme, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e clara.

6Cg3 60 - 108 cm, cinzento (2,5Y 5,5/1), mosqueado abundante, médio e proeminente, bruno-avermelhado a vermelho-amarelado (5YR 5/5); francossiltosa; moderada a forte pequena e média blocos angulares e subangulares; muito dura, firme a muito firme, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e gradual.

7Cg4 108 - 145 cm, coloração variegada, composta de cinzento (7,5YR 6/1) e bruno a bruno-forte (7,5YR 4,5/5); francossiltosa; moderada pequena e média blocos subangulares e angulares; dura a muito dura, friável, plástica e pegajosa.

Tradagem:

7Cg4 145 - 190 cm, similar ao horizonte anterior.

7Cg5 190 - 225 cm^{+}, cinzento (10YR 6/1), mosqueado bruno (7,5YR 5/4); textura franco-argilossiltosa; plástica e pegajosa.

RAÍZES – Comuns, muito finas e finas e poucas médias no horizonte Ag; poucas a comuns muito finas e médias no 2C, 3Cg, 4C, 5Abg e 5Cg1; poucas muito finas no 6Cg2 e raras muito finas nos demais horizontes.

POROS – Poucos a comuns muito pequenos do Ag ao 5Abg; comuns a muitos muito pequenos e poucos pequenos e raros médios no 5Cg1; muitos muito pequenos, comuns pequenos e poucos médios no 6Cg2; muitos muito pequenos, comuns pequenos e médios no 6Cg3 e 6Cg4.

Observações:

- O perfil encontrava-se ligeiramente úmido por ocasião da descrição.
- Residentes locais relatam que apenas na última inundação houve deposição de cerca de 10 a 12 cm.
- Os dois horizontes superficiais, supostamente da última deposição aluvionar, contêm elevados conteúdos de areia fina e são denominados localmente de "terra de esmeril".
- Foram verificadas cinco camadas de sedimentação recente com espessura variável, chegando a 1 cm de espessura mínima, até 41 cm de profundidade.
- As camadas 2C e 4C mostram as linhas (planas e onduladas) indicativas das deposições sedimentares, como folhas e outros fragmentos vegetais não decompostos, assim como mosqueados com disposição horizontal.
- A drenagem foi caracterizada como moderada a imperfeitamente drenado até 41 cm, sendo imperfeitamente drenado a partir desta profundidade.
- Foi efetuada averiguação com utilização de trado a partir de 145 cm.
- O elevado valor de atividade de argila, da forma como é calculado, certamente indica que tem uma boa participação da CTC do silte.
- Este solo foi originalmente classificado como Neossolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, devido à sua condição de drenagem (imperfeita a moderadamente drenado), tendo em vista que os Gleissolos, por definição, são solos mal ou muito mal drenados.
- Segundo as alterações na classe dos Gleissolos na 6ª ed. do SiBCS (Santos et al., 2025), este solo deve ser classificado como Neossolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico.

Resultados analíticos

Perfil AM-15
Amostra de laboratório: 23.3554-3562
Número de campo: AM-15

Horizonte		Frações da amostra total g kg^{-1}			Composição granulométrica da terra fina g kg^{-1}				Argila dispersa em água g kg^{-1}	Grau de flocul. %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm^{-3}		Porosidade dm^3 100 dm^{-3}
Símbolo	Profund. cm	Calh. >20 mm	Casc. 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partíc.	
Ag	0 - 4	0	0	1000	5	627	328	40	20	51	8,10	1,20	2,36	49
2C	-11	0	0	1000	2	779	200	19	19	0	10,54	1,50	2,56	41
3Cg	-15	0	0	1000	1	262	629	107	61	43	5,88	1,22	2,58	53
4C	-19	0	0	1000	2	248	637	112	41	64	5,67		2,57	
5Abg	-23	0	0	1000	6	51	757	186	103	45	4,06	1,26	2,44	48
5Cg1	-41	0	0	1000	2	188	697	113	102	9	6,19	1,31	2,51	48
6Cg2	-60	0	0	1000	4	67	748	181	123	32	4,13	1,42	2,43	42
6Cg3	-108	0	0	1000	3	191	642	164	143	13	3,90	1,35	2,58	48
7Cg4	-145	0	0	1000	2	297	580	121	102	16	4,79	1,36	2,61	48

Símbolo	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol$_c$ kg^{-1}								Valor V %	Saturação por alumínio %	P disponível mg kg^{-1}
	Água	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	Valor S	Al^{3+}	H^+	Valor T			
Ag	5,5	4,9	4,6	1,9	0,52	0,07	7,1	0	2,6	9,7	73	0	68
2C	5,9	5,0	3,3	1,1	0,15	0,06	4,6	0	1,0	5,6	82	0	68
3Cg	5,2	4,6	7,9	2,8	0,28	0,11	11,1	0,1	3,5	14,7	76	1	67
4C	5,3	4,6	4,1	1,5	0,20	0,08	5,9	0,1	2,2	8,2	72	2	62
5Abg	4,8	4,2	9,8	3,6	0,28	0,15	13,8	0,4	7,1	21,3	65	3	39
5Cg1	5,9	5,0	7,4	3,2	0,18	0,12	10,9	0	2,0	12,9	84	0	61
6Cg2	5,1	4,3	7,6	3,1	0,25	0,15	11,1	0,2	3,5	14,8	75	2	44
6Cg3	5,4	4,5	6,5	2,6	0,17	0,12	9,4	0,1	2,3	11,8	80	1	32
7Cg4	5,5	4,5	6,5	3,0	0,16	0,12	9,8	0,1	2,3	12,2	80	1	37

Símbolo	C orgânico g kg^{-1}	N total g kg^{-1}	Relação C/N	C total g kg^{-1}	Ataque sulfúrico g kg^{-1}						Relações moleculares			Equivalente de $CaCO_3$ g kg^{-1}
					SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	SiO_2/Al_2O_3 (Ki)	SiO_2/R_2O_3 (Kr)	Al_2O_3/Fe_2O_3	
Ag	5,2	0,8	7	9,1	92	53	36	4,5	1,1	0,2	2,95	2,06	2,31	
2C	1,1	0,4	3	2,0	77	44	32	4,6	1,1	0,3	2,98	2,03	2,16	
3Cg	6,6	0,8	8	8,9	156	94	51	5,0	1,3	0,4	2,82	2,09	2,89	
4C	2,1	0,5	4	3,1	88	49	39	4,9	1,2	0,2	3,05	2,02	1,97	
5Abg	13,1	1,1	12	13,4	179	103	54	5,0	2,0	0,6	2,95	2,21	2,99	
5Cg1	3,5	0,8	4	6,4	178	97	53	4,8	1,3	0,6	3,12	2,31	2,87	
6Cg2	4,9	0,8	6	5,9	180	108	54	5,1	1,3	0,3	2,83	2,15	3,14	
6Cg3	3,6	0,6	6	4,0	131	83	48	3,8	1,0	0,4	2,68	1,96	2,71	
7Cg4	1,7	0,5	3	2,3	143	89	48	4,5	1,4	0,3	2,73	2,03	2,91	

Símbolo	Saturação por sódio %	Pasta saturada		Sais solúveis (extrato 1:5) cmol$_c$ kg^{-1}								Constantes hídricas dm^3 dm^{-3}		
		C. E. do extrato mS cm^{-1} 25ºC	Água %	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}	Retenção de água		Água disponível
												0,01 MPa	1,5 MPa	
Ag	<1											0,437	0,069	0,368
2C	1											0,435	0,024	0,411
3Cg	<1													
4C	<1													
5Abg	<1													
5Cg1	<1											0,535	0,127	0,408
6Cg2	1													
6Cg3	1											0,451	0,144	0,307
7Cg4	<1													

A



Foto: José Francisco Lumbreras.



B

Figura 9.13. Fotografia do perfil AM-15 (A) e sua localização em imagem de satélite disponível no Google de 10/10/2023 (B) (Parintins, AM).

Perfil AM-16

Descrição geral

DATA DA DESCRIÇÃO – 23/10/2023

CLASSIFICAÇÃO – GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa, A moderado, mesoendossolódico, Tma, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Perfil descrito em trincheira situada na Fazenda do Sr. Bigode, a cerca de 250 m a norte da sede, a 300 m da barranca do Paraná do Parintins e a 25 km a jusante da sede municipal. Ilha Vila Nova, município de Parintins, estado do Amazonas. Coordenadas: 02º 32’ 52,5 S e 56º 31’ 52,5” W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Várzea interna da planície de inundação (planície lagunar em ilha) do Rio Amazonas, com 0 a 2% de declive, sob vegetação de campo nativo.

ALTITUDE – 16 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Sedimentos aluvionares argilossiltosos, Holoceno (Ferreira et al., 2006; IBGE, 2010a).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração dos sedimentos supracitados.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Mal drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Campo tropical hidrófilo de várzea.

USO ATUAL – Pastagem natural.

CLIMA – Am, tropical chuvoso, segundo a classificação de Köppen (1936), subtipo Am3 (vide Capítulo 4).

DESCRITO E COLETADO POR – Virlei Álvaro de Oliveira, José Francisco Lumbreras, Raimundo Cosme Oliveira Junior, Jeferson Luís Vasconcelos de Macedo.

Descrição morfológica

Ag 0 - 4 cm, bruno (7,5YR 4/2), mosqueado comum, médio e proeminente, vermelho-escuro (10R 3/6) (nos canais de raízes); francossiltosa; moderada a forte grande prismática composta de fraca pequena blocos angulares e subangulares com aspecto maciço in situ; dura a muito dura, friável a firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara a gradual.

CAg 4 - 14 cm (11 - 16 cm), bruno (7,5YR 4,5/2), mosqueado comum, médio e proeminente, vermelho-escuro (10R 3/6) (nos canais de raízes e faces das estruturas); francossiltosa; moderada a forte grande e muito grande prismática composta de fraca pequena e média blocos angulares e subangulares com aspecto maciço in situ; dura a muito dura, friável a firme, plástica e pegajosa; transição ondulada e clara (7 - 11 cm).

2Abg 14 - 27 cm, cinzento-escuro (N 4/), mosqueado comum a abundante, médio e grande proeminente, vermelho-acinzentado (10R 4/4) (nos canais de raízes e faces das estruturas); franco-argilossiltosa; moderada a forte grande e muito grande prismática

composta de moderada média blocos angulares; dura a muito dura, firme a muito firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e clara.

2Cg 27 - 51 cm, coloração variegada, composta de cinzento-claro (N 7/), amarelo-avermelhado (6,5YR 6/6) e cinzento muito escuro (10YR 3/1), mosqueado raro, médio e distinto, preto (10YR 2/1) (de manganês); franco-argilossiltosa; moderada a forte média prismática composta de moderada a forte média blocos angulares; poucas a comuns superfícies de compressão; dura a muito dura, firme a muito firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e clara a gradual.

2 Cgn1 51 - 76 cm (64 - 72 cm), coloração variegada, composta de cinzento-claro (N 7/) e bruno a bruno-forte (7,5YR 5/5), mosqueado pouco a comum, médio e distinto, preto (10YR 2/1) (de manganês); francossiltosa; moderada grande prismática composta de moderada média e pequena blocos angulares e subangulares; dura a muito dura, firme a muito firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e clara a abrupta.

2Cgn2 76 - 119 cm, cinzento (N 6/), mosqueado comum a abundante, médio e grande proeminente, bruno a bruno-forte (7,5YR 5,5/6); franco-argilossiltosa; moderada média e grande prismática composta de moderada a forte pequena e média blocos angulares e subangulares; comuns superfícies de compressão; muito dura, firme a muito, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e gradual.

2Cgn3 119 - 155 cm, coloração variegada, composta de bruno a bruno-forte (7,5YR 5/5) e cinzento-claro (N 7/); francossiltosa; fraca média prismática composta de moderada pequena e média blocos angulares e subangulares; poucas a comuns superfícies de compressão; muito dura, firme, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa.

Tradagem:

2Cgn3 119 - 175 cm^{+}, similar ao anterior.

RAÍZES – Poucas a comuns muito finas e finas nos horizontes Ag e CAg; poucas a raras muito finas no 2Abg; raras muito finas no 2Cg, 2Cgn1 e 2Cgn2; ausentes no 2Cgn3.

POROS – Comuns poros muito pequenos, poucos pequenos e raros médios nos horizontes Ag e CAg; comuns muito pequenos e poucos pequenos no 2Abg; comuns muito pequenos, poucos a comuns pequenos e raros médios no 2Cg e 2Cgn1; comuns muito pequenos e poucos pequenos no 2Cgn2 e 2Cgn3.

Observações:

- Serrapilheira com 1 a 2 cm de espessura.
- Perfil ligeiramente úmido até o horizonte 2Cg e úmido abaixo por ocasião da sua descrição.
- Ocorrem comuns fendas na superfície e na parede da trincheira, com 1 a 2 cm de espessura, que se estendem até 50 cm de profundidade.
- Presença localizada de microrrelevo do tipo gilgai na superfície.
- Ocorrem mais fendas na superfície e maior ocorrência de relevo do tipo gilgai na medida em que se aproxima das áreas mais baixas da borda da lagoa, sugerindo a ocorrência de Vertissolos.
- A cor cinzenta muito escura (10YR 3/1) do horizonte 2Cg ocorre nas fendas e face das estruturas e deve-se a filmes de matéria orgânica.

- Raras ocorrências de *slickensides* no horizonte 2Cgn2.
- Houve sugestão de aprofundamento na definição do caráter vértico no SiBCS (Santos et al., 2018), assim como aplicação do sufixo “v” em alguns horizontes, como a seguir: Ag, CAvg, 2Abvg, 2Cg, 2Cng1, 2Cgn2, 2Cgn3.
- Não ocorre lençol freático até 220 cm de profundidade.

Resultados analíticos

Perfil AM-16
Amostra de laboratório: 23.3563-3569
Número de campo: AM-16

Horizonte		Frações da amostra total g kg^{-1}			Composição granulométrica da terra fina g kg^{-1}				Argila dispersa em água g kg^{-1}	Grau de flocul. %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm^{-3}		Porosidade dm^3 100 dm^{-3}
Símbolo	Profund. cm	Calh. >20 mm	Casc. 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partíc.	
Ag	0 - 4	0	0	1000	2	35	753	210	83	61	3,58	1,31	2,34	44
CAg	-14	0	0	1000	2	35	751	212	62	71	3,54	1,26	2,42	48
2Abg	-27	0	0	1000	4	19	613	364	209	43	1,69	1,35	2,42	44
2Cg	-51	0	0	1000	1	24	668	307	187	39	2,17	1,46	2,45	40
2Cgn1	-76	0	0	1000	14	86	706	195	166	15	3,63	1,47	2,56	43
2Cgn2	-119	0	0	1000	4	16	713	267	209	22	2,67	1,48	2,55	42
2Cgn3	-155	0	0	1000	10	53	742	195	187	4	3,81	1,40	2,56	45

Símbolo	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol$_c$ kg^{-1}								Valor V %	Saturação por alumínio %	P disponível mg kg^{-1}
	Água	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	Valor S	Al^{3+}	H^+	Valor T			
Ag	4,4	3,6	6,2	3,1	0,23	0,22	9,7	2,6	6,8	19,1	51	21	37
CAg	4,5	3,6	6,4	3,1	0,25	0,21	10,0	2,6	6,3	18,9	53	21	35
2Abg	4,7	3,5	7,7	5,7	0,19	0,51	14,1	2,2	9,2	25,5	55	13	6
2Cg	5,5	3,9	7,4	5,8	0,13	0,74	14,1	0,5	3,1	17,7	80	3	2
2Cgn1	7,3	5,1	8,2	7,1	0,08	1,40	16,8	0	1,0	17,8	94	0	4
2Cgn2	7,9	5,6	9,7	9,5	0,09	2,04	21,3	0	0,8	22,1	96	0	4
2Cgn3	8,2	5,8	9,6	8,6	0,09	1,83	20,1	0	0,5	20,6	98	0	12

Símbolo	C orgânico g kg^{-1}	N total g kg^{-1}	Relação C/N	C total g kg^{-1}	Ataque sulfúrico g kg^{-1}						Relações moleculares			Equivalente de $CaCO_3$ g kg^{-1}
					SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	SiO_2/Al_2O_3 (Ki)	SiO_2/R_2O_3 (Kr)	Al_2O_3/Fe_2O_3	
Ag	12,3	1,6	8	15,8	158	119	55	4,9	1,4	0,4	2,26	1,74	3,40	
CAg	11,8	1,6	7	16,2	198	126	56	4,8	1,3	0,4	2,67	2,08	3,53	
2Abg	12,3	1,9	6	18,4	178	141	46	4,8	0,8	0,3	2,15	1,78	4,81	
2Cg	3,1	0,8	4	4,7	172	120	62	4,7	0,5	0,2	2,44	1,83	3,04	
2Cgn1	1,3	0,5	3	1,7	169	113	58	4,9	0,8	0,4	2,54	1,92	3,06	
2Cgn2	1,1	0,4	3	1,8	173	143	53	4,9	0,6	0,6	2,06	1,66	4,24	
2Cgn3	1,6	0,4	4	1,4	179	130	59	5,0	1,1	0,1	2,34	1,82	3,46	

Símbolo	Saturação por sódio %	Pasta saturada		Sais solúveis (extrato 1:5) cmol$_c$ kg^{-1}								Constantes hídricas dm^3 dm^{-3}		
		C. E. do extrato mS cm^{-1} 25ºC	Água %	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}	Retenção de água		Água disponível
												0,01 MPa	1,5 MPa	
Ag	1											0,523	0,135	0,388
CAg	1													
2Abg	2											0,468	0,235	0,233
2Cg	4											0,458	0,226	0,232
2Cgn1	8	0,17	42			0,01	0,10							
2Cgn2	9	0,20	47			0,03	0,36					0,418	0,186	0,232
2Cgn3	9	0,16	42			0,01	0,14							



Foto: José Francisco Lumbreras.

A



B

Figura 9.14. Fotografia do perfil AM-16 (A) e sua localização em imagem de satélite disponível no Google de 10/10/2023 (B) (Parintins, AM).

Perfil PA-05

Descrição geral

DATA DA DESCRIÇÃO – 22/05/2023

CLASSIFICAÇÃO – LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Perfil descrito em trincheira situada no lado esquerdo da estrada 6, a cerca de 0,9 km após o cruzamento com a estrada 7, no sentido de quem vem de Belterra (vizinha à quadra de ILPF da Embrapa). Município de Belterra, estado do Pará. Coordenadas: 02° 41' 21,2" S e 54° 55' 26,1" W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Topo de platô, com 0 a 1% de declive, sob floresta alterada.

ALTITUDE – 171 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Sedimentos argilosos, Formação Alter do Chão, Cretáceo (Dino et al., 1999; IBGE, 2008a; Vasquez et al., 2008).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração dos sedimentos supracitados.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta equatorial perenifólia (com muitas castanheiras).

USO ATUAL – Área sob vegetação de floresta. Nas vizinhanças ocorre lavoura de milho (2ª safra) e cultivo experimental de espécies florestais (cumaru, mogno africano, andiroba).

CLIMA – Am, tropical chuvoso, segundo a classificação de Köppen (1936), subtipo Am3 (vide Capítulo 4).

DESCRITO E COLETADO POR – Virlei Álvaro de Oliveira, José Francisco Lumbreras, Maurício Rizzato Coelho, Raimundo Cosme Oliveira Junior, Luís Antônio Coutrim dos Santos, Maria do Rosário Lobato Rodrigues, Wenceslau Geraldes Teixeira, Nivaldo Nascimento de Carvalho.

Descrição morfológica

A1 0 - 8 cm, bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, úmido) e bruno-acinzentado-escuro a bruno-acinzentado (10YR 4,5/2, seco); muito argilosa; moderada a forte pequena e média granular e fraca a moderada pequena blocos subangulares; dura, friável a firme, muito plástica e muito pegajosa a pegajosa; transição plana e clara a gradual.

A2 8 - 27 cm, bruno (10YR 4/3) e bruno-amarelado-escuro a bruno-amarelado (10YR 4,5/4, seco); muito argilosa; moderada a forte pequena e média granular e fraca a moderada pequena blocos subangulares; dura, friável a firme, muito plástica e muito pegajosa a pegajosa; transição plana e clara a gradual.

BA 27 - 47 cm, amarelo-brunado a bruno-amarelado-claro (10YR 6/5); muito argilosa; moderada a forte pequena e muito pequena blocos subangulares e fraca muito pequena e pequena blocos angulares e granular; dura, friável a firme, muito plástica e muito pegajosa a pegajosa; transição plana e clara a gradual.

Bw1 47 - 72 cm, amarelo-brunado a amarelo-avermelhado (9YR 6/6); muito argilosa; moderada a forte pequena e muito pequena blocos subangulares e fraca muito pequena e pequena blocos angulares e granular; dura, friável a firme, muito plástica e muito pegajosa a pegajosa; transição plana e difusa.

Bw2 72 - 130 cm, amarelo-brunado a amarelo-avermelhado (9YR 6/8); muito argilosa; moderada a forte pequena e muito pequena blocos subangulares e fraca muito pequena e pequena granular e blocos angulares; dura, friável a firme, muito plástica e muito pegajosa a pegajosa; transição plana e difusa.

Bw3 130 - 190 cm^{+}, amarelo-brunado a amarelo-avermelhado (9YR 6/8); muito argilosa; moderada a forte muito pequena e pequena blocos subangulares e fraca muito pequena e pequena blocos angulares e granular; dura, friável, muito plástica e muito pegajosa a pegajosa.

RAÍZES – Comuns a muitas muito finas e finas, poucas a comuns médias e raras grossas nos horizontes A1 e A2; poucas a comuns muito finas e finas e raras médias no BA; poucas muito finas no Bw1; poucas muito finas e finas no Bw1; poucas muito finas e raras finas no Bw2 e Bw3.

POROS – Muitos poros muito pequenos e pequenos, comuns médios e raros grandes ao longo do perfil.

Observações:

- Serrapilheira com cerca de 2 cm de espessura.
- O solo estava úmido por ocasião da descrição morfológica.

Resultados analíticos

Perfil PA-05
Amostra de laboratório: 23.3012-3017
Número de campo: PA-05

Horizonte		Frações da amostra total g kg^{-1}			Composição granulométrica da terra fina g kg^{-1}				Argila dispersa em água g kg^{-1}	Grau de flocul. %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm^{-3}		Porosidade dm^3 100 dm^{-3}
Símbolo	Profund. cm	Calh. >20 mm	Casc. 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partíc.	
A1	0 - 8	0	0	1000	33	17	197	753	640	15	0,26	0,84	2,25	63
A2	-27	0	0	1000	12	8	155	825	164	80	0,19	1,07	2,55	58
BA	-47	0	0	1000	10	5	96	889	0	100	0,11	1,09	2,60	58
Bw1	-72	0	0	1000	10	6	69	915	0	100	0,08	1,13	2,52	55
Bw2	-130	0	0	1000	9	12	154	825	0	100	0,19	1,15	2,61	56
Bw3	-190	0	0	1000	9	31	214	745	0	100	0,29	1,13	2,47	54

Símbolo	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol$_c$ kg^{-1}								Valor V %	Saturação por alumínio %	P disponível mg kg^{-1}
	Água	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K$^+$	Na$^+$	Valor S	Al^{3+}	H$^+$	Valor T			
A1	4,2	3,6	1,1	0,5	0,09	0,06	1,7	1,4	10,1	13,2	13	45	7
A2	4,4	3,7	0,3		0,05	0,05	0,4	1,6	5,4	7,4	5	80	3
BA	4,3	3,8	0,2		0,03	0,05	0,3	1,3	3,4	5,0	6	81	1
Bw1	4,4	3,9	0,2		0,03	0,05	0,3	1,2	2,9	4,4	7	80	1
Bw2	4,5	4,0	0,1		0	0,05	0,1	1,1	2,5	3,7	3	92	0
Bw3	4,7	4,2	0,3		0	0,04	0,3	0,6	2,0	2,9	10	67	0

Símbolo	C orgânico g kg^{-1}	N total g kg^{-1}	Relação C/N	C total g kg^{-1}	Ataque sulfúrico g kg^{-1}						Relações moleculares			Equivalente de $CaCO_3$ g kg^{-1}
					SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	SiO_2/Al_2O_3 (Ki)	SiO_2/R_2O_3 (Kr)	Al_2O_3/Fe_2O_3	
A1	23,5	2,7	9	34,8	131	191	75	8,9	0,6	0,2	1,17	0,93	4,00	
A2	11,8	1,4	8	16,2	194	189	75	11,5	0,4	0,1	1,74	1,39	3,96	
BA	6,0	0,8	8	9,1	230	188	83	12,9	0,3	0	2,08	1,62	3,56	
Bw1	5,0	0,6	8	6,4	251	191	81	13,2	0,3	0	2,23	1,76	3,70	
Bw2	2,5	0,4	6	4,6	246	190	84	14,4	0,3	0	2,20	1,72	3,55	
Bw3	1,9	0,3	6	3,0	242	192	83	11,9	0,3	0	2,14	1,68	3,63	

Símbolo	Saturação por sódio %	Pasta saturada		Sais solúveis (extrato 1:5) cmol$_c$ kg^{-1}								Constantes hídricas dm^3 dm^{-3}		
		C. E. do extrato mS cm^{-1} 25ºC	Água %	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K$^+$	Na$^+$	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl$^-$	SO_4^{2-}	Retenção de água		Água disponível
												0,01 MPa	1,5 MPa	
A1	<1													
A2	<1													
BA	1													
Bw1	1													
Bw2	1													
Bw3	1													

Relação textural: 1,11



Foto: Virlei Álvaro de Oliveira.



Figura 9.15. Fotografia do perfil PA-05 (A) e sua localização em imagem de satélite disponível no Google de 02/11/2023 (B) (Belterra, PA).

Perfil PA-06

Descrição geral

DATA DA DESCRIÇÃO – 23/05/2023

CLASSIFICAÇÃO – NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico húmico, textura arenosa-média, álico, fase cerrado equatorial subcaducifólio, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Perfil descrito em trincheira situada no lado direito de estrada vicinal, a cerca de 10 km da rodovia Santarém-Alter do Chão, no sentido para Ponta de Pedras e a cerca de 0,75 km desta. Município de Santarém, estado do Pará. Coordenadas: 02° 26' 44,4" S e 54° 54' 49,6" W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço médio a terço superior de encosta suave, com 2 a 3% de declive, sob área recém-desmatada de cerrado arbóreo-arbustivo (loteamento).

ALTITUDE – 39 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Arenitos, Formação Alter do Chão, Cretáceo/Terciário, recobertos por sedimentos colúvio-aluvionares arenosos (Dino et al., 1999; IBGE, 2008a; Vasquez et al., 2008).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração dos sedimentos supracitados.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano e suave ondulado.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Fortemente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Cerrado equatorial subcaducifólio. Apresenta porte arbóreo-arbustivo, característica de solos arenosos, com espécies finas e eretas, que evidenciam vegetação nativa secundária.

USO ATUAL – Área de loteamento, recém-desmatado.

CLIMA – Am, tropical chuvoso, segundo a classificação de Köppen (1936), subtipo Am3 (vide Capítulo 4).

DESCRITO E COLETADO POR – Virlei Álvaro de Oliveira, José Francisco Lumbreras, Maurício Rizzato Coelho, Raimundo Cosme Oliveira Junior, Luís Antônio Coutrim dos Santos, Maria do Rosário Lobato Rodrigues, Wenceslau Geraldes Teixeira, Nivaldo Nascimento de Carvalho.

Descrição morfológica

A1 0 - 6 cm, cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmido e seco); areia franca; grãos simples e fraca muito pequena granular; solta, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

A2 6 - 22 cm, preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento muito escuro a cinzento-escuro (10YR 3,5/1, seco); areia franca; moderada muito pequena granular e grãos simples; solta, muito friável a solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

A3 22 - 52 cm, preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento muito escuro a cinzento-escuro (10YR 3,5/1, seco); areia franca; fraca muito pequena granular e grãos simples; solta, muito friável a solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

A4 52 - 89 cm, preto a cinzento muito escuro (10YR 2,5/1, úmido) e cinzento muito escuro a cinzento-escuro (10YR 3,5/1, seco); areia franca; fraca muito pequena granular e grãos simples; solta, muito friável a solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.

A5 89 - 125 cm, cinzento muito escuro a bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/1,5, úmido) e cinzento-escuro a bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/1,5, seco); areia franca; grãos simples e fraca muito pequena granular; solta, solta a muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.

AC 125 - 169 cm, bruno (7,5YR 4/2, úmido e 7,5YR 4/2,5, seco); areia franca; grãos simples e fraca muito pequena granular; solta, solta a muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.

C 169 - 205 cm^{+}, bruno a bruno-forte (7,5YR 5/5); areia franca; grãos simples e fraca muito pequena granular; solta, solta a muito friável, não plástica e não pegajosa.

RAÍZES – Muitas muito finas e finas, comuns médias e raras grossas no horizonte A1; muitas muito finas e finas, comuns médias e raras grossas no A2 e A3; comuns muito finas e finas e raras médias e grossas no A4 e A5; poucas a comuns muito finas e finas no AC; poucas muito finas e finas no C.

POROS – Muitos poros muito pequenos e pequenos e comuns médios nos horizontes A1 e A2; muitos muito pequenos e pequenos no restante do perfil.

Observações:

- Serrapilheira com cerca de 5 cm de espessura, sendo a parte superior constituída de folhas e pequenos ramos em decomposição, seguida de um "tapete" de raízes, com cerca de 3 cm de espessura.
- Horizonte A3 com partes mais claras e dispersas, como bolsões na massa do solo, cor cinzenta muito escura a cinzento-escura (10YR 3,5/1, úmido) e cinzento-escura a bruno-acinzentado-escura (10YR 4/1,5, seco), classe textural areia e predomínio de grãos simples (lembra horizonte mesclado). Não foram coletadas amostras dessas partes mais claras.
- Poucos a raros fragmentos muito pequenos de carvão ao longo do perfil.
- A proposta original dos descritores deste perfil de solo era classificá-lo como latossólico no 4º nível categórico, no entanto, não foi considerado adequado porque a classe textural areia franca não está no limite para francoarenosa e o horizonte C está abaixo da seção de controle estabelecida, que é de 150 cm a partir da superfície do solo.
- Foi sugerido que a seção de controle dos latossólicos no 4º nível categórico passasse de 150 para 200 cm a partir da superfície do solo para as classes dos Argissolos, Cambissolos Húmicos e Háplicos, Neossolos Quartzarênicos, Nitossolos e Plintossolos Pétricos Concrecionários.

Resultados analíticos

Perfil PA-06
Amostra de laboratório: 23.3018-3024
Número de campo: PA-06

Horizonte		Frações da amostra total g kg^{-1}			Composição granulométrica da terra fina g kg^{-1}				Argila dispersa em água g kg^{-1}	Grau de flocul. %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm^{-3}		Porosidade dm^3 100 dm^{-3}
Símbolo	Profund. cm	Calh. >20 mm	Casc. 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partíc.	
A1	0 - 6	0	2	998	744	113	48	95	0	100	0,51	0,98	2,49	61
A2	-22	0	3	997	739	134	46	81	0	100	0,57	1,04	2,53	59
A3	-52	0	8	992	726	147	47	80	20	75	0,59	1,33	2,56	48
A4	-89	0	7	993	793	98	26	83	40	52	0,31	1,41	2,47	43
A5	-125	0	11	989	723	155	35	87	60	31	0,40	1,48	2,60	43
AC	-169	0	14	986	745	139	35	81	80	1	0,43	1,45	2,62	45
C	-205	0	15	985	785	94	26	95	80	16	0,27	1,45	2,60[(1)]	44

Símbolo	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol$_c$ kg^{-1}								Valor V %	Saturação por alumínio %	P disponível mg kg^{-1}
	Água	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K$^+$	Na$^+$	Valor S	Al^{3+}	H$^+$	Valor T			
A1	4,5	3,7	0,1		0,06	0,06	0,2	2,3	11,9	14,4	1	92	8
A2	5,2	4,0	0,1		0,04	0,05	0,2	1,4	8,1	9,7	2	87	5
A3	5,2	4,2	0,1		0	0,04	0,1	1,0	6,0	7,1	1	91	1
A4	5,1	4,2	0,1		0	0	0,1	0,9	3,7	4,7	2	90	1
A5	5,2	4,3	0,1		0	0	0,1	0,7	3,6	4,4	2	87	1
AC	5,1	4,3	0,1		0	0	0,1	0,6	2,7	3,4	3	86	1
C	5,0	4,3	0,1		0	0	0,1	0,5	1,5	2,1	5	83	2

Símbolo	C orgânico g kg^{-1}	N total g kg^{-1}	Relação C/N	C total g kg^{-1}	Ataque sulfúrico g kg^{-1}						Relações moleculares			Equivalente de $CaCO_3$ g kg^{-1}
					SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	SiO_2/Al_2O_3 (Ki)	SiO_2/R_2O_3 (Kr)	Al_2O_3/Fe_2O_3	
A1	21,0	1,8	12	35,7	26	25	7	1,4	0,4	0	1,77	1,50	5,61	
A2	16,9	1,5	11	23,8	31	26	7	1,5	0,4	0	2,03	1,73	5,83	
A3	13,5	0,8	17	17,7	32	28	8	1,9	0,3	0	1,94	1,64	5,50	
A4	8,0	0,3	27	9,0	29	21	12	1,9	0,2	0	2,35	1,72	2,75	
A5	5,4	1,0	5	8,3	28	20	13	1,7	0,2	0	2,38	1,68	2,42	
AC	2,9	0,2	15	4,9	31	27	8	1,9	0,2	0	1,95	1,64	5,30	
C	1,5	0,7	2	2,1	39	25	8	2,3	0,2	0	2,65	2,20	4,91	

Símbolo	Saturação por sódio %	Pasta saturada		Sais solúveis (extrato 1:5) cmol$_c$ kg^{-1}								Constantes hídricas dm^3 dm^{-3}		
		C. E. do extrato mS cm^{-1} 25ºC	Água %	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K$^+$	Na$^+$	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl$^-$	SO_4^{2-}	Retenção de água		Água disponível
												0,01 MPa	1,5 MPa	
A1	<1													
A2	<1													
A3	<1													
A4	<1													
A5	<1													
AC	<1													
C	<1													

(1) Densidade dos cascalhos do horizonte C = 2,63 kg dm^{-3}.

A



Foto: Luis Antônio Coutrim dos Santos.



B

Figura 9.16. Fotografia do perfil PA-06 (A) e sua localização em imagem de satélite disponível no Google de 01/11/2023 (B) (Ponta de Pedras, PA).

Perfil PA-07

Descrição geral

DATA DA DESCRIÇÃO – 24/05/2023

CLASSIFICAÇÃO – LATOSSOLO AMARELO Distrófico húmico, textura muito argilosa, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Perfil descrito em trincheira situada no lado direito da estrada 7, a cerca de 6,0 km após o cruzamento com a estrada 2, no sentido de Belterra para a praia de Cajutuba. Município de Belterra, estado do Pará. Coordenadas: 02° 41' 17,0" S e 54° 59' 06,6" W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Topo plano de platô em interflúvio amplo, com 0 a 1% de declive, sob floresta alterada.

ALTITUDE – 142 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Sedimentos argilosos, Formação Alter do Chão, Cretáceo (Dino et al., 1999; IBGE, 2008a; Vasquez et al., 2008).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração dos sedimentos supracitados.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta equatorial perenifólia (com muitas castanheiras).

USO ATUAL – Área sob vegetação de floresta. Nas vizinhanças ocorrem pequenas lavouras de milho e mandioca.

CLIMA – Am, tropical chuvoso, segundo a classificação de Köppen (1936), subtipo Am3 (vide Capítulo 4).

DESCRITO E COLETADO POR – Virlei Álvaro de Oliveira, José Francisco Lumbreras, Maurício Rizzato Coelho, Raimundo Cosme Oliveira Junior, Luís Antônio Coutrim dos Santos, Maria do Rosário Lobato Rodrigues, Wenceslau Geraldes Teixeira, Nivaldo Nascimento de Carvalho.

Descrição morfológica

A1 0 - 15 cm, preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento-escuro (10YR 4/1, seco); muito argilosa; forte pequena, média e grande em grumos e granular; ligeiramente dura a dura, friável a firme, muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e clara.

A2 15 - 27 cm, preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento-escuro (10YR 4/1, seco); muito argilosa; forte pequena e média granular; ligeiramente dura a dura, friável a firme, muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e clara.

A3 27 - 40 cm, preto a cinzento muito escuro (10YR 2,5/1, úmido) e cinzento a bruno-acinzentado (10YR 5/1,5, seco); muito argilosa; moderada a forte pequena e média granular; ligeiramente dura a dura, friável a firme, muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e clara.

A4 40 - 58 cm, bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seco); muito argilosa; aspecto maciço que se desfaz em moderada a fraca pequena e muito pequena granular e fraca pequena blocos subangulares; ligeiramente dura a dura, friável, muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e gradual.

A5 58 - 78 cm, bruno-acinzentado-escuro a bruno (10YR 4/2,5, úmido) e bruno (7,5YR 5/2,5, seco); muito argilosa; aspecto maciço que se desfaz em moderada a fraca pequena e muito pequena granular e fraca pequena blocos subangulares; ligeiramente dura a dura, friável, muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e clara.

AB 78 - 97 cm (91 - 101 cm), bruno-amarelado (10YR 5/4, úmido) e amarelo-brunado (10YR 6/5, seco), mosqueado abundante, médio e grande distinto, cinzento-escuro a bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/1,5); muito argilosa; moderada a fraca pequena granular e blocos subangulares; ligeiramente dura a dura, friável, muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição ondulada e clara (13 - 23 cm).

BA 97 - 137 cm (129 - 156 cm), bruno-amarelado a amarelo-avermelhado (9YR 6/6), mosqueado comum, médio e grande distinto, bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2); muito argilosa; moderada pequena e muito pequena blocos subangulares e moderada pequena granular; dura, friável, muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição ondulada e gradual (38 - 65 cm).

Bw 137 - 165 cm, amarelo-brunado a amarelo-avermelhado (9YR 6/8); muito argilosa; moderada pequena e média blocos subangulares e moderada a fraca pequena e muito pequena granular; dura, friável, muito plástica e pegajosa a muito pegajosa.

Tradagem:

Bw 165 - 200 cm^{+}, similar ao horizonte anterior.

RAÍZES – Muitas muito finas e finas, comuns médias e raras grossas nos horizontes A1, A2 e A3; comuns a muitas muito finas, comuns finas, poucas médias e raras grossas no A4, A5 e AB; poucas a comuns muito finas, poucas finas e raras médias no BA; poucas muito finas no Bw.

POROS – Muitos poros muito pequenos e pequenos, comuns médios e poucos grandes nos horizontes A1, A2 e A3; muitos muito pequenos e pequenos e poucos médios A4 e A5; muitos muito pequenos e pequenos, poucos grandes e raros muito grandes no AB; muitos muito pequenos, comuns pequenos e poucos médios no BA; muitos muito pequenos, poucos pequenos e raros médios no Bw.

Observações:

- Serrapilheira com 2 a 3 cm de espessura.
- O horizonte A assemelha-se a horizonte A antrópico, no entanto, não apresenta os atributos que caracterizam tal horizonte.
- Poucos fragmentos de cerâmica na parte superficial do solo e nas proximidades do perfil e raros no horizonte A1.

- Poucos fragmentos de material com cor avermelhada (cor de cerâmica) nos horizontes A5, AB e BA, duros a muito duros, com formato irregular, localizados em pontos do lado esquerdo da parede onde foi descrito o perfil.
- Poucos fragmentos pequenos de carvão nos horizontes A5 a AB.
- Os mosqueados nos horizontes AB e BA são resultantes da mistura dos horizontes A e B pela atividade biológica.
- Parte da equipe de descritores do perfil sugere que este solo deva ser classificado como espesso-húmico no 4º nível categórico, embora não atenda ao critério de teor de carbono maior ou igual a 10 g kg^{-1} até 80 cm ou mais de profundidade.
- O horizonte Bw foi coletado para análise de rotina na profundidade de 137 a 200 cm, exceto as amostras em anel volumétrico para determinações de densidade do solo e retenção de água.

Resultados analíticos

Perfil PA-07
Amostra de laboratório: 23.3025-3032
Número de campo: PA-07

Horizonte		Frações da amostra total g kg^{-1}			Composição granulométrica da terra fina g kg^{-1}				Argila dispersa em água g kg^{-1}	Grau de flocul. %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm^{-3}		Porosidade dm^3 100 dm^{-3}
Símbolo	Profund. cm	Calh. >20 mm	Casc. 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partíc.	
A1	0 - 15	0	1	999	31	26	269	675	529	22	0,40	0,76	2,36	68
A2	-27	0	0	1000	19	24	349	608	567	7	0,58	0,89	2,42	63
A3	-40	0	0	1000	19	26	220	735	480	35	0,30	0,98	2,48	61
A4	-58	0	2	998	16	17	140	827	0	100	0,17	0,96	2,38	60
A5	-78	0	0	1000	15	17	119	849	0	100	0,14	0,93	2,43	62
AB	-97	0	0	1000	14	14	99	874	0	100	0,11	1,03	2,46	58
BA	-137	0	0	1000	11	14	160	816	0	100	0,20	1,05	2,47	57
Bw	-200	0	0	1000	12	27	173	788	0	100	0,22	1,05	2,55	59

Símbolo	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol$_c$ kg^{-1}								Valor V %	Saturação por alumínio %	P disponível mg kg^{-1}
	Água	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K$^+$	Na$^+$	Valor S	Al^{3+}	H$^+$	Valor T			
A1	4,6	3,9	2,0	0,7	0,10	0,06	2,9	2,1	19,9	24,9	12	42	3
A2	4,7	4,0	0,4		0,04	0,05	0,5	1,6	15,5	17,6	3	76	1
A3	4,6	4,0	0,2		0,04	0,05	0,3	2,4	12,9	15,6	2	89	1
A4	4,6	4,0	0,1		0,03	0	0,1	2,0	9,3	11,4	1	95	0
A5	4,5	4,0	0,1		0	0	0,1	1,8	7,4	9,3	1	95	0
AB	4,6	4,0	0,1		0	0	0,1	1,3	5,1	6,5	2	93	0
BA	4,6	4,1	0,1		0	0	0,1	1,0	4,1	5,2	2	91	0
Bw	4,7	4,3	0,1		0	0	0,1	0,6	2,8	3,5	3	86	0

Símbolo	C orgânico g kg^{-1}	N total g kg^{-1}	Relação C/N	C total g kg^{-1}	Ataque sulfúrico g kg^{-1}						Relações moleculares			Equivalente de $CaCO_3$ g kg^{-1}
					SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	SiO_2/Al_2O_3 (Ki)	SiO_2/R_2O_3 (Kr)	Al_2O_3/Fe_2O_3	
A1	33,6	4,1	8	61,0	235	191	48	9,9	0,7	0	2,09	1,80	6,25	
A2	28,5	2,6	11	42,6	196	197	55	10,1	0,6	0	1,69	1,43	5,62	
A3	24,2	2,0	12	33,9	196	193	54	10,2	0,5	0	1,73	1,46	5,61	
A4	16,4	1,3	13	22,4	231	191	61	11,4	0,5	0	2,06	1,71	4,92	
A5	13,1	0,9	15	15,7	191	190	55	14,9	0,4	0	1,71	1,44	5,42	
AB	7,7	0,7	11	11,6	241	189	55	13,3	0,4	0	2,17	1,83	5,40	
BA	5,4	0,5	11	7,0	279	189	56	13,4	0,4	0	2,51	2,11	5,30	
Bw	3,5	0,5	7	4,8	225	190	59	12,6	0,3	0	2,01	1,68	5,06	

Símbolo	Saturação por sódio %	Pasta saturada		Sais solúveis (extrato 1:5) cmol$_c$ kg^{-1}								Constantes hídricas dm^3 dm^{-3}		
		C. E. do extrato mS cm^{-1} 25ºC	Água %	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K$^+$	Na$^+$	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl$^-$	SO_4^{2-}	Retenção de água		Água disponível
												0,01 MPa	1,5 MPa	
A1	<1													
A2	<1													
A3	<1													
A4	<1													
A5	<1													
AB	<1													
BA	<1													
Bw	<1													

Relação textural: 1,05

Foto: José Francisco Lumbreras.

A





B

Figura 9.17. Fotografia do perfil PA-07 (A) e sua localização em imagem de satélite disponível no Google de 02/11/2023 (B) (Belterra, PA).

Perfil PA-13

Descrição geral

DATA DA DESCRIÇÃO – 20/10/2023

CLASSIFICAÇÃO – GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa/siltosa, A moderado, endossódico, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Perfil descrito em trincheira situada na Fazenda São Joaquim, a cerca de 60 m a sudoeste da sua sede, a 90 m da margem direita do Rio Amazonas e a cerca de 47 km a jusante da cidade de Parintins. Município de Juruti, estado do Pará. Coordenadas: 02º 23' 10,6 S e 56º 24' 43,1" W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Planície fluvial (barra de acreção) do Rio Amazonas, em local com 0 a 2% de declive, sob pastagem de capim mori (*Paspalum*).

ALTITUDE – 16 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Sedimentos aluvionares argilossiltosos, Holoceno (Ferreira et al., 2006; IBGE, 2010a).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração dos sedimentos supracitados.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano e suave ondulado.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Mal a imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta equatorial higrófila de várzea.

USO ATUAL – Pastagem nativa, com predomínio de capim-mori (*Paspalum fasciculatum*) (houve cultivo de milho nas proximidades).

CLIMA – Am, tropical chuvoso, segundo a classificação de Köppen (1936), subtipo Am3 (vide Capítulo 4).

DESCRITO E COLETADO POR – Virlei Álvaro de Oliveira, José Francisco Lumbreras, Raimundo Cosme Oliveira Junior, Jeferson Luís Vasconcelos de Macedo.

Descrição morfológica

Apg 0 - 5 cm, bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, úmido) e cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seco), mosqueado comum, médio e pequeno distinto a proeminente, vermelho-amarelado (5YR 5/6) (em poros de raízes); argilossiltosa; moderada grande prismática composta de moderada a forte pequena e média blocos angulares e subangulares; muito dura, firme a muito firme, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e clara.

2CAg 5 - 15 cm, bruno-acinzentado a cinzento-brunado-claro (10YR 5,5/2, úmido) e cinzento-claro (10YR 7/2, seco), mosqueado comum, médio e proeminente, vermelho (2,5YR 4/8) (em poros de raízes); francossiltosa; moderada grande e muito grande prismática composta de fraca a moderada pequena e média blocos angulares e subangulares; muito dura, firme a muito firme, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e clara.

2Cg1 15 - 32 cm, bruno-acinzentado (10YR 5/2), mosqueado abundante, médio e grande proeminente, vermelho (2,5YR 4/6) (em poros de raízes e nas faces das estruturas); francossiltosa; moderada média e grande prismática composta de moderada pequena e média blocos angulares e subangulares; muito dura, firme a muito firme, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e clara a gradual.

2Cg2 32 - 55 cm, cinzento a cinzento-brunado-claro (10YR 6/1,5, úmido), mosqueado abundante, pequeno e médio proeminente, vermelho (2,5YR 4/6) e amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6); francossiltosa; moderada média e grande prismática composta de moderada média blocos angulares e subangulares; muito dura, firme a muito firme, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e clara.

3Cgn1 55 - 69 cm, cinzento (N 5/, úmido), mosqueado comum, pequeno e médio proeminente, vermelho (2,5YR 4/6) e bruno-amarelado-claro a amarelo-brunado (10YR 6/5); franco-argilossiltosa; moderada média e grande prismática composta de moderada média blocos angulares e subangulares; muito dura, firme a muito firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e clara.

3Cgn2 69 - 101 cm, cinzento a cinzento-claro (N 6,5/), mosqueado abundante, médio e grande proeminente, bruno-amarelado-claro a amarelo-brunado (10YR 6/5); franco-argilossiltosa; moderada média e grande prismática composta de moderada média blocos angulares e subangulares; muito dura, firme a muito firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e gradual a difusa.

3Cgn3 101 - 145 cm, cinzento a cinzento-claro (N 6,5/), mosqueado abundante, médio e proeminente, bruno-amarelado (10YR 5/5) e pouco, grande e distinto, cinzento-escuro a cinzento (7,5YR 4,5/1); franco-argilossiltosa; moderada média e grande prismática composta de moderada média blocos angulares e subangulares; muito dura, firme a muito firme, muito plástica e muito pegajosa.

Tradagem:

3Cgn 145 - 185 cm, similar ao anterior.

3Cgn4 185 - 220 cm^{+}, coloração variegada, composta de bruno-amarelado-escuro (10YR 4/6) e cinzento a cinzento-claro (N 6,5/); franco-argilossiltosa; muito plástica e muito pegajosa.

RAÍZES – Poucas muito finas nos horizontes Apg, 2CAg e 2Cg1; raras muito finas no 2Cg2, 3Cgn1 e 3Cgn2; ausentes no 3Cgn3.

POROS – Comuns pequenos e poucos pequenos e médios no Apg e 2CAg; comuns a muitos muito pequenos e poucos pequenos e médios no 2Cg1; comuns a muitos muito pequenos e poucos pequenos nos demais horizontes.

Observações:

- Por ocasião da descrição, o perfil encontrava-se seco até 15 cm de profundidade, ligeiramente úmido de 15 a 55 cm e úmido a partir de 55 cm.
- Ligeiramente compactado na superfície do solo.
- Presença de poucas a comuns fendas verticais com 0,5 a 1 cm de largura que se estendem até cerca de 15 cm de profundidade. Algumas poucas fendas estão presentes abaixo desta profundidade e apresentam inclinação em relação à superfície.
- Atividade biológica em comum quantidade nos horizontes Apg, 2CAg e 2Cg1.
- Poucas pontuações e manchas pequenas (filmes) de manganês no 3Cgn3, poucas a comuns no 3Cgn1 e raras no 2Cg2 e 3Cgn2.
- Poucas ocorrências de material claro na face de alguns blocos do horizonte 3Cgn3 (suspeita de sais ou sódio).
- Houve dúvida se o solo deveria ser classificado como vertissólico no 4º nível categórico.
- Foi efetuada averiguação com utilização de trado a partir de 145 cm de profundidade.
- Não foi encontrado lençol freático até 220 cm de profundidade.
- Espécies vegetais ocorrentes na mata próxima e que, segundo informação local, existiam onde se descreveu o perfil: marizeiro, munguba, araçá, castanha-de-macaco, jauari (palmeira).

Resultados analíticos

Perfil PA-13
Amostra de laboratório: 23.3539-3545
Número de campo: PA-13

Horizonte		Frações da amostra total g kg^{-1}			Composição granulométrica da terra fina g kg^{-1}				Argila dispersa em água g kg^{-1}	Grau de flocul. %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm^{-3}		Porosidade dm^3 100 dm^{-3}
Símbolo	Profund. cm	Calh. >20 mm	Casc. 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partíc.	
Apg	0 - 5	0	0	1000	2	11	574	413	230	44	1,39	1,13	2,37	52
2CAg	-15	0	0	1000	2	26	710	262	145	45	2,72	1,48	2,53	41
2Cg1	-32	0	0	1000	2	22	750	226	165	27	3,32	1,46	2,57	43
2Cg2	-55	0	0	1000	7	23	716	254	166	35	2,81	1,44	2,59	45
3Cgn1	-69	0	0	1000	13	29	645	313	271	14	2,06	1,43	2,52	44
3Cgn2	-101	0	0	1000	4	12	699	285	249	13	2,45	1,47	2,56	43
3Cgn3	-145	0	0	1000	12	13	674	302	272	10	2,23	1,42	2,55	44

Símbolo	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol$_c$ kg^{-1}								Valor V %	Saturação por alumínio %	P disponível mg kg^{-1}
	Água	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	Valor S	Al^{3+}	H^+	Valor T			
Apg	4,6	3,9	7,1	3,7	0,38	0,27	11,4	3,5	8,8	23,7	48	23	39
2CAg	4,6	3,9	5,9	3,8	0,16	0,24	10,1	3,1	4,6	17,8	57	23	37
2Cg1	5,2	4,1	7,9	3,9	0,14	0,41	12,3	0,9	3,3	16,5	75	7	32
2Cg2	5,3	4,1	7,8	4,1	0,13	0,75	12,8	0,7	3,0	16,5	78	5	12
3Cgn1	5,4	4,0	8,4	5,1	0,07	1,27	14,8	0,8	3,7	19,3	77	5	6
3Cgn2	5,5	4,0	6,0	4,4	0,09	1,92	12,4	1,2	3,2	16,8	74	9	3
3Cgn3	7,6	5,7	7,6	7,5	0,10	4,36	19,6	0	1,4	21,0	93	0	5

Símbolo	C orgânico g kg^{-1}	N total g kg^{-1}	Relação C/N	C total g kg^{-1}	Ataque sulfúrico g kg^{-1}						Relações moleculares			Equivalente de $CaCO_3$ g kg^{-1}
					SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	SiO_2/Al_2O_3 (Ki)	SiO_2/R_2O_3 (Kr)	Al_2O_3/Fe_2O_3	
Apg	20,7	2,9	7	29,8	242	143	54	5,3	1,6	0,4	2,88	2,32	4,16	
2CAg	7,2	1,6	5	10,6	205	130	55	7,8	1,3	0,3	2,68	2,11	3,71	
2Cg1	4,3	1,4	3	5,6	208	127	56	5,7	1,2	0,4	2,78	2,17	3,56	
2Cg2	3,3	0,8	4	3,7	203	138	59	4,7	1,0	0,5	2,50	1,97	3,67	
3Cgn1	3,9	0,7	6	4,6	240	149	54	6,5	0,8	0,4	2,74	2,22	4,33	
3Cgn2	2,4	0,7	3	3,2	222	142	55	4,9	0,7	0,3	2,66	2,13	4,05	
3Cgn3	1,2	0,5	2	1,8	246	158	56	8,0	0,8	0,4	2,65	2,16	4,43	

Símbolo	Saturação por sódio %	Pasta saturada		Sais solúveis (extrato 1:5) cmol$_c$ kg^{-1}								Constantes hídricas dm^3 dm^{-3}		
		C. E. do extrato mS cm^{-1} 25ºC	Água %	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}	Retenção de água		Água disponível
												0,01 MPa	1,5 MPa	
Apg	1											0,480	0,235	0,245
2CAg	1											0,393	0,163	0,230
2Cg1	2													
2Cg2	5											0,432	0,19	0,242
3Cgn1	7	0,36	52			0,07	0,01							
3Cgn2	11	0,40	51			0,04	0,01					0,394	0,224	0,170
3Cgn3	21	0,31	48			0,01	0,26							

A



Foto: José Francisco Lumbreras.



B

Figura 9.18. Fotografia do perfil PA-13 (A) e sua localização em imagem de satélite disponível no Google de 20/08/2021 (B) (Juruti, PA).

Perfil PA-14

Descrição geral

DATA DA DESCRIÇÃO – 21/10/2023

CLASSIFICAÇÃO – VERTISSOLO HIDROMÓRFICO Órtico solódico, textura argilosa/siltosa, A fraco, endossolódico, eutrófico, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Perfil descrito em trincheira situada na Fazenda São Joaquim, a cerca de 200 m a sudeste da sua sede e de 250 m da margem direita do Rio Amazonas, aproximadamente a 47 km a jusante da cidade de Parintins. Município de Juruti, estado do Pará. Coordenadas: 02º 23’ 13,4 S e 56º 24’ 38,0” W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Várzea interna da planície de inundação (planície lagunar) do Rio Amazonas, em local com 0 a 2% de declive, sob vegetação de pastagem nativa.

ALTITUDE – 13 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Sedimentos aluvionares argilossiltosos, Holoceno (Ferreira et al., 2006; IBGE, 2010a).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração dos sedimentos supracitados.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano com microrrelevo do tipo gilgai.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Mal drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Campo equatorial hidrófilo de várzea.

USO ATUAL – Pastagem natural, com ocorrência de capim-mori (*Paspalum fasciculatum*) e outras gramíneas. Presença de bosques de mungubeira (*Pseudobombax munguba*) nas proximidades.

CLIMA – Am, tropical chuvoso, segundo a classificação de Köppen (1936), subtipo Am3 (vide Capítulo 4).

DESCRITO E COLETADO POR – Virlei Álvaro de Oliveira, José Francisco Lumbreras, Raimundo Cosme Oliveira Junior, Jeferson Luís Vasconcelos de Macedo.

Descrição morfológica

A 0 - 3 cm, bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seco); argilossiltosa; moderada pequena e média granular; macia a ligeiramente dura, friável a muito friável, plástica e pegajosa; transição plana e abrupta.

2CAvg 3 - 20 cm, cinzento (10YR 5/1, úmido) e cinzento-claro (10YR 7/1, seco), mosqueado comum, pequeno e proeminente, vermelho (2,5YR 5/6) (nos poros de raízes) e pouco a comum, grande e proeminente, bruno (7,5YR 4/4) (na face das estruturas); argilossiltosa; forte muito grande e grande prismática composta de forte média e grande blocos angulares, poucas médias cuneiformes e comuns grandes paralelepipédicas (aspecto maciço in situ); comuns superfícies de compressão e poucas superfícies de fricção; muito

dura a extremamente dura, muito firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e clara.

2Cvg1 20 - 43 cm, cinzento a cinzento-claro (N 6,5/), mosqueado abundante, pequeno e proeminente, vermelho (2,5YR 4/8) e abundante, médio e distinto, bruno (7,5YR 5/4); argilossiltosa; moderada a forte média prismática composta de moderada a forte média e pequena blocos angulares; comuns superfícies de compressão e poucas a comuns superfícies de fricção; muito dura a extremamente dura, muito firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e clara a gradual.

2Cvg2 43 - 71 cm, cinzento (N 6/), mosqueado comum a abundante, médio e proeminente, bruno-amarelado-claro a amarelo-brunado (10YR 6/5) e pouco, pequeno e médio distinto, vermelho (2,5YR 4/6); franco-argilossiltosa; moderada a forte grande a muito grande prismática composta de forte média e pequena blocos angulares; comuns superfícies de compressão e de fricção; muito dura a extremamente dura, muito firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e clara a gradual.

2Cvg3 71 - 113 cm, cinzento (N 5,5/), mosqueado comum a abundante, médio e grande distinto, bruno-amarelado (10YR 5/5) e comum, médio e proeminente, bruno-escuro (7,5YR 4/4) e vermelho-claro (2,5YR 7/6); franco-argilossiltosa; moderada a forte grande a muito grande prismática composta de forte média blocos angulares; comuns a muitas superfícies de compressão e de fricção; muito dura a extremamente dura, muito firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e clara a gradual.

2Cvgn 113 - 150 cm, cinzento (N 6/), mosqueado abundante, médio e proeminente, bruno-amarelado (10YR 5/4); argilossiltosa; moderada a forte grande e muito grande prismática composta de forte média blocos angulares; muitas superfícies de compressão e de fricção; muito dura a extremamente dura, muito firme, muito plástica e muito pegajosa.

Tradagem:

2C'vg1 150 - 170 cm, cinzento (N 6/), mosqueado abundante, bruno-amarelado (10YR 5/4); franco-argilossiltosa; muito plástica e muito pegajosa. Ocorrência de poucas concreções carbonáticas, com menos de 1cm de diâmetro.

2C'vg2 170 - 205 cm, cinzento-esverdeado-claro (5BG 7/1), mosqueado abundante, bruno-amarelado-claro a amarelo-brunado (10YR 6/5); franco-argilossiltosa; plástica a muito plástica e pegajosa. Ocorrência de poucas concreções carbonáticas, com menos de 1cm de diâmetro.

3Cg 205 - 230 cm^{+}, bruno (10YR 5/3), mosqueado comum, bruno-avermelhado (5YR 5/4); francoarenosa micácea; ligeiramente plástica a ligeiramente pegajosa. Ocorrência de poucas concreções carbonáticas, com menos de 1cm de diâmetro.

RAÍZES – Muitas muito finas no horizonte A; poucas a comuns muito finas no 2CAvg e 2Cvg1; raras muito finas no 2Cvg2 e 2Cvg3; ausentes no 2Cvgn.

POROS – Comuns a muitos muito pequenos e poucos pequenos no A; poucos a comuns muito pequenos no 2CAvg; comuns muito pequenos e poucos pequenos no 2Cvg1; comuns muito pequenos nos demais horizontes.

Observações:

- Ocorre serrapilheira de cerca de 2 cm sobre o perfil.
- Horizonte A supostamente oriundo de sedimentação mais recente.
- Ocorrência de fendas com 2 a 3 cm de largura, em comum quantidade, que se aprofundam até cerca de 50 cm a partir da superfície.
- Solo bem característico, com formação de estruturas cuneiformes e paralelepipédicas nas proximidades das fendas maiores.
- Poucas concreções carbonáticas, com menos de 1 cm de diâmetro, a partir de 150 cm de profundidade.
- Questionou-se se a seção de controle, para caracterização do grupamento textural no caso dos solos de várzea, não deveria ser de 150 cm.
- Houve proposta para a nomenclatura dos horizontes como segue: Ap Ag, 2BAvg, 2Bivg1, 2Bivg2, 2Bivg3, 2Bivgn, 2Cvg1, 2Cvg2, 3Cg.
- Foi efetuada averiguação com utilização de trado a partir de 150 cm de profundidade.
- Não foi verificada a ocorrência de lençol freático até 230 cm de profundidade.
- O pasto natural é constituído principalmente de capim-mori.

Resultados analíticos

Perfil PA-14
Amostra de laboratório: 23.3546-3553
Número de campo: PA-14

Horizonte		Frações da amostra total g kg^{-1}			Composição granulométrica da terra fina g kg^{-1}				Argila dispersa em água g kg^{-1}	Grau de flocul. %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm^{-3}		Porosidade dm^3 100 dm^{-3}
Símbolo	Profund. cm	Calh. >20 mm	Casc. 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partíc.	
A	0 - 3	0	0	1000	21	18	426	534	257	52	0,80	1,14	2,30	50
2CAvg	-20	0	0	1000	3	18	484	495	190	62	0,98	1,45	2,64	45
2Cvg1	-43	0	0	1000	2	4	620	374	0	100	1,66	1,30	2,53	49
2Cvg2	-71	0	0	1000	5	13	564	418	0	100	1,35	1,40	2,55	45
2Cvg3	-113	0	1	999	9	17	587	388	381	2	1,51	1,38	2,41	43
2Cvgn	-150	0	0	1000	8	16	562	414	414	0	1,36	1,38	2,46	44
2C'vg1	-170	0	18	982	13	16	671	299	126	58	2,24		2,54[(1)]	
2C'vg2	-205	0	10	990	19	23	652	306	306	0	2,13		2,59	

Símbolo	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol$_c$ kg^{-1}								Valor V %	Saturação por alumínio %	P disponível mg kg^{-1}
	Água	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	Valor S	Al^{3+}	H^+	Valor T			
A	4,3	4,0	11,7	6,4	0,68	0,58	19,4	1,5	15,9	36,8	53	7	17
2CAvg	4,7	3,8	9,6	6,6	0,31	0,39	16,9	1,6	5,4	23,9	71	9	6
2Cvg1	4,8	3,8	7,0	6,2	0,20	0,76	14,2	1,3	3,5	19,0	75	8	2
2Cvg2	5,2	4,0	7,5	8,4	0,18	0,82	16,9	0,4	2,8	20,1	84	2	1
2Cvg3	6,9	5,6	9,3	14,1	0,13	1,32	24,8	0	1,1	25,9	96	0	1
2Cvgn	7,7	6,3	10,4	15,8	0,10	1,58	27,9	0	0,5	28,4	98	0	1
2C'vg1	8,2	7,2	10,1	10,2	0,11	1,17	21,6	0	0	21,6	100	0	3
2C'vg2	8,2	7,1	11,9	10,4	0,13	1,24	23,7	0	0	23,7	100	0	7

Símbolo	C orgânico g kg^{-1}	N total g kg^{-1}	Relação C/N	C total g kg^{-1}	Ataque sulfúrico g kg^{-1}						Relações moleculares			Equivalente de $CaCO_3$ g kg^{-1}
					SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	SiO_2/ Al_2O_3 (Ki)	SiO_2/ R_2O_3 (Kr)	Al_2O_3/ Fe_2O_3	
A	16,2	7,1	2	76,5	269	158	51	5,4	1,6	0,4	2,89	2,40	4,86	
2CAvg	8,4	1,1	8	12,1	278	176	47	5,6	0,8	0,2	2,69	2,29	5,88	
2Cvg1	2,3	0,7	3	4,4	251	162	54	4,6	0,5	0,2	2,63	2,17	4,71	
2Cvg2	1,8	0,6	3	2,8	264	175	57	6,1	0,6	0,2	2,56	2,12	4,82	
2Cvg3	1,0	0,5	2	2,0	274	173	66	5,2	0,3	0,3	2,69	2,17	4,12	
2Cvgn	0,9	0,3	3	1,1	292	186	61	5,4	0,4	0,5	2,67	2,21	4,79	
2C'vg1	0,6	0,3	2	1,6	242	161	66	5,5	0,5	0,4	2,56	2,02	3,83	20,4
2C'vg2	0,5	0,4	1	1,3	241	163	65	5,2	0,7	0,7	2,51	2,00	3,94	22,9

Símbolo	Saturação por sódio %	Pasta saturada		Sais solúveis (extrato 1:5) cmol$_c$ kg^{-1}								Constantes hídricas dm^3 dm^{-3}		
		C. E. do extrato mS cm^{-1} 25ºC	Água %	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}	Retenção de água		Água disponível
												0,01 MPa	1,5 MPa	
A	2											0,410	0,291	0,119
2CAvg	2											0,443	0,298	0,145
2Cvg1	4											0,445	0,274	0,171
2Cvg2	4	0,50	75			0,01	0,27							
2Cvg3	5	0,81	68			0,01	0,44					0,495	0,288	0,207
2Cvgn	6	0,60	73			0,02	0,37							
2C'vg1	5	0,54	65			0,01	0,30							
2C'vg2	5	0,50	63			0,01	0,28							

[(1)] Densidade dos cascalhos do horizonte 2Cvgn3 = 2,60 kg dm^{-3}.

Foto: José Francisco Lumbreras.

A





B

Figura 9.19. Fotografia do perfil PA-14 (A) e sua localização em imagem de satélite disponível no Google de 20/08/2021 (B) **(**Juruti, PA).

Perfil PA-17

Descrição geral

DATA DA DESCRIÇÃO – 25/10/2023

CLASSIFICAÇÃO (Santos et al., 2018) – ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico, textura argilosa/média/orgânica fíbrica, distrófico, epissáprico e mesoendofíbrico, muito lenhosa, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.

CLASSIFICAÇÃO (Santos et al., 2025) – ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico espesso-hístico, textura argilosa/média/orgânica fíbrica, distrófico, epissáprico e mesoendofíbrico, muito lenhosa, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Perfil descrito em trincheira situada em várzea ampla do Rio Amazonas, a cerca de 400 m da estrada de terra, no sentido de quem vem de Santarém, entrando-se à esquerda, e a 100 m antes da Escola Municipal de Ensino São João. Quilombo Tiningu, município de Santarém, estado do Pará. Coordenadas: 02º 35’ 35,9 S e 54º 29’ 34,5” W (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Várzea ampla da planície de inundação (planície flúvio-lagunar) do Rio Amazonas, com influência de sedimentos do Rio Tapajós, com 0 a 1% de declive, sob vegetação de campo nativo.

ALTITUDE – 3 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Material orgânico com contribuição de sedimentos flúvio-lacustres, Holoceno.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração dos materiais supracitados.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Muito mal drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Campo tropical hidrófilo de várzea.

USO ATUAL – Pastagem natural (grama marreca).

CLIMA – Am, tropical chuvoso, segundo a classificação de Köppen (1936), subtipo Am3 (vide Capítulo 4).

DESCRITO E COLETADO POR – Virlei Álvaro de Oliveira, José Francisco Lumbreras, Maurício Rizzato Coelho, Raimundo Cosme Oliveira Junior, Nivaldo Nascimento de Carvalho.

Descrição morfológica

Hd1 0 - 4 cm, preto (10YR 2/1, úmido) e bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, seco); franco-argilossiltosa; forte a moderada pequena blocos subangulares e forte a moderada média granular; dura a muito dura, firme a friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Hd2 4 - 12 cm, preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento-escuro a cinzento (10YR 4,5/1, seco); franco-argilossiltosa; moderada grande e média prismática composta de forte a moderada grande e média blocos angulares e subangulares; dura a muito dura, firme a friável,

plástica a ligeiramente plástica e pegajosa a ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

Hd3 12 - 29 cm, preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento-escuro (10YR 4/1, seco); franco-argilossiltosa; fraca média prismática composta de fraca grande e média blocos angulares e subangulares; dura a muito dura, friável a firme, plástica e pegajosa; transição plana e abrupta.

2Ho1 29 - 65 cm, preto (5YR 2,5/1); orgânica com fragmentos vegetais pouco decompostos; solta a muito friável, não plástica a ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.

2Ho2 65 - 90 cm, preto (5YR 2,5/1); orgânica fibrosa com fragmentos vegetais pouco decompostos; solta a muito friável, não plástica e não pegajosa.

Tradagem:

2Ho3 90 - 170 cm^{+}, similar ao anterior, porém, com fragmentos vegetais de menor dimensão que no horizonte 2Ho2. O trado penetra com muita facilidade no material orgânico.

RAÍZES – Muitas muito finas no horizonte Hd1; comuns muito finas e finas no Hd2 e Hd3; muitas muito finas, finas, médias, grossas e muito grossas no 2Ho1; muitas muito finas, finas e médias, comuns grossas e muito grossas no 2Ho2.

POROS – Comuns a muitos poros muito pequenos e poucos pequenos no horizonte Hd1; comuns muito pequenos e raros pequenos no Hd2; muitos muito pequenos e poucos pequenos no Hd3; muitos de tamanhos variados nos demais horizontes.

Observações:

- Na superfície do solo ocorre pequena camada de raízes mortas, finas e muito finas, com cerca de 0,5 cm de espessura.
- Por ocasião da descrição, o perfil encontrava-se ligeiramente úmido no horizonte Hd1, úmido nos horizontes Hd2 e Hd3 e molhado abaixo de 29 cm de profundidade.
- Ocorrem fendas verticais com 0,2 a 0,3 cm de largura nos horizontes Hd2 e Hd3.
- Há camadas de folhas mortas na transição do horizonte Hd3 para 2Ho1.
- Os horizontes 2Ho1 e 2Ho2 apresentam muitos fragmentos de raízes, galhos e troncos mortos, de tamanhos diversos (com até 15 cm de diâmetro) e, em geral, pouco decompostos. Os galhos e troncos muito grossos predominam no horizonte 2Ho1 e os fragmentos de raízes predominam nos horizontes 2Ho2 e 2Ho3.
- Os descritores do perfil propuseram criar a classe dos espesso-hísticos no 4º nível categórico dos Organossolos, como a seguir: solos com horizonte hístico até 100 cm ou mais estendendo-se em seção única a partir da superfície.
- Houve sugestão de nomenclatura dos horizontes: Hd1, 2Hd2, 2Hd3, 3Ho1, 3Ho2 e 3Ho3.
- Lençol freático a 80 cm de profundidade, por ocasião da descrição do perfil, e em profundidade similar em 24/10/2024 em trincheira próxima e visitada durante a XV RCC.
- A profundidade do material orgânico a partir da superfície do solo foi inferida como sendo de 270 cm, tomando-se como referência a extensão que atingiu com facilidade um varão de madeira em alguns locais da trincheira.

- Para complementar as análises dos materiais orgânicos dos horizontes 2Ho1 e 2Ho2, foi realizada em 26/10/2024 coleta de amostras na trincheira visitada durante a RCC (vide Tabela 9.2), a qual se situa a cerca de 20 m a oeste do perfil PA-17 originalmente descrito e amostrado.
- Avaliação de decomposição de von Post resultou nas classes a seguir: 10, 10, 9, 5 e 4, para os horizontes Hd1, Hd2, Hd3, 2Ho1 e 2Ho2, respectivamente.
- Para a avaliação do grau de decomposição do material orgânico, a fim de definir se é fíbrico, hêmico ou sáprico, considerou-se a escala de decomposição de von Post e as análises de fibras esfregadas no horizonte 2Ho1 (Tabela 9.2). Entretanto, a impressão de campo foi a de que este solo deveria ser classificado como Organossolo Háplico Fíbrico.
- Estes solos apresentam elevado risco de subsidência devido à espessa camada de material fíbrico, supostamente entre 65 e 270 cm a partir da superfície do solo.

Resultados analíticos - TFSA

Perfil PA-17
Amostra de laboratório: 23.3570-3572 (Embrapa Solos, horizontes H1, Hd2 e Hd3) e Protocolo 1418 e 1419 (Embrapa Amazônia Ocidental, horizontes 2Ho1 e 2 Ho2)
Número de campo: PA-17

Horizonte		Frações da amostra total g kg^{-1}			Composição granulométrica da terra fina[1] g kg^{-1}				Argila dispersa em água g kg^{-1}	Grau de flocul. %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm^{-3}		Porosidade dm^3 100 dm^{-3}
Símbolo	Profund. cm	Calh. >20 mm	Casc. 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo [2]	Partíc. [3]	
Hd1	0 - 4	0	0	1000	104	102	408	386	192	50	1,06	0,68	2,14	68
Hd2	-12	0	0	1000	80	60	439	420	149	65	1,04	0,75	2,09	64
Hd3	-29	0	0	1000	254	54	411	281	198	30	1,46	0,61	1,86	67
2Ho1	-65				40	27	804	130			6,21		1,69	
2Ho2	-90				225	56	602	116			5,19		1,48	

Símbolo	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol$_c$ kg^{-1}								Valor V %	Saturação por alumínio %	P disponível mg kg^{-1}
	Água	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	Valor S	Al^{3+}	H^+	Valor T			
Hd1	4,5	3,8	9,5	1,5	0,34	0,07	11,4	1,3	27,4	40,1	28	10	7
Hd2	4,5	3,7	5,4	1,2	0,18	0,07	6,8	3,0	31,1	40,9	17	31	4
Hd3	4,1	3,4	2,5	1,1	0,08	0,05	3,7	6,9	58,0	68,6	5	65	2
2Ho1[2]	4,2	3,2	3,8	0,9	0,01	0,28	5,0	4,8	35,2	45,0	11	49	5
2Ho2[2]	4,3	3,3	1,9	0,6	0,02	0,17	2,7	4,7	39,6	47,0	6	64	9

Símbolo	C orgânico g kg^{-1}	N [4] g kg^{-1}	Relação C/N	C total g kg^{-1}	Ataque sulfúrico g kg^{-1}						Relações moleculares			Equivalente de $CaCO_3$ g kg^{-1}
					SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	SiO_2/ Al_2O_3 (Ki)	SiO_2/ R_2O_3 (Kr)	Al_2O_3/ Fe_2O_3	
Hd1	94,4	17,5	5	131,0	188	132	19	3,7	1,8	0,1	2,42	2,22	10,91	
Hd2	88,6	6,1	15	100,7	190	143	14	4,1	1,4	0	2,26	2,13	16,04	
Hd3	129,0	12,2	11	253,9	165	116	12	2,4	0,9	0	2,42	2,27	15,18	
2Ho1	245,2	9,2	27											
2Ho2	289,7	7,2	40											

Símbolo	Saturação por sódio %	Pasta saturada		Sais solúveis (extrato 1:5) cmol$_c$ kg^{-1}								Constantes hídricas dm^3 dm^{-3}		
		C. E. do extrato mS cm^{-1} 25ºC	Água %	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}	Retenção de água		Água disponível
												0,01 MPa	1,5 MPa	
Hd1	<1											0,449	0,078	0,371
Hd2	<1											0,500	0,145	0,355
Hd3	<1											0,431	0,232	0,199
2Ho1[2]	<1													
2Ho2[2]	<1													

[1] A análise granulométrica dos horizontes 2Ho1 e 2Ho2 deve ser considerada com ressalvas pois estes horizontes apresentam elevado conteúdo de material orgânico;

[2] A análise de densidade do solo dos horizontes Hd1, Hd2 e Hd3 foi feita determinando-se o volume da TFSA com balança de Arquimedes;

[3] A análise de densidade de partícula foi efetuada na TFSA dos horizontes Hd1, Hd2 e Hd3 e na amostra total (seca e moída) dos horizontes 2Ho1, 2Ho2;

[4] As análises de N foram realizadas segundo os métodos: (i) analisador elementar de CHN (nos horizontes Hd1, Hd2 e Hd3) e (ii) Kjeldahl (nos horizontes 2Ho1 e 2Ho2); todos descritos no item 2.3.

Resultados analíticos - Material orgânico dos horizontes 2Ho1 e 2Ho2[(1)].

Perfil PA-17
Amostra de laboratório: 23.3573-3576 e 23.3577-3580 (Embrapa Solos)
Número de campo: PA-17

Horizonte		Frações da amostra total g kg^{-1}			Composição granulométrica da terra fina g kg^{-1}				Argila dispersa em água g kg^{-1}	Grau de flocul. %	Relação silte/ argila	Densidade kg dm^{-3}		Porosidade dm^3 100 dm^{-3}
Símbolo	Profund. cm	Calh. >20 mm	Casc. 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partíc.	
Hd1	0 - 4													
Hd2	-12													
Hd3	-29													
2Ho1	-65											0,14[(2)]		
2Ho2	-90													

Símbolo	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol$_c$ kg^{-1}								Valor V %	Saturação por alumínio %	P disponível mg kg^{-1}
	Água	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	Valor S	Al^{3+}	H^+	Valor T			
Hd1													
Hd2													
Hd3													
2Ho1[(2)]	3,3		3,7	1,6	0,73	0,21	6,0			39,3	15		
2Ho2[(2)]	3,2		2,5	1,0	0,41	0,17	3,9			36,3	11		

Símbolo	C orgânico g kg^{-1}	C total g kg^{-}	N total g kg^{-}	Relação C/N	Ataque sulfúrico g kg^{-1}						Relações moleculares			Equivalente de $CaCO_3$ g kg^{-1}
					SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	SiO_2/ Al_2O_3 (Ki)	SiO_2/ R_2O_3 (Kr)	Al_2O_3/ Fe_2O_3	
Hd1														
Hd2														
Hd3														
2Ho1		425,3	9,7	44										
2Ho2		498,2	10,2	49										

Símbolo	Saturação por sódio %	Pasta saturada		Sais solúveis (extrato 1:5) cmol$_c$ kg^{-1}								Constantes hídricas dm^3 dm^{-3}		
		C. E. do extrato mS cm^{-1} 25ºC	Água %	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}	Retenção de água		Água disponível
												0,01 MPa	1,5 MPa	
Hd1														
Hd2														
Hd3														
2Ho1[(2)]	<1													
2Ho2[(2)]	<1													

[(1)] Material orgânico seco e moído após separação manual da amostra total e análises segundo os métodos: (i) de análise de planta (bases trocáveis, em quadruplicata); (ii) de adubos organominerais (pH e CTC, ambas em duplicata) e (iii) ICP - analisador elementar de CHN (carbono e nitrogênio, em quadruplicata).

[(2)] A análise de densidade do material orgânico do horizonte 2Ho1 foi feita em amostras separadas manualmente da TFSA; todos os métodos encontram-se descritos no item 2.3.

Fonte: Carmo et al. (2000) e Brasil (2017).

Tabela 9.2. Análise na amostra total dos horizontes 2Ho1 e 2Ho2(1).

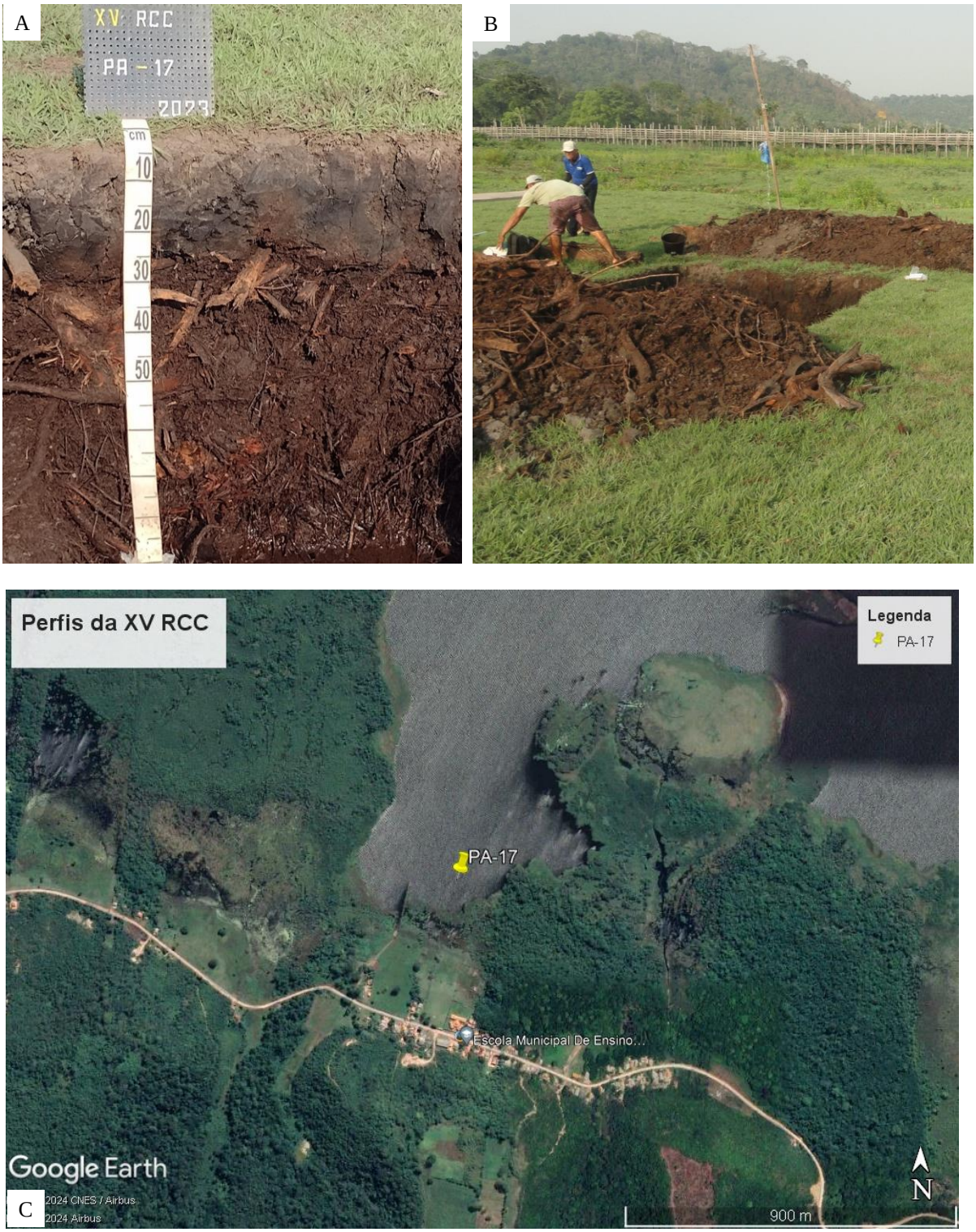
Símbolo	Prof.	Umidade gravimétrica	pH em água amostra úmida	pH em KCl amostra úmida	pH em $CaCl_2$ amostra úmida	pH em água amostra seca	pH em KCl amostra seca	pH em $CaCl_2$ amostra seca
	cm	kg kg^{-1}						
Hd1	0 - 4							
Hd2	-12							
Hd3	-29							
2Ho1	-65	4,98	4,1	3,4	3,4	4,4	3,3	3,3
2Ho2	-90	7,22	4,3	3,6	3,6	4,6	3,4	3,6

Símbolo	C total[(2)]	N total[(2)]	Relação C/N	Material orgânico	Material mineral	Índice de von Post	Índice de pirofosfato	Fibras não esfregadas	Fibras esfregadas
	g kg^{-1}			g kg^{-1}				% (por volume)	
Hd1									
Hd2									
Hd3									
2Ho1	410,7	9,0	46	684,5	315,5	5	3	64	24
2Ho2	530,0	9,8	54	852,5	147,5	4	2	88	56

[(1)] Análises realizadas no Laboratório de Solos da UFRRJ.

[(2)] Análises por CHN (em triplicata) realizadas no Laboratório de Análise de Água, Solo e Planta (LASP) da Embrapa Solos; todos descritos no item 2.3.

Fonte: Fontana (2017), Fontana e Bianchi (2017) e Santos et al. (2018; Anexo D).



Fotos: José Francisco Lumbreras.

Figura 9.20. Fotografia do perfil PA-17 (A), do material retirado da trincheira (B) e sua localização em imagem de satélite disponível no Google de 22/07/2019 (C) (Quilombo Tiningu, Santarém, PA).

4. Considerações finais

Destacam-se os seguintes aspectos discutidos durante a XV RCC:

- O elevado conteúdo de silte dos solos das planícies aluvionares do Médio Rio Amazonas, representados pelos perfis AM-05, AM-06, AM-07, AM-11, PA-13, AM-15 e AM-16, trará subsídios para discussão a respeito de como considerar a sua contribuição em termos de CTC, tendo em vista que é preconizado reportar a CTC para a fração argila (atividade da fração argila) no SiBCS.
- As cores e a drenagem do solo para enquadramento e distinção de Gleissolos, em especial dos Neossolos Flúvicos, constituem uma questão relevante discutida na XV RCC, pois tais características geraram dúvidas ao se enquadrar estes solos no SiBCS. Há que se ressaltar que a cor de alguns solos de ambientes mal drenados, dependendo de sua constituição, pode modificar-se após serem expostos, a exemplo do perfil AM-05.
- Na 6ª edição do SiBCS (Santos et al., 2025) foram efetuadas alterações de cor no horizonte glei e na seção de controle deste horizonte para as classes dos Gleissolos e dos Neossolos Flúvicos, com reflexos na classificação dos perfis AM-05, AM-12 e AM-15, que passaram a ser classificados como Neossolos Flúvicos (em vez de Gleissolos).
- A seção de controle e a condição de drenagem (se hidromórficos ou não) dos Espodossolos Hiperespessos são colocadas para discussão por meio do perfil AM-09, mostrando a necessidade de critérios específicos e adequados para o seu enquadramento.
- A dúvida na identificação e quantificação da plintita, que deve ser ≥ 15% para caracterizar o horizonte plíntico, continua sendo uma questão recorrente em RCCs e mostra a necessidade de estudos para classificar os Plintossolos Argilúvicos, a exemplo do perfil AM-08, e Plintossolos Háplicos.
- São apresentadas medidas de densidade de partícula dos cascalhos lateríticos e a estimativa do seu volume em horizonte do perfil AM-02, visando estimar adequadamente o percentual em volume de nódulos e concreções (horizonte concrecionário).
- O perfil AM-02 é um bom exemplo para discussão da criação de duas classes no 4º nível categórico (concrecionário e litoplíntico) em substituição ao subgrupo petroplíntico, com vistas à adequada avaliação da intensidade dos fatores limitantes a eles relacionados nas interpretações técnicas. Nos Plintossolos Pétricos, essa questão é resolvida no 3º nível categórico.
- Houve questionamento em relação à identificação de horizonte A proeminente quando sua estrutura apresenta fraco grau de desenvolvimento, a exemplo do perfil PA-06, caso não se enquadrasse como horizonte A húmico.
- Foi proposto esclarecimento, incorporado na 6ª edição do SiBCS, na definição do horizonte B textural (Santos et al., 2018, p. 56), para que o teor médio de argila do horizonte A seja considerado (e não todos os sub-horizontes A) quando se fizer a confrontação com as relações B/A >1,50, >1,70 ou >1,80 para atender ao critério para horizonte B textural.
- Foram propostas alterações e incorporadas novas classes de solo na 6ª edição do SiBCS (Santos et al., 2025), a seguir: (i) no 2º nível categórico: Espodossolo Háplico

Hiperespesso típico (Santos et al., 2024); (ii) no 4º nível categórico: Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico (perfil AM-16) e Organossolo Háplico Hêmico espesso-hístico (perfil PA-17) (Santos et al., 2024); (iii) no 5º nível categórico: não utilizar o conteúdo de óxidos de ferro para caracterizar os Cambissolos Flúvicos (perfil AM-07).

- Foi proposta e incorporada na 6ª edição do SiBCS a alteração da seção de controle de 150 para 200 cm para os seguintes solos latossólicos no 4º nível categórico: Argissolos, Cambissolos Húmicos e Cambissolos Háplicos, Neossolos Quartzarênicos, Nitossolos e Plintossolos Pétricos Concrecionários.

Agradecimentos

Agradecemos a Marcos Gervasio Pereira e a Lúcia Helena Cunha dos Anjos a realização de testes e análises especiais para caracterização de Organossolos nas amostras (totais) dos horizontes 2Ho1 e 2Ho2 (perfil PA-17) no Laboratório de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Agradecemos às bolsistas Letícia Guimarães Pimentel e Lillyane Gomes de França Valle as análises de densidade do solo (perfil PA-17) e de densidade de frações grossas do solo (perfis AM-02, AM-09 e PA-06) no Laboratório de Avaliação e Modelagem da Água no Solo (LAMAS). Agradecemos ao Sr Reginaldo Natalino Nogueira a condução das análises de densidade de partículas (perfil PA-17) no Laboratório do Departamento de Solos da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ-USP).

Referências

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília, DF: MAPA, 2017. 240 p. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/manual-de-metodos_2017_isbn-978-85-7991-109-5.pdf. Acesso em: 1 jul. 2025.

CARMO, C. A. F. de S. do; ARAÚJO, W. S. de; BERNARDI, A. C. de C.; SALDANHA, M. F. C. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 41 p. (Embrapa Solos. Circular técnica, 6). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/337672. Acesso em: 1 jul. 2025.

CLAESSEN, M. E. C. (org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330804. Acesso em: 2 jul. 2025.

CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 17., 1979, Manaus. **Guia de excursão** [...]. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979. 72 p. Editores: M. N. Camargo, T. E. Rodrigues.

DINO, R.; SILVA, O. B.; ABRAHÃO, D. Caracterização palinológica e estratigráfica de estratos cretáceos da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5., 1999, Serra Negra. **Boletim** [...]. Rio Claro, SP: Unesp, 1999. p. 557-565.

FALESI, I. C. (coord.). **Levantamento detalhado dos solos do IPEAAOc**. Manaus: DNPEA, 1972. 63 p. (IPEAAOc. Boletim técnico, n. 1). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/990849. Acesso em: 2 jul. 2025.

FALESI, I. C.; SILVA, B. N. R. da; ARAUJO, J. V.; RODRIGUES, T. E.; REGO, R. da S.; GUIMARÃES, G. de A. **Os solos da área Cacau Pirêra - Manacapurú**. Belém, PA: IPEAN, 1970. 198 p. (IPEAN. Solos da Amazônia, v. 2, n. 3). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/386453. Acesso em: 2 jul. 2025.

FERREIRA, A. L.; ALMEIDA, M. E.; REIS, N. J.; RIKER, S. L. R.; RIZZOTTO, G. J.; QUADROS, M. L. do E. S. Mapa geológico do estado do Amazonas. In: REIS, N. J.; ALMEIDA, M. E.; RIKER, S. L.; FERREIRA, A. L. (org.). **Geologia e recursos minerais do estado do Amazonas**. Manaus: CPRM: CIAMA, 2006. 1 mapa, color. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil - PGB. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/2967/2/mapa_geo_minerais_amazonas.pdf. Acesso em: 2 jul. 2025.

FONTANA, A.; BIANCHI, S. R. Carbono e nitrogênio total: analisador elementar. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. pt. 3, cap. 4, p. 393-396. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1107200. Acesso em: 8 jul. 2025.

FONTANA, A. Matéria orgânica. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. pt. 3, cap. 5, p. 397-400. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1107202. Acesso em: 8 jul. 2025.

IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Estado do Amazonas**: geologia. Rio de Janeiro, 2010a. 1 mapa, color. Escala 1:1.800.000. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geologia/levantamento_geologico/mapas/unidades_da_federacao/am_geologia.pdf. Acesso em: 2 jul. 2025.

IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Estado do Amazonas**: pedologia: mapa exploratório de solos. Rio de Janeiro, 2010b. 1 mapa, color. Escala 1:1.800.000. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/unidades_da_federacao/am_pedologia.pdf. Acesso em: 2 jul. 2025.

IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Estado do Pará**: geologia. Rio de Janeiro, 2008a. 1 mapa, color. Escala 1:1.800.000. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geologia/levantamento_geologico/mapas/unidades_da_federacao/pa_geologia.pdf. Acesso em: 2 jul. 2025.

IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Estado do Pará**: pedologia: mapa esquemático de solos. Rio de Janeiro, 2008b. 1 mapa, color. Escala 1:1.800.000. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/unidades_da_federacao/pa_pedologia.pdf. Acesso em: 2 jul. 2025.

IBGE. **Mapa de solos**. Rio de Janeiro, 2018. 1 mapa, color. Escala 1: 250.000. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html?=&t=acesso-ao-produto. Acesso em: 30 jun. 2025.

IBGE. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2015. 430 p. (Manuais técnicos em geociências, 4). Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95017.pdf. Acesso em: 2 jul. 2025.

KÖPPEN, W. Das geographische system der klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (ed.). **Handbuch der klimatologie**. Berlin: Gebrüder Borntträeger, 1936. v. 1, pt. C. Disponível em: http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Koppen_1936.pdf. Acesso em: 2 jul. 2025.

LIMA, H. N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental**. 2001. 176 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Disponível em: http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/7934. Acesso em: 2 jul. 2025.

MARQUES, A. F. S. e M.; FLORES, C. A.; BELLINASO, I. F.; CARDOSO, J. D.; LEMOS, R. C. de. **Levantamento de reconhecimento de solos e aptidão agrícola em áreas abrangidas pelo PDRI, AM, município de Parintins**: relatório técnico final. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1983. 192 p.

REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10., 1979, Rio de Janeiro. **Súmula** [...]. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979. 83 p. (EMBRAPA-SNLCS. Miscelânea, 1). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/327212. Acesso em: 2 jul. 2025.

RODRIGUES, T. E.; SANTOS, P. L. dos; OLIVEIRA JUNIOR, R. C. de; VALENTE, M. A.; SILVA, J. M. L. da; CARDOSO JÚNIOR, E. Q. **Caracterização dos solos da área do planalto de Belterra, município de Santarém, estado do Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 54 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 115). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/403589. Acesso em: 2 jul. 2025.

RODRIGUES, T. E.; SANTOS, P. L. dos; VALENTE, M. A. Levantamento semidetalhado dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Campo Experimental do Caldeirão do CPAA/EMBRAPA - Iranduba - Amazonas. Belém, PA: EMBRAPA-SNLCS, Coordenadoria Regional Norte, 1991. 74 p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim de pesquisa). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1175152. Acesso em: 2 jul. 2025.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; LIMA, H. N.; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 6. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2025. 393 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1176834. Acesso em: 2 jul. 2025.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; LIMA, H. N.; MARQUES, F. A. **Proposta de atualização da 5ª edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**: ano 2024. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2024. 212 p. (Embrapa Solos. Documentos, 244). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1167901. Acesso em: 2 jul. 2025.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003. Acesso em: 2 jul. 2025.

SANTOS, R. D. dos. **Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras de área piloto no Município de Barreirinha - Estado do Amazonas**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1982. 101 p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim de pesquisa, 9). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/336037. Acesso em: 2 jul. 2025.

SANTOS, R. D. dos; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101 p.

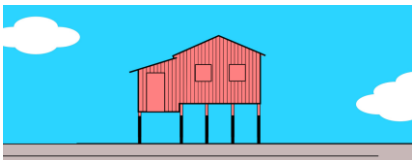
TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085209. Acesso em: 2 jul. 2025.

TEIXEIRA, W. G.; ARRUDA, W.; SHINZATO, E.; MACEDO, R. S.; MARTINS, G. C.; LIMA, H. N.; RODRIGUES, T. E. Solos. In: MAIA, M. A. M.; MARMOS, J. L. (org.). **Geodiversidade do estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010. cap. 6, p. 71-86. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/920216. Acesso em: 2 jul. 2025.

VALLADARES, G. S. **Caracterização de Organossolos, auxílio à sua classificação**. 2003. 129 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1176977. Acesso em: 2 jul. 2025.

VASQUEZ, M. L.; SOUSA, C. S.; CARVALHO, J. M. A. (org.). Mapa geológico e de recursos minerais do estado do Pará. In: VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. da (org.). **Geologia e recursos minerais do estado do Pará**. Belém, PA: CPRM, 2008. 1 mapa, color. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil - PGB. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/10443/2/mapa_para.pdf. cesso em: 2 jul. 2025.

Capítulo 10



Química e granulometria dos solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: uma abordagem pedológica

Maurício Rizzato Coelho
José Francisco Lumbreras
Gustavo de Mattos Vasques
Virlei Álvaro de Oliveira
Hedinaldo Narciso Lima
Ricardo de Oliveira Dart

1. Introdução

Há muito tempo reconhece-se a existência de duas ordens de paisagens muito diferentes na região amazônica: as várzeas e as terras firmes (Schaefer et al., 2017). Enquanto a primeira refere-se às planícies de inundação fluvial de deposição holocênica que margeiam os rios de águas brancas (rios de águas barrentas ricas em material em suspensão, como o Amazonas, o Madeira, o Purus), estando sujeitas a inundações sazonais, as terras firmes correspondem às situadas acima das áreas de influência dos rios e, portanto, não sujeitas ao hidromorfismo (Lima, 2001).

As várzeas dos rios Amazonas e Solimões, juntamente com as dos rios Purus e Juruá, constituem o maior espaço aluvial de solos eutróficos do Brasil e um dos mais extensos do mundo (Schaefer et al., 2023). São produtos da dinâmica dos rios, especialmente daqueles que carreiam elevada carga de sedimentos em suspensão (Schaefer et al., 2017), tal como ocorre nos rios supracitados. Além de serem eutróficos, os solos sob suas influências geralmente possuem elevados teores de silte e areia fina, elevada capacidade de troca de cátions, elevados valores de pH e teores de cátions trocáveis, sobretudo cálcio e magnésio, embora alguns solos destaquem-se pela presença de alumínio e sódio (Lima, 2001). Este último ocorre com maior frequência nos Gleissolos (Schaefer et al., 2017). Apresentam composição mineralógica bastante diversificada (Möller, 1986; Lima, 2001; Schaefer et al., 2017, 2023), com presença de minerais primários, como feldspatos, clorita, mica (Kitagawa; Möller, 1979; Möller, 1986) e conteúdos expressivos de esmectita, vermiculita, caulinita (Kitagawa; Möller, 1979; Möller, 1986) e ilita (Portugal, 2009; Pereira; Costa, 2025), sugerindo que os materiais de origem desses solos são formados por uma mistura de sedimentos jovens com pré-intemperizados (Schaefer et al., 2023).

Os atributos mencionados acima são reflexos da diversidade e da natureza recente do material de origem sedimentar, de condições periódicas de hidromorfismo e de menor grau de desenvolvimento da pedogênese quando comparados aos solos de terra firme (Lima, 2001; Schaefer et al., 2017). Estes, por sua vez, são predominantemente de baixa fertilidade natural, ácidos, com teores relativamente elevados de alumínio extraível, baixos valores de soma de bases e de capacidade de troca de cátions (Rodrigues, 1996), baixo teor de silte e pequena diversidade mineralógica (Möller, 1986; Lima, 2001), completamente dominada por caulinita na fração argila, com presença invariável de óxidos de ferro (goethita e/ou hematita) e frequente de gibbsita (Kitagawa; Möller, 1979; Möller, 1986).

Na bacia do Médio Rio Amazonas, local de estudo da XV RCC, predominam os Latossolos e Argissolos, sempre distróficos e usualmente amarelos e com alto alumínio extraível, derivados de sedimentos pré-intemperizados das formações Belterra e Alter do Chão, tal como afirmam Schaefer et al. (2023). Desses, somente os Latossolos relacionados à Formação Alter do Chão foram descritos e amostrados para o evento. Todos são amarelos e distróficos, a maioria álicos, corroborando a assertiva dos autores acima citados. Os Espodossolos e os Neossolos Quartzarênicos complementam as classes de solos da XV RCC relacionadas à Formação Alter do Chão. Esta, de idade cenozoica, cobre toda a Bacia do Amazonas (Caputo, 2014), que ocupa uma área de aproximadamente 500.000 km^2 (Silva et al., 2003; Cunha et al., 2007), abrangendo parte dos estados do Amazonas e Pará e, em menor proporção, parte do estado do Amapá (Caputo, 2014); é nela que jazem todos os perfis da XV RCC.

Schaefer et al. (2023), ao se referirem aos solos de terra firme do Baixo e Médio Amazonas, afirmam que, em sua maioria, são formados in situ a partir de sedimentos do Cretáceo ao Cenozoico Superior, relacionados às Formações Alter do Chão e Barreiras. Segundo os autores, os Latossolos Amarelos Distróficos, geralmente álicos, transicionam vertente abaixo para solos com plintita (terço médio) e Argissolos (sopé). Em contraste, os autores elencam os Neossolos Flúvicos e Gleissolos, a maioria eutróficos e de argila de alta atividade, como os solos predominantes das várzeas e terraços aluviais das regiões mencionadas, atributos esses relacionados à origem extra-amazônica dos sedimentos de que são formados, provenientes dos Andes. Os Plintossolos ou os solos com caráter plíntico, por outro lado, são predominantes nas terras baixas do Alto Amazonas, bem como nos interflúvios dos rios Madeira/Purus/Juruá e Solimões/Japurá (Schaefer et al., 2000).

Os Neossolos Flúvicos e Gleissolos Háplicos, ambos Ta Eutróficos, correspondem às classes de solo que mais foram visitadas pelos participantes da XV RCC, as quais, somadas aos Latossolos Amarelos Distróficos, evidenciam a representatividade do evento em retratar/estudar os solos e ambientes mais comuns do Médio Rio Amazonas. No entanto, tais classes, inclusive as de mesmo grande grupo taxonômico, apresentam peculiaridades próprias, divergindo entre si quanto aos seus atributos morfológicos, físicos, químicos e/ou mineralógicos. Juntamente com outras classes de solos de várzea menos representativas em

extensão, como Vertissolos, Plintossolos, Cambissolos Flúvicos e Organossolos, perfazem o conjunto de solos que foram visitados durante a XV RCC, cuja análise in loco pelos participantes do evento possibilitaram discutir seus atributos, com ênfase em taxonomia de solos. De modo similar a muitas RCCs anteriores, a presente ampliou os dados, as informações e o conhecimento de paisagens e solos pouco estudados, muitos deles de difícil acesso e que naturalmente apresentam grande variabilidade espacial e temporal de seus atributos.

O objetivo deste trabalho é analisar os atributos químicos e a granulometria dos 17 perfis de solos descritos e coletados para a *XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos* (estados do Amazonas e Pará). Para tal, análises multivariadas (agrupamentos e componentes principais) foram aplicadas aos resultados analíticos selecionados, obtidos para fins de levantamento de solos, com o objetivo de agrupar os horizontes subsuperficiais e alguns superficiais dos perfis (Organossolo) estudados de acordo com as suas similaridades analíticas e, a partir desses agrupamentos, mostrar e discutir os valores encontrados e suas causas de variação (entre perfis e ao longo do mesmo perfil) à luz dos princípios e conhecimento de química, gênese, morfologia, mineralogia e, sobretudo, de classificação de solos.

2. Material e métodos

2.1. O meio físico

Os solos estudados correspondem aos descritos e amostrados para a *XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos*: RCC das várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno, doravante mencionada como XV RCC. Compreendem 17 perfis de solos (AM-01, AM-02, AM-05 ao AM-09, AM-11, AM-12, AM-15, AM-16, PA-05 ao PA-07, PA-13, PA-14 e PA-17), cujas localizações encontram-se na Figura 10.1.

Desde as primeiras explorações científicas na Amazônia, é reconhecida a existência de duas paisagens básicas ao longo da bacia do rio: a planície de inundação, também conhecida como várzea, e a terra firme (terras altas bem drenadas). Solos jovens com incipiente pedogênese em sedimentos quaternários são encontrados nas planícies de inundação, enquanto solos profundos e muito intemperizados, originados de rochas e sedimentos cenozoicos, ocorrem nas terras altas bem drenadas. Várzeas e terras firmes são separadas por barrancos, escarpas ou rampas suaves (Schaefer et al., 2023).

Entre os sedimentos supracitados, destacam-se aqueles de idade Cenozoica da Formação Alter do Chão, dos quais se origina a maioria dos solos de terra firme da XV RCC. Segundo Caputo (2014), as camadas cenozoicas da Formação Alter do Chão cobrem toda a Bacia do Amazonas com proveniência da sedimentação do Arco de Gurupá e de áreas cratônicas. Segundo o autor, ela é descontinuada pela Formação Içá, que cobre pequena área a oeste da bacia, bem como pelas faixas de afloramentos paleozoicos e pelo Domo de Monte Alegre, onde os sedimentos cenozoicos foram removidos por erosão.

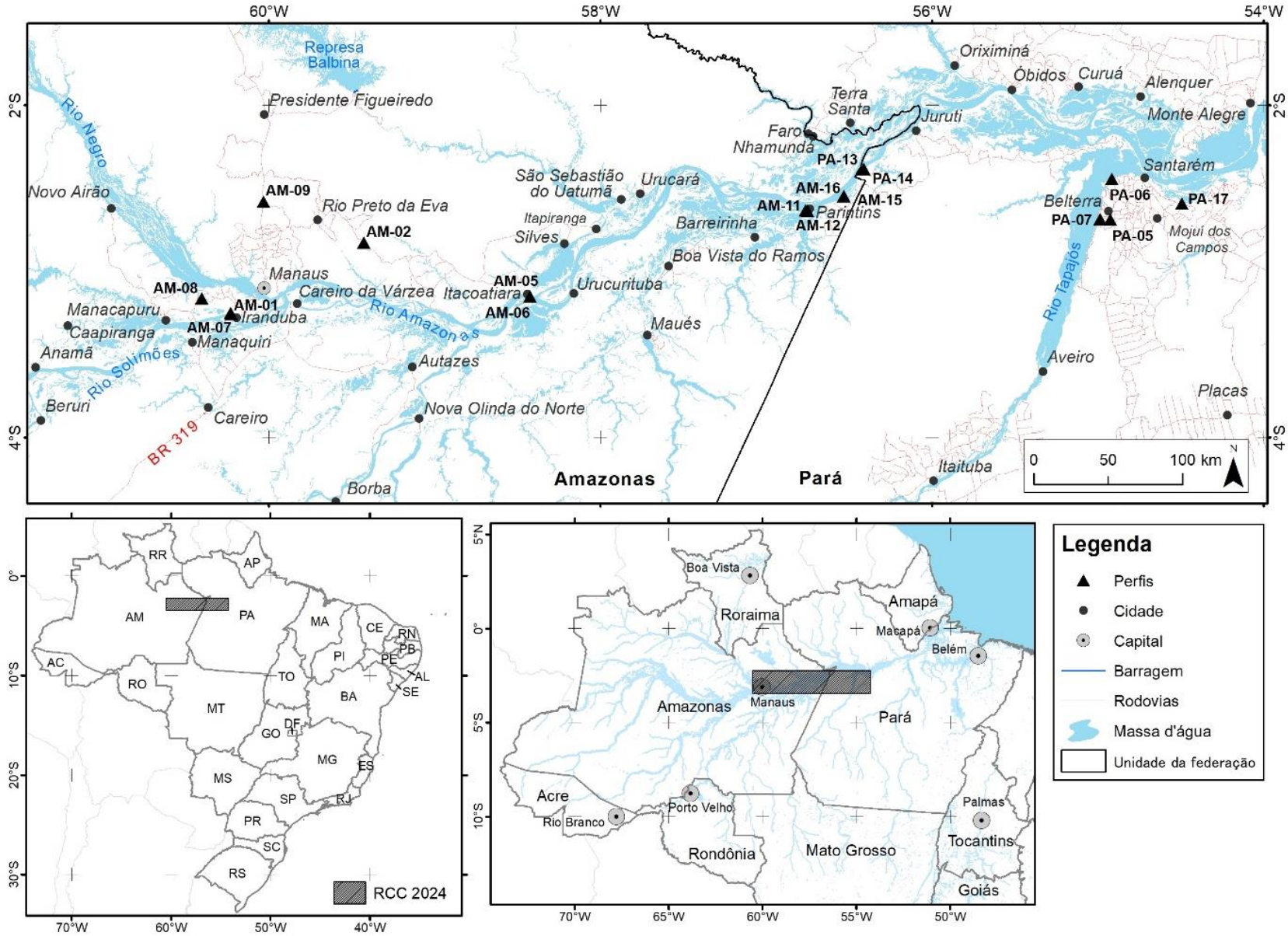


Figura 10.1. Mapa de localização dos perfis da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC das várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno.

Devido à pequena escala do mapa, apenas um triângulo tornou-se visível para identificar os perfis localizados próximos entre si.

Os sedimentos da Formação Alter do Chão consistem numa alternância de arenitos e argilitos que foram depositados em ambiente continental aquoso, com significativa contribuição flúvio-lacustrina em processo de imersão não profunda. São constituídos de depósitos descontínuos caracterizados por uma brusca variação litológica vertical e distribuição espacial irregular devido a variações nos seus ambientes de deposição (Caputo et al., 1972). Mendes et al. (2012), estudando a Formação Alter do Chão no município de Óbidos, PA, a fim de determinar o seu modelo deposicional, descreveram sete litofácies, a saber: o conglomerado maciço, os arenitos com estratificações acanalada e tabular, o arenito com laminação cruzada cavalgante e os pelitos maciços, bioturbados e deformados. Segundo os autores, essas fácies variam de 1 a 6 m de espessura, corroborando a grande variabilidade litológica dessa Formação, tal como supracitado e afirmado por Caputo et al. (1972). Cunha et al. (1994), citados por Horbe et al. (2003, 2004) elencam as seguintes litologias para a Formação Alter do Chão: arenitos arcoseanos, pelitos, argilitos, quartzo-arenitos e brechas intraformacionais, geralmente dispostos sob a forma de estratos esbranquiçados a avermelhados (Nogueira et al., 1999). Albuquerque (1922), citado por Horbe et al. (2003), afirma que as variedades de quartzo-arenitos silicificados e vermelhos da Formação Alter do Chão são informalmente denominadas de Arenito Manaus, utilizando esse termo em seu artigo.

A área de estudo da XV RCC insere-se no domínio geomorfológico dos baixos platôs da Amazônia Centro-Oriental, recobertos por mata de terra firme, ocupando toda a área de abrangência da Bacia Sedimentar do Amazonas, com amplo predomínio da Formação Alter do Chão, tal como afirmam Dantas e Maia (2010). Segundo os autores, os baixos platôs desse domínio são caracterizados por terrenos baixos (com cotas inferiores a 200 m), com solos espessos, pobres e bem drenados (em geral, Latossolos Amarelos). Em certas porções, os platôs, embasados por rochas sedimentares da Formação Alter do Chão, são dissecados em um relevo de colinas tabulares, feição que assume particular relevância na área ao norte da cidade de Manaus (Dantas; Maia, 2010).

O domínio geomorfológico denominado de Planície Amazônica também é expressivo na área de abrangência da XV RCC. Segundo Dantas e Maia (2010), é representado por planícies de inundação e terraços fluviais muito amplos, por vezes com dezenas de quilômetros de largura, que ocorrem ao longo dos principais canais-troncos da bacia hidrográfica dos rios Negro, Solimões e Amazonas. Tais formas de relevo apresentam, portanto, amplo destaque ao longo dos imensos fundos de vales dos rios Negro, Solimões, Amazonas, Madeira, Purus, Juruá, Javari, Negro, Içá e Japurá. Enquanto as planícies aluviais, normalmente recobertas por vegetação de igapó e matas de várzea adaptadas a ambientes inundáveis, são constituídas de depósitos sedimentares atuais ou subatuais, os terraços fluviais são correlatos ao Pleistoceno Superior (Dantas; Maia, 2010).

Argissolos e Latossolos predominam em extensão nos estados do Amazonas e Pará, distribuindo-se em proporções similares entre os dois: enquanto no Amazonas ocupam cerca de 43,8% e 26,6% de sua extensão, no Pará distribuem-se em aproximadamente 48,0% e 29,5% de sua área, respectivamente (IBGE, 2019). Entre os Latossolos, os amarelos distróficos, muitas vezes álicos, são os predominantes nas terras bem drenadas do Baixo e Médio Rio Amazonas e tributários, os quais transicionam para solos com plintita no terço médio das vertentes e Argissolos no terço inferior (Schaefer et al., 2023). Por sua vez, Gleissolos Háplicos e

Neossolos Flúvicos predominam nas várzeas (Lima et al., 2006) e terraços fluviais (Schaefer et al., 2023) dos rios Solimões e Amazonas, respectivamente, tal como afirmam Lima et al. (2006). Segundo os autores, frequentemente são eutróficos e de argila de atividade alta, apresentando elevados valores de capacidade de troca de cátions e de cátions trocáveis, especialmente Ca^{2+}, Mg^{2+} e, em alguns casos, Na^{+} e Al^{3+}, além de elevados conteúdos de silte e areia fina.

A boa fertilidade natural dos solos supracitados, condição pouco comum na região amazônica, que se estendem em vastas planícies de inundação e terraços fluviais gerados por rios de águas barrentas (por exemplo, Madeira e Solimões), está relacionada à grande descarga de sedimentos oriunda da dissecação dos Andes, tal como afirmam Dantas e Maia (2010). Por outro lado, as planícies que margeiam os rios de água preta (Rio Negro, por exemplo) apresentam menor sedimentação aluvial, originando restritas e descontínuas planícies de inundação decorrentes da baixa carga de sedimentos em suspensão, aliada à alta concentração de sesquióxidos de ferro (Dantas; Maia, 2010), originando solos usualmente de baixa fertilidade natural (Schaefer et al., 2023).

Solos comumente encontrados na bacia do Rio Negro, também de baixa fertilidade natural e geralmente associados à terra firme, embora possam ocorrer em planícies aluvionares, são os Espodossolos e os Neossolos Quartzarênicos. São desenvolvidos sob vegetação de Campina (Guimarães; Bueno, 2016) e Campinarana (Guimarães; Bueno, 2016; Schaefer et al., 2017, 2023), cujos processos genéticos iniciais, que levaram à arenização do ambiente e à formação de areia branca, geralmente estão relacionados a duas causas principais: a destruição das argilas (caulinita e gibbsita) por acidólise nos Latossolos sob condições atuais de clima superúmido (Mafra et al., 2002) e a deposição de sedimentos fluviais arenosos nas bordas dos vales (Klinge, 1965). No entanto, as areias brancas que aparecem em várias regiões da Amazônia (Horbe et al., 2003, 2004; Guimarães; Bueno, 2016) são de gênese controversa, muito exploradas para a obtenção de areia destinada à construção civil (Horbe et al., 2003; Adeney et al., 2016) e relacionadas a diferentes litologias (Horbe et al., 2004). Portanto, não são exclusivas da bacia do Rio Negro, onde ocorrem extensivamente, muitas vezes associadas aos Espodossolos (Schaefer et al., 2023).

Guimarães e Bueno (2016) comentam, em sua revisão sobre as Campinas e Campinaranas amazônicas, que a evolução do solo nesses ambientes de areia branca é o principal fator que condiciona a disposição de espécies e das fitofisionomias de Campina, Campinarana e florestas de terra firme, de tal forma que, à medida que o solo vai-se empobrecendo com o processo de arenização, a vegetação altera-se concomitantemente, acompanhando as mudanças dos atributos dos solos para condições cada vez mais oligotróficas e sujeitas ao estresse hídrico, com eventuais períodos de hidromorfismo na época chuvosa. Para Adeney et al. (2016), os ecossistemas de areia branca amazônicos têm origem complexa e, portanto, estão correlacionados a diversos processos biogeofísicos, incluindo tipo de solo, inundações, incêndios e escassez de nutrientes, e muitas vezes são diferenciados em tipos de acordo com esses fatores.

Horbe et al. (2004), estudando a gênese de Espodossolos próximos ao solo de mesma classe analisado na XV RCC, referente ao perfil AM-09 (margem esquerda da BR-174, km 46), identificaram sua ocorrência até o quilômetro 60 da rodovia BR-174. No entanto, complementam os autores, a Formação Alter do Chão estende-se até o quilômetro 90.

Justificaram a presença localizada dos Espodossolos por movimentos neotectônicos que promoveram o processo de denudação da paisagem nesses locais, mais que nas áreas contíguas a norte e a leste, expondo saprólitos de arenosos a argilosos, horizontes mosqueados e o Arenito Manaus, facilitando a atuação dos processos de podzolização na área em materiais arenosos, tais como aqueles descritos por Mafra et al. (2002), já supracitados, bem como por outros autores (Schwartz, 1988; Thomas et al., 1999; Lundström et al., 2000).

2.2. Classificação dos perfis

Para a classificação dos perfis, utilizou-se a 5ª edição do *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* (SiBCS) (Santos et al., 2018). Cada perfil é identificado por um símbolo, correspondendo àquele indicado por Santos et al. (2018) para representar as classes taxonômicas até o terceiro nível categórico nos mapas de solos, precedido por um hífen e do seu número de identificação (AM-01, AM-02, AM-05 ao AM-09, AM-11, AM-12, AM-15, AM-16, PA-05 ao PA-07, PA-13, PA-14 e PA-17); o símbolo AM refere-se aos perfis localizados no estado do Amazonas, enquanto PA, aos do estado do Pará. A Tabela 10.1 apresenta a classificação dos 17 perfis e seus respectivos símbolos de identificação.

Tabela 10.1. Classificação dos perfis da XV RCC até o 4º nível categórico, segundo o SiBCS e seus símbolos de identificação.

Perfil	Classificação	Símbolo de identificação
AM-01	Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico	AM01-PAd
AM-02	Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico	AM02-LAd
AM-05	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico	AM05-GXve
AM-06	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico	AM06-GXve
AM-07	Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico	AM07-CYve
AM-08	Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico	AM08-FTa
AM-09	Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico	AM09-EKu
AM-11	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico	AM11-GXve
AM-12	Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico	AM12-GXvd
AM-15	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico	AM15-GXve
AM-16	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico	AM16-GXve
PA-05	Latossolo Amarelo Distrófico típico	PA05-LAd
PA-06	Neossolo Quartzarênico Órtico húmico	PA06-RQo
PA-07	Latossolo Amarelo Distrófico húmico	PA07-LAd
PA-13	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico	PA13-GXve
PA-14	Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico	PA14-VGo
PA-17	Organossolo Háplico Hêmico típico	PA17-OXy

Fonte: Santos et al. (2018).

2.3. Análises de rotina para fins de levantamento de solos

No laboratório, as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas com martelo de borracha e passadas em peneira número 10 (malha de 2 mm), obtendo-se a fração terra fina seca ao ar (TFSA), na qual foram realizadas as análises químicas e granulométrica segundo Teixeira

et al. (2017). Esta última foi realizada pelo método do densímetro, utilizando hidróxido de sódio 0,1 mol L^{-1} como agente dispersante (Teixeira et al., 2017).

Foram utilizados os procedimentos analíticos para as seguintes análises químicas: o pH foi determinado em água e KCl (potenciômetro com eletrodo combinado de vidro) utilizando relação solo:solução (H_2O e KCl 1 mol L^{-1}, respectivamente, para pH determinado em H_2O e KCl) 1:2,5 após agitação da amostra por 60 segundos e repouso de 1 hora; o carbono orgânico (CO), por oxidação com dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso amoniacal. Os cátions Ca^{2+}, Mg^{2+} e Al^{3+} foram extraídos com solução KCl 1 mol L^{-1}. A extração do H + Al (acidez potencial) foi realizada com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L^{-1} a pH 7,0. Os cátions Na^+ e K^+ foram extraídos com solução de H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1} + HCl 0,05 mol L^{-1}. Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram determinados por espectroscopia de absorção atômica; K^+ e Na^+, por fotometria de chama; Al^{3+} e H + Al, por titulometria. Os teores de SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 e TiO_2 foram determinados após abertura das amostras com ácido sulfúrico concentrado 1:1. Os dois primeiros foram utilizados no cálculo da relação molecular Ki ((SiO_2/Al_2O_3) x 1,70).

2.4. Análises estatísticas

Foram realizadas análises de agrupamentos naturais (*Hierarchical Cluster Analysis* - HCA) e de componentes principais (*Principal Component Analysis* – PCA) para identificar a formação de agrupamentos de amostras baseadas na medida de 11 variáveis químicas e granulométricas de solo (areia total, silte, argila, relação silte/argila, sódio trocável, alumínio extraível, soma de bases, capacidade de troca de cátions, saturação por bases, saturação por alumínio e carbono orgânico), e como estas se relacionam às diferenças observadas entre os agrupamentos. Para tal, foi construída uma matriz de 65 x 11 (horizontes/camadas versus variáveis) e os dados foram autoescalados por normalização via conversão para o seu escore z, com média zero e desvio padrão 1. Cada observação reuniu dados quantitativos de variáveis edáficas obtidas para cada horizonte B de cada perfil, excluindo-se os horizontes intermediários (BA e BC) de solos que apresentam horizonte diagnóstico B e os intermediários para C em solos destituídos daquele horizonte. Especificamente para o único Organossolo estudado, foram selecionados os horizontes mais superficiais (Hd1, Hd2 e Hd3) devido a esses serem os únicos que apresentam todas as variáveis químicas de interesse aqui estudadas.

Para fins da análise de PCA e de HCA, cada um dos 65 horizontes/camadas estudados foi considerado independentemente, tanto dos horizontes relacionados ao mesmo perfil como dos de outros perfis. A análise por HCA foi realizada utilizando-se a distância euclidiana para construir a matriz de dissimilaridade e o método de variância mínima de Ward para agrupamento (Ward Junior, 1963). As variáveis foram selecionadas considerando-se sua importância na classificação dos solos em questão, segundo critérios estabelecidos por Santos et al. (2018), bem como sua disponibilidade por ocasião da redação deste capítulo (os resultados do índice Ki, por exemplo, foram disponibilizados após a sua redação).

Doravante, o termo horizonte será utilizado para se referir tanto a horizontes como a camadas a fim de se evitar confusão em torno dos termos.

2.5. Dinâmica das RCCs

Os perfis selecionados, descritos, amostrados, analisados e classificados pelos pedólogos organizadores das RCCs são apresentados e intensivamente discutidos pelos participantes durante o evento. Essas sempre profícuas discussões, após consenso, podem convergir para propostas de atualização da edição vigente do SiBCS, sugestões de reanálise de algumas amostras de horizontes, com posterior alteração de seus valores, bem como alterações da descrição original dos perfis, incluindo de sua classificação taxonômica e nomenclatura dos horizontes. Tais alterações e propostas de atualização do SiBCS são incorporadas e publicadas após o evento em um livro, que é o presente caso. Assim, quando mencionadas no texto deste capítulo a classificação e a nomenclatura originais dos perfis, referem-se àquelas propostas originalmente pelos seus descritores, antes de eventualmente serem alteradas após o evento. Portanto, essas alterações dos perfis constam no Capítulo 9 deste livro, mas não aquelas originalmente propostas.

3. Resultados e discussão

3.1. Análises multivariadas

3.1.1. Análise de agrupamentos (HCA)

Os níveis de similaridade entre os diferentes horizontes selecionados dos perfis da XV RCC são mostrados no dendograma da Figura 10.2, o qual é baseado nas análises de agrupamentos. Observa-se que há expressiva variação do grau de similaridade entre horizontes, que é evidenciada pela quantidade de agrupamentos de maior nível de similaridade: em número de seis para distância euclidiana igual ou inferior a 8. Esse padrão é esperado quando se analisa, conjuntamente, vários atributos de solos de horizontes oriundos de diferentes classes taxonômicas, processos pedogenéticos e materiais de origem (Coelho et al., 2018, 2019, 2020, 2023), tais como o que ocorre nos solos e horizontes estudados.

As discussões a seguir pautam-se na relação entre os atributos físicos e químicos analisados de cada horizonte de solo selecionado, na designação dos horizontes e na classificação taxonômica dos perfis da XV RCC, as quais são posteriormente confrontadas com os resultados da análise de componentes principais. Neste capítulo, a discussão é estendida para processos genéticos e mineralogia de solos.

O agrupamento 1 reúne todos os horizontes do único Plintossolo estudado e aqueles mais superficiais (3Cg1 e 3Cg2), entre os analisados por HCA, do Gleissolo referente ao perfil AM-05. Em comum, esses horizontes manifestam os maiores conteúdos de Al^{3+} entre os solos e horizontes minerais analisados, variando de 2,8 $cmol_c\ kg^{-1}$ a 8,6 $cmol_c\ kg^{-1}$, estando os maiores valores relacionados ao Plintossolo (Tabela 10.3).

A presença do Al^{3+} em conteúdos expressivos, acima de 2 $cmol_c\ kg^{-1}$, é frequente nos Plintossolos e Gleissolos amazônicos - nesses últimos quando estão associados aos Aningais, ambientes característicos de ecossistemas amazônicos inundáveis, embora ocorram em outros ecossistemas e biomas brasileiros (Amarante et al., 2009). Possivelmente, a elevada capacidade

de armazenamento do elemento nas folhas e em outras partes da planta (conhecida regionalmente como aninga), característica dos Aningais, bem como a sua elevada taxa de reciclagem no ambiente podem ser as responsáveis por esse resultado, fato verificado, por exemplo, para o elemento Mn. As aningas concentram teores expressivos do elemento em suas folhas em quantidades tais que são consideradas tóxicas, mesmo para grandes mamíferos que porventura dela se alimentem (Amarante et al., 2009).

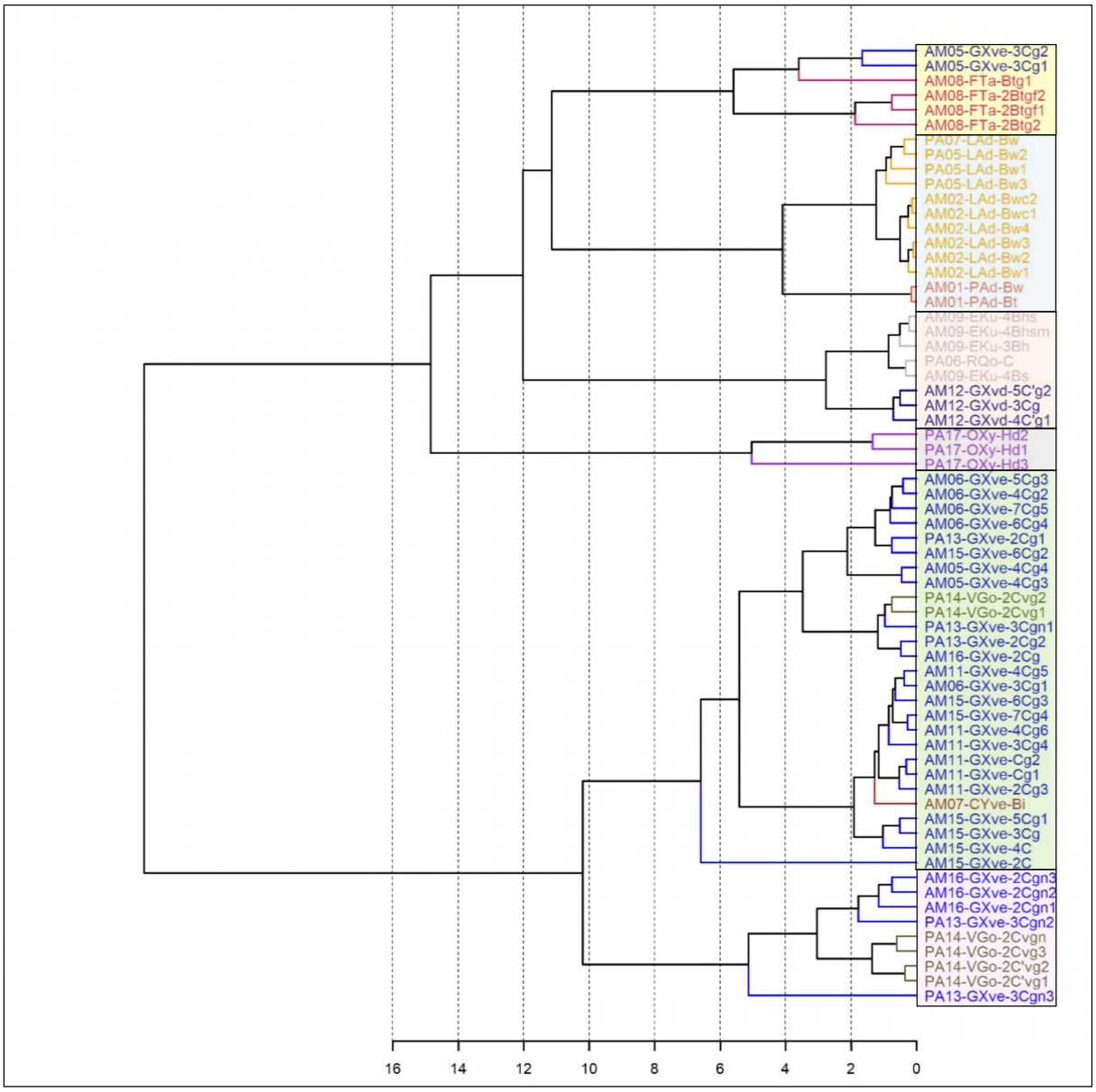


Figura 10.2. Dendograma que considera as 11 variáveis químicas e físicas de horizontes selecionados e utilizados na análise de agrupamentos dos solos da XV RCC, estados do AM e PA. Cada horizonte é identificado por um símbolo, que representa o número do perfil, sua classificação taxonômica e a nomenclatura do horizonte. Cores semelhantes identificam horizontes do mesmo perfil de solo. À direita do dendograma são mostrados os agrupamentos de 1 a 6 considerados para a distância euclidiana inferior a 8.

Embora elevado, o teor do Al^{3+} não alterou a classificação até o terceiro nível categórico do Gleissolo referente ao perfil AM05-GXve em relação aos demais Gleissolos Ta eutróficos estudados (AM-06, AM-11, AM-15, AM-16 e PA-13) (Tabela 10.1), segundo critérios utilizados no SiBCS (Santos et al., 2018). No entanto, sugere-se aqui complementar sua classificação em níveis categóricos inferiores a fim de se considerar a presença e a potencial influência do Al^{3+} no solo, bem como em outros critérios diagnósticos do SiBCS, como na saturação por bases, por exemplo. Devido ao elevado conteúdo desse elemento, os horizontes 2CAg e 3Cg1 do perfil AM-05 foram os únicos, entre todos os horizontes dos Gleissolos Ta Eutróficos da XV RCC, que apresentaram baixa saturação por bases (Tabela 10.3), no caso, na profundidade entre 5 cm e 33 cm a partir da superfície do solo. Embora a baixa saturação por bases não ocorra em toda a extensão dos primeiros 0,50 cm superficiais do solo em questão, predomina naquela profundidade (28 cm). Assim, sugere-se acrescentar o termo epidistrófico na classificação do perfil AM-05, o que é condizente com o que se propõe com o prefixo epi- do SiBCS: "é utilizado para designação de atributo que ocorre na parte superficial e/ou dentro do solo até a profundidade máxima de 50 cm" (Santos et al., 2018, p. 284). Essa adição permite atribuir mais uma designação para a classificação taxonômica de um solo que, provavelmente, tem estreita e exclusiva relação com os Aningais, a fim de mais adequadamente diferi-lo taxonomicamente de solos similares das planícies aluviais amazônicas, mas não associadas aos Aningais, como é o caso dos perfis AM-06, AM-11, AM-15, AM-16 e PA-13, estudados na XV RCC (Tabela 10.3). O primeiro situa-se a aproximadamente 30 m do perfil AM-05 em uma condição de dique aluvial baixo.

Todos os horizontes dos solos de terra firme estudados (perfis AM-01, AM-02, PA-05 e PA07) foram reunidos no agrupamento 2 na HCA (Figura 10.2). Embora o perfil AM-01 tenha sido originalmente classificado como Latossolo Amarelo Distrófico pelos descritores do perfil devido ao fato de se tratar de um solo antrópico onde houve adição e/ou mistura de material externo, bem como alterações físicas, químicas e morfológicas decorrentes da ação do fogo e, por conseguinte, os critérios diagnósticos para distinguir horizontes B textural de B latossólico não deveriam ser aplicados em tais situações, as extensas discussões diante do perfil durante a XV RCC conduziram ao seu enquadramento final como Argissolo. O gradiente textural foi o único critério distintivo para tal, cuja avaliação também foi motivo de discussão. A seguir, são tecidos vários comentários sobre a celeuma em torno da classificação do perfil em questão:

1) Os *pedon* que os pedólogos descrevem e classificam, segundo os critérios diagnósticos de um sistema taxonômico, são aqueles analisados no momento de sua descrição;
2) Se, para o solo em questão, utilizarmos os *pedon* próximos sem interferência antrópica para, a partir deles, classificar um perfil que foi alterado pelo homem, tal como sugerido por alguns participantes da XV RCC, é um procedimento que contraria tanto as bases e critérios estabelecidos no SiBCS (ou qualquer outro sistema taxonômico de solos) como as normas estabelecidas para os levantamento de solos: os *pedon* devem ser classificados segundo as bases e critérios diagnósticos convencionados em um sistema taxonômico, e os *pedon* diferentes ou são

agrupados em um única unidade de mapeamento ou separados em diferentes unidades de mapeamento, dependendo da escala final do mapa de solos;

3) A definição da relação textural B/A, tal como se encontra no SiBCS, um dos principais critérios diagnósticos para identificar o horizonte diagnóstico de subsuperfície B textural, necessita de ajustes, os quais são propostos no item que trata de PCA.

A HCA (Figura 10.2) também mostrou que os horizontes estudados dos Latossolos Amarelos do agrupamento 2, referentes aos perfis AM-02, PA-05 e PA-07, foram separados por uma distância euclidiana inferior a 2, enquanto os horizontes do Argissolo Amarelo antrópico (perfil AM-01) foram agrupados juntos, mas separados dos supracitados por uma distância euclidiana próxima e superior a 4, sugerindo que a formação do horizonte A antrópico influencia nos atributos dos horizontes subsuperficiais B, já que as cercanias do perfil em questão são área de ocorrência dos Latossolos Amarelos Distróficos típicos. Esse fato - a influência dos horizontes A antrópicos nos subsuperficiais - já foi verificado por outros autores (Lima, 2001) e será discutido posteriormente na PCA.

O agrupamento 3, por sua vez, reuniu, com distância euclidiana inferior a 3, todos os horizontes de textura areia, areia franca e francoarenosa, distróficos (perfil AM-12) ou com baixa saturação por bases (PA-06 e AM-09) entre os horizontes e solos estudados por HCA. São solos muito dissimilares taxonomicamente, sobretudo os Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos em relação aos Gleissolos. No entanto, os seus horizontes podem manifestar atributos semelhantes, como a textura arenosa em alguns (Gleissolos) ou em todos os horizontes (Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos) e a baixa fertilidade natural. Possivelmente, o número expressivo de atributos utilizados na análise da HCA, num total de 11, e/ou, mais provavelmente, a sua seleção não foram adequados para mostrar as principais diferenças taxonômicas entre essas classes de solos.

Os horizontes estudados por HCA do único Organossolo selecionado para a XV RCC foram reunidos no agrupamento 4 (Figura 10.2). Nele, os dois horizontes mais superficiais (Hd1 e Hd2) foram agrupados com uma distância euclidiana inferior a 2, mas separados do horizonte imediatamente abaixo (Hd3) por uma distância próxima e acima de 5 (Figura 10.2), evidenciando que este último difere significativamente dos demais em relação aos atributos estudados por HCA, o que pode estar relacionado à existência de descontinuidade litológica. Inferências a respeito são agrupadas e tecidas no item que trata da PCA.

O agrupamento 5 é o maior entre os seis delimitados na Figura 10.2. Engloba praticamente todos os horizontes estudados por HCA, excetuando o 3Cg2 do perfil AM05-GXve (agrupamento 1; Figura 10.2), dos solos Ta eutróficos com elevados conteúdos de silte, superiores aos da argila, e que apresentam hidromorfismo nos primeiros 50 cm da superfície do solo (Gleissolos e Vertissolo) ou abaixo dessa profundidade (Neossolos e Cambissolos, ambos Flúvicos). Excetuando-se o horizonte 3Cgn1 do perfil PA-13, os demais horizontes Ta eutróficos (2Cg1 e 2Cg2, perfil PA-13; 2Cvg1 e 2Cvg2, perfil PA-14; 2Cg, perfil AM-16), que não manifestaram o caráter solódico dos perfis classificados como solódico no nível do subgrupo taxonômico (PA-13, PA-14 e AM-16), também estão nesse agrupamento.

Devido à similaridade do ambiente de formação e dos processos genéticos associados e, consequentemente, dos atributos que definem as classes dos Gleissolos e Cambissolos Flúvicos, os quais podem ser separados unicamente pela manifestação morfológica de hidromorfismo dentro de 50 cm da superfície do solo, esperava-se a elevada similaridade estatística entre ambas as classes, tal como ocorreu. Ao mesmo tempo, a grande variabilidade vertical de seus atributos, comuns em solos de ambientes sedimentares holocênicos, favoreceu tanto a separação dos horizontes dos Gleissolos, que estão mesclados no agrupamento 1 e separados por diferentes distâncias euclidianas, como a disposição dos horizontes de um mesmo perfil em diferentes agrupamentos (agrupamento 1, que reuniu parte dos horizontes do perfil AM05-GXve; agrupamento 6, que reuniu parte dos horizontes dos perfis AM-16, PA-13 e PA-14) ou em um único agrupamento (agrupamento 3 reuniu todos os horizontes do perfil AM-12) diferentemente do agrupamento 1 (Figura 10.2).

Embora o perfil AM-CYve tenha sido classificado como Cambissolo Flúvico, parte das cores do único horizonte Bi (10YR 4/3) e do horizonte imediatamente abaixo (10YR 5/2) satisfazem os critérios para horizonte glei. Portanto, sugere-se alterar a classificação do perfil em questão, até o nível de subgrupo taxonômico, para Gleissolo Háplico Ta Eutrófico cambissólico, sem alterar, no entanto, a designação dos horizontes, pois, conforme a conceituação do sufixo "g" do *Manual de descrição e coleta de solo no campo* (Santos et al., 2015), doravante designado de Manual de Descrição, há a necessidade de "desenvolvimento de cores cinzentas, azuladas, esverdeadas ou mosqueamento bem expresso" (Santos et al., 2015, p. 48) a fim de que um horizonte ou camada receba o sufixo "g". Isso não ocorre no horizonte Bi do perfil em questão (vide Capítulo 9). As assertivas anteriores evidenciam a necessidade de ajustes nas cores que definem os horizontes glei no SiBCS, caso se considere que o perfil AM-07 deva ser classificado Cambissolo, o que foi consenso entre todos os participantes da XV RCC, de tal forma que o sufixo "g" invariavelmente esteja presente nos horizontes identificados como glei.

O agrupamento 6, por sua vez, reuniu horizontes dos solos classificados como solódicos no quarto nível categórico (AM-16-GXve, PA13-GXve e PA14-VGo). Compreende a maioria dos horizontes do único Vertissolo (PA14-VGo) estudado na XV RCC, bem como parte dos horizontes dos Gleissolos classificados como solódicos vertissólicos (AM-16-GXve e PA13-GXve). Este agrupamento dá ensejo a se discutir o uso e a relação do sufixo "v", descrito no Manual de Descrição, com o caráter vértico e a designação de vertissólico em nível de subgrupo dos perfis estudados, segundo o SiBCS (Santos et al., 2018). Os perfis AM-11, AM-16 e PA-13 foram classificados como vertissólicos, bem como houve sugestão de classificar o perfil AM-11 como Vertissolo (vide Capítulo 9). Os descritores do perfil AM-11, por exemplo, que foi classificado pós-RCC como Gleissolo Háplico Ta eutrófico vertissólico neofluvissólico (vide Capítulo 9), originalmente haviam inserido o sufixo "v" nos seus cinco primeiros horizontes, incluindo, portanto, os horizontes superficiais A (originalmente, Av1 e Av2; atualmente, A1 e A2; vide Capítulo 9).

Inicialmente, argumenta-se que o Manual de Descrição já mencionado (Santos et al., 2015) indica que tal sufixo deve ser utilizado apenas para os horizontes B e/ou C, com o qual

se concorda considerando-se que: a) a matéria orgânica dos horizontes superficiais atenua o comportamento mecânico de expansão e contração dos argilominerais expansivos em resposta às variações de umidade do solo, que são os responsáveis pela manifestação das características vérticas; b) essa indicação do uso do sufixo "v" apenas para os horizontes subsuperficiais converge para que se considere que o seu uso deva ser aplicado em horizontes que manifestam superfícies de fricção e/ou "formação de agregados arestados, de forma invariavelmente prismática-oblíqua, cuneiforme a paralelepipedal" (Santos et al., 2015, p. 51). Além disso, necessariamente devem apresentar "fendilhamento vertical, com fendas de pelo menos 1 cm de largura, e rachaduras na superfície do solo em algum período mais seco do ano, e, em alguns casos, a expansão do solo resulta em microrrelevo denominado de *gilgai*" (Santos et al., 2015, p. 51). Em vista do exposto, sugeriu-se durante o evento eliminar o sufixo "v" dos horizontes Av1 e Av2 do perfil AM-11, o que foi acatado pelos descritores do perfil (vide Capítulo 9).

Como exposto, ao se ler a conceituação do sufixo "v" no Manual de Descrição, interpretou-se que um horizonte B e/ou C só irá recebê-lo se apresentar superfícies de fricção e/ou tipos específicos de estruturas, incluindo a prismática-oblíqua, invariavelmente associadas a fendas verticais, que devem apresentar espessura de pelo menos 1 cm de largura em algum período mais seco do ano, podendo ou não manifestar microrrelevo gilgai. Nenhum dos horizontes C do perfil AM-11 atende a esses critérios: não exibem superfícies de fricção e tampouco estrutura prismática-oblíqua. No entanto, possuem fendas de espessura acima de 1 cm de largura que se estendem até 80 cm de profundidade, além do local onde ocorre tal perfil apresentar microrrelevo gilgai. Também nenhum de seus horizontes teve as estruturas prismáticas descritas como oblíquas, o que conotaria inclinação do eixo longitudinal dos agregados prismáticos em relação à horizontal, condição essa necessária para identificar um horizonte vértico, juntamente com a presença de fendas verticais no período seco, caso haja ausência de superfícies de fricção (Santos et al., 2018). Por outro lado, a descrição dos horizontes A e C do AM-11 satisfaz os critérios para identificar a presença de caráter vértico, pois este requer a "presença de *slikensides* (superfícies de fricção), fendas ou estruturas cuneiformes e/ou paralelipédicas em quantidade e expressão insuficientes para caracterizar o horizonte vértico" (Santos et al., 2018, p. 40).

Partindo do princípio de que o perfil AM-11 foi original e adequadamente descrito, não havendo, portanto, inclinação dos agregados prismáticos em relação à horizontal, o que se confirmou durante a observação do perfil pelos participantes da XV RCC, ele foi utilizado como exemplo a fim de se afirmar a incongruência de um sufixo designativo de um determinado horizonte não corresponder ao horizonte diagnóstico que define determinada classe de solo. É o caso, por exemplo, de um solo classificado como Vertissolo ou vertissólico não apresentar o sufixo "v" em pelo menos um de seus horizontes diagnósticos subsuperficiais. Isso ocorreu em todos os perfis que receberam a designação de vertissólico (AM-11, AM-16 e PA-13) depois de terem sido reclassificados após as discussões transcorridas entre os participantes durante a XV RCC (vide Capítulo 9).

Em vista do exposto, recomenda-se que haja uma ampla revisão tanto dos conceitos de características vérticas do Manual de Descrição como do caráter vértico do SiBCS, de tal forma

que um horizonte que manifeste o caráter vértico de um determinado perfil de solo invariavelmente receba o sufixo "v". A sugestão é que ambos (características vérticas e caráter vértico) sejam caracterizados pela presença de dois ou mais atributos que representem a manifestação da expansão e contração dos argilominerais do solo em decorrência da variação da umidade: *slickensides* e fendas, ou estruturas prismáticas, cuneiformes ou paralelipédicas, inclinadas em relação ao eixo longitudinal dos agregados, associadas a fendas verticais em algum período mais seco do ano. Estas, por sua vez, não devem apresentar a largura mínima de 1 cm, pois a maior pujança da manifestação das características vérticas deve ficar restrita ao horizonte vértico, que define a classe dos Vertissolos.

A associação de expressivos fendilhamento e microrrelevo gilgai também é sugestiva de que eles caracterizam tanto o caráter vértico (SiBCS) como as características vérticas (Manual de Descrição). Em vista do exposto, sugere-se manter o termo vertissólico no quarto nível categórico do perfil AM-11 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico) dada a robusta manifestação de seus fendilhamento e microrrelevo gilgai, tal como originalmente descrito em campo e mantido na descrição final do perfil, embora nenhum de seus horizontes tenha recebido o sufixo "v" (vide Capítulo 9).

As considerações acima ficam corroboradas e convergiram para a sugestão de se eliminar o sufixo "v" dos horizontes Avg, CAvg e 2Abvg da descrição morfológica original do perfil AM-16, o que foi acatado pelos seus descritores (vide Capítulo 9), bem como a designação de vertissólico de sua classificação. Esta última, por sua vez, não foi acatada. Embora a presença de fendas verticais dentro da seção de controle que define a classe dos vertissólicos seja suficiente para identificar o caráter vértico no perfil, tal como descrito no SiBCS (Santos et al., 2018), interpretou-se aqui que a manifestação de suas características vérticas é muito tênue, devendo ser consideradas como insuficientes para identificar um caráter vértico. Portanto, corrobora-se a necessidade de se redefinir o caráter vértico e as características vérticas, constantes, respectivamente, no SiBCS e no Manual de Descrição. Intepretações similares são estendidas ao perfil PA-13. Sugere-se, também, eliminar o termo vertissólico de sua classificação.

O único perfil indubitavelmente descrito como Vertissolo apresenta superfícies de fricção em todos os seus horizontes, cuja quantidade é comum ou abundante nos três últimos, além de fendas verticais de largura superior a 1 cm até 50 cm de profundidade e outros atributos que satisfazem os critérios de características vérticas, conforme descrito no Manual de Descrição, bem como os de horizonte vértico do SiBCS. No entanto, não houve descrição da inclinação do eixo longitudinal das unidades estruturais, que é uma exigência do horizonte vértico para todos os tipos de unidades estruturais (cuneiformes ou paralelipédicas), caso não haja manifestação de *slikensides*. Na descrição de características vérticas, exige-se apenas a inclinação para unidades estruturais do tipo prismática (prismática-oblíqua), bastando a existência de estruturas cuneiformes e paralelipédicas, corroborando a necessidade de revisão das definições ou conceituações dos critérios que definem os Vertissolos a fim de se evitar incongruências entre a descrição morfológica e a classificação taxonômica dos perfis. Tampouco há citação de estruturas do tipo prismática na definição de horizonte vértico do

SiBCS a fim de caracterizá-lo, tal como há para as características vérticas no Manual de Descrição. Outro fato a se analisar observando-se os perfis da XV RCC: se é conveniente inserir a estrutura do tipo prismática na definição de horizonte vértico. Isso implicaria a aceitação não apenas de estruturas cuneiformes e paralelipédicas, mas também de unidades estruturais prismáticas inclinadas em relação à horizontal.

Em termos gerais, os resultados observados com a HCA e sua relação com a classificação dos solos foram eficientes em confirmar os critérios analíticos utilizados no SiBCS (Santos et al., 2018) para discriminar ou agrupar classes de solos, já que a maioria dos agrupamentos naturais deste trabalho apresentou boa relação entre classes de solos taxonomicamente próximas entre si. Gleissolos, Cambissolos Flúvicos e Vertissolos, por exemplo, cuja grande maioria de seus horizontes foi reunida nos agrupamentos 5 e 6, são classes que podem exibir atributos químicos e físicos diagnósticos semelhantes, diferindo predominantemente, ou de modo exclusivo, quanto aos morfológicos.

Embora os critérios taxonômicos do SiBCS (Santos et al., 2018) considerem atributos morfológicos e, na maioria das vezes, atributos físicos, químicos e morfológicos dos horizontes superficiais e transicionais, os quais não foram avaliados na HCA, nesse e em trabalhos semelhantes, a técnica mostrou potencial para ser utilizada com o propósito de dirimir dúvidas sobre a classificação dos solos, ou talvez para, a partir da observação entre similaridades/dissimilaridades obtidas na HCA, propor ou redefinir critérios diagnósticos para o melhor enquadramento taxonômico de classes semelhantes em diferentes níveis categóricos (Coelho et al., 2020, 2023).

Como salientado anteriormente, as classes dos Vertissolos e Gleissolos podem manifestar atributos químicos e físicos semelhantes, diferindo quanto aos morfológicos. Os resultados da HCA, reunindo ou não, em um único agrupamento, os horizontes do Vertissolo (PA14-VGo) e dos Gleissolos vertissólicos (AM11-GXve, AM16-GXve e PA13-GXve), ensejaram revisitar as definições de características vérticas do Manual de Descrição (Santos et al., 2015), bem como do caráter e do horizonte vértico do SiBCS (Santos et al., 2018), identificando-se incongruências, as quais podem acarretar (a) a designação inadequada dos sufixos de determinados horizontes, não alcançando o objetivo a que se propõe, que é indicar a pedogênese (Santos et al., 2015); (b) a inadequação da relação entre os sufixos que designam determinados horizontes diagnósticos de subsuperfície e a classificação do solo que os contém e (c) a possibilidade de divergência de classificação de determinado perfil de solo entre pedólogos, até mesmo em nível de ordem taxonômica. A partir dessas constatações, fez-se sugestões para saná-las.

3.1.2. Análise de componentes principais (PCA)

O primeiro, o segundo e o terceiro componentes principais (CPs) foram responsáveis, respectivamente, por 45,92%, 18,83% e 15,79% do total da variação observada, que, somados, representam 80,54% da variação global referente aos 11 atributos químicos e físicos analisados dos solos da XV RCC (Tabela 10.2).

Tabela 10.2. Autovalor, variância e correlações entre as 11 variáveis dos horizontes selecionados de 17 perfis de solo da XV RCC (estados do Amazonas e Pará) e os seus respectivos componentes principais (CP1, CP2 e CP3).

	CP1	**CP2**	**CP3**
Autovalor	5,05	2,07	1,74
% da variância explicada	45,92	18,83	15,79
% da variância cumulativa	45,92	64,75	80,54
Variáveis	**Fator peso**		
	CP1	**CP2**	**CP3**
Areia total	-0,20	-0,27	**-0,51**
Silte	**0,40**	0,10	-0,03
Argila	-0,22	0,18	**0,57**
Silte/argila	0,29	-0,22	**-0,36**
Sódio	0,24	0,06	**0,32**
Soma de bases (SB)	**0,41**	0,06	0,14
Alumínio extraível (Al^{3+})	-0,16	**0,45**	-0,16
Capacidade de troca de cátions (CTC)	0,24	**0,54**	-0,17
Saturação por bases (V%)	**0,43**	-0,11	0,05
Saturação por alumínio (m%)	**-0,41**	0,06	0,01
Carbono orgânico (CO)	-0,03	**0,56**	**-0,30**

Variáveis com peso igual ou maior que |0,30| são mostradas em negrito.

Os maiores pesos (≥|0,30|) nos componentes foram registrados para os seguintes atributos (variáveis): silte, soma de bases, saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%), no primeiro componente; alumínio extraível (Al^{3+}), capacidade de troca de cátions (CTC) e carbono orgânico (CO), no segundo componente; areia total, argila, relação silte/argila, sódio e carbono orgânico (CO), no terceiro componente. Assim, o CP1 e o CP3 representam uma mescla de variáveis físicas e químicas responsáveis pela diferenciação entre grupos, enquanto no CP2 as variáveis químicas preponderaram na sua diferenciação.

Os escores (horizontes) e pesos (variáveis/atributos do solo) da PCA são apresentados nas Figuras 10.3A e B, considerando-se as mesmas 11 variáveis utilizadas na HCA e apenas os dois primeiros componentes, os quais, somados, perfazem 64,75% da variação global (Tabela 10.2). Observa-se que é possível delimitar cinco grupos e oito subgrupos, que são enumerados e separados por uma elipse. São as seguintes as relações entre os grupos, subgrupos e as classes de solos estudadas (Figura 10.3A):

a) os horizontes associados ao grupo 1 ocupam exclusivamente o quadrante superior esquerdo do gráfico. O grupo reúne os três horizontes mais subsuperficiais, entre os quatro estudados por PCA, do único Plintossolo (perfil MA08-FTa) analisado na XV RCC;
b) o grupo 2, por sua vez, localizado predominantemente no quadrante inferior esquerdo, reúne todos os solos de baixa saturação por bases. Com exceção do Gleissolo Ta Distrófico referente ao perfil AM12-GXvd, os demais não são sujeitos ao hidromorfismo permanente ou temporário. Uma avaliação mais criteriosa da distância

entre os horizontes nesse grupo permite separá-lo em quatro subgrupamentos, identificados na Figura 10.3A como 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4. O subgrupo 1 (2.1; Figura 10.3A) reúne todos os horizontes estudados por PCA dos Latossolos Amarelos Distróficos analisados, enquanto o subgrupo 2 (2.2; Figura 10.3), todos os horizontes do Espodossolo (AM09-EKu) estudado juntamente com o único horizonte analisado por PCA do Neossolo Quartzarênico referente ao perfil PA06-RQo. Todos os horizontes do único solo mal drenado desse grupo, o Gleissolo referente ao perfil AM12-GXvd, ficaram individualizados no subgrupo 2.3, ao passo que o subgrupo 2.4 englobou os dois únicos horizontes estudados por PCA do Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico (AM01-PAd);

c) o grupo 3 tem seus horizontes estudados por PCA situados nos quadrantes superior e inferior direitos da Figura 10.3A, próximos ao eixo da CP2. O grupo reúne a grande maioria dos horizontes minerais dos solos situados nas planícies de inundação estudadas, excetuando todos os horizontes do Plintossolo (AM08-FTa; grupo 1) e do Gleissolo Distrófico (AM12-GXvd), que formaram, respectivamente, o grupo 1 e o subgrupo 2.3 supramencionados. Os Gleissolos (AM-05, AM-06, AM-11, AM-15, AM-16 e PA-13), o Vertissolo (PA-14) e o Cambissolo Flúvico (AM-07) estão nesse grupo. Uma avaliação mais detalhada da distância entre os horizontes nesse grupo permite separar cinco subgrupamentos, identificados na Figura 10.3A como 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5. O primeiro (subgrupo 3.1; Figura 10.3A) reúne, excetuando o último horizonte (7Cg5) do Gleissolo referente ao perfil AM06-GXve, os demais horizontes dos solos mais bem drenados em superfície do grupo 3, situados em diques aluviais (AM06-GXve, AM07-CYve e AM15-GXve) ou em barra de acreção (AM11-GXve), quais sejam: Gleissolos (AM-06, AM-11 e AM-15) e Cambissolo Flúvico (AM-07). Nos subgrupos 3.3, 3.4 e 3.5 estão distribuídos os horizontes dos perfis classificados como solódicos no quarto nível categórico (AM-16, PA-13 e PA-14), bem como os dois horizontes mais profundos (4Cg3 e 4Cg4) do Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico referente ao perfil AM05-GXve, os quais estão distribuídos nos subgrupos 3.4 e 3.5. O horizonte mais profundo do Gleissolo referente ao perfil AM06-GXve juntamente com um horizonte solódico (2Cgn1) do perfil AM16-GXve formaram o subgrupo 3.2;

d) o grupo 4 é formado pelos dois horizontes mais superficiais (3Cg1 e 3Cg2) do perfil AM05-GXve;

e) finalmente, o grupo 5 reúne os dois horizontes, entre os três estudados, do único Organossolo (PA17-OXy) da XV RCC;

f) em número de três foram os horizontes (AM08-Btg1, AM15-2C e PA17-Hd3) que não foram agrupados, fato esperado dada a grande variabilidade espacial dos atributos do solo, comuns em solos de planícies sujeitas à inundação temporária.

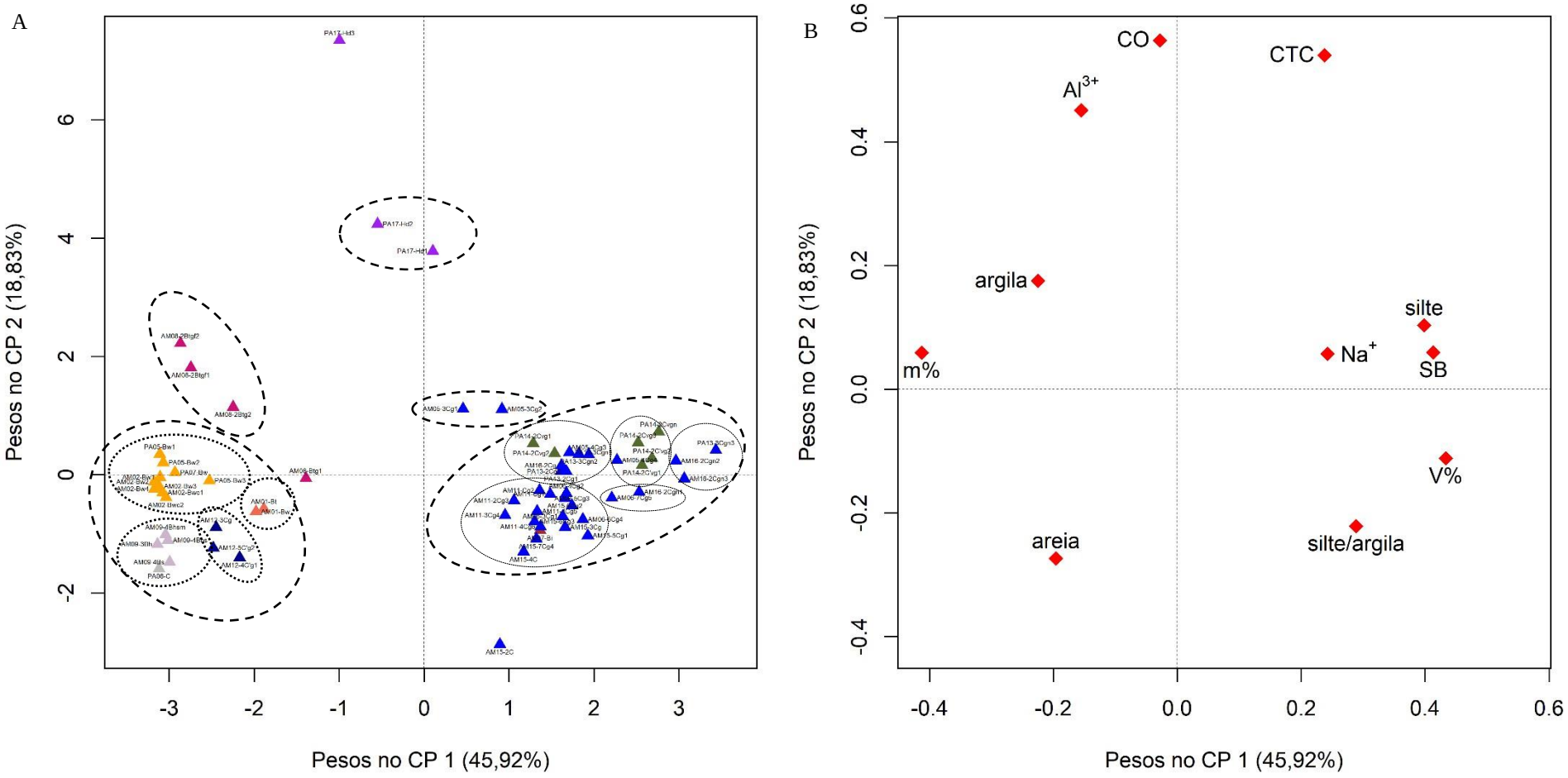


Figura 10.3. Gráficos de escores entre os componentes principais CP1 e CP2 mostrando a formação de agrupamentos entre os horizontes analisados (A) e de pesos com as 11 variáveis de solo que influenciaram na formação dos referidos agrupamentos (B). Os símbolos do gráfico (A) representam o número de identificação dos perfis seguidos pelos seus respectivos horizontes estudados; triângulos de cores semelhantes identificam horizontes do mesmo perfil; os símbolos do gráfico (B) representam: m% - saturação por alumínio; V% - saturação por bases; Al^{3+} - alumínio extraível; CTC - capacidade de troca de cátions; SB - soma de bases e CO – carbono orgânico. As elipses no gráfico (a) delimitam os grupos (1 a 5; linhas tracejadas) e subgrupos (linhas pontilhadas) dos grupos 2 (subgrupos 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4) e 3 (subgrupos 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5).

A identificação de quais atributos dos solos variaram em importância na definição dos grupos e subgrupos supracitados, bem como dos componentes principais, é mais bem visualizada na Figura 10.3B (mapa perceptual bidimensional) em relação à Tabela 10.2. Entre as variáveis químicas analisadas, a saturação por alumínio (m%) e o teor de argila foram os principais responsáveis pela individualização do grupo 1, que engloba os três horizontes mais profundos do único Plintossolo estudado (AM08-FTa). Alumínio extraível (Al^{3+}) também contribuiu para a formação desse grupo. Por sua vez, a configuração do grupo 2 (Figuras 10.3A e B) foi predominantemente influenciada pelas variáveis m% e areia.

Os fatos acima são corroborados ao se observar a Tabela 10.2. Esta mostra que o maior valor negativo do fator peso é registrado para m% no CP1, que responde por 45,92 da variação encontrada entre os atributos estudados, havendo desprezíveis valores dessa variável (0,06 e 0,01) nos demais CPs. Situação similar ocorre para Al^{3+}. No entanto, este apresenta elevado fator peso positivo (0,45) para o CP2 e valores bem inferiores e iguais (-0,16) nas demais CPs. Assim, todos os horizontes situados no quadrante superior esquerdo da Figura 10.3A têm sua localização fortemente influenciada por essas duas variáveis, sobretudo aqueles dispostos no eixo da CP2, tal como ocorre para os horizontes do Plintossolo (AM-08) do grupo 1. A influência das variáveis areia e argila são mais difíceis de se visualizar nas Figuras 10.3A e B devido aos seus maiores fatores peso encontrarem-se na CP3 (Tabela 10.2), que não é nela representada. No entanto, os maiores valores (em módulo) da soma dos fatores peso das três CPs avaliadas, que respondem por 80,54% das variações observadas (Tabela 10.2), são verificados para essas duas variáveis (0,71 e 0,79, respectivamente, para areia e argila), evidenciando a forte influência dessas variáveis na localização dos grupos 1 e 2 da Figura 10.3A.

Os atributos que definiram o grupo 1 e, especialmente, o subgrupo 2.1, bem como aqueles mostrados na Tabela 10.3, condizem com a descrição de muitos Latossolos e Plintossolos da bacia do Médio Rio Amazonas, originários das Formações Alter do Chão e Iça, respectivamente (Lima, 2001): baixa fertilidade natural, que pode ser evidenciada pelos valores também baixos de pH, SB, V% e CTC (Tabela 10.3). Lima (2001), estudando esses solos no Médio Amazonas, verificou que os seus teores de Al^{3+} são elevados, especialmente nos Plintossolos, no qual pode alcançar o valor de 10 $cmol_c\ kg^{-1}$, resultando, segundo o autor, em baixos valores de SB e V% superior a 90%. Similarmente, este último atributo variou de 94% a 98% nos horizontes subsuperficiais no Plintossolo estudado (Tabela 1-.3). No entanto, diferentemente do relatado por Lima (2001), o Al^{3+} aumentou expressivamente em profundidade, variando de 1,8 $cmol_c\ kg^{-1}$ no horizonte superficial (A) a anômalos 21,9 $cmol_c\ kg^{-1}$ no último horizonte (C´g2) do perfil AM-08 (Tabela 10.3). Essa variação coincide com o aumento e a diminuição substanciais dos teores de argila e silte em profundidade, respectivamente, variando de 160 g kg^{-1} a 789 g kg^{-1} para argila e de 624 g kg^{-1} a 163 g kg^{-1} para silte à medida que se aprofunda no perfil (vide Capítulo 9).

Tabela 10.3. Resultados selecionados das análises químicas de rotina para os 17 perfis estudados da XV RCC, estados do Amazonas e Pará.

Perfil	Hor.[1]	Prof.[2]		pH		Complexo sortivo[3]								V%[4]	m%[5]	CO[6]	Ataque sulfúrico				Relação molecular
		In.	Fin.	H_2O	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Ca+Mg	K^+	Na^+	SB	Al^{3+}	H^+	CTC				SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	Ki
		----- cm -----		----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	---------- cmol$_c$ kg^{-1} ----------				---------- g kg^{-1} ----------				
Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico, textura média/argilosa/muito argilosa, epieutrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano														----- % -----							
AM-01	Au1	0	8	5,2	4,8	6,6	1,5	-	0,07	0,03	8,2	0,1	7,5	15,8	52	1	21,7	111	72	47	8,3	2,62
AM-01	Au2	8	18	5,1	4,6	5,3	0,7	-	0,03	0,02	6,0	0,1	7,7	13,8	43	2	16,5	110	83	49	9,6	2,25
AM-01	Au3	18	37	5,1	4,5	3,8	0,9	-	0,03	0,02	4,7	0,2	8,6	13,5	35	4	13,1	128	103	56	11,3	2,11
AM-01	Au4	37	54	5,0	4,3	3,6	0,6	-	0,02	0,02	4,2	0,3	9,0	13,5	31	7	12,7	170	123	74	9,9	2,35
AM-01	Au5	54	73	5,1	4,4	3,6	0,6	-	0,02	0,02	4,2	0,2	8,9	13,3	32	5	11,0	178	128	75	10,4	2,36
AM-01	ABu	73	95	5,0	4,3	2,7	0,6	-	0,02	0,02	3,3	0,3	8,2	11,8	28	8	8,7	160	153	79	12,4	1,78
AM-01	BAu1	37	78	4,9	4,4	1,9	0,4	-	0,01	0,01	2,3	0,2	4,7	7,2	32	8	4,7	162	157	97	13,4	1,75
AM-01	BAu2	78	119	4,9	4,6	1,4	0,4	-	0,01	0,01	1,8	0,1	4,0	5,9	31	5	2,1	220	188	95	13,2	1,99
AM-01	Bt	119	153	4,9	4,5	1,3	0,4	-	0,01	0,01	1,7	0,1	3,8	5,6	30	6	1,4	237	189	99	14,1	2,13
AM-01	Bw	153	200	4,9	4,5	0,9	0,3	-	0,01	0,01	1,2	0,1	3,3	4,6	26	8	1,1	238	187	95	13,8	2,16
Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico, textura muito argilosa, A moderado, endoconcrecionário, álico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano																						
AM-02	A	0	7	4,6	4,0	1,1	1,0	-	0,07	0,01	2,2	1,1	8,5	11,8	19	33	17,8	261	168	32	12,8	2,64
AM-02	BA1	7	15	4,5	4,2	0,2	0,4	-	0,03	0,01	0,6	0,7	3,5	4,8	12	54	8,4	230	172	31	12,8	2,27
AM-02	BA2	15	26	4,5	4,1	0	0,2	-	0,03	0,01	0,2	0,8	2,7	3,7	5	80	6,0	202	173	33	12,7	1,98
AM-02	Bw1	26	42	4,5	4,1	0	0,1	-	0,02	0,01	0,1	0,8	2,0	2,9	3	89	4,1	249	190	33	13,4	2,23
AM-02	Bw2	42	80	4,6	4,2	0	0,1	-	0,01	0,01	0,1	0,7	1,8	2,6	4	87	2,9	243	189	25	13,1	2,19
AM-02	Bw3	80	108	4,7	4,2	0	0,1	-	0,01	0,01	0,1	0,6	1,5	2,2	5	86	2,3	249	189	23	13,5	2,24
AM-02	Bw4	108	163	4,8	4,4	0	0,1	-	0,01	0,01	0,1	0,5	1,2	1,8	6	83	1,7	246	189	24	12,5	2,21
AM-02	Bwc1	163	177	4,9	4,4	0	0,1	-	0,01	0,01	0,1	0,4	1,3	1,8	6	80	1,4	232	190	28	12,4	2,08
AM-02	Bwc2	177	200	5,0	4,4	0	0,1	-	0,01	0,01	0,1	0,4	0,6	1,1	9	80	1,0	249	191	30	11,6	2,22
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura siltosa, A moderado, Tma, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano																						
AM-05	Ag	0	5	4,5	3,7	8,1	3,0	-	0,27	0,16	11,5	2,7	7,8	22,0	52	19	15,7	196	112	59	5,6	2,98
AM-05	2CAg	5	17	4,5	3,6	6,6	3,3	-	0,24	0,17	10,3	3,2	7,9	21,4	48	24	14,5	197	118	58	5,6	2,84
AM-05	3Cg1	17	42	4,7	3,6	4,9	3,1	-	0,22	0,13	8,3	4,3	5,4	18,0	46	34	7,9	201	120	50	5,9	2,85
AM-05	3Cg2	42	73	4,8	3,6	7,0	6,6	-	0,26	0,14	14,0	2,8	4,8	21,6	65	17	7,4	236	149	46	5,3	2,69
AM-05	4Cg3	73	105	5,1	3,9	11,1	6,9	-	0,26	0,17	18,4	0,7	3,5	22,6	81	4	2,1	197	139	68	5,8	2,41
AM-05	4Cg4	105	156	5,5	4,4	12,3	7,8	-	0,27	0,19	20,6	0,2	2,7	23,5	88	1	2,1	245	147	67	7,0	2,83
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico gleissólico, textura média e siltosa, A moderado, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano																						
AM-06	Ap	0	5	5,1	4,4	9,2	2,9	-	0,51	0,14	12,7	0,2	4,2	17,1	74	2	9,0	159	93	52	6,2	2,91
AM-06	2ACg	5	17	4,9	4,0	7,8	3,1	-	0,24	0,13	11,3	1,0	4,1	16,4	69	8	5,3	265	103	55	5,3	4,37
AM-06	3Cg1	17	42	5,3	4,3	8,8	2,9	-	0,21	0,13	12,0	0,2	3,2	15,4	78	2	3,2	185	107	56	6,4	2,94
AM-06	4Cg2	42	73	5,4	4,2	9,7	3,5	-	0,22	0,18	13,6	0,2	3,0	16,8	81	1	2,9	195	110	54	5,9	3,01
AM-06	5Cg3	73	105	5,8	4,5	10,2	3,9	-	0,21	0,18	14,5	0,1	2,1	16,7	87	1	1,7	151	104	65	5,2	2,47
AM-06	6Cg4	105	156	6,0	4,6	9,6	4,4	-	0,18	0,16	14,3	0,1	2,0	16,4	87	1	0,7	168	102	55	5,0	2,80
AM-06	7Cg5	156	192	6,0	4,6	10,1	5,7	-	0,24	0,16	16,2	0,1	2,0	18,3	89	1	1,2	223	122	59	6,3	3,11

Continua…

Tabela 10.3. Continuação.

Perfil	Hor.[1]	Prof.[2]		pH		Complexo sortivo[3]								V%[4]	m%[5]	CO[6]	Ataque sulfúrico				Relação molecular
		In.	Fin.	H_2O	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Ca+Mg	K^+	Na^+	SB	Al^{3+}	H^+	CTC				SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	Ki
		----- cm -----				---------- $cmol_c\ kg^{-1}$ ----------								----- % -----			---------- $g\ kg^{-1}$ ----------				
Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, textura média/siltosa, A moderado, Tma, hipoférrico, fase floresta tropical higrófila de várzea, relevo plano																					
AM-07	A1	0	4	5,2	4,3	10,0	2,6	-	0,18	0,17	12,9	0,2	4,0	17,1	75	2	6,2	165	94	55	5,9	2,98
AM-07	A2	4	15	5,4	4,7	10,5	2,2	-	0,35	0,13	13,2	0,1	3,6	16,9	78	1	7,6	160	91	54	5,7	2,99
AM-07	BA	15	35	5,2	4,2	9,8	2,9	-	0,19	0,19	13,1	0,3	3,6	17,0	77	2	4,3	170	96	56	6,0	3,01
AM-07	Bi	35	87	5,7	4,6	9,8	3,0	-	0,20	0,16	13,2	0,1	2,8	16,1	82	1	3,2	161	89	55	5,2	3,08
AM-07	2C	87	126	5,8	4,6	10,1	4,0	-	0,17	0,36	14,6	0,1	2,5	17,2	85	1	3,1	179	97	55	5,1	3,14
AM-07	2Cg	126	200	6,6	5,2	11,2	5,4	-	0,20	0,51	17,3	0	1,3	18,6	93	0	2,2	181	109	55	6,1	2,82
Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico, textura média/argilosa/muito argilosa, A moderado, epiálico, Ta, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano																					
AM-08	A	0	6	4,2	3,8	0,4	0,2	0,6	0,08	0,05	0,7	1,8	4,7	7,2	10	72	13,7	68	38	14	5,2	3,04
AM-08	Btg1	6	30	4,1	3,8	0,1	0,1	0,2	0,02	0,02	0,2	3,1	2,2	5,5	4	94	3,4	82	62	20	5,9	2,25
AM-08	2Btg2	30	49	4,2	3,8	0,1	0,1	0,2	0,03	0,03	0,3	5,4	3,1	8,8	3	95	2,9	154	112	37	8,7	2,34
AM-08	2Btgf1	49	67	4,5	3,9	0	0,2	0,2	0,05	0,05	0,3	7,3	3,7	11,3	3	96	3,1	200	152	95	8,3	2,24
AM-08	2Btgf2	67	101	4,6	3,9	0	0,1	0,1	0,07	0,05	0,2	8,6	4,6	13,4	1	98	1,5	223	160	86	7,2	2,37
AM-08	2Cg1	101	151	4,5	3,8	0	0,2	0,2	0,12	0,04	0,4	10,2	3,9	14,5	3	96	1,2	223	172	70	7,5	2,20
AM-08	3Cg2	151	175	4,4	3,6	0	0,8	0,8	0,28	0,06	1,1	21,9	5,5	28,5	4	95	1,2	274	205	72	9,1	2,27
Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa, A fraco, endodúrico, fase campinarana equatorial arbórea, relevo plano																					
AM-09	A1	0	8	4,1	3,1	-	-	0,1	0,04	0,04	0,2	0,5	1,8	2,5	8	71	4,7	16	2	2	0,5	13,60
AM-09	A2	8	23	4,6	3,4	-	-	0,1	0	0,03	0,1	0,3	0,7	1,1	9	75	3,1	10	1	1	0,4	17,00
AM-09	AE	23	50	4,5	3,3	-	-	0,1	0	0,05	0,1	0,3	1,8	2,2	5	75	3,8	10	1	1	0,4	17,00
AM-09	E1	57	130	5,4	4,2	-	-	0,1	0	0	0,1	0	0	0,1	100	0	0,2	9	1	1	0,3	15,30
AM-09	E2	130	250	5,8	5,0	-	-	0,1	0,03	0	0,1	0	0	0,1	100	0	0,3	13	0	1	0,3	-
AM-09	2E3	250	321	5,8	4,9	-	-	0,1	0	0	0,1	0	0	0,1	100	0	0,2	16	0	1	0,4	-
AM-09	3Bh	321	326	4,7	3,8	-	-	0,1	0	0,05	0,1	1,1	4,8	6,0	2	92	5,5	27	22	5	1,2	2,09
AM-09	4Bhsm	326	366	5,0	4,4	-	-	0	0,03	0,04	0,1	0,7	7,3	8,1	1	87	9,0	28	38	3	0,8	1,25
AM-09	4Bhs	366	380	5,0	4,4	-	-	0	0,03	0,04	0,1	0,5	7,2	7,8	1	83	9,9	26	38	3	0,7	1,16
AM-09	4Bs	380	396	5,0	4,6	-	-	0	0,03	0,04	0,1	0,3	3,7	4,1	2	75	3,9	35	30	2	1,4	1,98
AM-09	5C	396	410	5,1	4,6	-	-	0	0,03	0,04	0,1	0,3	2,5	2,9	3	75	2,8	83	91	1	2,2	1,55
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico, textura siltosa-média/média-siltosa, A moderado, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano																					
AM-11	A1	0	5	5,2	4,7	10,0	3,1	-	0,18	0,11	13,4	0,1	4,1	17,6	76	1	8,0	170	103	60	5,4	2,81
AM-11	A2	5	17	5,1	4,4	9,7	2,8	-	0,19	0,09	12,8	0,3	4,1	17,2	74	2	7,2	184	115	61	5,4	2,72
AM-11	Cg1	17	41	5,1	4,3	9,2	3,0	-	0,16	0,09	12,4	0,3	4,1	16,8	74	2	6,5	174	109	60	6,2	2,71
AM-11	Cg2	41	61	4,7	4,1	8,6	2,9	-	0,15	0,08	11,7	0,6	4,9	17,2	68	5	7,2	144	104	62	4,7	2,35
AM-11	2Cg3	61	70	4,8	4,2	7,1	3,2	-	0,13	0,07	10,5	0,5	5,0	16,0	66	5	5,3	168	104	58	6,0	2,75
AM-11	3Cg4	70	86	4,7	4,1	6,8	1,8	-	0,12	0,07	8,8	0,8	4,1	13,7	64	8	5,2	150	86	52	5,1	2,97
AM-11	4Cg5	86	115	5,2	4,5	7,1	3,2	-	0,12	0,07	10,5	0,2	4,2	14,9	70	2	6,5	138	97	59	4,4	2,42
AM-11	4Cg6	115	160	5,6	5,0	7,6	2,9	-	0,11	0,07	10,7	0,1	2,5	13,3	80	1	5,8	135	84	52	6,2	2,73

Continua…

Tabela 10.3. Continuação.

Perfil	Hor.(1)	Prof.(2)		pH		Complexo sortivo(3)									V%(4)	m%(5)	CO(6)	Ataque sulfúrico				Relação molecular
		In.	Fin.	H2O	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Ca^{+}Mg$	K^{+}	Na^{+}	SB	Al^{3+}	H^{+}	CTC				SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	Ki
		----- cm -----				---------- $cmol_c\ kg^{-1}$ ----------									----- % -----			---------- $g\ kg^{-1}$ ----------				
Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico, textura média, A moderado, álico, epialumínico, Tmoa, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano																						
AM-12	Apg1	0	5	4,5	3,8	1,6	0,9	2,5	0,19	0,99	3,7	4,0	10,4	18,1	20	52	22,4	188	103	32	4,8	3,10
AM-12	2Apg2	5	11	4,4	3,8	0,6	0,9	1,5	0,08	0,34	1,9	3,5	5,6	11,0	17	65	9,8	124	75	18	4,2	2,81
AM-12	3Cg	11	38	4,8	4,1	0,1	0,1	0,2	0,04	0,13	0,4	1,8	2,3	4,5	9	82	3,1	68	47	6	3,9	2,46
AM-12	4Abg	38	63	5,2	4,3	0,1	0,2	0,3	0,03	0,11	0,4	1,2	1,6	3,2	12	75	1,9	60	45	4	4,3	2,27
AM-12	4C'g1	63	99	5,4	4,4	0,1	0,1	0,2	0,03	0,09	0,3	1,0	1,3	2,6	12	77	0,6	67	52	4	5,0	2,19
AM-12	5C'g2	99	150	5,1	4,4	0	0,2	0,2	0,04	0,11	0,3	1,1	1,2	2,6	12	79	0,4	70	55	6	5,1	2,16
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/arenosa/siltosa, A fraco, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano																						
AM-15	Ag	0	4	5,5	4,9	4,6	1,9	-	0,52	0,07	7,1	0	2,6	9,7	73	0	5,2	92	53	36	4,5	2,95
AM-15	2C	4	11	5,9	5,0	3,3	1,1	-	0,15	0,06	4,6	0	1,0	5,6	82	0	1,1	77	44	32	4,6	2,98
AM-15	3Cg	11	15	5,2	4,6	7,9	2,8	-	0,28	0,11	11,1	0,1	3,5	14,7	76	1	6,6	156	94	51	5,0	2,82
AM-15	4C	15	19	5,3	4,6	4,1	1,5	-	0,20	0,08	5,9	0,1	2,2	8,2	72	2	2,1	88	49	39	4,9	3,05
AM-15	5Abg	19	23	4,8	4,2	9,8	3,6	-	0,28	0,15	13,8	0,4	7,1	21,3	65	3	13,1	179	103	54	5,0	2,95
AM-15	5Cg1	23	41	5,9	5,0	7,4	3,2	-	0,18	0,12	10,9	0	2,0	12,9	84	0	3,5	178	97	53	4,8	3,12
AM-15	6Cg2	41	60	5,1	4,3	7,6	3,1	-	0,25	0,15	11,1	0,2	3,5	14,8	75	2	4,9	180	108	54	5,1	2,83
AM-15	6Cg3	60	108	5,4	4,5	6,5	2,6	-	0,17	0,12	9,4	0,1	2,3	11,8	80	1	3,6	131	83	48	3,8	2,68
AM-15	7Cg4	108	145	5,5	4,5	6,5	3,0	-	0,16	0,12	9,8	0,1	2,3	12,2	80	1	1,7	143	89	48	4,5	2,73
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa, A moderado, mesoendossolódico, Tma, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano																						
AM-16	Ag	0	4	4,4	3,6	6,2	3,1	-	0,23	0,22	9,7	2,6	6,8	19,1	51	21	12,3	158	119	55	4,9	2,26
AM-16	CAg	4	14	4,5	3,6	6,4	3,1	-	0,25	0,21	10,0	2,6	6,3	18,9	53	21	11,8	198	126	56	4,8	2,67
AM-16	2Abg	14	27	4,7	3,5	7,7	5,7	-	0,19	0,51	14,1	2,2	9,2	25,5	55	13	12,3	178	141	46	4,8	2,15
AM-16	2Cg	27	51	5,5	3,9	7,4	5,8	-	0,13	0,74	14,1	0,5	3,1	17,7	80	3	3,1	172	120	62	4,7	2,44
AM-16	2Cgn1	51	76	7,3	5,1	8,2	7,1	-	0,08	1,40	16,8	0	1,0	17,8	94	0	1,3	169	113	58	4,9	2,54
AM-16	2Cgn2	76	119	7,9	5,6	9,7	9,5	-	0,09	2,04	21,3	0	0,8	22,1	96	0	1,1	173	143	53	4,9	2,06
AM-16	2Cgn3	119	155	8,2	5,8	9,6	8,6	-	0,09	1,83	20,1	0	0,5	20,6	98	0	1,6	179	130	59	5,0	2,34
Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano																						
PA-05	A1	0	8	4,2	3,6	1,1	0,5	-	0,09	0,06	1,7	1,4	10,1	13,2	13	45	23,5	131	191	75	8,9	1,17
PA-05	A2	8	27	4,4	3,7	0,1	0,2	-	0,05	0,05	0,4	1,6	5,4	7,4	5	80	11,8	194	189	75	11,5	1,74
PA-05	BA	27	47	4,3	3,8	0	0,2	-	0,03	0,05	0,3	1,3	3,4	5,0	6	81	6,0	230	188	83	12,9	2,08
PA-05	Bw1	47	72	4,4	3,9	0	0,2	-	0,03	0,05	0,3	1,2	2,9	4,4	7	80	5,0	251	191	81	13,2	2,23
PA-05	Bw2	72	130	4,5	4,0	0	0,1	-	0	0,05	0,1	1,1	2,5	3,7	3	92	2,5	246	190	84	14,4	2,20
PA-05	Bw3	130	190	4,7	4,2	0,1	0,2	-	0	0,04	0,3	0,6	2,0	2,9	10	67	1,9	242	192	83	11,9	2,14
Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico húmico, textura arenosa-média, álico, fase cerrado equatorial subcaducifólio, relevo plano																						
PA-06	A1	0	6	4,5	3,7	-	-	0,1	0,06	0,06	0,2	2,3	11,9	14,4	1	92	21,0	26	25	7	1,4	1,77
PA-06	A2	6	22	5,2	4,0	-	-	0,1	0,04	0,05	0,2	1,4	8,1	9,7	2	87	16,9	31	26	7	1,5	2,03
PA-06	A3	22	52	5,2	4,2	-	-	0,1	0	0,04	0,1	1,0	6,0	7,1	1	91	13,5	32	28	8	1,9	1,94
PA-06	A4	52	89	5,1	4,2	-	-	0,1	0	0	0,1	0,9	3,7	4,7	2	90	8,0	29	21	12	1,9	2,35
PA-06	A5	89	125	5,2	4,3	-	-	0,1	0	0	0,1	0,7	3,6	4,4	2	87	5,4	28	20	13	1,7	2,38
PA-06	AC	125	169	5,1	4,3	-	-	0,1	0	0	0,1	0,6	2,7	3,4	3	86	2,9	31	27	8	1,9	1,95
PA-06	C	169	205	5,0	4,3	-	-	0,1	0	0	0,1	0,5	1,5	2,1	5	83	1,5	39	25	8	2,3	2,65

Continua…

Tabela 10.3. Continuação.

Perfil	Hor.[1]	Prof.[2]		pH		Complexo sortivo[3]									V%[4]	m%[5]	CO[6]	Ataque sulfúrico				Relação molecular
		In.	Fin.	H_2O	KCl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Ca+Mg	K^+	Na^+	SB	Al^{3+}	H^+	CTC				SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	Ki
		----- cm -----				---------- $cmol_c\ kg^{-1}$ ----------									----- % -----			---------- $g\ kg^{-1}$ ----------				
Latossolo Amarelo Distrófico húmico, textura muito argilosa, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano																						
PA-07	A1	0	15	4,6	3,9	2,0	0,7	-	0,10	0,06	2,9	2,1	19,9	24,9	12	42	33,6	235	191	48	9,9	2,09
PA-07	A2	15	27	4,7	4,0	0,2	0,2	-	0,04	0,05	0,5	1,6	15,5	17,6	3	76	28,5	196	197	55	10,1	1,69
PA-07	A3	27	40	4,6	4,0	0,1	0,1	-	0,04	0,05	0,3	2,4	12,9	15,6	2	89	24,2	196	193	54	10,2	1,73
PA-07	A4	40	58	4,6	4,0	0	0,1	-	0,03	0	0,1	2,0	9,3	11,4	1	95	16,4	231	191	61	11,4	2,06
PA-07	A5	58	78	4,5	4,0	0	0,1	-	0	0	0,1	1,8	7,4	9,3	1	95	13,1	191	190	55	14,9	1,71
PA-07	AB	78	97	4,6	4,0	0	0,1	-	0	0	0,1	1,3	5,1	6,5	2	93	7,7	241	189	55	13,3	2,17
PA-07	BA	97	137	4,6	4,1	0	0,1	-	0	0	0,1	1,0	4,1	5,2	2	91	5,4	279	189	56	13,4	2,51
PA-07	Bw	137	200	4,7	4,3	0	0,1	-	0	0	0,1	0,6	2,8	3,5	3	86	3,5	225	190	59	12,6	2,01
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa/siltosa, A moderado, endossódico, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano																						
PA-13	Apg	0	5	4,6	3,9	7,1	3,7	-	0,38	0,27	11,4	3,5	8,8	23,7	48	23	20,7	242	143	54	5,3	2,88
PA-13	2CAg	5	15	4,6	3,9	5,9	3,8	-	0,16	0,24	10,1	3,1	4,6	17,8	57	23	7,2	205	130	55	7,8	2,68
PA-13	2Cg1	15	32	5,2	4,1	7,9	3,9	-	0,14	0,41	12,3	0,9	3,3	16,5	75	7	4,3	208	127	56	5,7	2,78
PA-13	2Cg2	32	55	5,3	4,1	7,8	4,1	-	0,13	0,75	12,8	0,7	3,0	16,5	78	5	3,3	203	138	59	4,7	2,50
PA-13	3Cgn1	55	69	5,4	4,0	8,4	5,1	-	0,07	1,27	14,8	0,8	3,7	19,3	77	5	3,9	240	149	54	6,5	2,74
PA-13	3Cgn2	69	101	5,5	4,0	6,0	4,4	-	0,09	1,92	12,4	1,2	3,2	16,8	74	9	2,4	222	142	55	4,9	2,66
PA-13	3Cgn3	101	145	7,6	5,7	7,6	7,5	-	0,10	4,36	19,6	0	1,4	21,0	93	0	1,2	246	158	56	8,0	2,65
Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico, textura argilosa/siltosa, A fraco, mesoendossolódico, eutrófico, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano																						
PA-14	Ag	0	3	4,3	4,0	11,7	6,4	-	0,68	0,58	19,4	1,5	15,9	36,8	53	7	16,2	269	158	51	5,4	2,89
PA-14	2CAvg	3	20	4,7	3,8	9,6	6,6	-	0,31	0,39	16,9	1,6	5,4	23,9	71	9	8,4	278	176	47	5,6	2,69
PA-14	2Cvg1	20	43	4,8	3,8	7,0	6,2	-	0,20	0,76	14,2	1,3	3,5	19,0	75	8	2,3	251	162	54	4,6	2,63
PA-14	2Cvg2	43	71	5,2	4,0	7,5	8,4	-	0,18	0,82	19,9	0,4	2,8	20,1	84	2	1,8	264	175	57	6,1	2,56
PA-14	2Cvgn3	71	113	6,9	5,6	9,3	14,1	-	0,13	1,32	24,8	0	1,1	25,9	96	0	1,0	274	173	66	5,2	2,69
PA-14	2Cvgn	113	150	7,7	6,3	10,4	15,8	-	0,10	1,58	28,4	0	0,5	28,4	98	0	0,9	292	186	61	5,4	2,67
PA-14	2C'vg1	150	170	8,2	7,2	10,1	10,2	-	0,11	1,17	21,6	0	0	21,6	100	0	0,6	242	161	66	5,5	2,56
PA-14	2C'vg2	170	205	8,2	7,1	11,9	10,4	-	0,13	1,24	23,7	0	0	23,7	100	0	0,5	241	163	65	5,2	2,51
Organossolo Háplico Hêmico típico, textura argilosa/média/orgânica fíbrica, distrófico, episáprico e mesoendofíbrico, muito lenhosa, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano																						
PA-17	Hd1	0	4	4,5	3,8	9,5	1,5	11,0	0,34	0,07	11,4	1,3	27,4	40,1	28	10	94,4	188	132	19	3,7	2,42
PA-17	Hd2	4	12	4,5	3,7	5,4	1,2	6,6	0,18	0,07	6,8	3,0	31,1	40,9	17	31	88,6	190	143	14	4,1	2,26
PA-17	Hd3	12	29	4,1	3,4	2,5	1,1	3,6	0,08	0,05	3,7	6,9	58,0	68,6	5	65	129,0	165	116	12	2,4	2,42
PA-17	2Ho1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PA-17	2Ho2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

[1]Hor.: horizonte; [2]Prof.: Profundidades; In.: inicial; fin.: final; [3]SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; [4]V%: saturação por bases; [5]m%: saturação por alumínio; [6]CO: carbono orgânico.

As expressivas e peculiares variações granulométrica e do teor de Al^{3+} do Plintossolo (AM08-FXa) sugerem que estão relacionados, mesmo que indiretamente. Duas hipóteses podem ser especuladas a partir dos resultados analíticos aqui considerados, ambas relacionadas à mineralogia das frações granulométricas em questão: a) o aumento em profundidade de argilominerais interestratificados com Al-hidróxi entrecamadas da fração argila ou b) presença expressiva de minerais alteráveis na fração silte. No primeiro caso, o aumento e o conteúdo muito superior de argila em profundidade no Plintossolo (AM-08) acompanhariam os de minerais interestratificados. Marques et al. (2002), tentando explicar como a mineralogia poderia condicionar os elevados teores do elemento em solos do Alto Javari relacionados à Formação Solimões, concluíram que a presença comum de minerais filossilicados 2:1 com Al-hidróxi entrecamadas era a responsável pelos elevados e anormais teores do elemento Al^{3+} extraído com solução de KCl 1M. Os autores ainda sugerem que esses valores não necessariamente estariam correlacionados com a atividade do alumínio na solução do solo e, portanto, com a sua toxicidade para as plantas cultivadas. Por outro lado, a presença de feldspatos e vermiculita na fração silte, identificados por Lima (2001) em Plintossolos da Formação Iça, pode decompor-se rapidamente nas atuais condições de intenso intemperismo a que esses minerais são submetidos, liberando Al^{3+}.

Várias evidências concorrem para que a segunda hipótese seja a mais plausível:

a) o decréscimo do silte em profundidade e o aumento de argila sugerem que o primeiro é fonte do segundo;
b) o solo em questão está constantemente rejuvenescendo-se devido a sua origem relacionada a depósitos sazonalmente adicionados por ocasião das inundações fluviais, pois a fração silte é bastante instável nas condições atuais de forte intemperismo a que esses depósitos são submetidos, o que concorre para a sua diminuição em profundidade;
c) as classes de reação do solo, extremamente ácido nos três horizontes mais próximos à superfície e fortemente ácido nos demais, bem como os valores de Ki próximos a 2:2 associados aos baixos valores de soma de bases em todo o perfil (variam de 0,2 $cmol_c\ kg^{-1}$ a 1,1 $cmol_c\ kg^{-1}$) (Tabela 10.3), fatores esses predominantemente relacionados à fração argila dos solos, sugerem poucos minerais alteráveis nessa fração mineral do solo;
d) as constatações anteriores indicam que a potencial fonte de alumínio extraível com KCl 1M esteja predominantemente na estrutura dos minerais da fração silte do Plintossolo referente ao perfil AM-08, a qual é predominante e periodicamente incorporada nas inundações anuais responsáveis pela formação desses solos;
e) a redução do conteúdo do silte em profundidade é consequência do rápido e maior tempo de intemperismo a que estão submetidas suas camadas mais profundas, favorecendo a concentração de Al^{3+} e a remoção dos cátions trocáveis, bem como a predominância de caulinita na fração argila em todo o perfil;
f) os maiores valores de Ki em superfície, 3,04, e de SB (1,1 $cmol_c\ kg^{-1}$) no horizonte mais profundo (C'g2) de maior conteúdo de Al^{3+} (21,9 $cmol_c\ kg^{-1}$) (Tabela 10.3) evidenciam que o horizonte superficial A é menos intemperizado em relação aos demais e que o maior intemperismo do último horizonte (C'g2) do perfil AM-08

favoreceu o elevado conteúdo de Al^{3+} e de cátions trocáveis que compõem a CTC de sua fração argila.

Tendo-se em vista essas considerações, o Plintossolo do perfil AM-08 mostra evidências de que está sendo formado no sentido ascendente, processo comum em ambientes sedimentares, ao contrário daqueles originários in situ a partir da decomposição da rocha-mãe; fato que, associado às intensas condições intempéricas, características da região amazônica, e à predominância de silte nos sedimentos que lhe deram origem, imprimiu os seus atributos mostrados na Tabela 10.4, jamais encontrados concomitantemente em solos originados da decomposição in situ da rocha-mãe: elevado conteúdo de silte em superfície (624 g kg^{-1}), reduzindo significativamente em profundidade, com comportamento inverso da argila; elevada atividade dessa fração associada a baixos valores de pH e SB em todo o perfil, bem como a uma maior CTC no seu horizonte mais profundo.

Dada a natureza sedimentar/aluvionar desse solo, é esperada a ocorrência de descontinuidade litológica ao longo do perfil, fato não encontrado em campo pelos descritores e, portanto, não registrado na nomenclatura dos horizontes. No entanto, a análise conjunta dos parâmetros, entre os aqui estudados e normalmente utilizados para se avaliar a descontinuidade litológica em um perfil, como areia fina/areia grossa (AF/AG) e argila+silte/TiO_2 (Tabela 10.4), mostrou que há indícios de sua ocorrência. Com base em experiência com as análises laboratoriais envolvidas, principalmente quando utilizadas para a classe dos Plintossolos, como o aqui estudado, sugere-se sempre avaliar conjuntamente ambos os parâmetros supracitados, e não de forma isolada, pois os procedimentos metodológicos para obtê-los são passíveis de erros e/ou dificuldade de interpretação, sobretudo quando um pequeno conteúdo de uma das frações granulométricas está presente em horizontes de solos com plintita e petroplintita e o solo apresenta elevado conteúdo de silte. Isso se deve ao fato de a presença de petroplintita (Coelho et al., 2023) e/ou plintita ser potencialmente capaz de alterar a relação natural dessas frações com a sua decomposição nos horizontes em que ocorrem, o que é agravado nos solos com muito baixo conteúdo de areia. Em tais solos, pequenos erros metodológicos podem dobrar a proporção de uma fração em relação à outra, como, por exemplo, da AG em relação à AF.

Outra questão referente aos solos com elevado conteúdo de silte é que a metodologia do ataque sulfúrico utilizada para se obter o índice de intemperismo Ki foi desenvolvida para Latossolos, que invariavelmente apresentam baixos conteúdos daquela fração, muitas vezes sendo dominada por quartzo, tal como mostrado por Lima (2001) e Mafra et al. (2002). Esses fatos, associados ao desconhecimento quanto à capacidade daquele extrator de abrir a fração silte, mormente em solos que contêm minerais alteráveis na composição dessa fração, incitam recomendar-se cautela na interpretação dos valores apresentados na Tabela 10.4 para fins de interpretação da existência ou não de descontinuidade litológica. Assim, o procedimento recomendado, baseando-se no princípio da cautela para interpretação dos resultados da Tabela 10.4, é considerá-los conjuntamente, reafirmando-se o que se comentou anteriormente, ou seja, tanto a relação AF/AG como a argila+silte/TiO_2 têm de variar substancialmente em relação ao horizonte sobrejacente a fim de se considerar se há ou não descontinuidade litológica. Com esse procedimento, sugere-se a existência de quatro descontinuidades litológicas no perfil AM-08 (Tabela 10.4). Essas sugestões foram parcialmente acatadas após a RCC pelos descritores do perfil em questão.

Tabela 10.4. Atributos granulométricos e químico selecionado (TiO_2; obtido por ataque sulfúrico) do Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico (AM-08), bem como algumas de suas relações.

Hor.(1)	Hor.(2)	Prof.(3)	AG(4)	AF(5)	AT(6)	Silte	Argila	AF/AG	argila+silte
		--- cm ---	---------- g kg^{-1} ----------						TiO_2
A	A	0-6	8	237	245	624	131	30,9	145,3
Btg1	2Btg1	6-30	3	175	178	662	160	51,7	139,2
2Btg2	3Btg2	30-49	4	101	105	531	365	27,6	102,9
2Btgf1	3Btgf1	49-73	34	98	132	407	461	2,9	104,7
2Btgf2	4Btgf2	73-101	25	102	127	406	467	4,1	121,3
2Cg1	4Cg1	101-151	35	73	108	421	470	2,1	118,8
3Cg2	5Cg2	151-175	30	18	48	163	789	0,6	104,5

(1)Hor. = horizontes conforme Capítulo 9; (2)Hor. = horizontes propostos; (3)Prof. = profundidade; (4)AG = areia grossa; (5)AF = areia fina; (6)AT = areia total.

Os números arábicos em vermelho correspondem aos sugeridos para serem incluídos ou substituídos nos seus horizontes a fim de designarem a existência de descontinuidade litológica.

O isolamento do horizonte Btg1 da Figura 10.3A é mais um fator que contribui para apoiar a suposta descontinuidade litológica: foi individualizado em relação aos demais do grupo 1 devido ao seu maior conteúdo de areia total (Tabela 10.4) e menor de Al^{3+} (Tabela 10.3) em relação aos respectivos horizontes subjacentes do perfil, sugerindo que as análises de CPs podem ser utilizadas como um parâmetro a mais a fim de definir a presença ou não de descontinuidade litológica, dada as limitações dos procedimentos acima referidos e aqui utilizados para identificá-la.

O subgrupo 2.4 (Figura 10.3A), que reuniu os dois únicos horizontes estudados (Bt e Bw) do Argissolo Amarelo antrópico (AM-01), isolando-os em relação aos demais horizontes dos Latossolos Amarelos analisados por PCA (Figura 10.3A), que estão agrupados no subgrupo 2.1, confirma o que se argumentou na análise de HCA e discutido por Lima (2001) em seu estudo de Terras Pretas relacionadas à Formação Alter do Chão, incluindo um Latossolo e um Argissolo Amarelo, ambos contendo horizonte A antrópico: embora as características morfológicas dos horizontes subsuperficiais não apresentem diferenças morfológicas marcantes em relação aos solos adjacentes (vide Capítulo 9), é comum manifestarem mudanças expressivas em alguns de seus atributos químicos, como pH, Al^{3+} e teor de nutrientes.

De fato, os atributos químicos que indicam o elevado teor de nutrientes, como SB e V%, são muito superiores nos horizontes diagnósticos subsuperficiais (Bt e Bw) do Argissolo Amarelo antrópico em relação aos demais Latossolos estudados (AM-02, PA-05 e PA-07), ao contrário dos teores de Al^{3+}, que alcançam valores próximos a zero (0,1 $cmol_c$ kg^{-1}) naqueles mesmos horizontes, enquanto nos demais, de mesma ordem taxonômica (AM-02, PA-05 e PA-07) em relação aos solos adjacentes ao perfil AM01-PAd, são superiores a 0,4 $cmol_c$ kg^{-1} (Tabela 10.3). Embora Lima (2001) tenha registrado valor de V% superior a 50% no único horizonte Bw estudado de um Latossolo Amarelo antrópico, o máximo aqui encontrado foi de 30% no horizonte Bt (Tabela 10.4), coincidindo, no entanto, com o máximo valor deste atributo descrito por aquele autor para os horizontes B de um Argissolo Amarelo com horizonte antrópico por ele estudado.

A comparação do Argissolo com horizonte A antrópico (perfil AM-08) em relação aos Latossolos estudados na XV RCC justifica-se pelo fato de que essa última é a classe de solos predominantes nas adjacências do Argissolo em questão e, consequentemente, afirma-se aqui que a alteração provocada pelo homem nesse solo imprimiu-lhe, entre outros atributos, o seu gradiente textural, suficiente para enquadrá-lo na classe dos Argissolos. Além do que, o horizonte Bt em questão satisfaz todos os demais critérios diagnósticos para horizonte B latossólico segundo o SiBCS (Santos et al., 2018), a não ser pelo gradiente textural, fatos já comentados anteriormente.

Invariavelmente, as Terras Pretas de Índio apresentam teores muito elevados de P disponível (Kern; Kämpf, 1989). O SiBCS (Santos et al., 2018) requer conteúdo de P extraível ≥ 30 mg kg^{-1} para um horizonte A ser enquadrado como antrópico, além da presença obrigatória de uma ou mais evidências de atividade humana pretérita, como artefatos cerâmicos, por exemplo. No presente estudo, ambos estão presentes: fragmentos de cerâmica foram descritos em quantidade comum em todos os horizontes Au (vide Capítulo 9), contudo, os teores de P disponível variam entre 104 mg kg^{-1} e 334 mg kg^{-1} (Tabela 10.5). Esse maior valor foi registrado para o quarto horizonte superficial (Au4), a exemplo do que foi observado por Kern e Kämpf (1989) e Lima (2001) em estudos sobre Terras Pretas de Índio de diferentes locais da região amazônica. Segundo os autores, os teores mais elevados de P não ocorreram na parte mais superficial do horizonte A, mas em posição mais profunda. Lima (2001) elenca alguns motivos da variação do P em profundidade, quais sejam: lixiviação do elemento, perdas por erosão e uso agrícola atual, com depleção do P em superfície.

Similares aos valores de P extraível, os teores de P_2O_5 obtidos por ataque sulfúrico (Tabela 10.5), o que pode ser considerado o teor total do elemento na fração argila, também apresentaram valores muito superiores em todos os horizontes, comparativamente aos demais horizontes dos perfis de Latossolos estudados, até mesmo nos subsuperficiais diagnósticos B (vide Capítulo 9), fato também encontrado por Lima (2001). Segundo esse autor, as fontes primárias do P presente nas Terras Pretas foram os resíduos incorporados aos solos pelas populações pré-colombianas, sobretudo espinhas de peixe, ossos de mamíferos e quelônios. Em decorrência, salienta o autor, é comum haver o predomínio do elemento associado ao cálcio em horizontes antrópicos, que deve ser a principal fonte de P extraído por ataque sulfúrico (Tabela 10.5).

A Figura 10.3B indica que os conteúdos de areia e de m% foram os principais atributos que individualizaram o supramencionado subgrupo 2.4 da Figura 10.3A. De fato, os horizontes Bt e Bw (AM-01) apresentam o maior conteúdo de areia total e conteúdos muito inferiores de m% entre os registrados para os demais horizontes B latossólicos estudados (AM-02, PA-05 e PA-07) (vide Capítulo 9). A menção à granulometria do perfil AM-01 remete a duas questões taxonômicas que as consideram, já comentadas na HCA: a) o método de cálculo da relação textural para caracterizar a presença de horizonte B textural e b) o seu uso na classificação de solos com horizonte A antrópico. No primeiro caso, o SiBCS (Santos et al., 2018) especifica qual deve ser o valor da relação textural em função dos teores de argila dos sub-horizontes A, porém, não menciona como proceder em casos como o do perfil AM-01. Observa-se na Tabela 10.5 que o teor de argila está abaixo de 400 g kg^{-1} nos três primeiros horizontes (Au1, Au2 e

Au3) e acima deste valor nos horizontes A (Au4, Au5 e ABu) sotopostos. O SiBCS considera que, para caracterização do horizonte B textural nos solos com teores de argila no horizonte A superiores a 400 g kg^{-1}, a relação textural B/A deve ser superior a 1,50, mas não especifica como proceder quando há valores acima e abaixo daquele teor nos sub-horizontes A. Também não especifica se se deve considerar ou não os horizontes transicionais AB no cálculo da relação textural B/A. A sugestão é que esses horizontes sejam considerados, bem como se utilize o valor da média aritmética de argila dos sub-horizontes A, incluindo, portanto, o horizonte AB, a fim de caracterizar qual deve ser a relação entre o teor de argila do horizonte A e a relação textural B/A na identificação de horizonte B textural.

Empregando-se os dados da Tabela 10.5 para o cálculo da relação textural B/A conforme sugerido acima, o que significa incluir todos os sub-horizontes, inclusive AB, obtém-se um valor médio acima de 400 g kg^{-1} (415,33 g kg^{-1}). Portanto, a relação textural B/A requerida para caracterizar a presença de horizonte B textural no perfil AM-01 seria de 1,5, tal como preconiza o SiBCS. Agora que ela foi definida, pode-se calculá-la para o perfil AM-01, seguindo, no entanto, os demais critérios estabelecidos no SiBCS, mas considerando o horizonte ABu no cálculo da média aritmética do horizonte A (Tabela 10.5). O valor obtido da relação textural B/A seria de 1,56. Portanto, o solo em questão (perfil AM-01) foi adequadamente classificado como um Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico, rechaçando-se a proposta de alguns participantes do evento, e registrada no item observações do perfil AM-01 do Capítulo 9, de classificá-lo como Latossolo Amarelo Distrófico argissólico antrópico: a atividade antrópica é um fator de formação dos solos, e sua influência, alterando os atributos do solo, deve ser considerada na classificação de um solo, além de ser o único atributo de origem antrópica considerado no SiBCS, devendo atender a todos os demais critérios estabelecidos no SiBCS, incluindo aqueles relacionados à relação textural B/A para caracterização de horizonte B textural.

Tabela 10.5. Granulometria e teores de P disponível e de P_2O_5 obtido por ataque sulfúrico do Latossolo Amarelo Distrófico antrópico (perfil AM-01).

Horizonte	Profundidade	Areia total	Silte	Argila	P disponível	P_2O_5
	------- cm -------	---------- g kg^{-1} ----------			---- mg kg^{-1} ----	g kg^{-1}
Au1	0-8	553	144	304	134	3,4
Au2	8-18	537	134	328	121	3,4
Au3	18-37	514	115	371	104	3,7
Au4	37-54	398	103	499	334	6,3
Au5	54-73	398	107	495	308	6,7
ABu	73-95	403	102	495	260	5,8
BAu1	37-78	346	75	579	117	3,5
BAu2	78-119	276	68	656	157	3,3
Bt	119-153	263	51	686	177	3,2
Bw	153-200	263	59	678	181	2,7

Entre os subgrupos do grupo 2 da Figura 10.3A, que foi separado dos demais grupos analisados por PCA, devido, sobretudo, aos elevados valores de m% e do conteúdo de areia de

seus horizontes, individualizou-se os subgrupos 2.2 e 2.3. No primeiro estão agrupados todos os horizontes dos solos essencialmente arenosos estudados na XV RCC, o Espodossolo (AM-09) e o único horizonte avaliado por PCA do Neossolo Quartzarênico (PA-06), enquanto o subgrupo 2.3 reuniu os horizontes do exclusivo Gleissolo (AM-12) de baixa atividade de argila estudado na XV RCC.

Majoritariamente, os Espodossolos do Brasil são de textura essencialmente arenosa em todo o perfil (Coelho, 2008). No entanto, a classe textural da última camada do Espodossolo estudado (horizonte 5C) é de textura francoarenosa. Esse fato juntamente com a variação dos conteúdos de cascalho, areia grossa e areia fina ao longo do perfil AM-09, facilmente observados em campo, particularmente daqueles que receberam diferentes algarismos numéricos que antecedem a designação do horizonte (2E3, 3Bh, 4Bhsm, 4Bhs e 4Bs), conotando descontinuidade litológica, possivelmente estão relacionados a comum e brusca variação litológica vertical, característica da Formação Alter do Chão (Caputo et al., 1972; Mendes et al., 2012), já que estudos de gênese e evolução das paisagens próximas à área do Espodossolo em questão (Horbe et al., 2004) e outros locais com areia branca da bacia amazônica (Mafra et al., 2002) sugerem a formação in situ dos Espodossolos.

Além disso, as faixas de diferentes espessuras relatadas pelos descritores do perfil AM-09 (vide Capítulo 9) em alguns de seus horizontes espódicos, algumas delas mudando de orientação na face observada do perfil, também devem ter um controle litológico, possivelmente relacionadas às estratificações inerentes às litofácies da Formação Alter do Chão (Mendes et al., 2012). Essas estratificações podem atuar como agentes de fixação dos compostos organometálicos que migram no perfil, originando faixas de diferentes cores, algumas delas podendo manifestar a coloração original das litofácies, tal como ocorre na camada identificada como 5C do perfil AM-09, que foi original e erroneamente denominada pelos descritores de 5Bs2.

Excetuando-se a presença de classe textural francoarenosa, a indicação de descontinuidades litológicas no perfil e o fato de ser classificado como hiperespesso, os demais atributos do Espodossolo estudado (AM-09), especialmente os químicos, são típicos daqueles de outras áreas do Brasil (Coelho, 2008): baixas soma e saturação por bases, elevada acidez, CTC mais elevada nos horizontes espódicos, os quais apresentam maior conteúdo de carbono e Al^{3+} (Tabela 10.3), sugerindo ser dependente da matéria orgânica e saturada com Al extraível.

Em termos de classificação taxonômica, em conformidade com o SiBCS (Santos et al., 2018) ipsis litteris, o Espodossolo foi corretamente classificado como Humilúvico no segundo nível categórico, o que, do ponto de vista dos autores, não é adequado devido à pequena espessura do horizonte que imprime a designação daquele nível categórico: o horizonte Bh, de 15 cm de espessura (Tabela 10.3). No entanto, os demais horizontes espódicos do Espodossolo (4Bhsm, 4Bhs e 4Bs), de diferentes tipos, são dominantes dentro da seção de controle que define a classe dos Espodossolos (400 cm) (Santos et al., 2018). Isso se dá porque, para qualificar o segundo nível categórico dos Espodossolos, o SiBCS define que o horizonte espódico sobrejacente aos demais horizontes (espódicos ou não) no perfil é o que imprime a designação da classe naquele nível categórico, quando há mais de um tipo de horizonte espódico. Baseado nesse critério taxonômico, o primeiro horizonte Bh do perfil em questão (Tabela 10.3), sobrejacente aos demais, irá condicionar o nome da subordem do Espodossolo estudado,

Humilúvico. A sugestão é que, para classificar os Espodossolos em segundo nível categórico, estabeleça-se uma seção de controle (50 cm) a partir do primeiro horizonte espódico encontrado, contínua ou cumulativamente. O tipo de horizonte espódico dominante nessa seção é que imprimiria a designação de segundo nível categórico para os Espodossolos. No caso em questão, os horizontes 4Bhsm e 4Bhs, somados, são os mais espessos dentro dos 50 cm a partir do topo do primeiro horizonte espódico (Tabela 10.3; Capítulo 9). Segundo esse critério proposto, o Espodossolo referente ao perfil AM-09 seria classificado como Ferri-humilúvico em nível de subordem, tal como sugerido originalmente pelos descritores. Possivelmente, essa foi a lógica taxonômica utilizada por eles: predominância do tipo de horizonte espódico dentro de uma seção de controle, definindo a nomenclatura de subordem taxonômica.

Tal como argumentado anteriormente, o único horizonte estudado do Neossolo Quartzarênico referente ao perfil PA-06 e agrupado no subgrupo 2.2 da Figura 10.3A apresenta como peculiaridade a existência de horizonte A húmico de elevada espessura, 125 cm. Conjectura-se que se trata de um paleossolo formado em condições pretéritas mais frias e secas que a atual, favorecendo o acúmulo de carbono orgânico, que é estabilizado nas condições climáticas atuais de intenso intemperismo devido à interação da matéria orgânica com o alumínio. A fração extraível desse elemento reduz em profundidade, comportamento similar ao do CO (Tabela 10.3). Outra hipótese é que o seu acúmulo no solo em questão estaria relacionado a condições pretéritas de hidromorfismo intermitente, estabilizando-se na paisagem atual pelo mesmo mecanismo supracitado.

Os horizontes do Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico (AM-12) do grupo 2, subgrupo 2.3, diferiram dos demais Gleissolos estudados (AM-05, AM-06, AM-11, AM-15, AM-16 e PA-13) e reunidos majoritariamente no grupo 3 da PCA (Figura 10.3A), devido, sobretudo, aos mais elevados valores de m% (varia de 77% a 82%; Tabela 10.3) e areia (varia de 648 g kg^{-1} a 666 g kg^{-1}) e, consequentemente, menores de V%, argila e silte. Este último, no entanto, encontra-se em conteúdo sempre superior ao de argila (vide Capítulo 9). Além disso, os seus atributos químicos (SB, V% e Al^{3+}) (Tabela 10.3) convergem para classificá-lo como (Ta) distrófico em nível de grande grupo taxonômico, divergindo dos demais Gleissolos, que são eutróficos (Tabelas 10.2 e 10.3). Uma peculiaridade desse solo é a presença de um horizonte A enterrado (2Abg; 1,9 g kg^{-1} de CO), mais escuro que o sobrejacente (vide Capítulo 9) (3Cg; 3,1 g kg^{-1} de CO), porém de menor conteúdo de carbono orgânico (Tabela 10.3), sugerindo que o tipo de matéria orgânica, e não o seu conteúdo, é que está controlando a coloração desses horizontes.

Excetuando-se os horizontes 3Cg1 e 3Cg2 do perfil AM-05, o grupo 3 da Figura 10.3A englobou todos os horizontes minerais estudados na PCA das planícies aluviais sujeitos ao hidromorfismo temporário ou permanente, de elevadas atividades da fração argila (Ta), soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e CTC. A grande maioria apresenta elevado conteúdo de silte (varia de 200 g kg^{-1} a 750 g kg^{-1}), sendo que a relação silte/argila é invariavelmente superior a uma unidade (varia de 1,35 a 10,54). Alguns deles ainda possuem elevado conteúdo de Na^{+} (Tabela 10.4). Entre esses horizontes, aqueles (AM16-2Cgn2, AM16-2Cgn3, PA13-3Cgn3) que exibem concomitantemente o maior conteúdo daquele elemento (2,04, 1,83 e 4,36 $cmol_c$ kg^{-1}, respectivamente) associado às elevadas SB, CTC e V%, foram agrupados no subgrupo 3.3 da Figura 10.3A. Trata-se dos horizontes mais profundos dos perfis AM16-GXve e PA13-GXve, os quais, juntamente com o Vertissolo estudado (PA14-VGo), receberam a

designação de solódico em nível de subgrupo taxonômico (Tabela 10.1). Os horizontes abaixo de 70 cm de profundidade desses três perfis também estão relacionados aos mais elevados valores de pH em água entre todos os horizontes e solos estudados na XV RCC, variando entre 6,9 (praticamente neutro) a 8,2 (moderadamente alcalino) (Tabela 10.3), fato comum nos solos afetados por sódio.

Os atributos supracitados, aparentemente em desacordo com o clima regional, podem ser explicados pela ação conjunta do maior tempo de intemperismo a que são submetidos os horizontes inferiores (mais antigos) dos perfis mencionados em relação aos superficiais (mais recentes), atuando em um material de origem rico em silte e minerais primários, alguns deles contendo Na^+, que é deles liberado para a CTC e para a solução do solo. Esses fatos, associados à maior permanência das águas de inundação nos horizontes mais profundos desses perfis em relevo extensamente aplainado, com baixas ou lentas taxas de lixiviação, favorecem a manutenção e o maior conteúdo do Na^+ em profundidade. Os mecanismos expostos convergem para se considerar que a intensidade do intemperismo nesses solos sobrepõe-se à ação do hidromorfismo em retardá-lo em profundidade, bem como em remover o Na^+ pela água de drenagem, favorecendo o desenvolvimento dos horizontes e atributos que possibilitaram reuni-los, por exemplo, no subgrupo 3.3 da Figura 10.3A, bem como classificar alguns solos da XV RCC como Ta Eutróficos solódicos (AM16-GXve, PA13-GXve e PA14-VGo).

Os horizontes reunidos no subgrupo 3.1 da Figura 10.3A dizem respeito a todos os solos (AM06-GXve, AM07-CYve, AM11-GXve e AM15-GXve) aqui estudados que foram desenvolvidos em situação de dique aluvial (AM06-GXve, AM07-CYve e AM15-GXve) ou barra de acreção (AM11-GXve) nas suas respectivas planícies de inundação e que invariavelmente apresentam horizontes superficiais mais bem drenados (isentos de subscrito g) em relação aos subsuperficiais. Nesse subgrupo, inclui-se o Gleissolo referente ao perfil AM-11, o mais próximo, entre os demais solos estudados, à margem do rio (Amazonas), responsável pela sua formação e a qual ainda influencia. A elevada relação silte/argila (Figura 10.3B) foi o atributo que mais contribuiu para individualizar todos os horizontes daquele subgrupo (média de 4,83 contra 2,41 dos demais horizontes do grupo 3) dentro do grupo 3 (Figura 10.3A) nesses solos com os menores teores de Na^+ em relação aos demais hidromórficos reunidos naquele grupo (Tabela 10.3). Também apresentam, em média, menores valores de SB (média de todos os horizontes do subgrupo 3.1 é de 11,1 $cmol_c\ kg^{-1}$; média de todos os demais horizontes do grupo 3 é de 18,4 $cmol_c\ kg^{-1}$) e de CTC (média de todos os horizontes do subgrupo 3.1 é de 14,3 $cmol_c\ kg^{-1}$; média de todos os demais horizontes do grupo 3 é de 20,8 $cmol_c\ kg^{-1}$) em relação aos demais horizontes do grupo 3.

Embora apenas os solos do estado do Amazonas tenham sido reunidos no subgrupo 3.1 (Figura 10.3A), não podemos interpretar que são de menor fertilidade natural em relação aos do estado do Pará, mas sim que as suas melhores condições de drenagem, ou seja, ficam submersos, total ou parcialmente, por menor período em relação aos demais solos e horizontes do grupo 3, possivelmente favorecem o seu intemperismo e a remoção dos cátions básicos. No entanto, os maiores valores médios da relação silte/argila (4,83), atividade da fração argila (113 $cmol_c\ kg^{-1}$ de argila) e Ki (2,82) dos horizontes do subgrupo 3.1 em relação aos dos demais subgrupos do grupo 3 (2,41 para silte/argila, 72 $cmol_c\ kg^{-1}$ de argila para a atividade da fração argila e 2,54 para Ki) indicam o contrário, que são menos intemperizados.

Os valores médios de silte e argila, além de outros parâmetros químicos, podem contribuir para a análise e a interpretação dos resultados supracitados: enquanto os valores médios de silte são próximos entre os horizontes do subgrupo 3.1 (617 g kg^{-1}) e os demais horizontes do grupo 3 (671 g kg^{-1}), os de argila são bem inferiores no primeiro (média de 139 g kg^{-1} para o subgrupo 3.1 e de 298 g kg^{-1} para os demais horizontes dos subgrupos do grupo 3), sugerindo que os minerais da argila são menos estáveis em condições de melhor drenagem. Assim, o menor conteúdo de argila irá refletir na maior relação silte/argila e, consequentemente, na menor CTC dos horizontes e solos do subgrupo 3.1, já que essa é a principal fração do solo detentora de cargas.

Por outro lado, tem-se maior valor médio de pH em H_2O (6,4) dos horizontes dos solos referentes aos subgrupos de 3.2. a 3.5 em relação aos do subgrupo 3.1 (pH médio de 5,4), sobretudo condicionado pelo maior conteúdo de Na^+, tal como afirmado anteriormente, e/ou, acrescenta-se aqui, pelas condições imperfeitas de drenagem a que são submetidos por longos períodos de tempo durante o ano, as quais favoreceram a maior solubilidade da sílica e sua remoção do sistema pelas águas de drenagem, originando argilas com menor conteúdo de SiO_2 em relação àquelas dos horizontes e solos do subgrupo 3.1. Nesses, o expressivo menor conteúdo de argila em relação aos demais solos do grupo 3 é o responsável pela geração de menor número de cargas negativas por kg de solo e, consequentemente, pela menor CTC, reafirmando-se o que se comentou anteriormente.

Os argumentos aqui apresentados que consideram os valores de Ki partem da premissa de que a metodologia do ataque sulfúrico utilizado para a sua determinação abre, especialmente, os minerais da fração argila do solo.

A classificação idêntica até quarto nível categórico e as relações similares dos atributos (Tabela 10.3) entre os horizontes do Gleissolos Háplicos Ta Eutróficos neofluvissólicos referentes aos perfis AM-05 e AM-06 corroboram os argumentos e interpretações supracitados: enquanto os horizontes estudados por PCA do primeiro solo foram reunidos nos subgrupos 3.4 e 3.5 e no grupo 4, que congregam os solos minerais mais mal drenados entre os estudados e em que, em média, os horizontes do perfil AM-05 em relação ao AM-06 apresentam menores relação silte/argila (3,00), atividade da fração argila (81 $cmol_c$ kg^{-1} de argila) e Ki (2,70), mas maior CTC (21,4 $cmol_c$ kg^{-1}), os horizontes do segundo perfil estão reunidos no subgrupo 3.1. Esses horizontes (AM-06), inversamente, apresentam valores médios mais elevados dos atributos acima citados (4,16 para a relação silte/argila; 103 $cmol_c$ kg^{-1} de argila para atividade da fração argila e 2,87 para Ki), mas menor CTC (16,7 $cmol_c$ kg^{-1}). Ambos distam menos de 100 m entre si. O Gleissolo referente ao perfil AM-05 está localizado numa várzea interna da planície de inundação do Rio Amazonas, enquanto o AM-06 encontra-se em um dique aluvial, obviamente da mesma planície de inundação do primeiro, mas mais próximo ao rio.

Os inúmeros delineamentos obtidos visualmente e que individualizaram os subgrupos (3.2, 3.4 e 3.5) do grupo 3 (Figura 10.3A), que ainda não foram discutidos em relação aos atributos que os definiram, o que pode ser estendido para o grupo 4, evidenciam a grande variabilidade espacial, que ocorre mesmo a curtas distâncias (entre horizontes adjacentes de um mesmo perfil, por exemplo) nos solos das planícies aluvionares. Por exemplo, o grupo 4 (Figura 10.3A), que reuniu os dois horizontes mais superficiais estudados por PCA do único Gleissolo (Am05-GXve) desenvolvido sob Aningal, foi individualizado do grupo 3 devido,

principalmente, ao seu menor valor de V% (46% e 65%, respectivamente, para os horizontes 3Cg2 e 3Cg2), consequência dos elevados valores de Al^{3+} (4,3 e 2,8 $cmol_c\ kg^{-1}$, respectivamente, para 3Cg2 e 3Cg2), os maiores observados entre os Gleissolos Ta Eutróficos estudados (Tabela 10.3), corroborando os argumentos ensejados na análise de HCA: a adequação de se acrescentar o termo epidistrófico no nível de família taxonômica à classificação do Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico referente ao perfil AM05-GXve, o que aparentemente é recorrente nos Gleissolos dos Aningais, possibilitando-se utilizar mais uma designação e critério diagnóstico para separá-los taxonomicamente daqueles de mesma ordem taxonômica desenvolvidos sob outros ambientes ou tipos de vegetação amazônicos.

Finalmente, o grupo 5 engloba dois horizontes, entre os três estudados pela PCA, do único Organossolo descrito e amostrado na XV RCC (perfil PA-17). Obviamente, o seu maior conteúdo de CO em relação aos demais horizontes e solos estudados foi um dos principais responsáveis pela individualização de seus horizontes naquele grupo, juntamente com Al^{3+} e CTC. De fato, a maior proximidade desses três atributos (Figura 10.3B) em relação ao grupo 5 da Figura 10.3A, quando se imagina os gráficos sobrepostos da Figura 10.3, associada aos maiores fatores peso (0,56, 0,54 e 0,45, respectivamente, para CO, CTC e Al^{3+}) observado no PC2 da PCA (Tabela 10.2) evidenciam a importância (Figuras 10.3A e B) desses atributos na formação desse grupo e a grande discrepância dos seus teores (Tabela 10.3) em relação aos demais horizontes e solos analisados, sobretudo para CO e CTC.

Os mesmos três atributos supracitados que contribuíram para a formação do grupo 5 foram também os responsáveis pelo isolamento do horizonte Hd3 (perfil PA17-Hd3) na Figura 10.3A, o mais profundo entre os três estudados do Organossolo por PCA (Tabela 10.3). Enquanto há um aumento expressivo do Al^{3+} em profundidade (1,3; 3,0 e 6,9 $cmol_c\ kg^{-1}$ nos horizontes Hd1, Hd2 e Hd3, respectivamente), bem como da acidez potencial (H^++Al^{3+}) (28,7; 34,1 e 64,9 $cmol_c\ kg^{-1}$, respectivamente, para os mesmos horizontes), que é o atributo que mais contribuiu para a CTC desse solo, os valores de SB e V% reduzem no mesmo sentido, sugerindo que o processo de humificação acentua-se à medida que se aprofunda no perfil para os três horizontes analisados - fato esperado em solos que têm a sua formação relacionada à deposição de materiais transportados com as águas de inundação. O teor de CO, no entanto, apresenta-se com distribuição errática nesses três horizontes (94,4%, 88,6% e 129,0%, respectivamente, para Hd1, Hd2 e Hd3; Tabela 10.3). Portanto, formam-se de baixo para cima, ao contrário daqueles originados a partir do intemperismo da rocha-mãe, e, consequentemente, os horizontes mais superficiais são mais jovens, menos decompostos em relação aos sotopostos e, por isso, manifestam menor CTC devido à menor geração de cargas provenientes dos radicais carboxílicos e fenólicos da matéria orgânica.

Embora a taxa de humificação possa ter contribuído para a diferenciação dos atributos mencionados para os horizontes Hd1, Hd2 e Hd3 (PA-17), os dados da Tabela 10.6 sugerem que outro mecanismo também atuou para tal: a descontinuidade litológica. À medida que o intemperismo avança, espera-se um aumento das frações mais finas em detrimento das mais grosseiras com o aumento da profundidade. De fato, isso ocorreu entre os dois horizontes Hd1 e Hd2, mas não entre os horizontes Hd2 e Hd3 (Tabela 10.6): a fração areia total (AT) reduziu em profundidade concomitantemente com o aumento das frações silte e argila quando se compara os horizontes Hd1 e Hd2. O inverso, no entanto, pode ser observado entre os

horizontes Hd2 e Hd3. Nesses, há um aumento da fração AT e uma diminuição das mais finas (silte e argila) com a profundidade. Esses fatos, associados à magnitude de variação das relações AG/AF e argila+silte/TiO_2 entre os horizontes estudados, que é muito superior entre o Hd2 e o Hd3 (Tabela 10.6), convergem para identificar o mesmo ambiente de sedimentação entre os dois horizontes mais superficiais Hd1 e Hd2 do perfil PA-17, diferindo do Hd3. Portanto, sugere-se aqui inserir, neste último horizonte, o número arábico 2 antecedendo a sua designação, que denota descontinuidade litológica (Santos et al., 2015), bem como devidamente corrigir o prefixo numérico nos demais horizontes a ele sotopostos (vide Capítulo 9).

Tabela 10.6. Atributos granulométricos e químico selecionados (TiO_2; obtido por ataque sulfúrico) dos três horizontes superficiais do Organossolo Háplico Fíbrico típico (PA-17), bem como algumas de suas relações.

Hor.[(1)]	**Prof.**[(2)]	**AG**[(3)]	**AF**[(4)]	**AT**[(5)]	**Silte**	**Argila**	**AG/AF**	**argila+silte**
	--- cm ---	---------- g kg^{-1} ----------						**TiO_2**
Hd1	0-4	104	102	206	408	386	1,0	215
Hd2	4-12	80	60	140	439	420	1,3	169
2Hd3	12-29	254	54	308	411	281	**4,7**	**288**

[(1)]Hori. = horizonte; [(2)]Prof. = profundidade; [(3)]AG = areia grossa; [(4)]AF = areia fina; [(5)]AT = areia total.

O número arábico em vermelho corresponde ao sugerido para ser incluído no seu horizonte a fim de designar a existência de descontinuidade litológica. Em negrito, os valores com maior amplitude de variação em relação aos do horizonte sobreposto.

Assim como mencionado para o perfil AM08-FXa, a PCA pode auxiliar na identificação da existência de descontinuidade litológica quando um ou mais horizontes analisados do mesmo perfil posicionam-se distantes do(s) outro(s) no gráfico de escores, como é o caso do Hd3 (PA-17) (Figura 10.3A).

Por se tratar da borda de uma planície de inundação, é provável que os horizontes com material orgânico fíbrico e hêmico sotopostos aos sápricos do perfil PA17-OXfi sejam tão recentes quanto o início da ocupação humana contemporânea dessas áreas, que se deu há mais de 100 anos. Assim se considerando, os tecidos vegetais na forma de restos de troncos, ramos e raízes mortas de diferentes dimensões, e bem preservados nos seus horizontes mais profundos (2Ho1 e 2Ho2; vide Capítulo 9), podem ter se originado do desmatamento nas áreas de floresta contígua à várzea (Aningal?) em um período em que as enchentes eram mais intensas que as atuais. Os horizontes sápricos sotopostos (Hd1, Hd2 e Hd3), por outro lado, datam de um período mais recente em que os desmatamentos, a energia cinética e o volume das águas de inundação reduziram-se, facilitando a deposição e a decomposição de restos vegetais mais facilmente decomponíveis em um ambiente mais oxidante que outrora.

4. Considerações finais

Na bacia do Médio Rio Amazonas, os Latossolos Amarelos Distróficos de terra firme relacionados à Formação Alter do Chão e os Neossolos Flúvicos e os Gleissolos Háplicos, típicos dos ambientes de várzea e terraços fluviais, desenvolvidos sobre sedimentos com influência andina, são os solos mais representativos em extensão de seus respectivos ambientes de formação (Schaefer et al., 2023). Mesmo para os solos de terra firme, comumente de menor variabilidade lateral e vertical de seus atributos em relação aos de várzea, os aqui estudados

contemplaram diferentes tipos de horizonte superficial (A moderado, A antrópico e A húmico), com presença ou não de petroplintita ao longo do perfil. A decomposição desse material do solo dando origem aos Latossolos Amarelos Distróficos da região sob clima superúmido e quente atual é um provável e, talvez, o principal mecanismo de sua formação, tal como comentado por vários autores (Lima, 2001; Horbe et al., 2003, 2004). O Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico referente ao perfil AM-02 pode ter, assim, se formado, remanescendo nódulos petroplínticos esparsos apenas na base de seu perfil, sendo esse um indício de sua gênese associada à decomposição de antigos horizontes litoplínticos e concrecionários (Lima, 2001).

Como esperado, os solos de várzea estudados na XV RCC apresentaram maior e grande variabilidade de seus atributos em relação aos de terra firme, variabilidade essa que possibilitou o enquadramento taxonômico daqueles solos em diferentes ordens taxonômicas. Vertissolo, Organossolo, Plintossolo, Cambissolo Flúvico e Gleissolo foram as classes estudadas naquele ambiente. Esta última, por sua vez, predominou em número de representantes (AM-05, AM-06, AM-11, AM-12, AM-15, AM-16 e PA-13) no evento, ressaltando-se o elevado conteúdo de silte e sua influência no comportamento desses solos, tais como as maiores capacidade de armazenamento de água e suscetibilidade à erosão e à compactação.

Godoi et al. (2021), utilizando modelagem para estimar os valores do fator K (erodibilidade) para os solos do Brasil, registraram que os maiores valores obtidos foram para os solos dos estados do Amazonas e Acre, onde, segundo os autores, o conteúdo de silte alcançou os valores mais elevados em relação aos solos de outros estados brasileiros. Os autores comentam que, por se situarem em expressivas áreas ainda cobertas com a floresta original, que mitiga os efeitos erosivos das chuvas intensas, a manutenção da cobertura florestal protetiva e a implementação de práticas conservacionistas naquelas sob uso são estratégias fundamentais para preservar a saúde do solo e ambiental naquelas áreas.

Questões aparentemente triviais, como a identificação e a nomenclatura dos horizontes dos solos de várzea (se B ou C), foram temas de intensas e calorosas discussões durante o evento, pois muitos desses solos encontram-se em estágios incipientes de pedogênese, tornando-se difícil caracterizar-se o tipo (se B ou C) de seus horizontes diagnósticos de subsuperfície. Esses, dependendo de como são denominados, influenciam na classificação dos solos de várzea, mesmo em nível de ordem taxonômica. O perfil AM06-GXve, por exemplo, original e preferencialmente classificado como Neossolo Flúvico pelos seus descritores, foi um dos que tiveram duas propostas de classificação (Neossolo Flúvico ou Gleissolo), bem como questionamentos a respeito da nomenclatura de alguns de seus horizontes. Avaliando-se, sobretudo, as informações morfológicas desse perfil (vide Capítulo 9), sugere-se aqui classificá-lo como um Gleissolo Háplico Ta Eutrófico cambissólico neofluvissólico, pois o horizonte originalmente identificado como 3Cg1 apresenta estrutura secundária de grau moderado, além de desenvolvimento de cores brunadas predominantes, condições *sine qua non* para identificá-lo como B (3Big). Todos os horizontes desse perfil, juntamente com os demais horizontes de perfis situados nos diques aluviais (AM-07 e AM-15) e barra de acreção (AM-11) e cujos horizontes superficiais são expressivamente mais bem drenados em relação aos subsuperficiais, foram reunidos em um único subgrupo na PCA (subgrupo 3.1). Em média, apresentaram menor CTC em relação aos solos de várzea, embora outros atributos, como relação silte/argila, Ki e atividade da fração argila, indiquem que são menos intemperizados que aqueles. Discussões foram engendradas a respeito das possíveis causas de variação desses atributos.

Por fim, as análises multivariadas empregadas (HCA e PCA) possibilitaram convergir evidências que pautaram as discussões sobre a classificação, a gênese, a química, a granulometria e a mineralogia dos solos estudados, contribuindo até mesmo para a tomada de decisão sobre a nomenclatura de alguns horizontes: as análises multivariadas empregadas, avaliadas conjuntamente com parâmetros que permitem identificar a presença de descontinuidade litológica com imprecisão (AG/AF ou AF/AG e argila+silte/TiO2), conduziram a uma decisão mais bem embasada sobre a inserção de um número arábico como prefixo em alguns horizontes estudados, conotativo de sua presença.

Referências

ADENEY, J. M.; CHRISTENSEN, N. L.; VICENTINI, A.; COHN-HAFT, M. White-sand ecosystems in Amazonia. **Biotropica**, v. 48, n. 1, p. 7-23, 2016. DOI: https://doi.org/10.1111/btp.12293.

ALBUQUERQUE, O. R. de. Reconhecimentos geológicos no Valle do Amazonas: campanhas de 1918 a 1919. **Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil**, n. 3, p. 1-84, 1922.

AMARANTE, C. B. do; SILVA, J. C. F. da; SOLANO, F. A. R.; NASCIMENTO, L. D. do; MORAES, L. G.; SILVA, G. F. da; UNO, W. S. Estudo espectrométrico das folhas da Aninga (Montrichardia linifera) coletadas à margem do Rio Guamá no Campus da UFPA, Belém-PA: uma contribuição ao estudo químico da família Araceae. **Revista Científica da UFPA**, v. 7, n. 1, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/271530292_Estudo_Espectrometrico_Das_Folhas_Da_Aninga_Montrichardia_linifera_Coletadas_a_Margem_do_Rio_Guama_no_Campus_da_UFPA_Belem-PA_Uma_Contribuicao_ao_Estudo_Quimico_da_Familia_Araceae. Acesso em: 29 jul. 2025.

CAPUTO, M. V. **Bacia do Amazonas**: estratigrafia, tectônica e magmatismo. 2014. 51 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/311193310. Acesso em: 29 jul. 2025.

CAPUTO, M. V.; RODRIGUES, R.; VASCONCELOS, D. N. N. Nomenclatura estratigráfica da bacia do Rio Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., 1972, Belém, PA. **Anais** [...]. Belém, PA: Sociedade Brasileira de Geografia, 1972. p. 35-46.

COELHO, M. R. **Caracterização e gênese de Espodossolos da planície costeira do estado de São Paulo**. 2008. 270 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. DOI: https://doi.org/10.11606/T.11.2009.tde-11032009-094418.

COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; SANTOS, H. G. dos; DART, R. de O.; SOUZA, A. M. de; LIMA, J. A. de S. Atributos químicos e granulometria dos solos da IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (RCC do Acre): um enfoque pedológico. In: SILVA, L. M. da; ANJOS, L. H. C. dos; LUMBRERAS, J. F.; PEREIRA, M. G.; WADT, P. G. S. (ed.). **Pesquisas coligadas da IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: solos de formações sedimentares em sistemas amazônicos: potencialidades e demandas de pesquisa. Brasília, DF: Embrapa, 2019. E-book. cap. 1. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1110799. Acesso em: 29 jul. 2025.

COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; VASQUES, G. M. Atributos químicos e granulometria dos solos da XI Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (RCC de Roraima). In: BATISTA, K. D.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de; VALE JÚNIOR, J. F. do (ed.). **Guia de campo da XI Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Roraima. Brasília, DF: Embrapa, 2018. E-book. cap. 4. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1104265. Acesso em: 29 jul. 2025.

COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; VASQUES, G. M.; DART, R. de O.; OLIVEIRA, V. A. de; SANTOS, G. G.; ALMEIDA, R. E. M. de. Atributos químicos e granulometria dos solos da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: um enfoque pedológico. In: SANTOS, G. G.; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, R. E. M. de; MADARI, B. E. (ed.). **Guia de campo da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Goiás e Tocantins. Brasília, DF:

Embrapa, 2023. E-book. cap. 8.
Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1155338. Acesso em: 29 jul. 2025.

COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; VASQUES, G. M.; OLIVEIRA, V. A. de; SILVA, M. B. e. Atributos químicos e granulometria dos solos da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: um enfoque pedológico. In: SILVA, M. B. e; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de (ed.). **Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC do Maranhão. Brasília, DF: Embrapa, 2020. E-book. cap. 7.
Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1127220. Acesso em: 29 jul. 2025.

CUNHA, P. R. C.; GONZAGA, F. G.; COUTINHO, L. F. C.; FEIJÓ, F. J. Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 8, n. 1, p. 47-55, 1994.
Disponível em: https://bgp.petrobras.com.br/bgp/article/view/580. Acesso em: 29 jul. 2025.

CUNHA, P. R. da C; MELO, J. H. G. de; SILVA, O. B. da. Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 15, n. 2, p. 227-251, 2007. Disponível em: https://bgp.petrobras.com.br/bgp/article/view/307. Acesso em: 29 jul. 2025.

DANTAS, M. E.; MAIA, M. A. M. Compartimentação geomorfológica. In: MAIA, M. A. M.; MARMOS, J. L. (org.). **Geodiversidade do estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010. p. 27-44. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/16624. Acesso em: 29 jul. 2025.

GODOI, R. de F.; RODRIGUES, D. B. B.; BORRELLI, P.; OLIVEIRA, P. T. S. High-resolution soil erodibility map of Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 781, 146673, 2021.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146673.

GUIMARÃES, F. S.; BUENO, G. T. As campinas e campinaranas amazônicas. **Caderno de Geografia**, v. 26, n. 45, p. 113-133, 2016.
DOI: https://periodicos.pucminas.br/geografia/article/view/P.2318-2962.2016v26n45p113.

HORBE, A. M. C.; HORBE, M. A.; SUGUIO, K. Contribuição ao estudo dos depósitos de areias brancas no Nordeste do Amazonas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 1, p. 41-50, 2003. Disponível em: https://repositorio.usp.br/directbitstream/c25628c9-df9f-4468-9d99-112c617276bd/1400684.pdf. Acesso em: 29 jul. 2025.

HORBE, A. M. C.; HORBE, M. A.; SUGUIO, K. Tropical Spodosols in northeastern Amazonas State, Brazil. **Geoderma**, v. 119, n. 1/2, p. 55-68, 2004. DOI: https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00233-7.

IBGE. **Províncias estruturais, compartimentos de relevo, tipos de solos e regiões fitoecológicas e**

outras áreas. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2019. 179 p. Macrocaracterização dos recursos naturais do Brasil.
Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101648.pdf. Acesso em: 29 jul. 2025.

KERN, D. C.; KÄMPF, N. Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na região de Oriximiná, Pará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p. 219-225, 1989.

KITAGAWA, Y.; MÖLLER, M. R. F. Clay mineralogy of some typical soils in the Brazilian Amazon region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 14, n. 3, p. 201-208, 1979. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/197876/1/Clay-mineralogy-of-sme-typical.pdf. Acesso em: 29 jul. 2025.

KLINGE, H. Podzol soils in the Amazon basin. **Journal of Soil Science**, v. 16, n. 1, p. 95-103, 1965.
DOI: https://doi.org/10.1111%2Fj.1365-2389.1965.tb01423.x.

LIMA, H. N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental**. 2001. 176 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Disponível em: http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/7934. Acesso em: 29 jul. 2025.

LIMA, H. N.; MELLO, J. W. V. de; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C.; LIMA, A. M. N. Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 59-68, 2006. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000100007.

LUNDSTRÖM, U. S.; VAN BREEMEN, N.; BAIN, D. The Podzolization process: A review. **Geoderma**, v. 94, n. 2/4, p. 91-107, 2000. DOI: https://doi.org/10.1016/S0016-7061(99)00036-1.

MAFRA, A. L.; MIKLÓS A. A. W.; VOLKOFF, B.; MELFI, A. J. Pedogênese numa seqüência Latossolo-Espodossolo na região do alto Rio Negro, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 2, p. 381-394, 2002. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000200012.

MARQUES, J. J.; TEIXEIRA, W. G.; SCHULZE, D. G.; CURI, N. Mineralogy of soils with unusually high exchangeable Al from the western Amazon Region. **Clay Minerals**, v. 37, n. 4, p. 651-661, 2002. DOI: https://doi.org/10.1180/0009855023740067.

MENDES, A. C.; TRUCKENBROD, W.; NOGUEIRA, A. C. R. Análise faciológica da Formação Alter do Chão (Cretáceo, Bacia do Amazonas), próximo à cidade de Óbidos, Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n. 1, p. 39-57, 2012.

MÖLLER, M. R. F. Mineralogia de argilas de solos da região Amazônica brasileira. In: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, 1., 1984, Belém, PA. **Anais** [...]. Belém, PA: Embrapa-CPATU, 1986. p. 214-223. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/394713. Acesso em: 29 jul. 2025.

NOGUEIRA, A. C. R.; VIEIRA, L. C.; SUGUIO, K. Paleossolos da Formação Alter do Chão, Cretáceo-Terciário da Bacia do Amazonas, regiões de Presidente Figueiredo e Manaus. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5., 1999, Serra Negra. **Boletim** [...]. Rio Claro, SP: Unesp, 1999. p. 261-266.

PEREIRA, P. F.; COSTA, M. L. da. Os solos-sedimentos da região central do estado do Acre (Feijó-Tarauacá), sua aptidão ao cultivo de abacaxi e a relação com os sedimentos fluviais atuais. **Boletim do Museu de Geociências da Amazônia**, ano 12, n. 1, 14, 2025. Acre 2. DOI: https://doi.org/10.31419/ISSN.2594-942X.v122025i1a6PFP.

PORTUGAL, A. F. **Geoambientes de terra firme e várzea da região de Juruá, noroeste do Acre**. 2009. 136 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Disponível em: http://locus.ufv.br/handle/123456789/1595. Acesso em: 29 jul. 2025.

RODRIGUES, T. E. Solos da Amazônia. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Universidade Federal de Viçosa, 1996. p. 19-60.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003. Acesso em: 29 jul. 2025.

SANTOS, R. D. dos; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101 p.

SCHAEFER, C. E. G. R.; LIMA, H. N. de; TEIXEIRA, W. G.; VALE JUNIOR, J. F. do; SOUZA, K. W. de; CORRÊIA, G. R.; MENDONÇA, B. A. F. de; AMARAL, E. F. do; CAMPOS, M. C. C.; RUIVO, M. de L. P. Solos da região amazônica. In: CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. (ed.). **Pedologia**: solos dos biomas brasileiros. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. cap. 3, p. 111-175.

SCHAEFER, C. E. G. R.; LIMA, H. N.; TEIXEIRA, W. G.; VALE, J. F. do; CORRÊA, G. R.; MENDONÇA, B. A. F. de; MELO, V. F.; AMARAL, E. F. do; CAMPOS, M. C. C.; RUIVO, M. de L. P. Soils from Brazilian Amazonia. In: SCHAEFER, C. E. G. R. (ed.). **The soils of Brazil**. Cham: Springer, 2023. cap. 4, p. 85-128. (World soils book series). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-19949-3_4.

SCHAEFER, C. E. G. R.; LIMA, H. N.; VALE JÚNIOR, J. F. do; MELLO, J. W. V. de. Uso dos solos e alterações da paisagem na Amazônia: cenários e reflexões. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**: série ciências da terra, v. 12, p. 63-104, 2000.

SCHWARTZ, D. Some podzol on Bateke Sands and their origins, People's Republic of Congo. **Geoderma**, v. 43, n. 2, p. 229-247, 1988. DOI: https://doi.org/10.1016/0016-7061(88)90045-6.

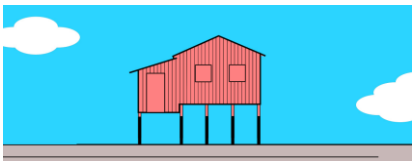
SILVA, A. J. P. da; LOPES, R. da C.; VASCONCELOS, A. M.; BAHIA, R. B. C. Bacias sedimentares paleozóicas e meso-cenozóicas interiores. In: BIZZI, L. A.; SCHOBBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (ed.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**: texto, mapas & SIG. Brasília, DF: CPRM, 2003. cap. 2, p. 55-85. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/5006. Acesso em: 29 jul. 2025.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085209. Acesso em: 29 jul. 2025.

THOMAS, M.; THORP, M.; MCALISTER, J. Equatorial weathering, landform development and the formation of white sands in north western Kalimantan, Indonesia. **Catena**, v. 36, n. 3, p. 205-232, 1999. DOI: https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00014-4.

WARD JUNIOR, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v. 58, n. 301, p. 236-244, 1963. DOI: https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845.

Capítulo 11



Micromorfologia de Solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos

Pablo Vidal-Torrado
Daniela Schievano de Campos
Miguel Cooper

1. Introdução

A micromorfologia do solo é uma técnica da Pedologia que descreve, mede e interpreta os constituintes dos solos, dos saprolitos, dos sedimentos e dos artefatos pré-históricos/históricos na escala microscópica e submicroscópica em lâminas delgadas e blocos polidos de amostras indeformadas (Bullock et al., 1985; Vepraskas, 2003; Castro; Cooper, 2019). É utilizada para obter informações complementares e específicas às descrições morfológicas dos solos feitas no campo e que não podem ser obtidas diretamente com outros métodos analíticos (Vepraskas; Caldwell, 2008). No entanto, a micromorfologia não deve ser considerada uma disciplina isolada e, sim, uma técnica complementar que, utilizada em conjunto com outras fontes de informação, pode fornecer dados sobre a formação, a evolução e o funcionamento dos solos. Atualmente, a micromorfologia é utilizada por pedólogos, geólogos, geógrafos, geomorfólogos, geoquímicos, arqueólogos, quaternaristas e físicos de solo, entre outros, que estudam seus objetos na escala microscópica.

Assim, os objetivos fundamentais da análise micromorfológica dos solos estudados são: 1) identificar os seus constituintes nas suas diferentes frações; 2) definir as relações existentes entre esses constituintes (tipos de organização, hierarquia e cronologia) e 3) formular hipóteses ou demonstrações acerca da dinâmica genética e evolutiva dos solos na tentativa de esclarecer as controvérsias sobre sua origem, evolução e comportamento.

Para a XV RCC, realizada nos estados de Amazonas e Pará em outubro de 2024, além da descrição de todas as lâminas confeccionadas a partir dos blocos enviados para o Laboratório de Micromorfologia de Solos da ESALQ-USP pela equipe que selecionou, descreveu e coletou

os perfis (vide Capítulo 9), procurou-se dar atenção mais detalhada a aspectos que caracterizam a pedogênese. No relatório fotográfico e na interpretação, foram enfatizados os aspectos mais relevantes de cada perfil. Destacam-se os elevados conteúdos de silte, as feições redoximórficas, plínticas (natureza, formação/degradação de nódulos), biológicas e vérticas, além de aspectos relacionados à pedalidade, presença de revestimentos de argila (argiluviação) e porosidade, característica de processos específicos de degradação de argilas.

2. Material e métodos

Para as análises micromorfológicas, amostras indeformadas com dimensões aproximadas de 12 cm x 7 cm x 4 cm foram coletadas em horizontes selecionados de todos os perfis da XV Reunião de Classificação e Correlação de Solos (Tabela 1). Posteriormente, foram divididas em dois grupos: as amostras de solos de argila de atividade baixa e as de argila de atividade alta. Estas últimas foram submetidas à troca de água por acetona durante 8 semanas, segundo o protocolo descrito em Castro e Cooper (2019), antes do procedimento de impregnação. As amostras que não sofreram a troca de água por acetona foram secas em estufa a 45^{o} C. Todas as amostras foram impregnadas com solução composta por resina poliéster (Murphy, 1986), monômero de estireno (Castro et al., 2003), catalisador (Ringrose-Voase, 1991) e pigmento fluorescente Tinopal OB (BASF®) (Murphy et al., 1977; Cooper et al., 2017). Após o endurecimento, os blocos impregnados foram cortados, e lâminas delgadas (7 cm x 5 cm) foram confeccionadas, utilizando-se uma politriz Logitech LP20. As descrições micromorfológicas seguiram os critérios propostos por Bullock et al. (1985). A partir das lâminas delgadas, obtiveram-se imagens das principais feições por meio de uma câmera digital em cores (Sony®, modelo DFW-X700), em sistema *charged couple device* (CCD), conectada a uma lupa ou microscópio com polarizador (Zeiss®, modelo Stemi V6) para apoiar a discussão sobre os processos pedogenéticos específicos e sobre aspectos de classificação de solos. As descrições e interpretações das lâminas delgadas foram feitas utilizando luz polarizada plana (PPL), luz polarizada cruzada (XPL), luz incidente e luz ultravioleta (UV).

Tabela 11.1. Classificação dos perfis até o nível de subgrupo taxonômico (Santos et al., 2018) e identificação dos horizontes coletados da XV RCC destinados às análises micromorfológicas.

Perfil	Horizonte(1)	Profundidade (cm)(2)	Classificação
AM-01	Au1/Au2	6-18	Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico
	Au3/Au4	26-41	
	ABu	88-104	
	BAu1	40-52	
	Bt	121-136	
AM-02	BA2/Bw1	17-30	Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico
	Bw2	58-70	
	Bw4	142-155	
	Bwc1	167-182	
AM-05	3Cg1/3Cg2	27-37	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico
	4Cg4	120-133	
AM-06	3Cg1	20-34	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico
	4Cg2	51-63	
	6Cg4	129-140	
	7Cg5	165-178	
AM-07	BA	22-32	Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico
	Bi	67-78	
	2C	116-128	
	2Cg	163-176	
AM-08	Cg1	15-25	Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico
	Cgf1	50-63	
	C'g1	105-120	
AM-09	3Bh	317-325	Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico
	4Bhsm	333-345	
	4Bhsm/4Bhs	346-357	
	4Bhs	354-369	
	4Bs	387-395	
	5C	397-406	
AM-11	A1/A2	0-10	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico
	Cg1	17-30	
	3Cg4	76-86	
	4Cg6	126-138	
AM-12	3Cg	12-26	Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico
	4Abg	48-60	
	5C'g2	120-131	

Continua...

Tabela 11.1. Continuação.

Perfil	Horizonte[(1)]	Profundidade (cm)[(2)]	Classificação
AM-15	Ag/2C	2-9	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico
	4C/5Abg	15-25	
	5Abg/5Cg1	21-32	
	6Cg3	90-104	
	7Cg4	110-122	
AM-16	Ag/CAg	0-14	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico
	2Abg	15-25	
	2Cgn1	58-68	
	2Cgn3	135-144	
PA-05	BA	34-51	Latossolo Amarelo Distrófico típico
	Bw2	101-119	
	Bw3	160-174	
PA-06	A4	60-72	Neossolo Quartzarênico Órtico húmico
	AC	132-146	
	C	182-197	
PA-07	A1	0-7	Latossolo Amarelo Distrófico húmico
	A2/A3	20-31	
	A5	52-62	
	A5/AB	70-87	
	BA	97-112	
	Bw	145-157	
PA-13	Apg/2CAg	0-13	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico
	2Cg2	44-54	
	3Cgn2	70-82	
	3Cgn3	110-120	
PA-14	2CAvg	4-14	Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico
	2Cvg2	51-63	
	2Cvg3	90-102	
	2Cvgn	130-138	
PA-17	Hd1/Hd2	0-11	Organossolo Háplico Hêmico típico
	Hd2	4-11	
	Hd3	11-21	
	2Ho1	29-38	

[(1)]Horizontes separados por barra (/) identificam que a amostra foi coletada na transição entre eles;
[(2)]Profundidade de coleta da amostra.

3. Resultados e discussão

A seguir, são apresentadas as descrições, ilustrações e interpretações do perfil AM-01 ao PA-17.

Perfil AM-01 Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico

No perfil AM-01, caracterizado como Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico, foram descritas cinco lâminas delgadas nas transições entre os horizontes Au1/Au2 e Au3/Au4 e nos horizontes ABu, BAu1 e Bt (Tabela 11.2). Fragmentos de cerâmica foram identificados na transição entre os horizontes Au1/Au2 (frequente) e no horizonte ABu (1 fragmento) com grande quantidade de espículas de "cauxi" (esponjas), que é um material utilizado como antiplástico ou tempero (Figuras 11.1 e 11.2) na produção de cerâmica (Rodrigues et al., 2017; Villagran et al., 2022). Nas demais lâminas não foi possível detectar fragmento de cerâmica. Exceto na primeira lâmina (Au1/Au2), há evidências muito claras de argiluviação nos demais horizontes, com revestimentos de ferro e argila abundantes a partir do horizonte ABu, especialmente associados à porosidade atual (Figuras 11.2, 11.3 e 11.4). A intensa atividade biológica é identificada a partir dos bioporos e preenchimentos tanto soltos como densos, todos abundantes (Figuras 11.1 a 11.4). Os nódulos de ferro distribuídos ao longo do perfil (Figura 11.2) podem estar relacionados à ocorrência de petroplintita descrita na área em trabalhos anteriores. A presença de fragmentos de carvão de diferentes tamanhos (Figura 11.2) distribuídos pelo perfil até 108 cm de profundidade (última lâmina estudada no perfil) deve estar relacionada à intensa bioturbação ou mesmo ao revolvimento do solo por ação antrópica. Esse perfil faz parte do trabalho de Macedo et al. (2017) onde se discutem aspectos relacionados aos processos pedogenéticos influenciados pela ação antrópica. Em particular, foi discutida naquele trabalho a intensificação da argiluviação no perfil, incluindo a identificação de revestimentos de argila em fragmentos de cerâmicas e o papel da bioturbação.

Tabela 11.2. Descrição micromorfológica de horizontes selecionados do perfil AM-01 (Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico). A barra entre dois horizontes diz respeito à amostra coletada na transição entre eles.

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)				
	Au1/Au2 (6-18 cm)	**Au3/Au4 (26-41 cm)**	**Abu (88-104 cm)**	**BAu1 (40-52 cm)**	**Bt (121-136 cm)**
Fundo matricial	Material Grosso: 40% Material Fino: 30% Porosidade: 30%	Material Grosso: 40% Material Fino: 40% Porosidade: 20%	Material Grosso: 40% Material Fino: 40% Porosidade: 20%	Zona 1 (20%): Material grosso: 40% Material fino: 40% Porosidade: 20% Zona 2 (80%): Material grosso: 40% Material fino: 50% Porosidade: 10%	Material Grosso: 30% Material Fino: 60% Porosidade: 10%
Distribuição relativa G/F[(1)]	Porfiro-enáulica. g/f $_{2um}$: 4/3	Porfiro-enáulica. g/f $_{2um}$: 1/1	Enáulica-porfírica. g/f $_{2um}$: 1/1	Zona 1: enáulica-porfírica. g/f $_{2um}$: 1/1 Zona 2: porfírica g/f $_{2um}$: 4/5	Porfírica g/f $_{2um}$: 4/5
Material grosso	Grãos de quartzo de tamanho areia média e fina, arredondados e subangulares, moderadamente selecionados. Espículas de esponja, com forte birrefringência, alongadas. Fragmentos de cerâmica com diversos tamanhos e formas.	Grãos de quartzo de tamanho areia média e fina, arredondados e subangulares, moderadamente selecionados. Ocorrência de nódulos de ferro amorfo de tamanho pequeno.	Grãos de quartzo de tamanho areia média e fina, arredondados e subangulares, moderadamente selecionados. Ocorrência de nódulos de ferro amorfo de tamanho pequeno.	Zona 1: grãos de quartzo de tamanho areia média e fina, arredondados e subangulares, moderadamente selecionados. Zona 2: grãos de quartzo de tamanho areia média e fina, arredondados e subangulares, moderadamente selecionados.	Grãos de quartzo de tamanho areia média e fina, arredondados e subangulares, moderadamente selecionados.
Material fino	Argila, óxidos de ferro e matéria orgânica.	Argila, óxidos de ferro e matéria orgânica.	Argila e óxidos de ferro.	Zona 1: argila e óxidos de ferro. Zona 2: argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.

Continua...

Tabela 11.2. Continuação.

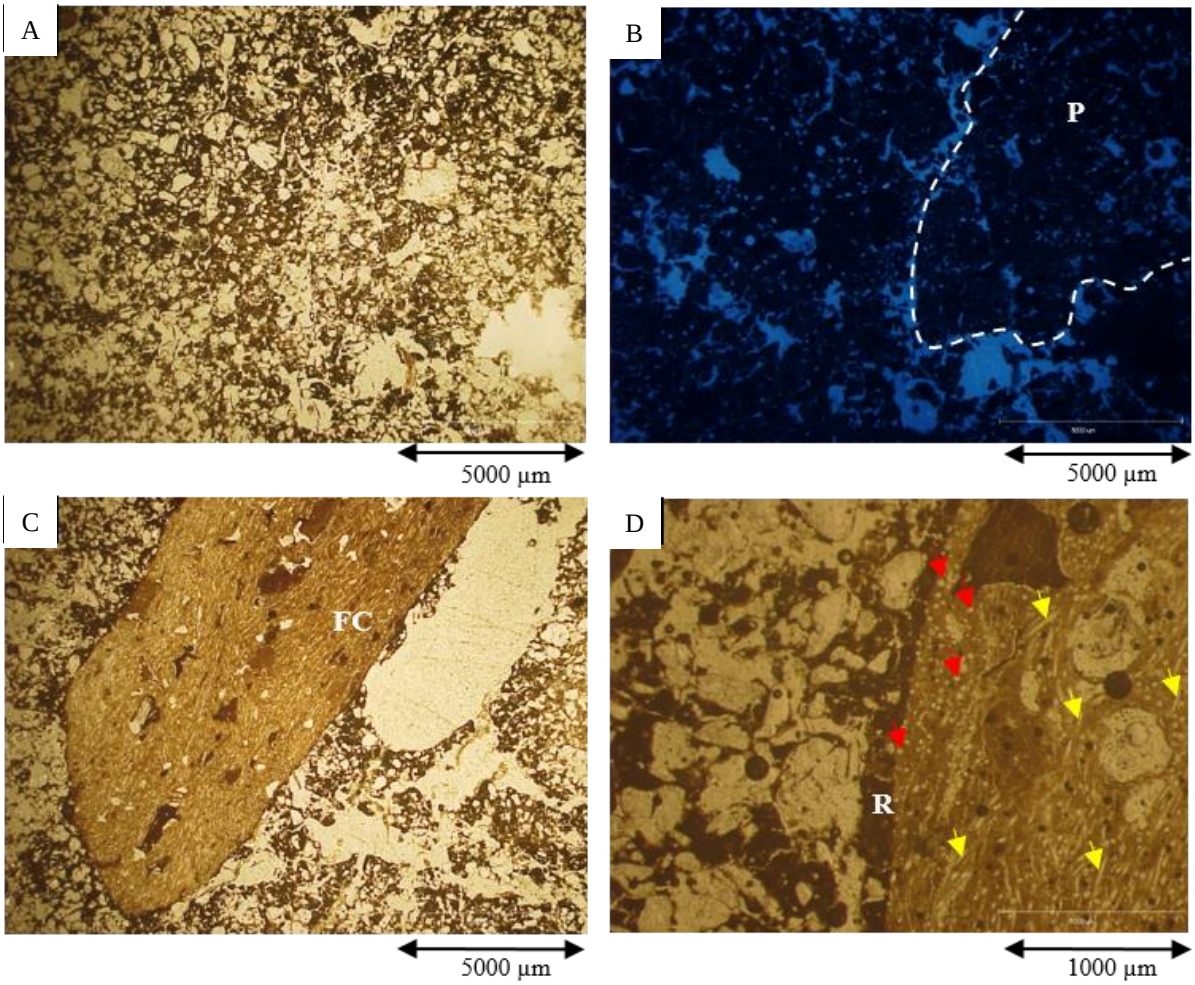
Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)				
	Au1/Au2 (6-18 cm)	**Au3/Au4 (26-41 cm)**	**ABu (88-104 cm)**	**BAu1 (40-52 cm)**	**Bt (121-136 cm)**
Poros	Empilhamento complexo. Fissuras, canais e cavidades.	Cavidades irregulares, câmaras, fissuras e canais.	Cavidades irregulares, câmaras, fissuras e canais.	Zona 1: cavidades irregulares, câmaras, fissuras e canais. Zona 2: câmaras, fissuras, canais, cavidades.	Cavidades irregulares, câmaras, fissuras e canais.
Microestrutura	Complexo: microgranular e blocos subangulares. Pedalidade bem a moderadamente desenvolvida.	Blocos subangulares pequenos e microgranular coalescida. Pedalidade moderadamente desenvolvida.	Blocos subangulares pequenos e microgranular coalescida. Pedalidade moderadamente desenvolvida.	Zona 1: blocos subangulares pequenos e microgranular coalescida. Pedalidade moderadamente a bem desenvolvida. Zona 2: blocos subangulares. Pedalidade fracamente desenvolvida.	Blocos subangulares. Pedalidade fracamente desenvolvida.
Fábricas birrefringentes	Indiferenciada.	Indiferenciada.	Indiferenciada.	Zona 1: Indiferenciada. Zona 2: salpicada granida, monoestriada.	Salpicada granida, poroestriada, gramoestriada, monoestriada.
Feições pedológicas	Preenchimentos em canais e cavidades soltos descontínuos e densos completos.	Nódulos de argila. Revestimentos de argila e ferro. Preenchimentos densos completos de argila microlaminada e orientação paralela. Nódulos de ferro pequenos e irregulares.	Nódulos de argila. Revestimentos de argila e ferro abundantes. Preenchimentos densos completos de argila microlaminada e orientação paralela. Preenchimentos soltos e descontínuos. Nódulos de ferro pequenos e irregulares.	Zona 1: preenchimentos de canais e cavidades soltos descontínuos e densos completos. Zona 2: revestimentos de argila e ferro abundantes. Preenchimentos densos completos de argila microlaminada e orientação paralela. Preenchimentos soltos e descontínuos. Hiporrevestimentos de ferro.	Revestimentos de argila e ferro abundantes. Preenchimentos densos completos de argila microlaminada e orientação paralela. Preenchimentos soltos e descontínuos.
Observações	Presença comum de fragmentos de cerâmica.		Fragmentos de carvão e um fragmento de cerâmica.		

Continua...

Tabela 11.2. Continuação.

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)				
	Au1/Au2 (6-18 cm)	**Au3/Au4 (26-41 cm)**	**ABu (88-104 cm)**	**BAu1 (40-52 cm)**	**Bt (121-136 cm)**
Feições pedológicas	Preenchimentos em canais e cavidades soltos descontínuos e densos completos.	Nódulos de argila. Revestimentos de argila e ferro. Preenchimentos densos completos de argila microlaminada e orientação paralela. Nódulos de ferro pequenos e irregulares.	Nódulos de argila. Revestimentos de argila e ferro abundantes. Preenchimentos densos completos de argila microlaminada e orientação paralela. Preenchimentos soltos e descontínuos. Nódulos de ferro pequenos e irregulares.	Zona 1: preenchimentos de canais e cavidades soltos descontínuos e densos completos. Zona 2: revestimentos de argila e ferro abundantes. Preenchimentos densos completos de argila microlaminada e orientação paralela. Preenchimentos soltos e descontínuos. Hiporrevestimentos de ferro.	Revestimentos de argila e ferro abundantes. Preenchimentos densos completos de argila microlaminada e orientação paralela. Preenchimentos soltos e descontínuos.
Observações	Presença comum de fragmentos de cerâmica.		Fragmentos de carvão e um fragmento de cerâmica.		

(1)G/F: Razão entre a parte ocupada pelo material grosso (G) e pelo material fino (F).



Fotos: Pablo Vidal-Torrado.

Figura 11.1. Fotomicrografias da transição entre os horizontes Au1 e Au2 (Au1/Au2), perfil AM-01, mostrando: matriz pórfiro-enáulica e preenchimento denso completo (P) (PPL e UV) (A) e (B); fragmento de cerâmica (FC) com bioporo ao lado (PPL) (C); detalhe de fragmento de cerâmica mostrando espículas de esponja (cauxi) em corte longitudinal (setas amarelas) e em corte transversal (setas vermelhas) (PPL) em seu interior, e revestimento de argila (R) (D).

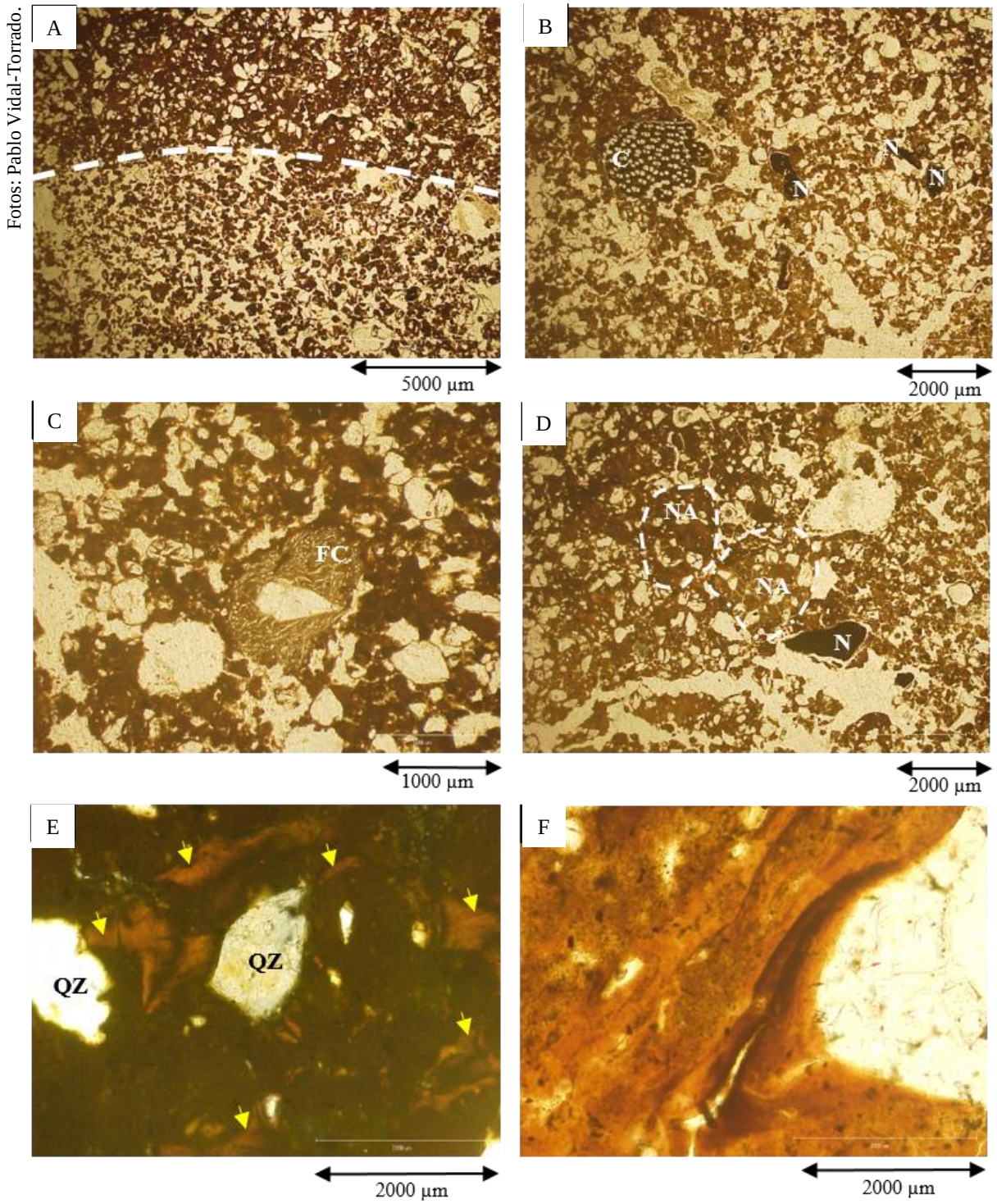


Figura 11.2. Fotomicrografias do horizonte ABu, perfil AM-01, mostrando: contato abrupto entre matriz porfírica e enáulica (PPL) (A); fragmentos de carvão (C) e de nódulos de ferro (N) pequenos e irregulares em matriz enáulica-porfírica (PPL) (B); fragmento de cerâmica com espículas de esponja (FC) (C); nódulo de ferro irregular (N) e nódulos de argila (NA) (PPL) (D); preenchimento de argila orientado (setas amarelas) e grãos de quartzo (QZ) irregulares (XPL) (E); revestimento de argila laminado e orientado (PPL) (F).

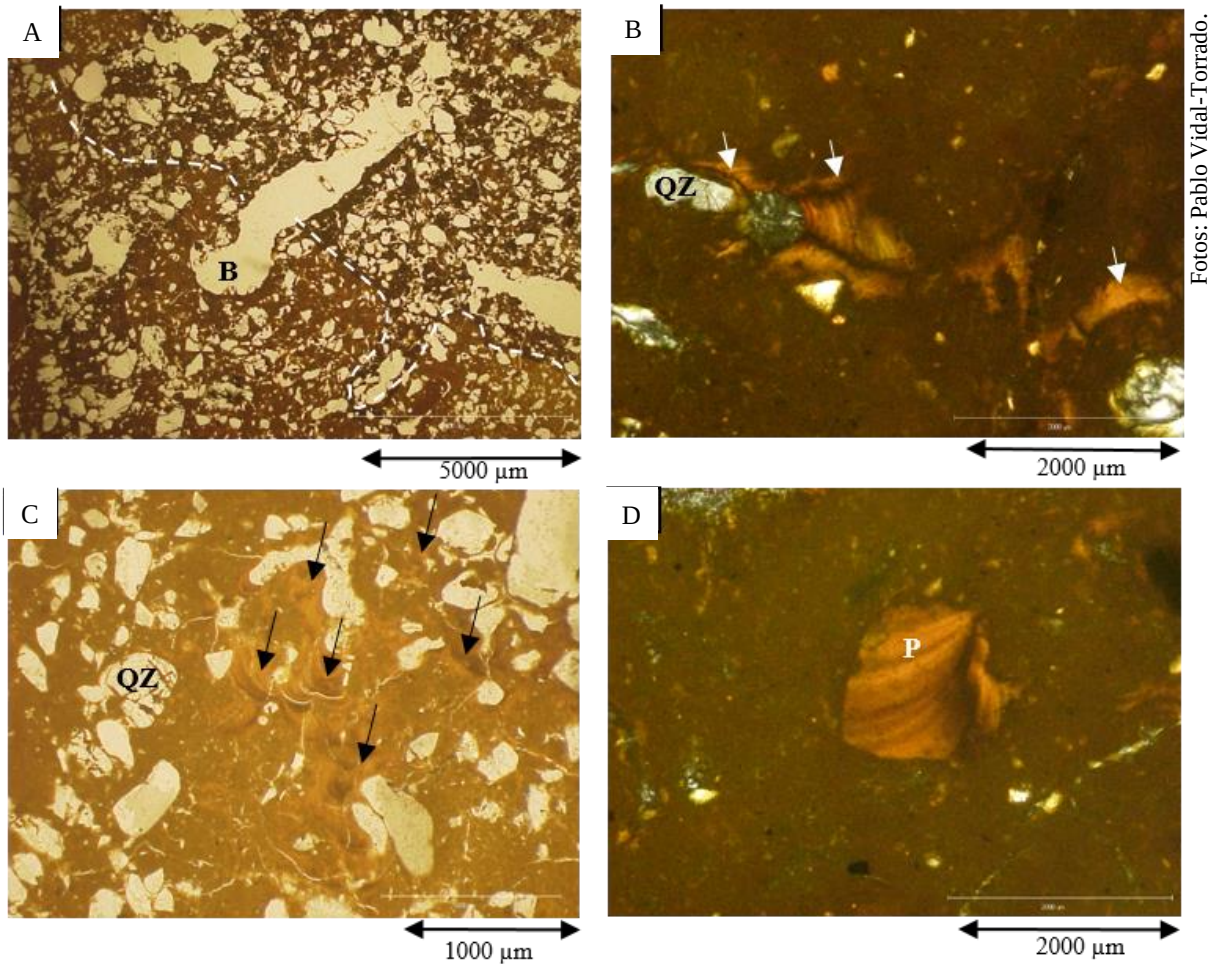


Figura 11.3. Fotomicrografias do horizonte BAu1, perfil AM-01, mostrando: contato abrupto entre a trama enáulica-porfírica e a porfírica, com bioporo (B) cortando ambas as tramas (PPL) (A); preenchimentos densos completos de argila com orientação forte e contínua (setas brancas) (XPL) (B); preenchimentos densos completos de argila com orientação forte e contínua (setas pretas) em trama porfírica (PPL) (C); pápula (P) com fragmento de argila iluvial incorporado ao fundo matricial (XPL) (D). QZ – quartzo.

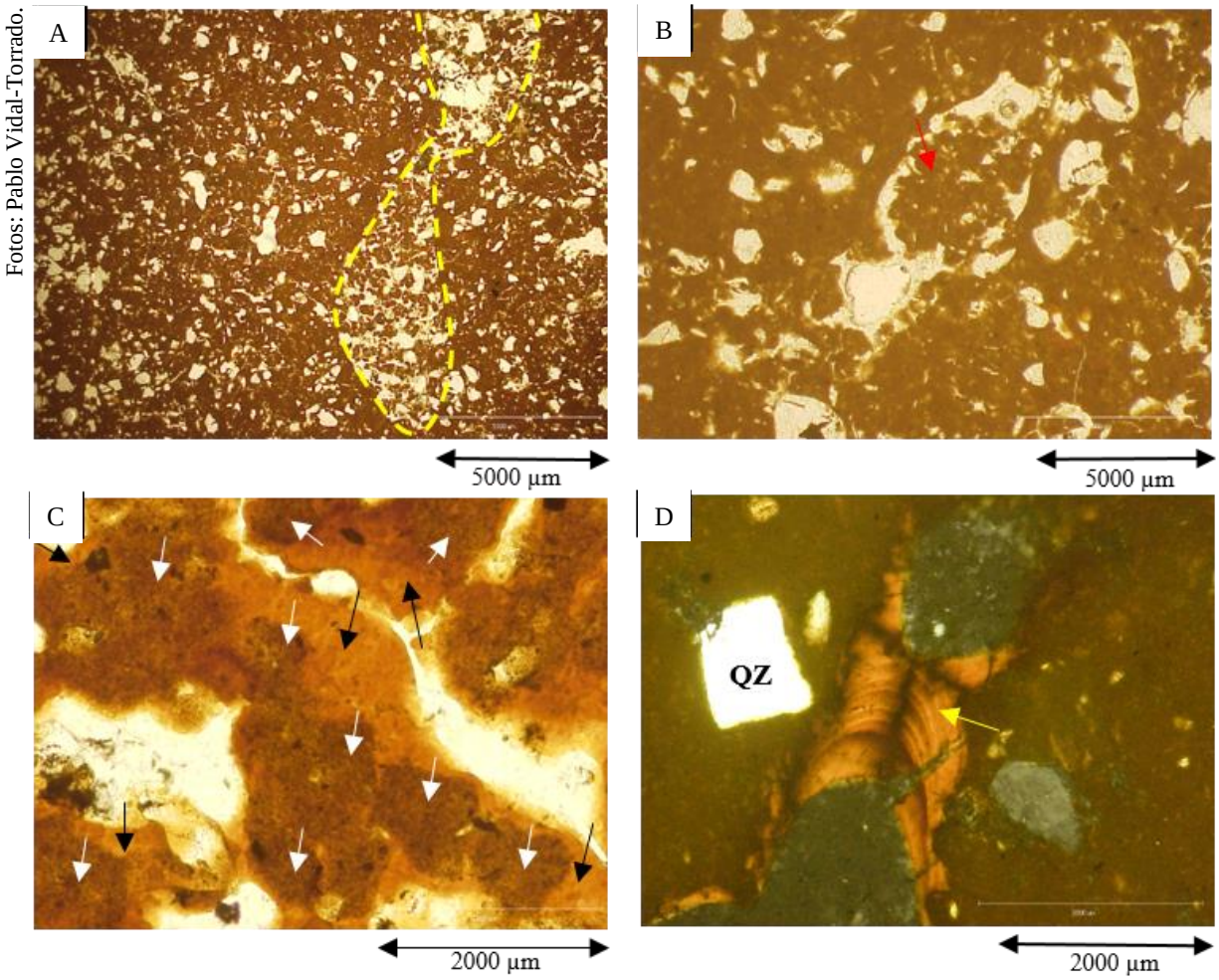


Figura 11.4. Fotomicrografias do horizonte Bt, perfil AM-01, mostrando: trama porfírica e bioporo (tracejado amarelo) com preenchimento solto descontínuo (PPL) (A); trama porfírica e bioporo com preenchimento denso, solto e descontínuo (microagregados – seta vermelha) (PPL) (B); microagregados (setas brancas) revestidos por argila (setas pretas) (PPL) (C); preenchimentos densos completos de argila microlaminados com extinção forte, estriada e contínua (seta amarela) (XPL) (D). QZ – quartzo.

Perfil AM-02 - Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico

O perfil AM-02 foi classificado como um Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico. Nele, foram coletadas e descritas quatro lâminas delgadas na transição (BA2/Bw1) e no centro dos horizontes (Bw2, Bw3 e Bwc1) (Tabela 11.3). O perfil apresenta pedalidade fraca a moderada com domínio de agregados em blocos. Na porosidade do conjunto de sub-horizontes Bw predominam cavidades irregulares pequenas e médias e arredondadas grandes, com câmaras, canais e fissuras de tamanho pequeno e médio, num fundo matricial muito argiloso, de distribuição relativa porfírica, com 20% de poros (Figuras 11.5 a 11.7). São comuns nódulos de ferro de tamanho variando de milimétricos (tamanho areia grossa), presentes nos horizontes mais superficiais estudados (BA2/Bw1), até centimétricos (cascalho), estes mais comuns na base (Bw4 e Bwc1) do perfil. Até aqui, esta descrição é muito representativa de Latossolos Amarelos muito argilosos da Amazônia. Os nódulos de Fe mostram feições de degradação variável (degradados a intensamente degradados) (Figuras 11.6 e 11.8). Os grãos de quartzo demonstram ter sofrido intensa degradação por dissolução, com morfologia típica desse processo (Figuras 11.5 a 11.8), aspecto muito especial deste perfil, raramente identificado em solos, mesmo em Latossolos. Há evidências de impregnação prévia por óxidos de ferro de muitos grãos de quartzo, sugerindo um retrabalhamento destes ou herança da degradação da petroplintita (Figura 11.8).

Tabela 11.3. Descrição micromorfológica de horizontes selecionados do perfil AM-02 (Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico). A barra entre dois horizontes diz respeito à amostra coletada e descrita na transição entre eles.

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)			
	BA2/Bw1 (17-30 cm)	**Bw3 (58-70 cm)**	**Bw4 (142-155 cm)**	**Bwc1 (167-182 cm)**
Fundo matricial	Material grosso: 15% Material fino: 65% Porosidade: 20%	Material grosso: 15% Material fino: 65% Porosidade: 20%	Material grosso: 15% Material fino: 65% Porosidade: 20%	Material grosso: 15% Material fino: 65% Porosidade: 20%
Distribuição relativa G/F(1)	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/4	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/4	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/4	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/4
Material grosso	Grãos de quartzo de tamanho areia média, fina e muito fina, subangulares, moderadamente a mal selecionados. Ocorrência de nódulos arredondados de ferro de tamanho pequeno.	Grãos de quartzo de tamanho areia média, fina e muito fina, subangulares e subarredondados, moderadamente a mal selecionados. Ocorrência de nódulos arredondados de ferro de tamanho pequeno.	Grãos de quartzo de tamanho areia média, fina e muito fina, subangulares e subarredondados, moderadamente a mal selecionados. Ocorrência de nódulos arredondados de ferro de tamanho pequeno.	Grãos de quartzo de tamanho areia média, fina e muito fina, subangulares e subarredondados, moderadamente a mal selecionados. Ocorrência de nódulos arredondados de ferro de tamanho pequeno, médio e grande.
Material fino	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.
Poros	Predominam câmaras e fissuras de tamanho pequeno, médio e grande, presença de cavidades irregulares pequenas e médias e arredondadas grandes.	Predominam cavidades irregulares pequenas e médias e arredondadas grandes. Presença de câmaras, canais e fissuras de tamanho pequeno e médio	Predominam cavidades irregulares pequenas e médias e arredondadas grandes, e câmaras. Presença de fissuras de tamanho pequeno e médio e canais.	Predominam cavidades irregulares pequenas e médias e arredondadas grandes. Presença de câmaras, canais e fissuras de tamanho pequeno e médio

Continua...

Tabela 11.3. Continuação.

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)			
	BA2/Bw1 (17-30 cm)	**Bw3 (58-70 cm)**	**Bw4 (142-155 cm)**	**Bwc1 (167-182cm)**
Microestrutura	Blocos angulares. Pedalidade moderadamente desenvolvida.	Blocos angulares. Pedalidade fracamente desenvolvida.	Blocos angulares. Pedalidade fracamente desenvolvida.	Blocos angulares. Pedalidade fracamente desenvolvida.
Fábricas birrefringentes	Indiferenciada.	Salpicada granida e mosaico; granoestriada e poroestriada.	Salpicada granida e mosaico; estrias abundantes do tipo: granoestriada, poroestriada, estriada cruzada e ao acaso.	Salpicada granida e mosaico; estrias abundantes do tipo: granoestriada, poroestriada, estriada cruzada e ao acaso.
Feições pedológicas	Presença de nódulos pequenos e médios ferruginosos típicos; preenchimentos de fissuras e câmaras por raízes.	Quantidade abundante preenchimentos soltos contínuos e descontínuos de cavidades, médios e grandes. Presença de nódulos arredondados de ferro de tamanho pequeno.	Quantidade abundante preenchimentos de agregados soltos contínuos e descontínuos de cavidades, médios e grandes. Presença de nódulos arredondados e alongados de ferro de tamanho pequeno e grande. Presença de excrementos em resíduos de raízes.	Preenchimentos de agregados soltos contínuos e descontínuos de cavidades, médios e grandes. Presença de nódulos arredondados e de ferro de tamanho pequeno, médio e grande. Os nódulos médios e grandes apresentam grãos de quartzo e estão bem degradados.

(1)G/F: Razão entre a parte ocupada pelo material grosso (G) e pelo material fino (F).

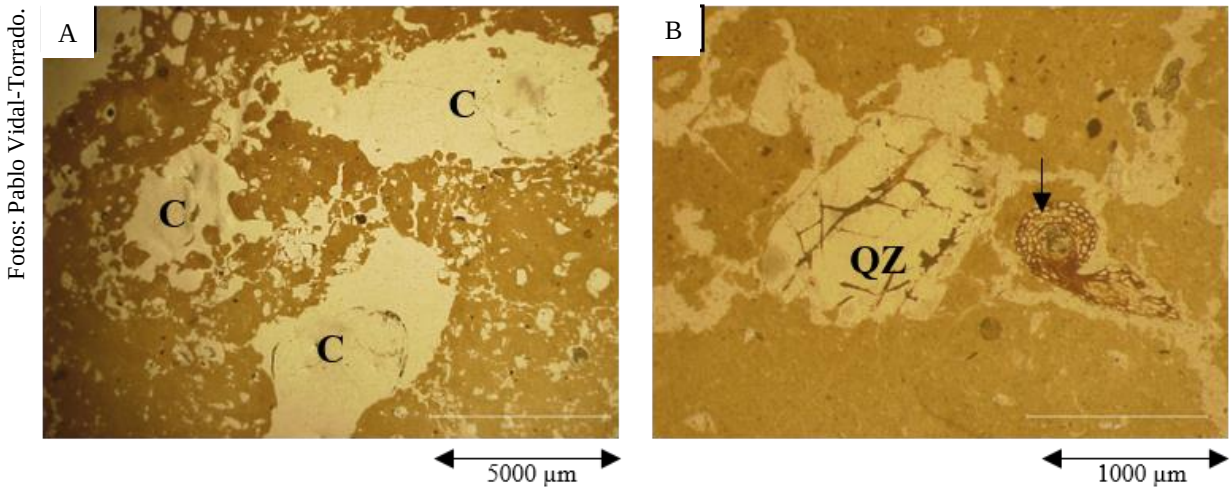


Figura 11.5. Fotomicrografias da transição entre os horizontes BA2 e Bw1 (BA2/Bw1), perfil AM-02, mostrando: matriz porfírica e câmaras de formiga (C) (PPL) (A); matriz porfírica, câmara preenchida por raiz (seta preta), e presença de *runiquartz* (QZ) (PPL) (B).

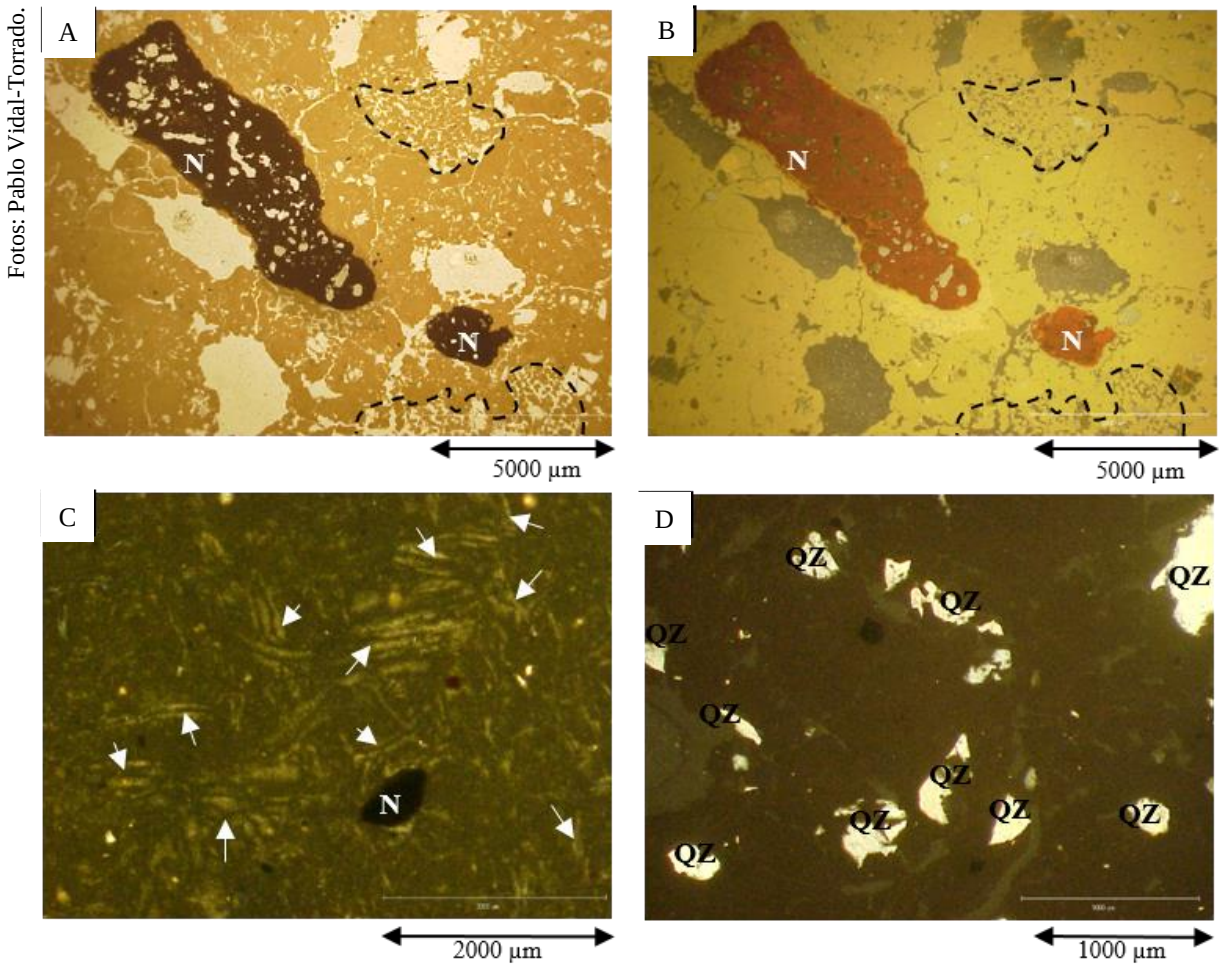
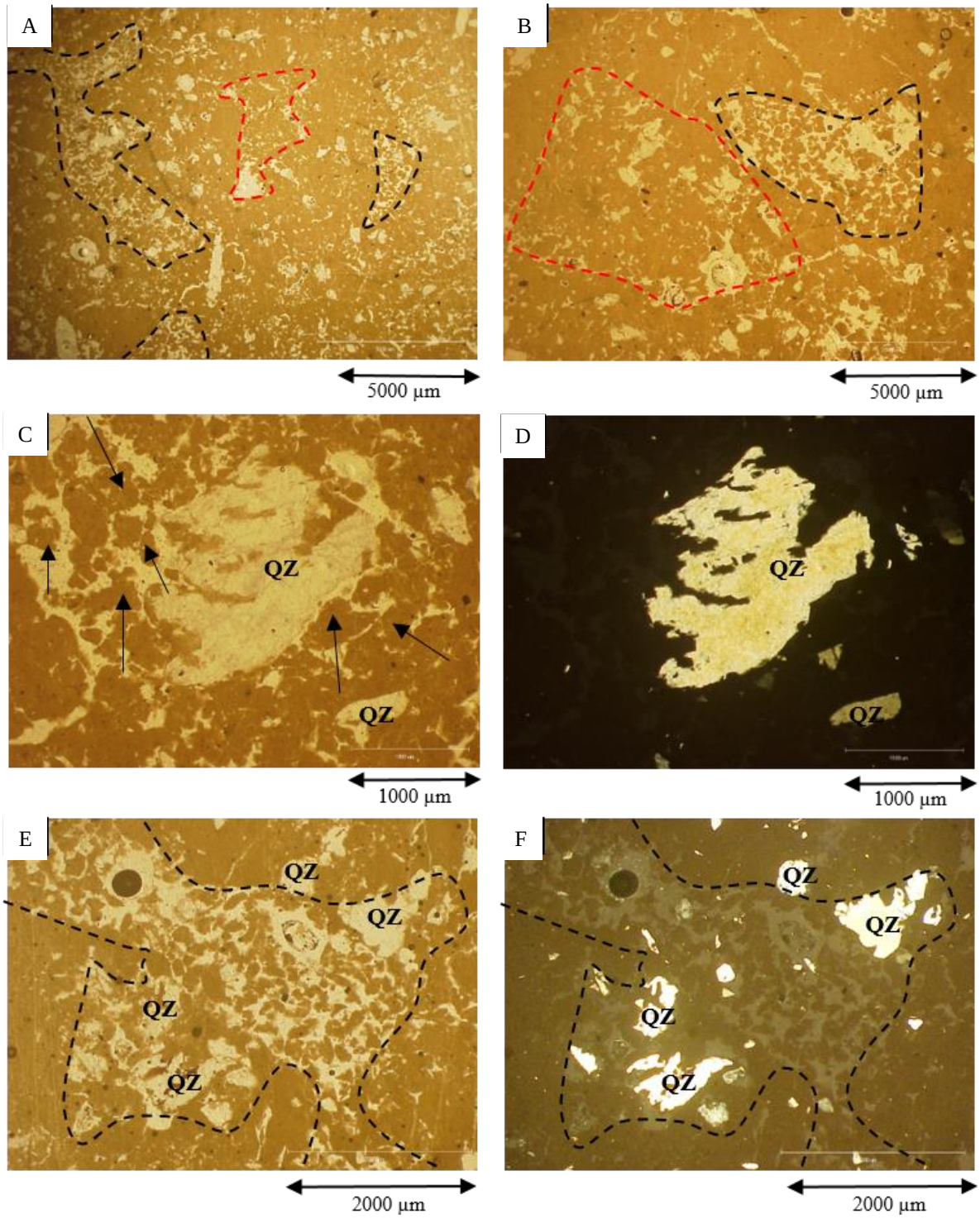


Figura 11.6. Fotomicrografias do horizonte Bw4, perfil AM-02, mostrando: matriz porfírica, nódulos arredondados e alongados de ferro de tamanho pequeno e grande (N), e preenchimentos soltos descontínuos (tracejados pretos) (PPL e luz incidente) (A) e (B); fábricas birrefringentes abundantes (setas brancas) dos tipos granoestriada, poroestriada, estriada cruzada e ao acaso, e nódulo de ferro (N) (XPL) (C); grãos de quartzo (QZ) dissolvidos formando *etched quartz* (Eswaran; Stoops, 1979) (XPL) (D).



Fotos: Pablo Vidal-Torrado.

Figura 11.7. Fotomicrografias do horizonte Bw2, perfil AM-02, mostrando: preenchimentos soltos contínuos (tracejado vermelho) e descontínuos (tracejado preto) de cavidades por microagregados biológicos (PPL) (A) e (B); preenchimento solto por microagregados (setas pretas) e grãos de quartzo (QZ) dissolvidos (*etched quartz*) (Eswaran; Stoops, 1979) (PPL e XPL) (C) e (D); preenchimentos soltos descontínuos de cavidade (tracejado preto) por microagregados e quartzo dissolvido (QZ) (*etched quartz*) (Eswaran; Stoops, 1979) (PPL e XPL) (E) e (F).

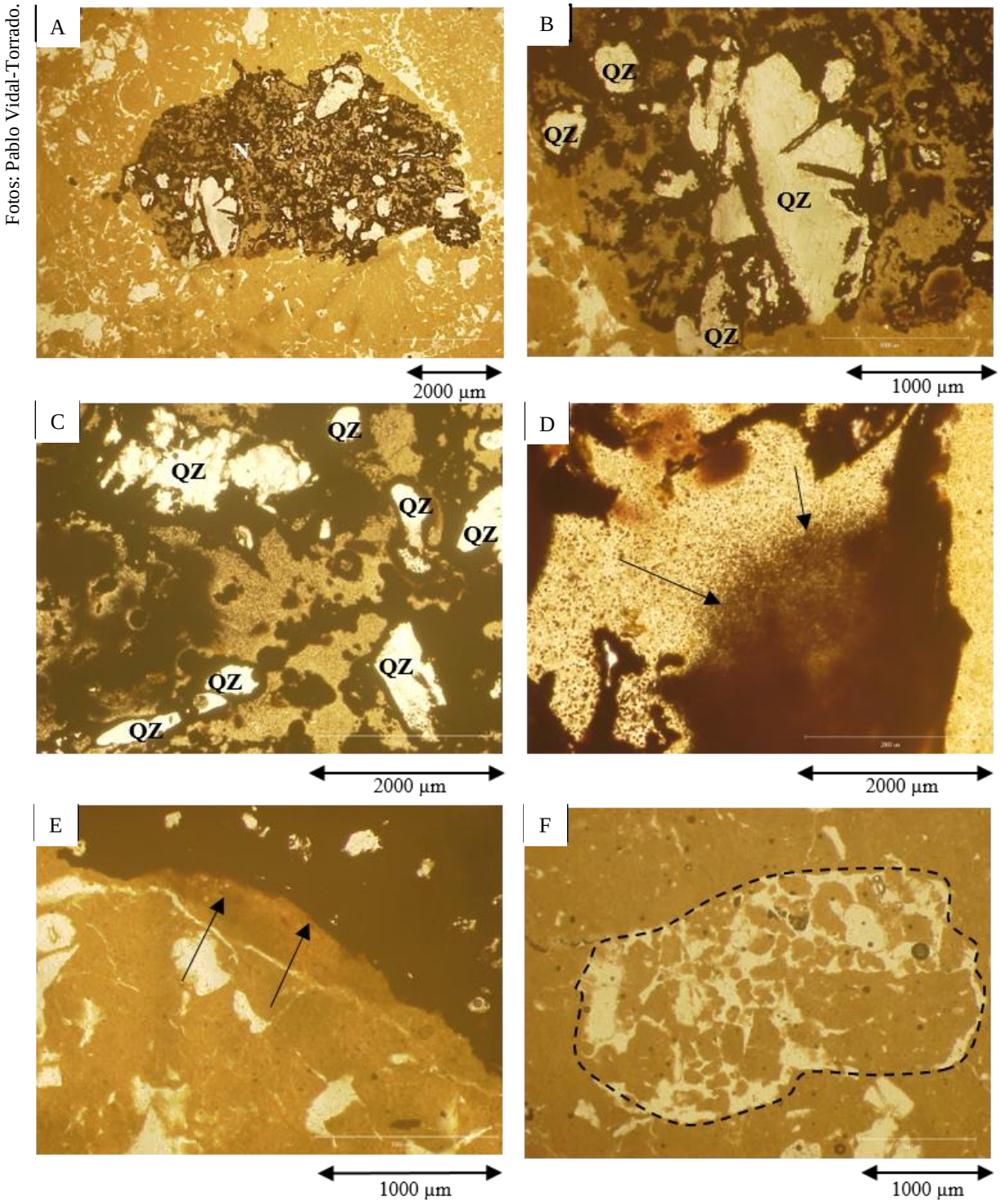


Figura 11.8. Fotomicrografias do horizonte Bwc1, perfil AM-02, mostrando: nódulo de ferro (N) degradado (PPL) (A); detalhes de nódulo de ferro com grãos de quartzo (QZ) com feições de dissolução (canais e bordos) (PPL) (B) e (C); detalhe da dissolução de ferro (setas pretas) no interior e bordo de nódulo de ferro (PPL) (D) e (E); preenchimentos soltos descontínuos de cavidade (tracejado preto) (PPL) (F).

Perfil AM-05 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico

Para o perfil AM-05 foram coletadas e descritas duas amostras, uma mais próxima à superfície, referente à transição dos horizontes 3Cg1/3Cg2 (27-37 cm), e outra em maior profundidade, referente ao horizonte 4Cg4 (120-133 cm) (Tabela 11.4). É um solo com matriz porfírica siltosa, com hiporrevestimentos de ferro (mosqueados) associados a canais, câmaras e poros planares, estes últimos típicos de solos com argila de atividade alta (Figura 11.9).

Em diferentes solos desta RCC, naqueles com elevado conteúdo de silte e matriz porfírica, observam-se muitas cavidades e coalescência destas, evidenciando processos de dissolução. Alguns poros grandes são, assim, formados e posteriormente colapsam dando origem a poros de formatos complexos. Os mosqueados são abundantes e caracterizam-se como hipo, quase e revestimentos de ferro (Figuras 11.9 e 11.10).

No horizonte 4Cg4 há maior evidência de nucleação de Fe, chegando a formar nódulos agregados (Figura 11.10). A presença abundante de fábricas birrefringentes salpicadas granidas e em mosaico é compatível com a presença das argilas de atividade alta (Tabela 11.4).

Tabela 11.4. Descrição micromorfológica de horizontes selecionados do perfil AM-05 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico). A barra entre dois horizontes diz respeito à amostra coletada e descrita na transição entre eles.

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)	
	3Cg1/3Cg2 (27-37 cm)	**4Cg4 (120-133 cm)**
Fundo matricial	Material grosso: 20% Material fino: 60% Porosidade: 20%	Material grosso: 40% Material fino: 60% Porosidade: 10%
Distribuição relativa G/F[(1)]	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/3	Porfírica. g/f $_{2um}$: 2/3
Material grosso	Predomínio de grãos de quartzo muito finos bem selecionados.	Grãos de quartzo médios e finos moderadamente selecionados.
Material fino	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.
Poros	Predominam câmaras médias e grandes, e cavidades irregulares e arredondadas. Presença de fissuras.	Predominam cavidades e canais. Presença de câmaras e fissuras de tamanho pequeno.
Microestrutura	Blocos subangulares médios e grandes. Pedalidade moderadamente a bem desenvolvida.	Blocos subangulares médios. Pedalidade fracamente desenvolvida.
Fábricas birrefringentes	Salpicada granida e em mosaico.	Salpicada granida e em mosaico.
Feições pedológicas	Presença abundante de hiporrevestimentos de ferro em câmaras e cavidades; preenchimentos soltos e contínuos de cavidades e canais por raízes e excrementos biológicos. Revestimentos e hiporrevestimentos de ferro nas cavidades.	Presença abundante de hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de ferro em canais, câmaras e cavidades; presença moderada de nódulos pequenos e médios ferruginosos, típicos, com impregnação fraca a moderada, sendo alguns do tipo agregado.

[(1)]G/F: Razão entre a parte ocupada pelo material grosso (G) e pelo material fino (F).

Fotos: Pablo Vidal-Torrado.

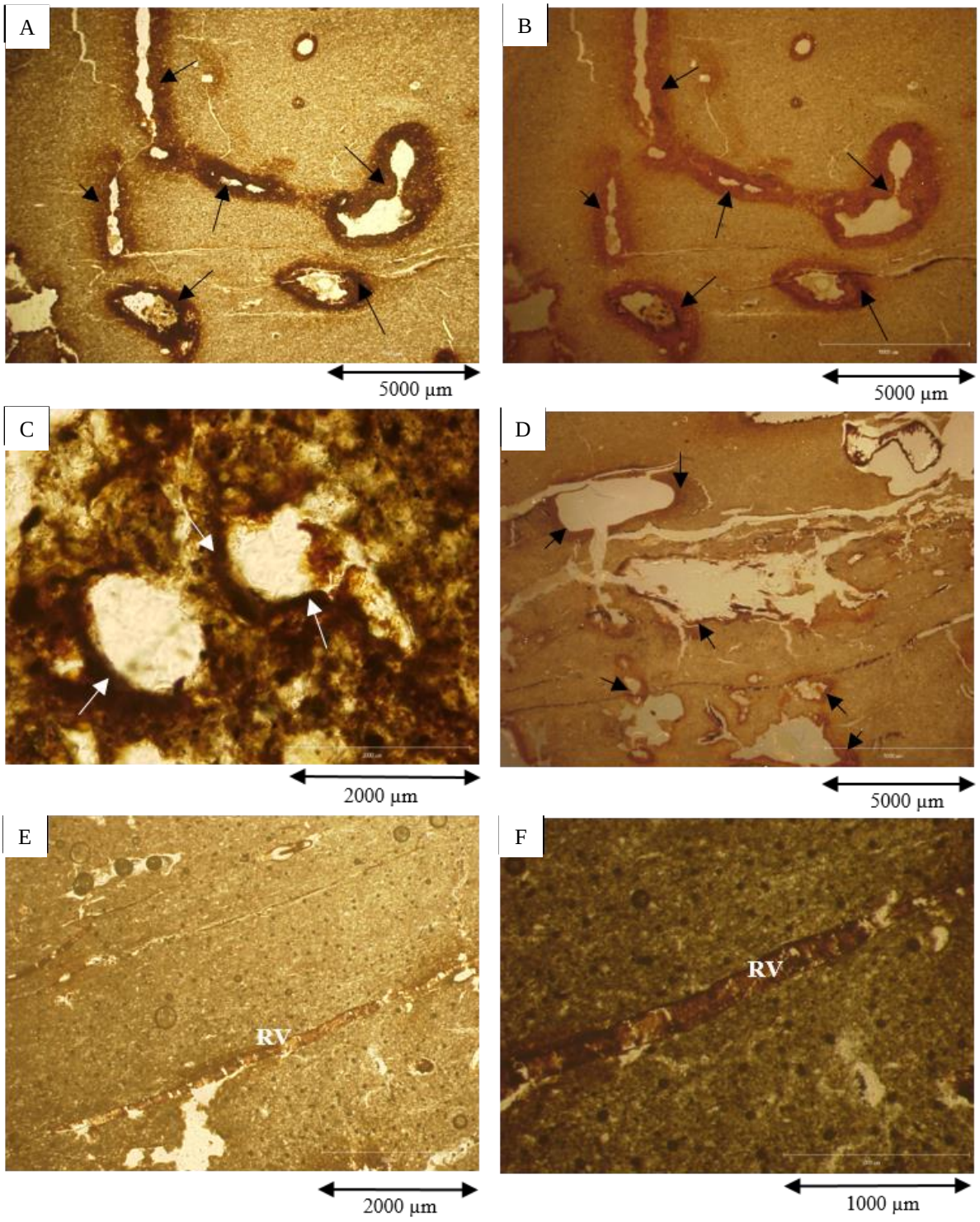


Figura 11.9. Fotomicrografias da transição entre os horizonte 3Cg1 e 3Cg2 (3Cg1/3Cg2), perfil AM-05, mostrando: matriz porfírica siltosa e hiporrevestimentos de ferro (setas pretas e brancas) em câmaras e cavidades (PPL, luz incidente e PPL) (A), (B) e (C); hipo, quase e revestimentos de ferro (setas pretas) em câmaras e cavidades (PPL) (D); poro planar com restos vegetais (RV) (PPL) (E) e (F).

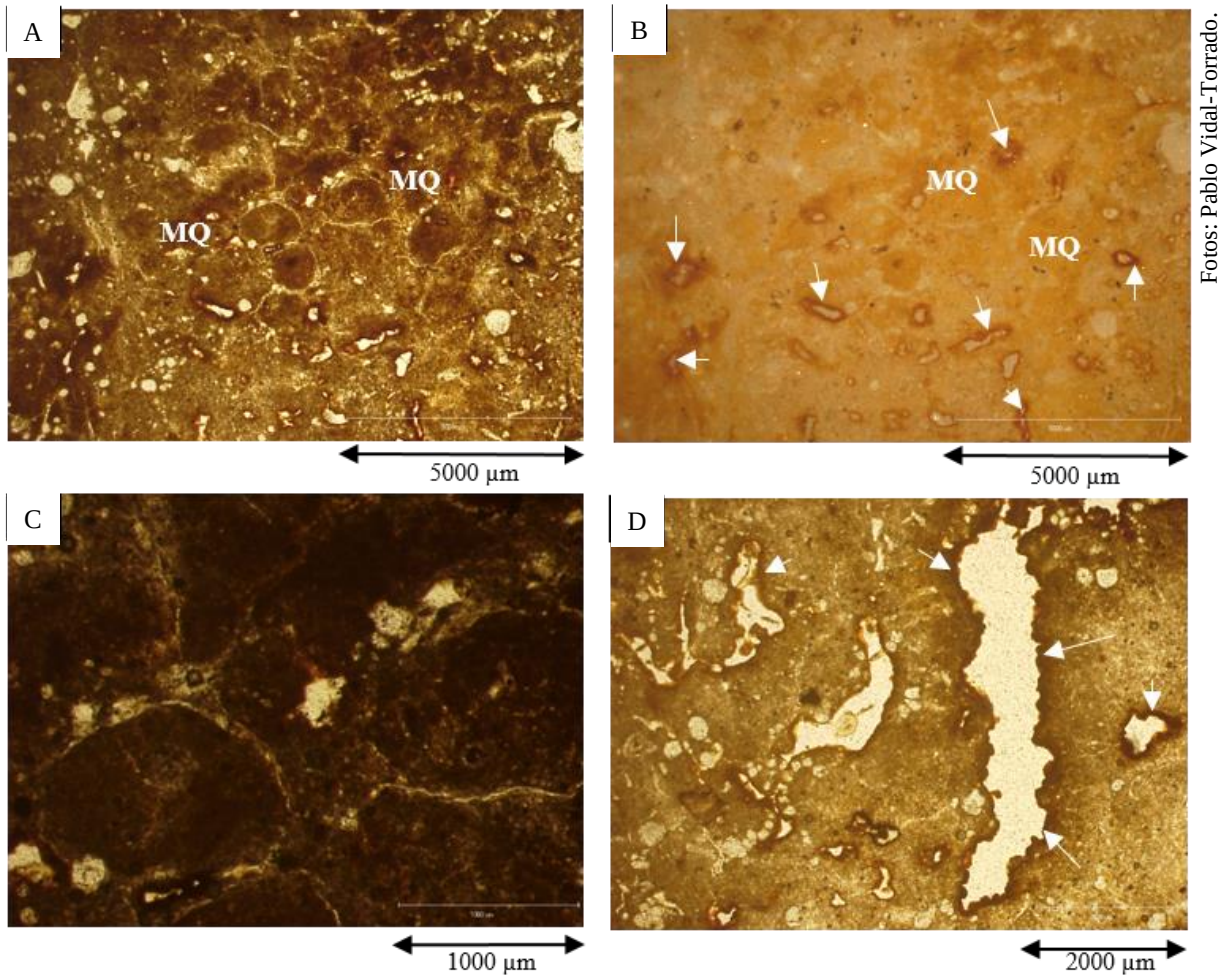


Figura 11.10. Fotomicrografias do horizonte 4Cg4, perfil AM-05, mostrando: matriz porfírica e feições redoximórficas na forma de mosqueado (MQ) e hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de ferro (setas brancas) em cavidades (PPL e luz incidente) (A) e (B); detalhe da nucleação de ferro formando mosqueado (PPL) (C); cavidade com bordos arredondados e serrilhados, com hiporrevestimento e revestimento de ferro (setas brancas) (PPL) (D).

Perfil AM-06 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico

Para o perfil AM-06, identificado com ao menos seis descontinuidades na descrição do perfil (vide Capítulo 9), foram coletadas e descritas quatro amostras, todas dos seus horizontes Cg (Tabela 11.5). Todos os horizontes têm matriz porfírica siltosa, com grãos de quartzo tamanho areia fina a muito fina e nódulos de ferro mal selecionados (Figuras 11.11 a 11.14). As feições redoximórficas são abundantes em todos os horizontes, com destaque para hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de Fe. A pedalidade é fraca a moderada, com um ligeiro incremento desta na base do perfil. A abundância de cavidades e de poros grandes mamelonares em todos os horizontes estudados, que sugerem a coalescência das primeiras por depleção, deve estar relacionada a um importante processo de dissolução, a ferrólise, tal como descrito por Brinkman (1970, 1979). Curiosamente, o horizonte com maior ocorrência dessas feições de depleção foi o 7Cg5 (150-192 cm), o que faz pensar em uma dinâmica hidrológica peculiar destes solos, com oscilações de lençol sazonais que poderiam promover o mecanismo da ferrólise em diferentes níveis. Outro aspecto relevante deste perfil é a atividade de bioturbação (Tabela 11.5) (Figuras 11.13 e 11.14), com frequentes preenchimentos biológicos (densos, principalmente) em diferentes profundidades. As fábricas birrefringentes abundantes são características de uma fração argila de maior atividade. Apenas o horizonte 4Cg2 teve poucas fábricas birrefringentes.

Embora a descrição de campo tenha identificado sete camadas descontínuas, não se percebe muita diferença dos materiais de cada sub-horizonte Cg, que é dominado por uma sedimentação de areia muita fina e silte.

Tabela 11.5. Descrição micromorfológica de horizontes selecionados do perfil AM-06 (Neossolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico ou Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico).

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)			
	3Cg1 (20-34 cm)	**4Cg2 (51-63 cm)**	**6Cg4 (129-140 cm)**	**7Cg5 (165-178 cm)**
Fundo matricial	Material grosso: 30% Material fino: 50% Porosidade: 20%	Material grosso: 20% Material fino: 60% Porosidade: 20%	Material grosso: 30% Material fino: 50% Porosidade: 20%	Material grosso: 20% Material fino: 50% Porosidade: 30%
Distribuição relativa G/F[(1)]	Porfírica. g/f $_{2um}$: 3/5	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/3	Porfírica. g/f $_{2um}$: 3/5	Porfírica. g/f $_{2um}$: 2/5
Material grosso	Grãos de quartzo de tamanho areia fina e muito fina, subangulares, moderadamente a bem selecionados. Nódulos de ferro mal selecionados.	Grãos de quartzo de tamanho areia fina e muito fina, subangulares, moderadamente a bem selecionados. Nódulos de ferro mal selecionados.	Grãos de quartzo de tamanho areia fina e muito fina, subangulares, moderadamente a bem selecionados. Nódulos de ferro mal selecionados	Grãos de quartzo de tamanho areia fina e muito fina, subangulares, moderadamente a bem selecionados. Nódulos de ferro mal selecionados
Material fino	Argila e óxido de ferro	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.
Poros	Predominam cavidades e canais de tamanho pequeno, médio e grande; presença de câmaras e fissuras.	Predominam fissuras, cavidades e canais de tamanho pequeno, médio e grande; presença de câmaras.	Predominam fissuras, cavidades e canais de tamanho pequeno, médio e grande; presença de câmaras.	Predominam câmaras, cavidades e canais de tamanho pequeno, médio e grande; presença de fissuras.
Microestrutura	Blocos subangulares médios e pequenos. Pedalidade moderadamente a mal desenvolvida.	Blocos subangulares médios e pequenos. Pedalidade moderadamente a mal desenvolvida.	Blocos subangulares médios e pequenos. Pedalidade moderadamente a bem desenvolvida.	Blocos subangulares médios e pequenos. Pedalidade moderadamente a bem desenvolvida.
Fábricas birrefringentes	Abundantes. Salpicada mosaico dominante. Estriada ao acaso, poroestriada e granoestriada.	Poucas. Indiferenciada, salpicada granida.	Abundantes. Salpicada mosaico dominante. Estriada ao acaso, poroestriada e granoestriada.	Abundantes. Salpicada mosaico dominante. Estriada ao acaso, poroestriada e granoestriada.

Continua...

Tabela 11.5. Continuação.

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)			
	3Cg1 (20-34 cm)	**4Cg2 (51-63 cm)**	**6Cg4 (129-140 cm)**	**7Cg5 (165-178 cm)**
Feições pedológicas	Presença abundante de hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de ferro em canais, câmaras e cavidades; presença de nódulos pequenos e médios ferruginosos, típicos, com impregnação fraca a moderada, sendo alguns do tipo agregado. Alguns nódulos encontram-se em avançado estado de degradação. Presença de preenchimentos densos completos e soltos descontínuos.	Presença abundante de hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de ferro em canais, câmaras e cavidades; presença moderada de hiporrevestimentos de depleção; presença de nódulos pequenos e médios ferruginosos, típicos, com impregnação fraca a moderada, sendo alguns do tipo agregado. Alguns nódulos apresentam avançado estado de degradação. Presença de preenchimentos densos completos e incompletos e soltos descontínuos.	Presença abundante de hiporrevestimentos de depleção. Presença de hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de ferro; presença de nódulos pequenos e médios ferruginosos, típicos, com impregnação fraca a moderada, sendo alguns do tipo agregado. Presença de preenchimentos densos incompletos e soltos descontínuos.	Presença abundante de feições de depleção. Presença de hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de ferro; presença de nódulos pequenos e médios ferruginosos, típicos, com impregnação fraca a moderada, sendo alguns do tipo agregado. Presença de preenchimentos densos incompletos e soltos descontínuos.

(1)G/F: Razão entre a parte ocupada pelo material grosso (G) e pelo material fino (F).

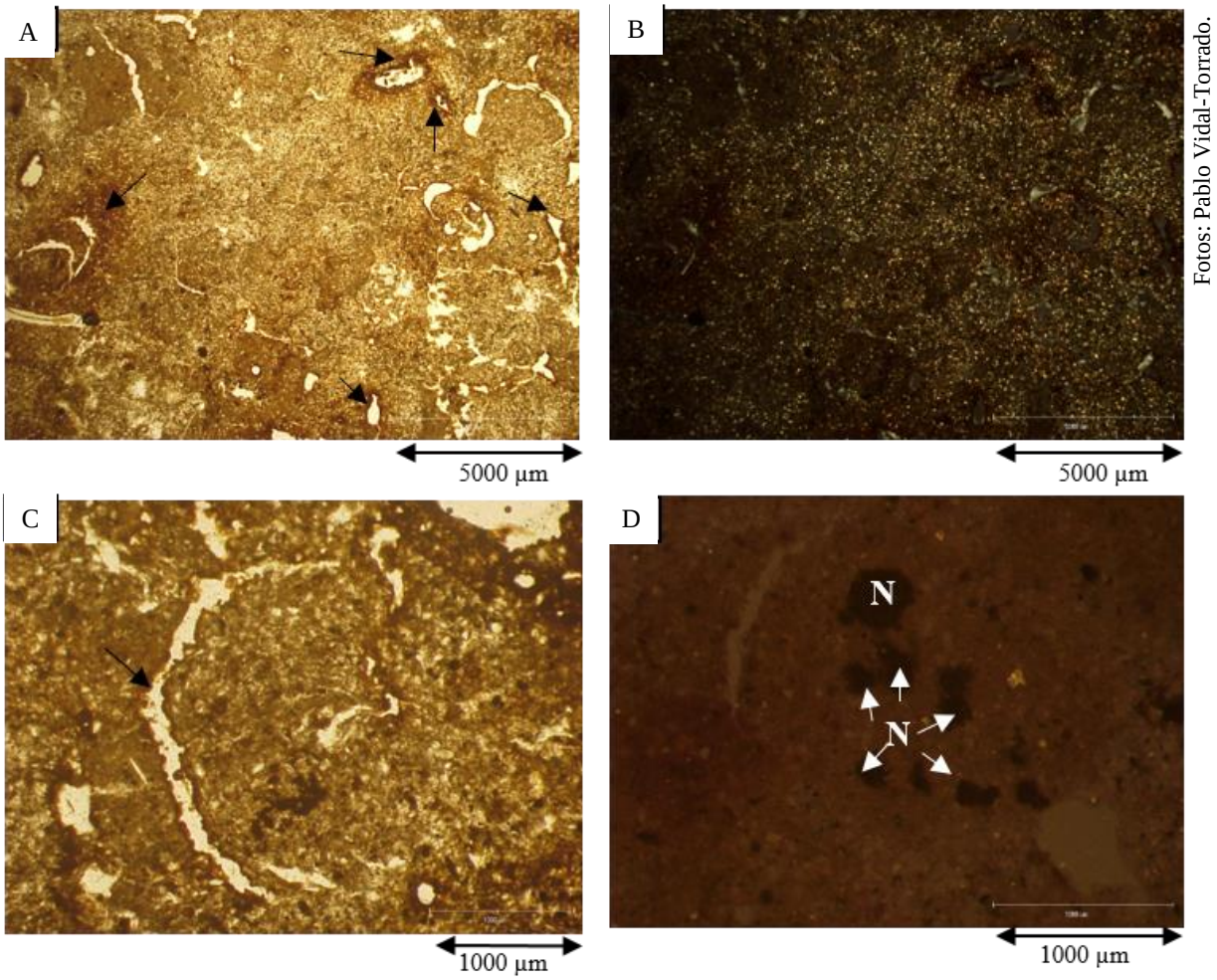


Figura 11.11. Fotomicrografias do horizonte 3Cg1, perfil AM-06, mostrando: matriz porfírica, hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de ferro (setas pretas) em canais, câmaras e cavidades (PPL e XPL) (A) e (B); cavidade com revestimento de ferro (seta preta) serrilhado arredondado (PPL) (C); nódulos pequenos ferruginosos (N) (XPL) (D).

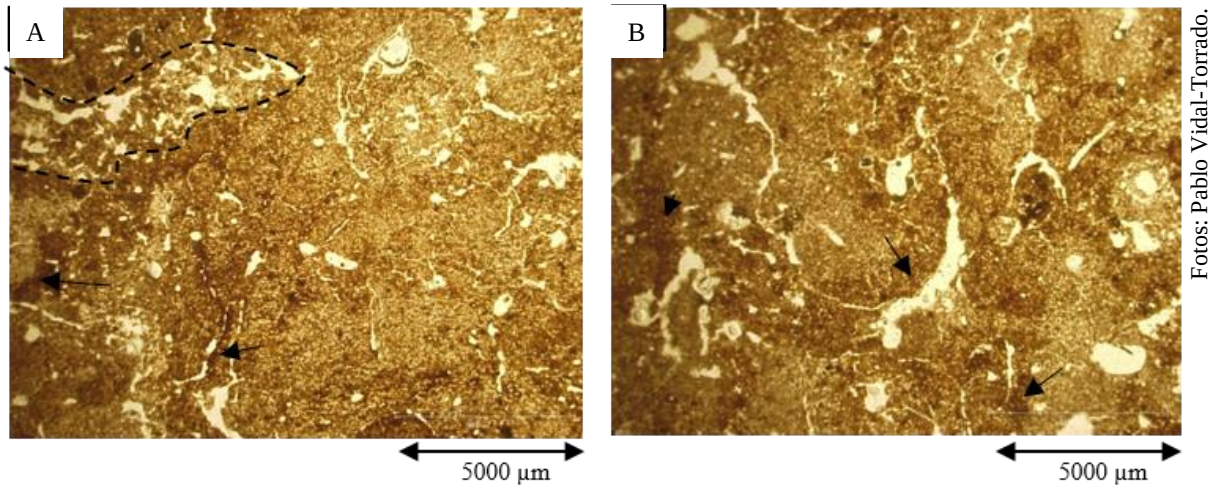


Figura 11.12 Fotomicrografias do horizonte 6Cg4, perfil AM-06, mostrando: matriz porfírica siltosa, hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de ferro (setas pretas) e preenchimento denso incompleto (tracejado preto) (PPL) (A) e (B).

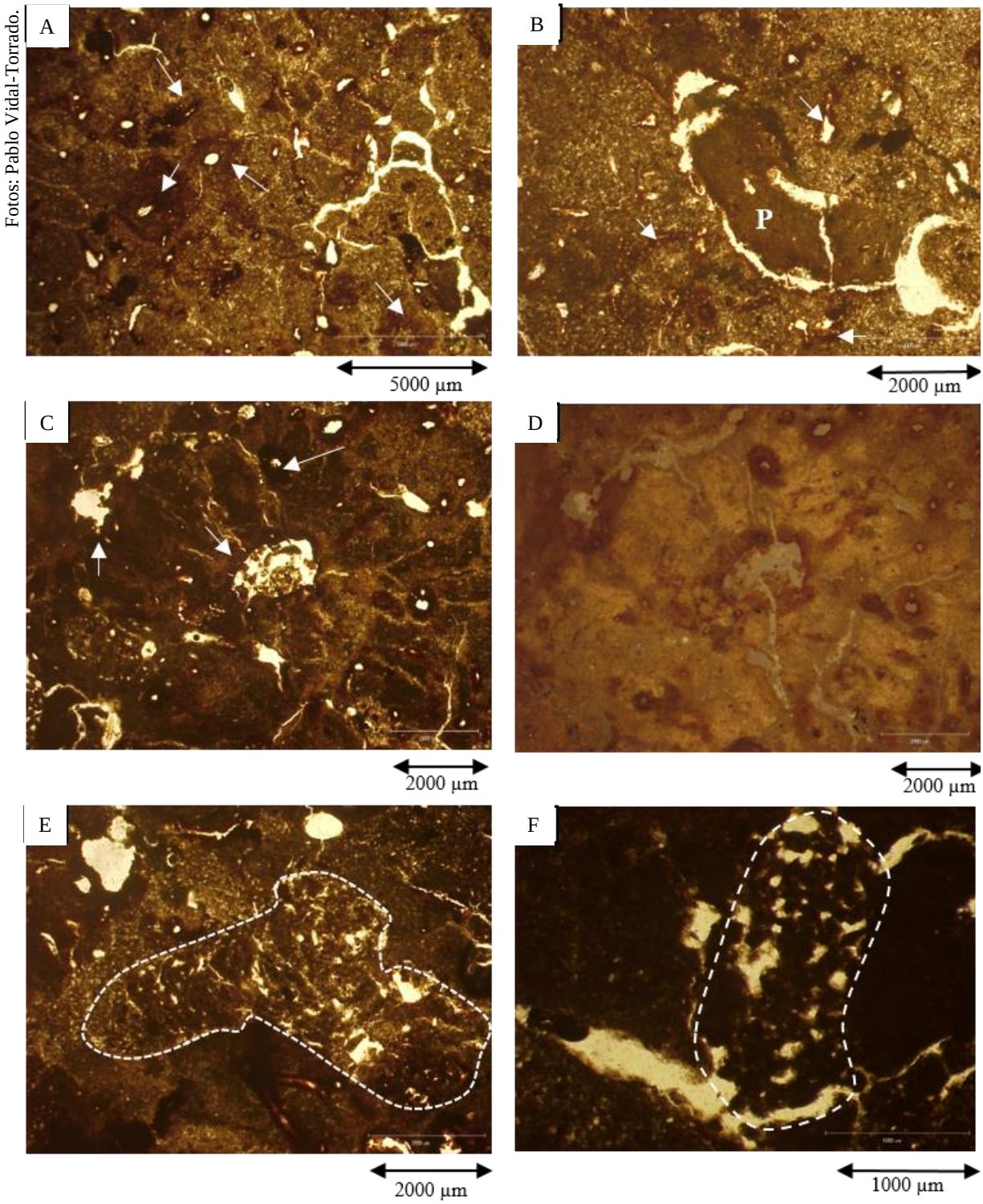
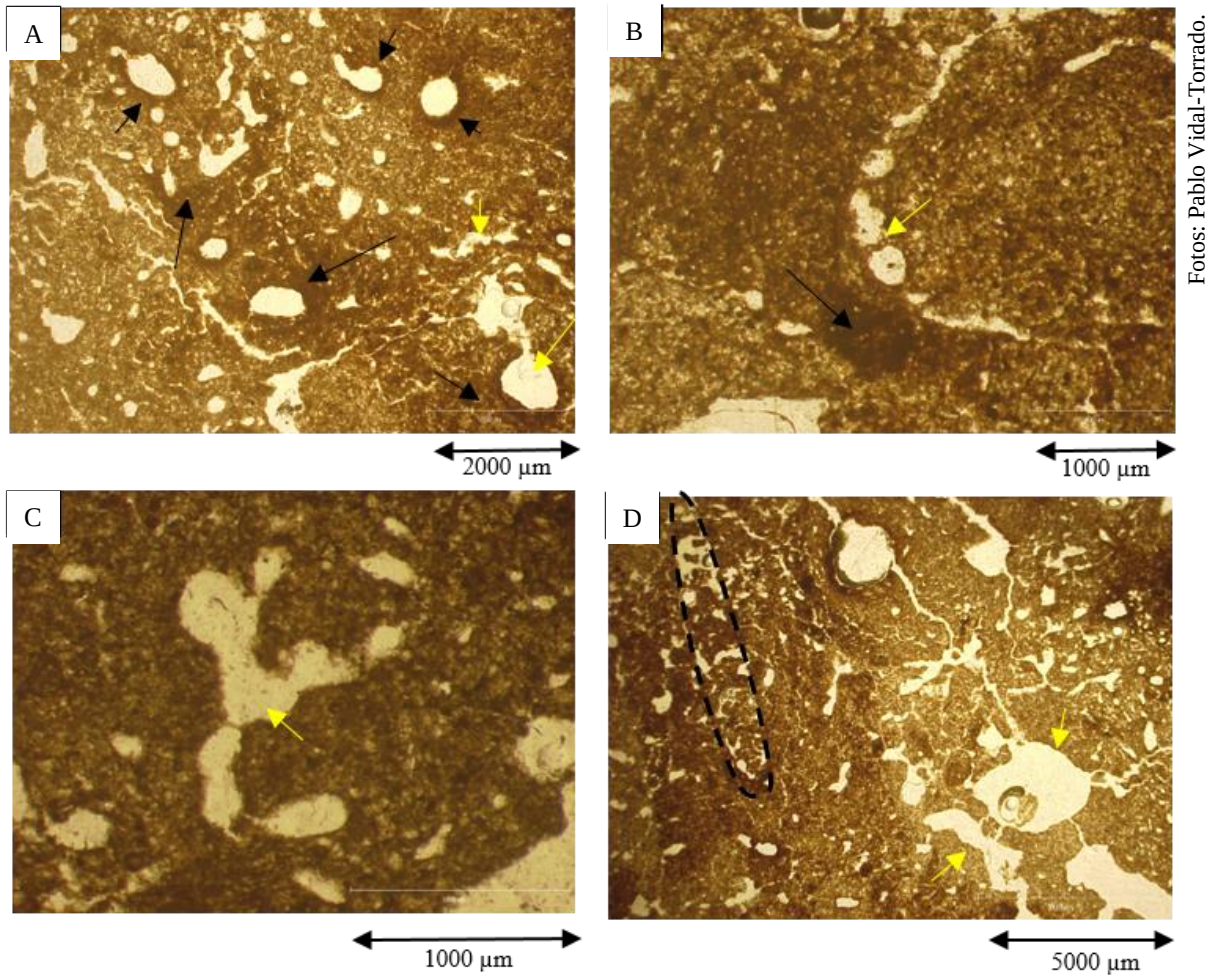


Figura 11.13. Fotomicrografias do horizonte 4Cg2, perfil AM-06, mostrando: matriz porfírica, presença abundante de hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de ferro (setas brancas) em câmaras e cavidades (PPL) (A); preenchimento denso fino e completo (P), gleizado, hipo e quaserrevestimentos de ferro em cavidades (setas brancas) (PPL) (B); hipo e quaserrevestimentos em canais e câmaras (setas brancas) e zonas de depleção de ferro em forma radial (PPL e luz incidente) (C) e (D); preenchimento solto descontínuo e arqueado (tracejado branco) por minhoca (PPL) (E); detalhe de preenchimento solto (tracejado branco) composto de microagregados (PPL) (F).



Fotos: Pablo Vidal-Torrado.

Figura 11.14. Fotomicrografias do horizonte 7Cg5, perfil AM-06, mostrando: matriz porfírica siltosa, hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de ferro (setas pretas), abundância de cavidades e coalescência de cavidades (setas amarelas) (PPL) (A); feição redoximórfica (seta preta) e tendência a coalescência de cavidades e formação de canal (seta amarela) (PPL) (B); canal formado por coalescência de cavidades (seta amarela) (PPL) (C); canal com preenchimento denso incompleto (tracejado preto) e cavidades formadas por coalescência (setas amarelas) (PPL) (D).

Perfil AM-07 - Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico

Foram descritas quatro lâminas delgadas de amostras indeformadas que variaram de 22 cm a 176 cm de profundidade (Tabela 11.6). A distribuição relativa chitônica-gefúrica-enáulica no horizonte BA contrasta em relação aos demais horizontes, onde é porfírica. Nele também há uma maior deposição de areia, o que sugere a primeira descontinuidade no perfil. Foi evidente a presença de microlaminações horizontais, que correspondem a uma microestratificação dos sedimentos (Figura 11.15), mostrando que a homogeneização do horizonte BA ainda é incipiente, embora a pedalidade tenha sido descrita como moderada e haja intensa atividade biológica no horizonte Bi subsequente, aspectos que apoiam o entendimento deste horizonte como B incipiente (Figura 11.16). O perfil tem feições redoximórficas em todos os horizontes, com abundantes hiporrevestimentos de Fe e presença de nódulos ferruginosos intrusivos de tamanho pequeno (Figura 11.17). O horizonte 2Cg mostra maior segregação e concentração de ferro na forma de mosqueados e zonas de depleção de ferro e feições biológicas (minhocas) (Figura 11.18). Micas estão presentes em quase todo o perfil (Figura 11.15), com exceção do horizonte 2Cg.

Tabela 11.6. Descrição micromorfológica de horizontes selecionados do perfil AM-07 (Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico.

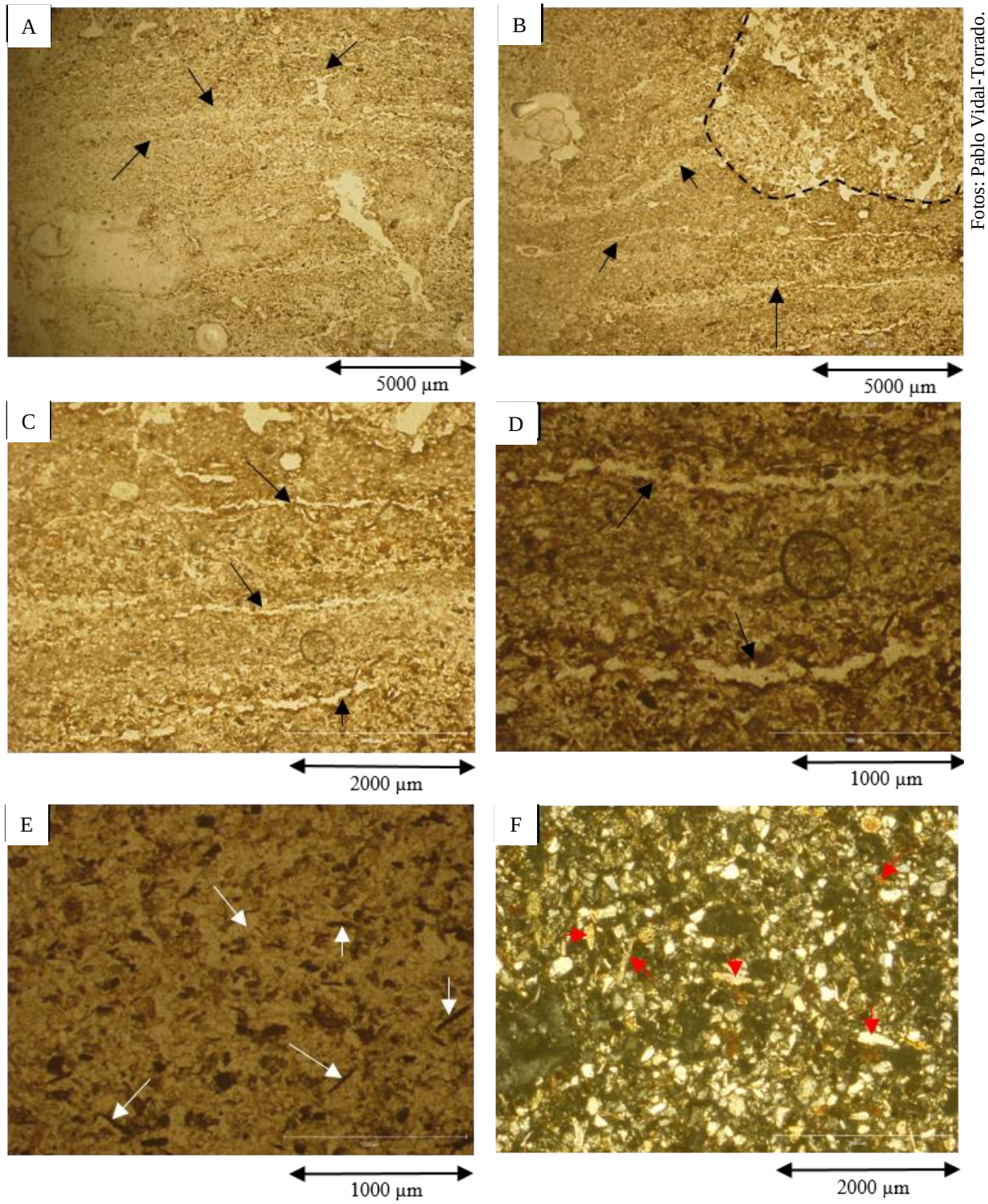
Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)			
	BA (22-32 cm)	**Bi (67-78 cm)**	**2C2 (116-128 cm)**	**2Cg (163-176 cm)**
Fundo matricial	Material grosso: 70% Material fino: 10% Porosidade: 20%	Material grosso: 30% Material fino: 40% Porosidade: 30%	Material grosso: 40% Material fino: 40% Porosidade: 20%	Material grosso: 20% Material fino: 50% Porosidade: 30%
Distribuição relativa G/F(1)	Chitônica-Gefúrica-Enáulica. g/f $_{2um}$: 7/1	Porfírica. g/f $_{2um}$: 3/4	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/1	Porfírica. g/f $_{2um}$: 2/5
Material grosso	Grãos de quartzo de tamanho areia fina e muito fina, subangulares, bem selecionados. Nódulos de ferro.	Grãos de quartzo de tamanho areia fina e muito fina, subangulares, bem selecionados. Nódulos de ferro pequenos.	Grãos de quartzo de tamanho areia fina e muito fina, subangulares, bem selecionados. Presença de grãos aciculares de mica. Nódulos de ferro pequenos.	Grãos de quartzo de tamanho areia fina e muito fina, subangulares, bem selecionados. Nódulos de ferro.
Material fino	Argila e óxidos de ferro.	Argila (cor bruno-acinzentada) e óxidos de ferro.	Argila (cor bruno-acinzentada) e óxidos de ferro.	Argila (bruno-escura) e óxidos de ferro.
Poros	Predominam poros de empilhamento, cavidades irregulares e arredondadas e canais de tamanho pequeno, médio e grande. Presença de fissuras de tamanho pequeno e médio, com orientação paralela (no topo da lâmina).	Predominam câmaras, cavidades irregulares e arredondadas e canais de tamanho médio e grande. Presença de fissuras de tamanho pequeno e médio.	Predominam cavidades irregulares e arredondadas e canais de tamanho pequeno e médio. Presença de fissuras de tamanho pequeno e médio.	Predominam câmaras, cavidades irregulares e arredondadas e canais de tamanho médio e grande. Presença de fissuras de tamanho pequeno e médio.

Continua...

Tabela 11.6. Continuação.

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)			
	BA (22-32 cm)	**Bi (67-78 cm)**	**2C2 (116-128 cm)**	**2Cg (163-176 cm)**
Microestrutura	Grãos com películas e pontes, microgranular. Pedalidade com desenvolvimento moderado.	Blocos subangulares médios e grandes. Pedalidade moderadamente a bem desenvolvida.	Blocos subangulares médios. Pedalidade mal desenvolvida.	Blocos subangulares médios e grandes. Pedalidade moderadamente a bem desenvolvida.
Fábricas birrefringentes	Salpicada granida, granoestriada e poroestriada.	Salpicada granida e mosaico dominante; estrias reticuladas, cruzadas, ao acaso, granoestriadas e poroestriadas.	Salpicada granida e mosaico dominante; estrias reticuladas, cruzadas, ao acaso, granoestriadas e poroestriadas.	-
Feições pedológicas	Quantidade abundante de hiporrevestimentos de ferro. Presença de preenchimentos soltos contínuos e descontínuos, e densos completos. Presença de nódulos ferruginosos intrusivos de tamanho pequeno. Presença de bandas orientadas e paralelas de argila no topo da lâmina.	Quantidade abundante de hiporrevestimentos de ferro. Presença de preenchimentos soltos contínuos e descontínuos, e densos completos. Presença de nódulos ferruginosos intrusivos de tamanho pequeno.	Quantidade abundante de hiporrevestimentos de ferro. Presença de nódulos ferruginosos intrusivos de tamanho pequeno. Segregação e concentração de ferro na matriz formando linhas e bandas ferruginizadas.	Quantidade abundante de hiporrevestimentos de ferro; presença de quaserrevestimentos de ferro. Presença de nódulos ferruginosos intrusivos de tamanho pequeno e nódulos do tipo agregado médios. Zona de segregação e concentração de ferro na forma de mosqueados e zonas de depleção de ferro. Presença de preenchimento denso arqueado contínuo de origem biológica.
Observações	Presença de raízes nas cavidades e canais. Algumas raízes em vias de decomposição e ferruginizadas.	Presença de raízes em vias de decomposição e ferruginizadas.	Presença de raízes em vias de decomposição e ferruginizadas.	

(1)G/F: Razão entre a parte ocupada pelo material grosso (G) e pelo material fino (F).



Fotos: Pablo Vidal-Torrado.

Figura 11.15. Fotomicrografias do horizonte BA, perfil AM-07, mostrando: bandas orientadas e paralelas de argila (setas pretas) resultante de estratificação preservada (PPL) (A); estratificação preservada (setas pretas) e preenchimento solto descontínuo (tracejado preto) (PPL) (B); fissuras com orientação paralela e revestimento de ferro (setas pretas) (PPL) (C) e (D); grãos alongados de mica (setas brancas e vermelhas) (PPL e XPL) (E) e (F).

Fotos: Pablo Vidal-Torrado.

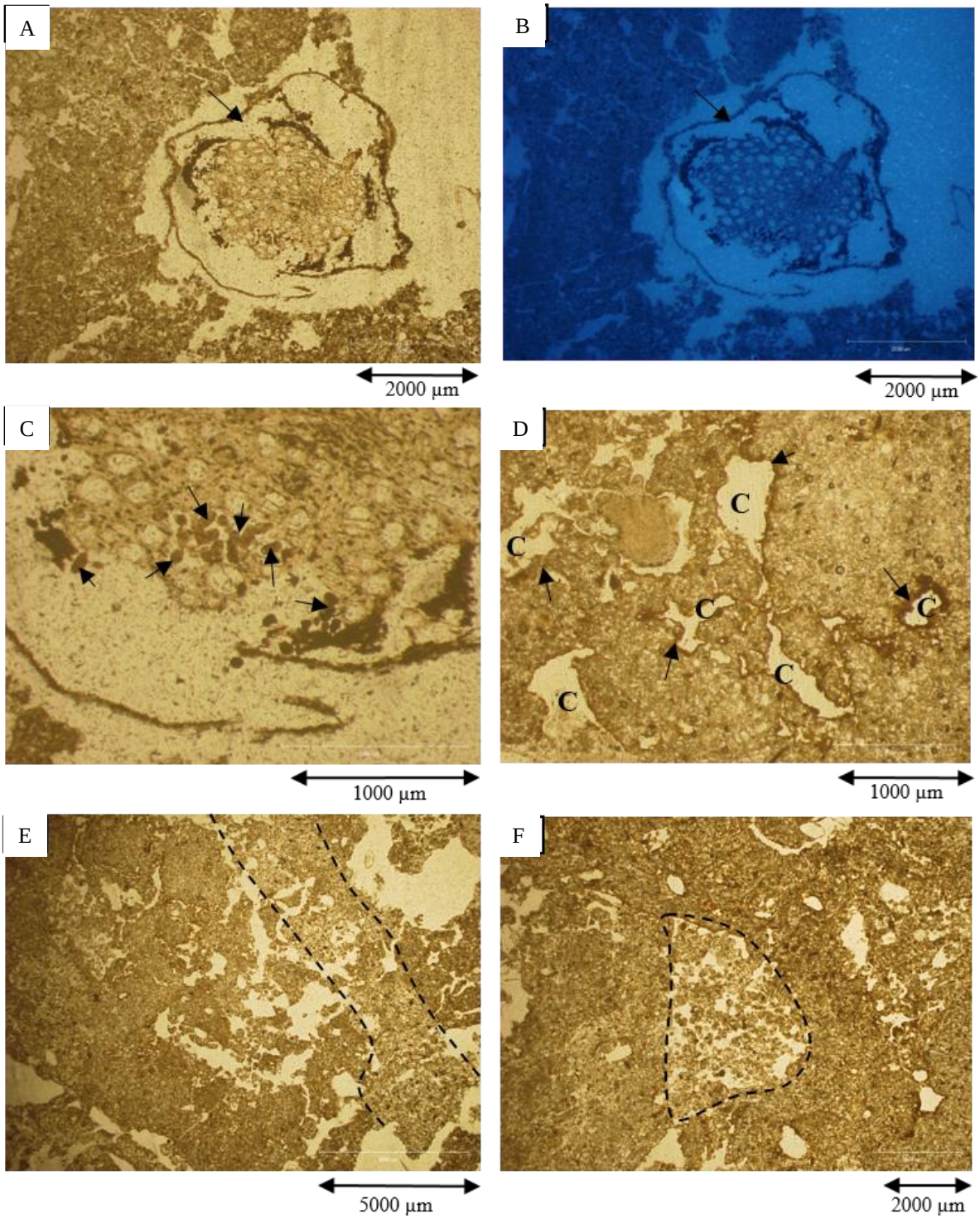


Figura 11.16. Fotomicrografias do horizonte Bi, perfil AM-07, mostrando: matriz porfírica e corte de raiz (seta preta) (PPL e UV) (A) e (B); detalhe da raiz com excrementos de ácaros e mesofauna (setas pretas) (PPL) (C); cavidades por depleção química (C) com hiporrevestimentos e revestimentos de ferro (setas pretas), em matriz gleizada (PPL) (D); preenchimento denso contínuo (tracejado preto) desferrificado e retrabalhado (PPL) (E); cavidade com preenchimento solto descontínuo (tracejado preto) por atividade biológica (PPL) (F).

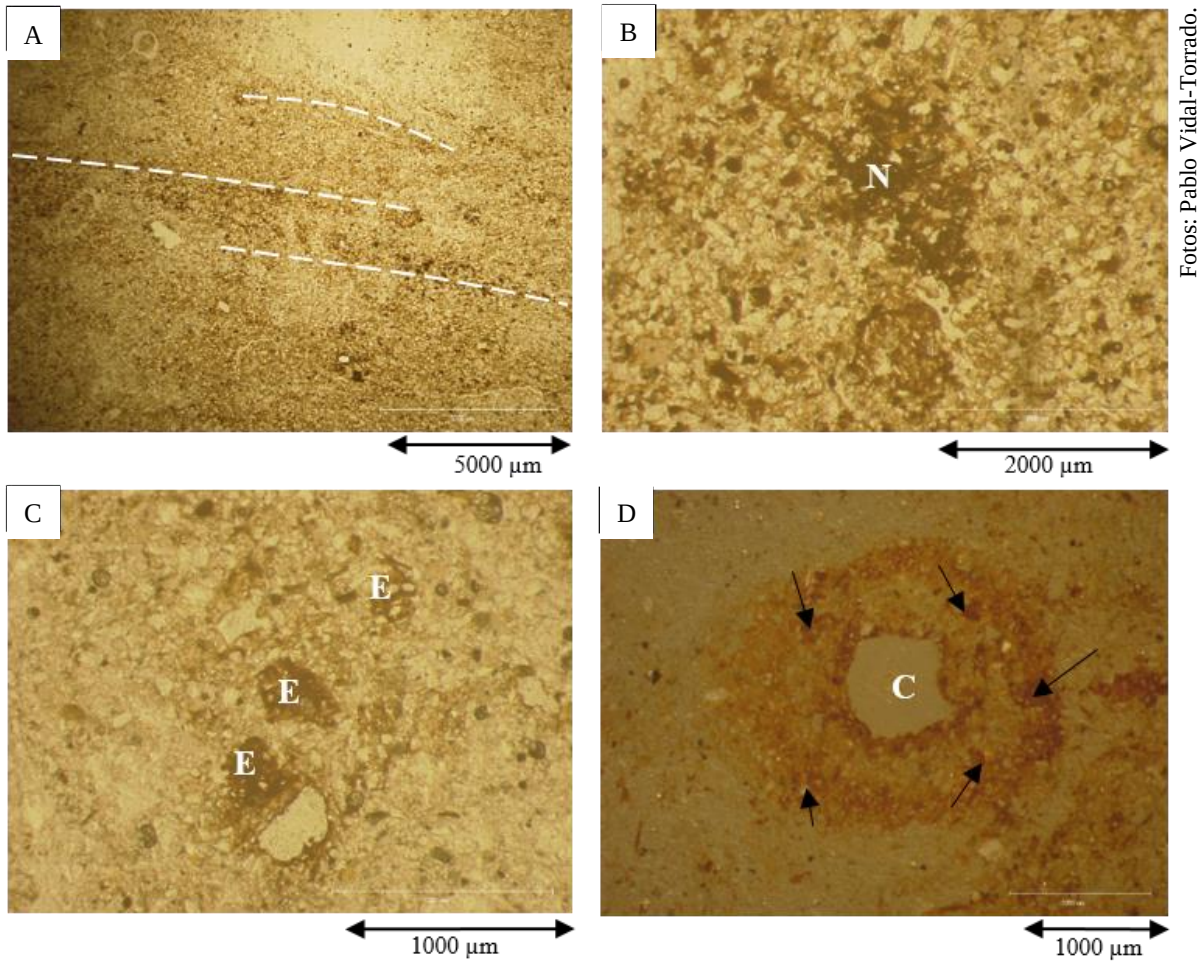


Figura 11.17. Fotomicrografias do horizonte 2C, perfil AM-07, mostrando: ferruginização bandada associada a estratificação (linhas brancas) (PPL) (A); nódulo intrusivo ferruginoso (N) (PPL) (B); excrementos de minhoca (E) em matriz porfírica (PPL) (C); canal (C) com hiporrevestimento ferruginoso e com excrementos de minhoca (setas pretas) (luz incidente) (D).

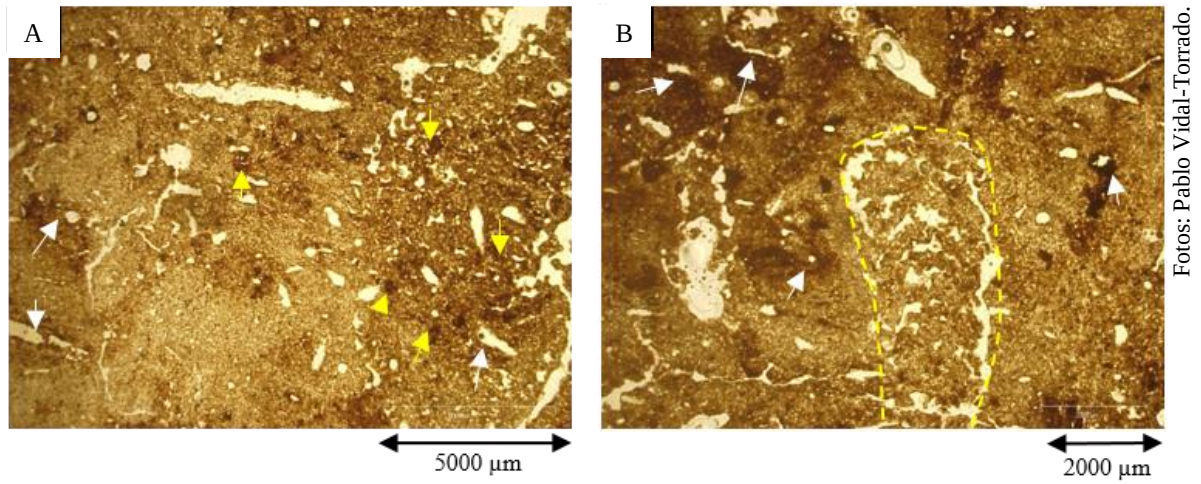


Figura 11.18. Fotomicrografias do horizonte 2Cg, perfil AM-07, mostrando: trama porfírica, nódulos intrusivos ferruginosos pequenos (setas amarelas) e hiporrevestimentos de ferro (setas brancas) (PPL) (A); hiporrevestimentos ferruginosos (setas brancas) e preenchimento arqueado descontínuo por minhoca (tracejado amarelo) (PPL) (B).

Perfil AM-08 - Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico

O perfil AM-08, um Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico, apresenta as feições redoximórficas típicas desse tipo de solo, com feições de segregação e concentração de ferro, havendo evidências de processos de formação e de degradação de nódulos de plintita (Tabela 11.7). No horizonte Btg1 o hidromorfismo é mais evidente em sua matriz porfírica mais desferruginizada (Figura 11.19). No 2Btgf1 a plintita é mais abundante, situação típica de horizonte plíntico, com ocorrência de nódulos menores que no horizonte 3Cg1, onde tanto o processo de formação como o de degradação de plintita estão manifestos (Figuras 11.20 e 11.21). Há preenchimentos densos e completos e densos incompletos, ambos de origem biológica no horizonte C´g1.

Tabela 11.7. Descrição micromorfológica de horizontes selecionados do perfil AM-08 (Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico).

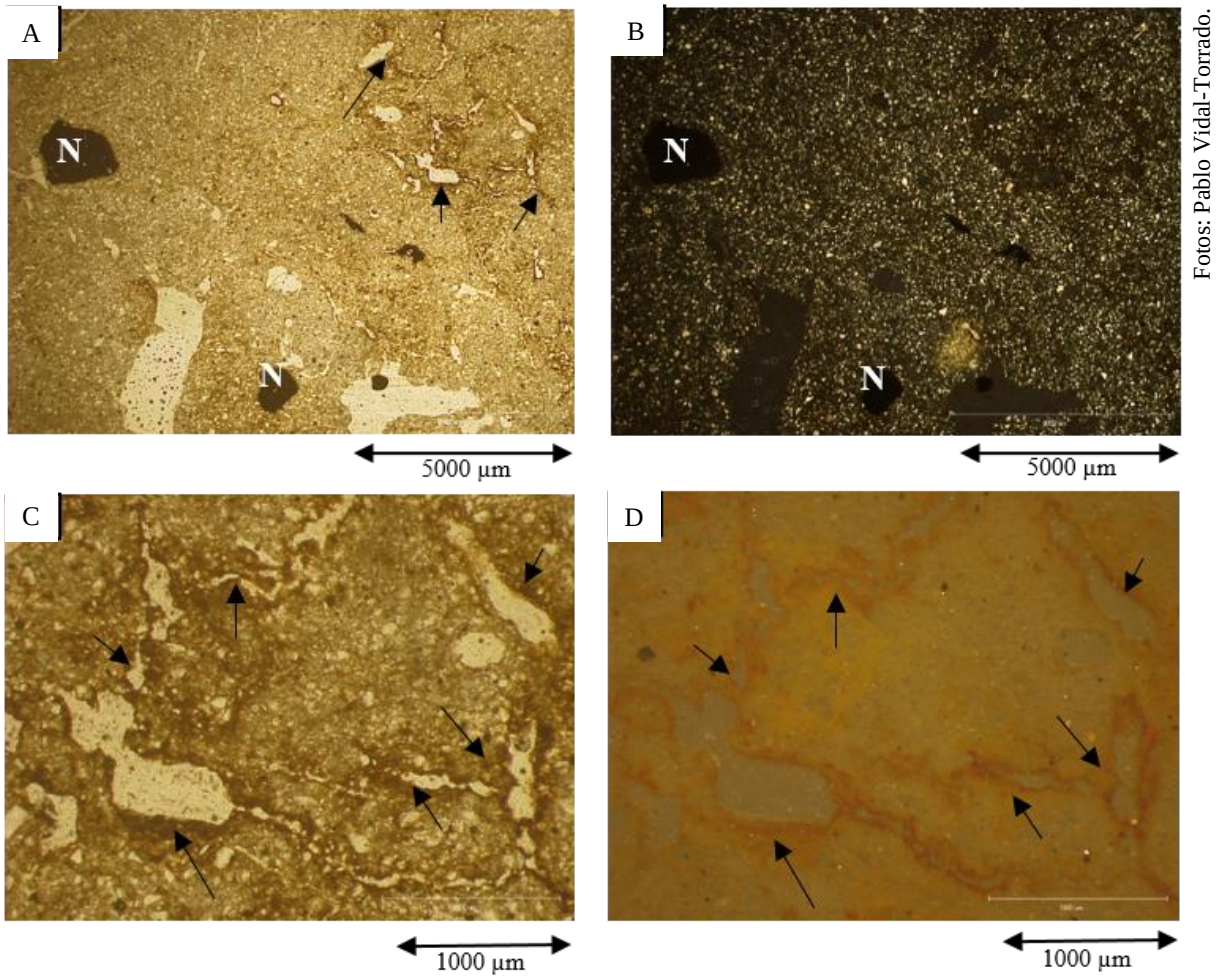
Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)		
	Btg1 (15-25 cm)	**2Btgf1 (50-63 cm)**	**3Cg1 (105-120 cm)**
Fundo matricial	Material grosso: 40% Material fino: 40% Porosidade: 20%	Material grosso: 30% Material fino: 40% Porosidade: 30%	Material grosso: 30% Material fino: 40% Porosidade: 30%
Distribuição relativa G/F(1)	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/1	Porfírica. g/f $_{2um}$: 3/4	Porfírica. g/f $_{2um}$: 3/4
Material grosso	Grãos de quartzo de tamanho areia média, fina e muito fina, subarredondados e subangulares, moderadamente selecionados. Nódulos de ferro médios.	Grãos de quartzo de tamanho areia fina e muito fina, subarredondados, moderadamente a bem selecionados. Nódulos de ferro médios e grandes.	Grãos de quartzo de tamanho areia fina e muito fina, subarredondados, moderadamente a bem selecionados. Nódulos de ferro médios e grandes.
Material fino	Argila (cor bruno-acinzentada) e óxidos de ferro.	Argila (cor bruno-acinzentada) e óxidos de ferro.	Argila (cor bruno-acinzentada) e óxidos de ferro.
Poros	Predominam cavidades irregulares e arredondadas e canais de tamanho pequeno e médio. Presença de fissuras de tamanho pequeno e médio.	Predominam fissuras e câmaras. Presença de cavidades irregulares e arredondadas e canais de tamanho médio e grande.	Predominam fissuras e câmaras. Presença de cavidades irregulares e arredondadas e canais de tamanho médio e grande.
Microestrutura	Blocos subangulares médios e grandes. Pedalidade moderadamente desenvolvida.	Blocos angulares médios e grandes. Pedalidade moderadamente a bem desenvolvida.	Blocos angulares médios e grandes. Pedalidade bem desenvolvida.
Fábricas birrefringentes	Salpicada granida e mosaico.	Salpicada granida e mosaico dominante; estrias reticuladas e cruzadas ao acaso, granoestriadas e poroestriadas.	Salpicada granida e mosaico.

Continua...

Tabela 11.7. Continuação.

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)		
	Btg1 (15-25 cm)	**2Btgf1 (50-63 cm)**	**3Cg1 (105-120 cm)**
Feições pedológicas	Quantidade abundante de hiporrevestimentos de ferro. Presença de nódulos ferruginosos típicos de tamanho pequeno e médio. Segregação e concentração de ferro na matriz formando linhas e bandas ferruginizadas.	Quantidade abundante de nódulos ferruginosos típicos e agregados de tamanho médio e grande. Presença de hiporrevestimentos de ferro. Segregação e concentração de ferro na matriz formando zonas ferruginizadas. Presença de revestimentos de argila, alguns com bandas de segregação de ferro.	Quantidade abundante de nódulos ferruginosos típicos e agregados de tamanho médio e grande. Presença de hiporrevestimentos de ferro. Segregação e concentração de ferro na matriz formando bandas ferruginizadas. Presença de revestimentos de argila, alguns com bandas de segregação de ferro. Preenchimentos argilosos densos e completos de atividade biológica e densos incompletos de ferro e argila.
Observações	Presença de raízes em vias de decomposição e ferruginizadas.	Presença de raízes em vias de decomposição e ferruginizadas.	Presença de raízes em vias de decomposição e ferruginizidas.

(1)G/F: Razão entre a parte ocupada pelo material grosso (G) e pelo material fino (F).



Fotos: Pablo Vidal-Torrado.

Figura 11.19. Fotomicrografias do horizonte Btg1, perfil AM-08, mostrando: trama porfírica com nódulos ferruginosos (N) e hiporrevestimentos de ferro (setas pretas) (PPL e XPL) (A) e (B); detalhe dos hiporrevestimentos ferruginosos (setas pretas) (PPL e luz incidente) (C) e (D).

Fotos: Pablo Vidal-Torrado.

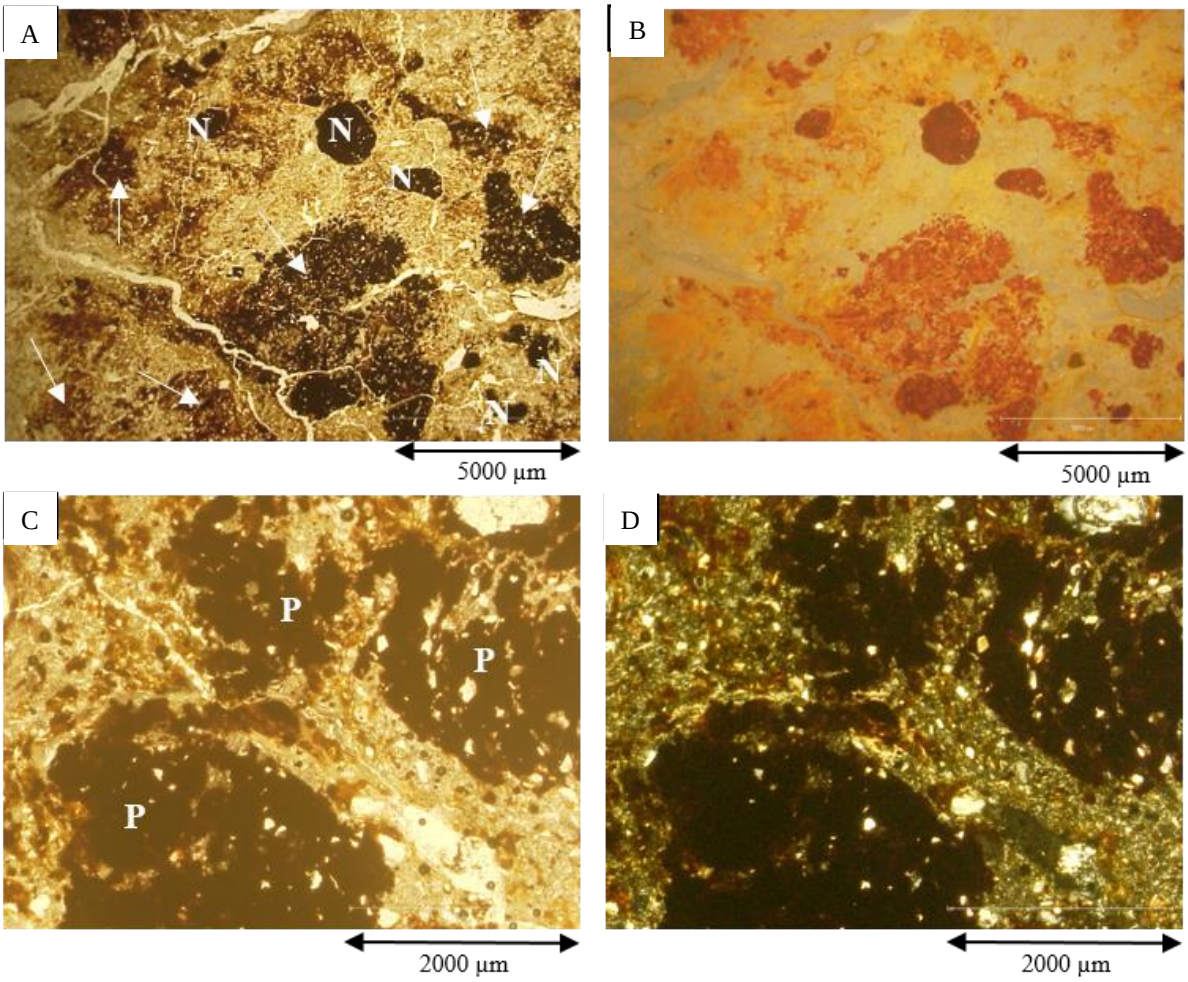
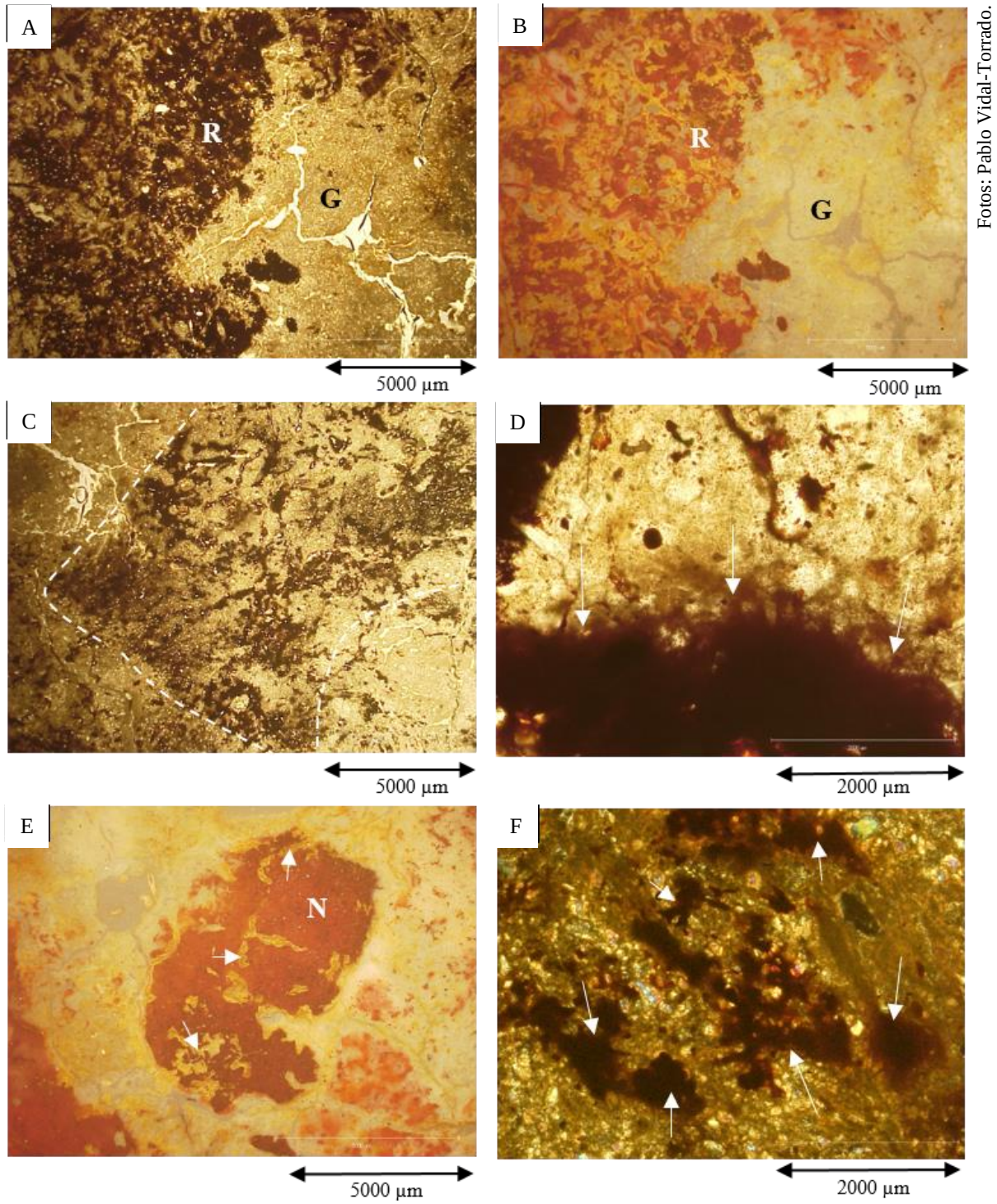


Figura 11.20. Fotomicrografias do horizonte 2Btgf1, perfil AM-08, mostrando: feições redoximórficas compostas de nódulos ferruginosos típicos (N) e hiporrevestimentos ferruginosos (setas brancas) (PPL e luz incidente) (A) e (B); segregação de ferro e degradação de plintitas (P) (PPL e XPL) (C) e (D).



Fotos: Pablo Vidal-Torrado.

Figura 11.21. Fotomicrografias do horizonte 3Cg1, perfil AM-08, mostrando: contato entre matriz gleizada (G) e feições redoximórficas (R) (PPL e luz incidente) (A) e (B); depleção de ferro formando nódulo "fantasma" (tracejado branco) (PPL) (C); franjas por dissolução do ferro (setas brancas) (PPL) (D); nódulo típico ferruginoso (N) com início de degradação por perda de ferro (setas brancas) (luz incidente) (E); nucleação de ferro formando plintitas (setas brancas) (XPL) (F).

Perfil AM-09 - Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico

O perfil AM-09 é um Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico que foi amostrado para confecção de lâminas delgadas entre 317 cm e 406 cm de profundidade (Tabela 11.8). Nessa faixa de cerca de 100 cm de espessura, foi possível identificar feições claras da podzolização e outras raras de hidromorfismo parcial (revestimentos de Fe) (Figuras 11.22, 11.24 e 11.25). Também é evidente a ocorrência de fluxos heterogêneos de sedimentos arenosos, indicando a origem fluvial do material de origem e a impossibilidade de esse material ter sofrido homogeneização prévia por outros processos pedogenéticos (Figuras 11.23 a 11.25). Os horizontes 4Bhsm e 4Bhs apresentaram um conteúdo total de Fe de 3,0 g kg^{-1} (vide Capítulo 14), valor muito baixo para explicar a ocorrência de revestimentos de Fe encontrados na descrição micromorfológica. É possível que parte do que foi considerado como revestimentos e concentrações de Fe seja de matéria orgânica. Uma investigação complementar com microscopia de varredura e mapeamento do Fe por EDS poderia elucidar essa dúvida. O horizonte 5C não tem evidências micromorfológicas que sugiram ser um horizonte espódico (Tabela 11.8 e Figura 11.23).

Tabela 11.8. Descrição micromorfológica de horizontes selecionados do perfil AM-09 (Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico). A barra entre dois horizontes diz respeito à amostra coletada e descrita na transição entre eles.

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)					
	3Bh (317-325 cm)	**4Bhsm (333-345 cm)**	**4Bhsm/4Bhs (346-357 cm)**	**4Bhs (354-369 cm)**	**4Bs (387-395 cm)**	**5C (397-406 cm)**
Fundo matricial	Material grosso: 60% Material fino: 20% Porosidade: 20%	Material grosso: 50% Material fino: 40% Porosidade: 10%	Material grosso: 50% Material fino: 30% Porosidade: 20%	Material grosso: 60% Material fino: 15% Porosidade: 25%	Material grosso: 60% Material fino: 15% Porosidade: 25%	Material grosso: 50% Material fino: 40% Porosidade: 10%
Distribuição relativa G/F[(1)]	Quitônica-gefúrica. g/f $_{2um}$: 3/1	Porfírica. Algumas zonas quitônica-gefúricas (20%) g/f $_{2um}$: 5/4	Quitônica-gefúrica-porfírica. g/f $_{2um}$: 5/3	Quitônica-gefúrica. Zonas porfíricas (10%). g/f $_{2um}$: 4/1	Quitônica-gefúrica. Zonas porfírica-quitônicas (10%). g/f $_{2um}$: 4/1	Porfírica. g/f $_{2um}$: 5/4
Material grosso	Grãos de quartzo de tamanho areia grossa, média e fina, angulares e subangulares, moderadamente a mal selecionados.	Grãos de quartzo de tamanho areia grossa, média e fina, angulares e subangulares, moderadamente a mal selecionados.	Grãos de quartzo e quartzito de tamanho areia grossa, média e fina, angulares e subangulares, moderadamente a mal selecionados. Presença de um grão de quartzito de tamanho milimétrico.	Grãos de quartzo de tamanho areia grossa, média e fina, angulares e subangulares, moderadamente a mal selecionados.	Grãos de quartzo e quartzito de tamanho areia grossa, média e fina, angulares e subangulares, moderadamente a mal selecionados. Presença de um grão de quartzito de tamanho milimétrico.	Grãos de quartzo de tamanho areia grossa, média e fina, angulares e subangulares, moderadamente a mal selecionados.
Material fino	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.

Continua...

Tabela 11.8. Continuação.

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)					
	3Bh (317-325 cm)	**4Bhsm (333-345 cm)**	**4Bhsm/4Bhs (346-357 cm)**	**4Bhs (354-369 cm)**	**4Bs (387-395 cm)**	**5C(397-406 cm)**
Poros	Empilhamento composto.	Predominam fissuras, cavidades irregulares e poros de empilhamento (zonas quitônicas-gefúricas).	Predominam fissuras, cavidades irregulares e empilhamento.	Empilhamento composto.	Empilhamento composto.	Predominam fissuras e cavidades irregulares.
Microestrutura	Grãos com películas e pontes.	Blocos subangulares pequenos e médios de pedalidade fraca.	Grãos com películas e pontes e blocos subangulares pequenos e médios de pedalidade fraca.	Grãos com películas e pontes.	Grãos com películas e pontes.	Maciça e blocos subangulares pequenos e médios de pedalidade fraca.
Fábricas birrefringentes	Indiferenciada.	Indiferenciada.	Indiferenciada e salpicada granida.	Indiferenciada.	Indiferenciada.	Indiferenciada e salpicada granida.
Feições pedológicas	-	Presença de preenchimentos soltos contínuos.	Presença de hiporrevestimentos de ferro (?), de poros e de grãos.	Presença de hiporrevestimentos de ferro (?), de poros e de grãos.	Presença de hiporrevestimentos de ferro (?), de poros e de grãos.	Presença de hiporrevestimentos de ferro, de poros e de grãos. Nódulos de ferro pequenos dispersos.
Observações	Poucas raízes em decomposição.					

(1)G/F: Razão entre a parte ocupada pelo material grosso (G) e pelo material fino (F).

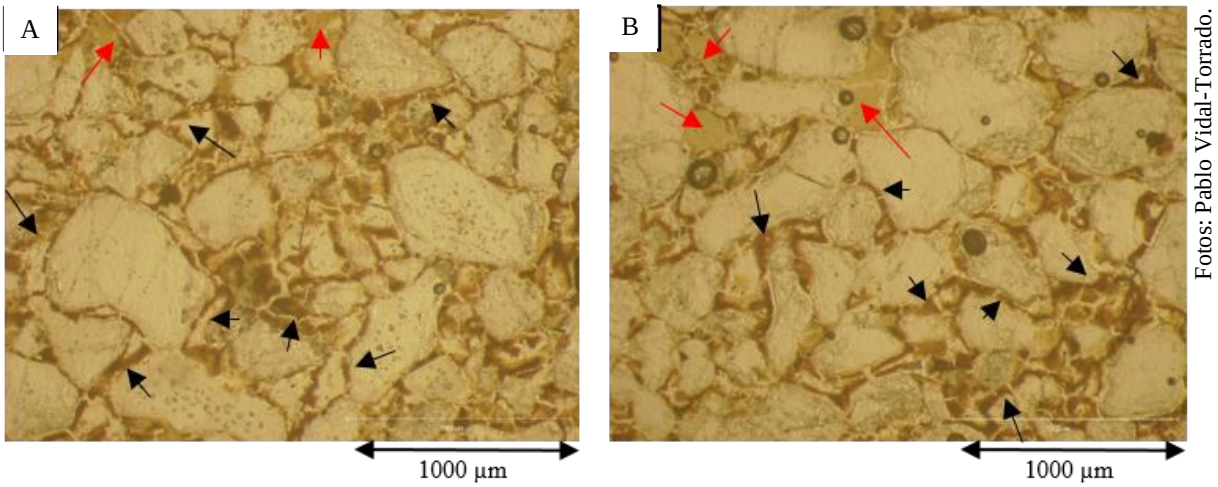


Figura 11.22. Fotomicrografias do horizonte 4Bhsm, perfil AM-09, mostrando: distribuição relativa porfírica composta de grãos de quartzo angulares e subangulares, moderadamente a mal selecionados, revestidos de matéria orgânica monomórfica, por vezes craquelada (setas pretas) e pouca argila (setas vermelhas) (PPL) (A) e (B).

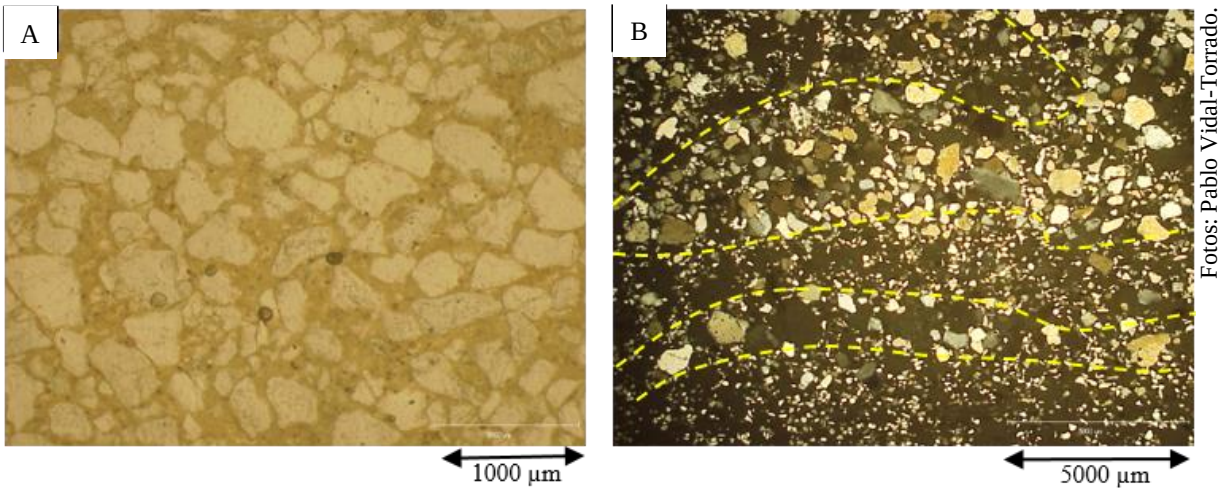


Figura 11.23 Fotomicrografias do horizonte 5C, perfil AM-09, mostrando: matriz porfírica, sem revestimentos (PPL) (A); estratificação heterogênea com contatos abruptos ondulados (tracejado amarelo) (XPL) (B).

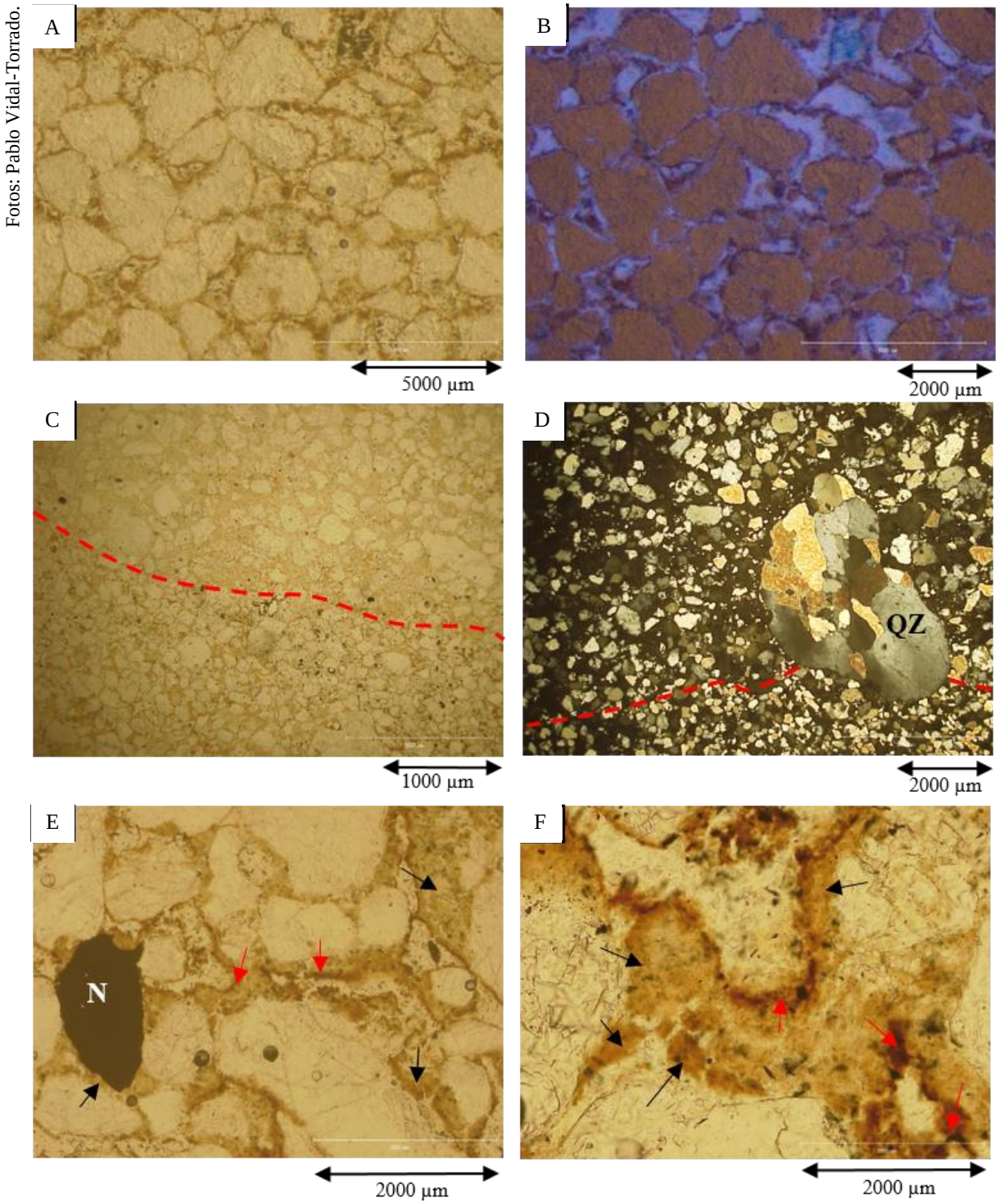
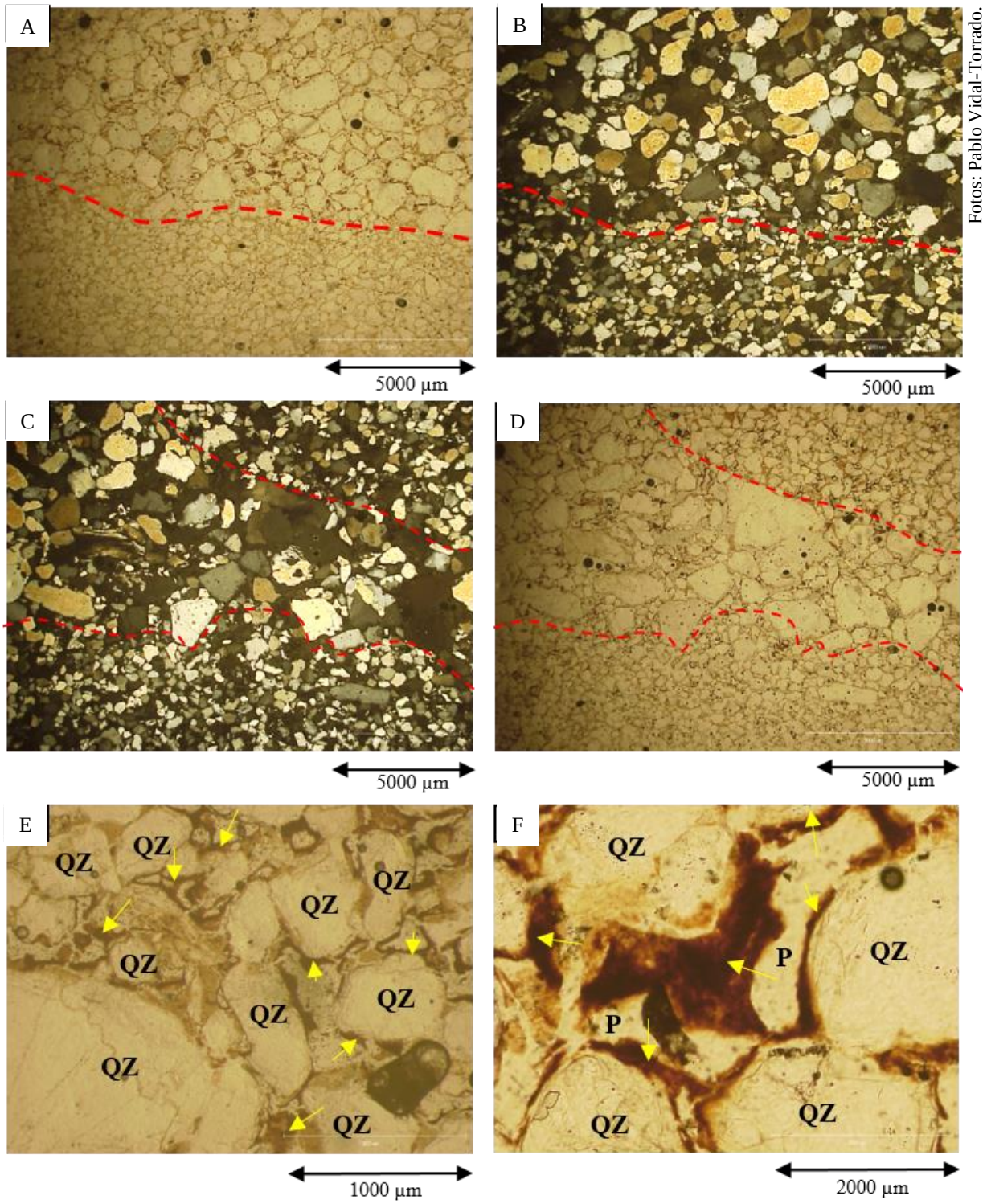


Figura 11.24. Fotomicrografias da transição entre os horizonte 4Bhsm e 4Bhs (4Bhsm/4Bhs), perfil AM-09, mostrando: trama quitônica-gefúrica com grãos de quartzo angulares e subangulares, moderadamente a mal selecionados (PPL e XPL/UV) (A) e (B); trama quitônica-porfírica; contato litológico (linha vermelha) marcado por diferença granulométrica e grão de quartzito (QZ) de tamanho milimétrico (PPL e XPL) (C) e (D); hiporrevestimentos de matéria orgânica (setas pretas) e/ou ferro (setas vermelhas) craquelados revestindo poros e grãos; nódulo ferruginoso típico (N) (PPL) (E) e (F).



Fotos: Pablo Vidal-Torrado.

Figura 11.25. Fotomicrografias do horizonte 4Bhs, perfil AM-09, mostrando: trama quitônica-gefúrica com algumas zonas porfíricas; descontinuidade do tamanho dos grãos, revelando estratificação heterogênea, com contatos abruptos (PPL, XPL, XPL, PPL) (A), (B), (C) e (D); hiporrevestimentos e revestimentos de ferro e de matéria orgânica (setas amarelas) associados principalmente aos poros (P) (PPL) (E) e (F).

Perfil AM-11 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico

O perfil AM-11 foi classificado como Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico. Todo o perfil (Tabela 11.9) tem matriz porfírica siltosa com presença de feições redoximórficas, tais como os espessos hiporrevestimentos, por vezes laminados (Figuras 11.27 e 11.28), embora a cor dominante da matriz não indique um hidromorfismo intenso (Tabela 11.9). As evidências de pedoturbação estão associadas ao grande número de canais com preenchimento denso completo de material mais fino (Figuras 11.26 e 11.27). Não há poros planares ou outras feições vérticas. A ocorrência abundante de fábricas birrefringentes poroestriadas e granoestriadas em todas as lâminas indica expansão e contração de argila. A microlaminação paralela, que é evidente no horizonte 4Cg6, está relacionada à microestratificação dos sedimentos, indicando uma descontinuidade litológica e ausência de pedoturbação (Figuras 11.27 a 11.29).

Tabela 11.9. Descrição micromorfológica de horizontes selecionados do perfil AM-11 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico). A barra entre dois horizontes diz respeito à amostra coletada e descrita na transição entre eles.

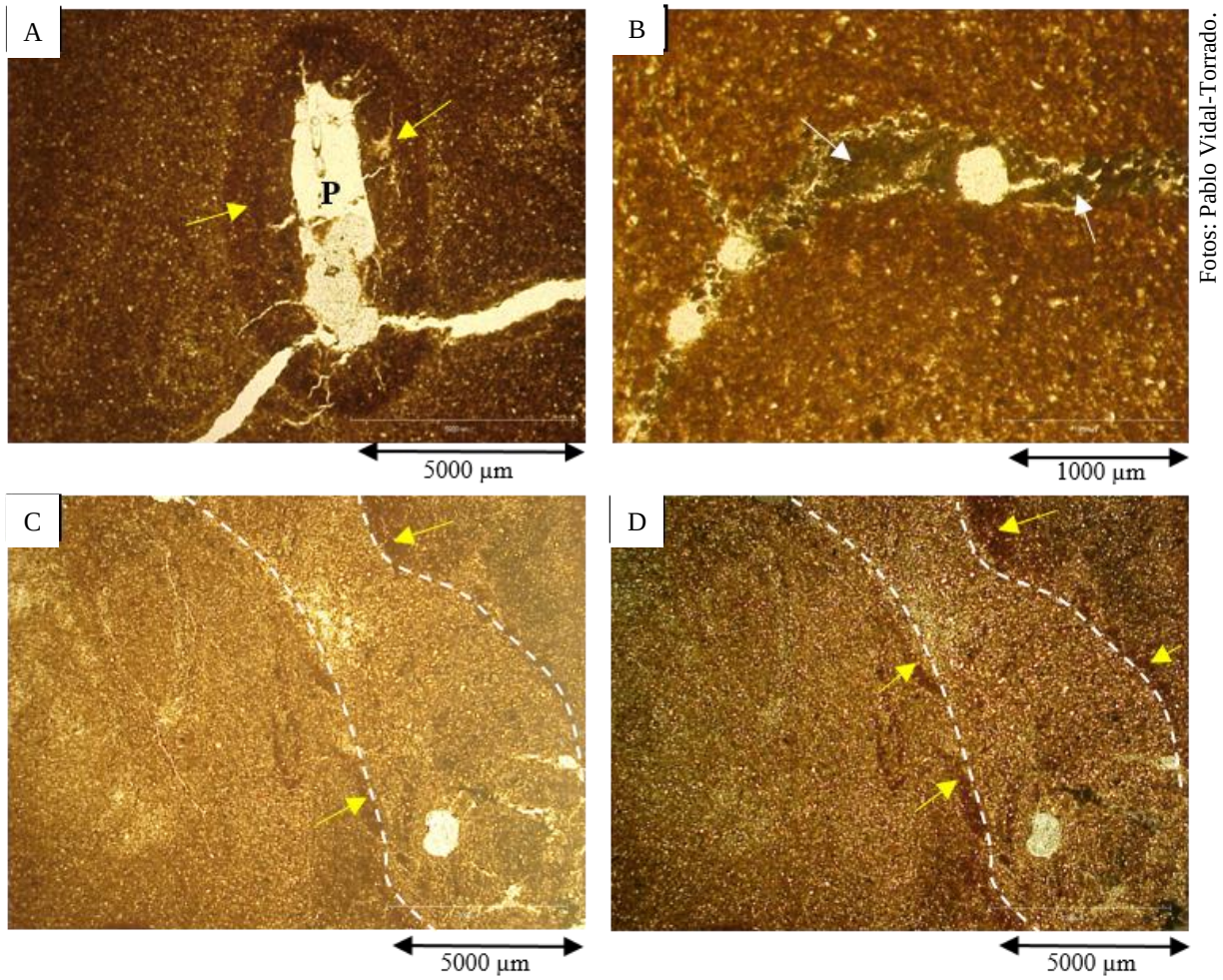
Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)			
	A1/A2 (0-10 cm)	**Cg1 (17-30 cm)**	**3Cg4 (76-86 cm)**	**4Cg6 (126-138 cm)**
Fundo matricial	Material grosso: 10% Material fino: 70% Porosidade: 20%	Material grosso: 10% Material fino: 60% Porosidade: 30%	Material grosso: 10% Material fino: 80% Porosidade: 10%	Material grosso: 10% Material fino: 80% Porosidade: 10%
Distribuição relativa G/F(1)	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/7	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/6	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/8	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/8
Material grosso	Grãos de quartzo, tamanho areia fina e muito fina, subangulares, bem selecionados. Nódulos de ferro pequenos.	Grãos de quartzo, tamanho areia fina e muito fina, subangulares, bem selecionados. Nódulos de ferro pequenos. Presença comum de mica e eventuais grãos de feldspato.	Grãos de quartzo, tamanho areia fina e muito fina, subangulares, bem selecionados. Nódulos de ferro pequenos.	Grãos de quartzo, tamanho areia fina e muito fina, subangulares, bem selecionados. Nódulos de ferro pequenos.
Material fino	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.
Poros	Predominam fissuras e câmaras grandes.	Predominam fissuras, canais e câmaras grandes.	Predominam fissuras, canais, cavidades e câmaras grandes.	Predominam fissuras, canais, cavidades e câmaras grandes.
Microestrutura	Blocos angulares médios e grandes. Pedalidade bem desenvolvida.	Blocos angulares médios e grandes. Pedalidade bem desenvolvida.	Blocos angulares médios e grandes. Pedalidade fracamente desenvolvida.	Blocos angulares médios e grandes. Pedalidade moderada a fracamente desenvolvida.

Continua...

Tabela 11.9. Continuação.

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)			
	A1/A2 (0-10 cm)	**Cg1 (17-30 cm)**	**3Cg4 (76-86 cm)**	**4Cg6 (126-138 cm)**
Fábricas birrefringentes	Salpicada granida e mosaico. Poroestriada, granoestriada, estriada ao acaso.	Salpicada granida e mosaico. Poroestriada, granoestriada, estriada ao acaso.	Salpicada granida e mosaico. Poroestriada, granoestriada, estriada ao acaso.	Salpicada granida e mosaico. Poroestriada, granoestriada, estriada ao acaso.
Feições pedológicas	Presença de hiporrevestimentos e quase revestimentos bem desenvolvidos de ferro. Nódulos de ferro típicos pequenos. Preenchimentos de matéria orgânica e excrementos densos completos e incompletos.	Presença abundante de hiporrevestimentos e quase revestimentos bem desenvolvidos e largos de ferro. Nódulos de ferro típicos pequenos. Preenchimentos de canais densos completos e incompletos de material grosso de tamanho fino e muito fino e argila, laminados.	Presença abundante de hiporrevestimentos e quase revestimentos bem desenvolvidos e largos de ferro. Nódulos de ferro típicos pequenos. Preenchimentos de canais densos completos e incompletos de material grosso de tamanho fino e muito fino e argila. Presença de bandas finas e paralelas de argila e ferro no fundo matricial (assemelham-se a lamelas finas).	Presença abundante de hiporrevestimentos e quase revestimentos bem desenvolvidos e largos de ferro. Nódulos de ferro típicos pequenos. Presença abundante de bandas finas e paralelas de argila e ferro em todo o fundo matricial (assemelham-se a lamelas finas). Seixos pingados de matriz arenosa. Preenchimentos de canais densos completos e incompletos de material grosso de tamanho fino e muito fino e argila.

(1)G/F: Razão entre a parte ocupada pelo material grosso (G) e pelo material fino (F).



Fotos: Pablo Vidal-Torrado.

Figura 11.26. Fotomicrografias da transição entre os horizontes A1 e A2 (A1/A2), perfil AM-11, mostrando: matriz porfírica e bioporo (P) com hiporrevestimento (setas amarelas) bem desenvolvido (PPL) (A); preenchimento (setas brancas) de matéria orgânica e excrementos densos incompletos (PPL) (B); preenchimento denso completo (tracejado branco) com bordas adensadas (setas amarelas) (PPL e XPL) (C) e (D).

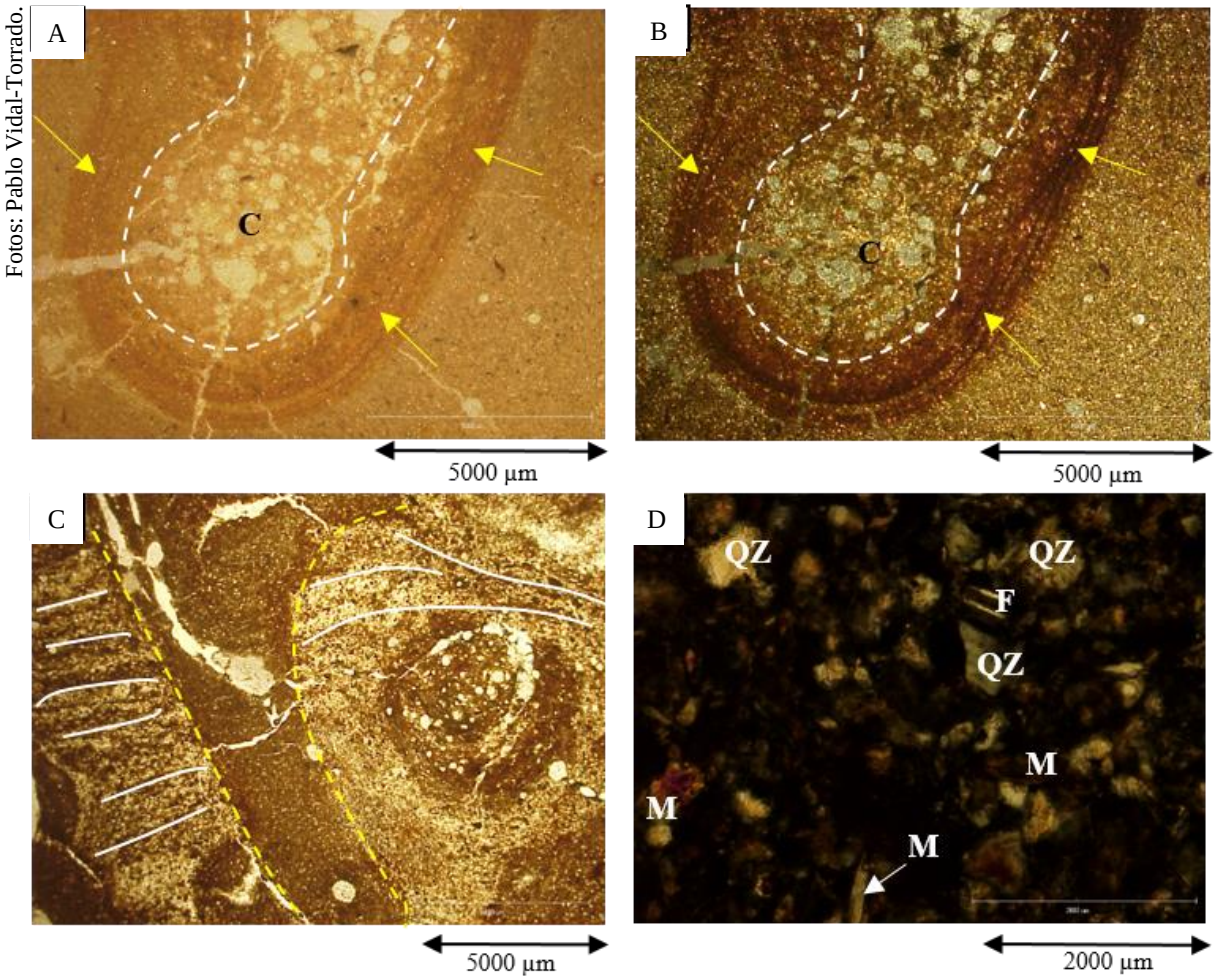
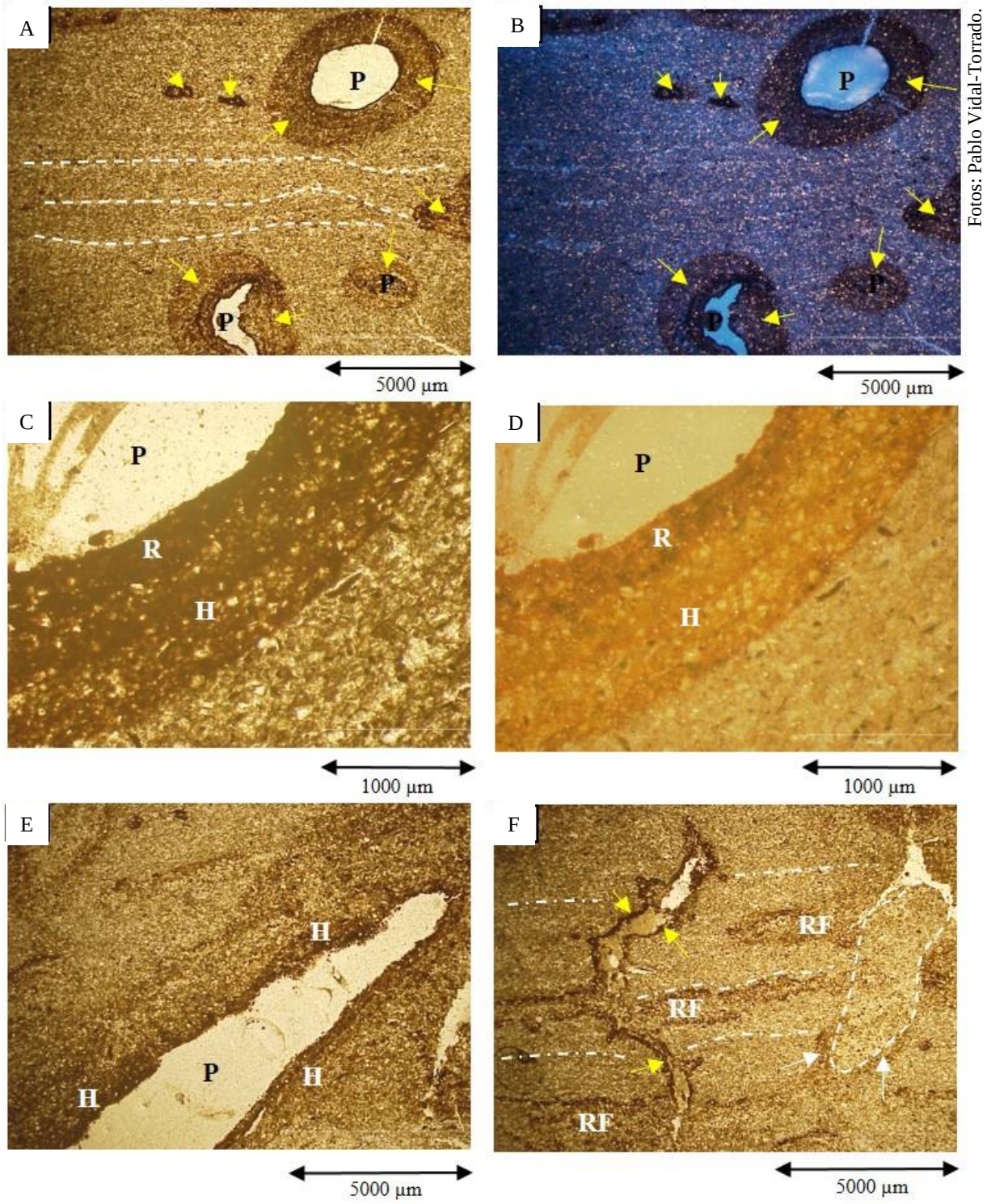


Figura 11.27. Fotomicrografias do horizonte Cg1, perfil AM-11, mostrando: canal (C) com preenchimento denso incompleto (tracejado branco) e hiporrevestimento bem desenvolvido e largo ferruginoso (setas amarelas) (PPL e XPL) (A) e (B); preenchimento denso completo fino (tracejado amarelo) em matriz laminada/estratificada (linhas brancas) (PPL) (C); matriz porfírica com grãos de quartzo (QZ) e eventuais grãos de mica (M) e feldspato (F) (XPL) (D).



Fotos: Pablo Vidal-Torrado.

Figura 11.28. Fotomicrografias do horizonte 3Cg4, perfil AM-11, mostrando: trama porfírica e bandas finas e paralelas (microlaminação) no fundo matricial (tracejado branco); presença de bioporos (P) com hiporrevestimentos largos e bem desenvolvidos ferruginosos (setas amarelas) (PPL e XPL) (A) e (B); detalhe de hiporrevestimento (H) e revestimento (R) em bioporo (P) sem laminação dos grãos de quartzo, indicando tratar-se de um processo de difusão de Fe do bordo do poro para o fundo matricial (PPL e luz incidente) (C) e (D); bioporo (P) com hiporrevestimento (H) ferruginoso em matriz laminada (PPL) (E); remobilização de ferro (RF) em matriz bandada (linhas brancas); preenchimento denso completo (tracejado branco) com quaserrevestimento (setas brancas) e hiporrevestimento (setas amarelas), ambos de ferro ao redor de canal (PPL) (F).

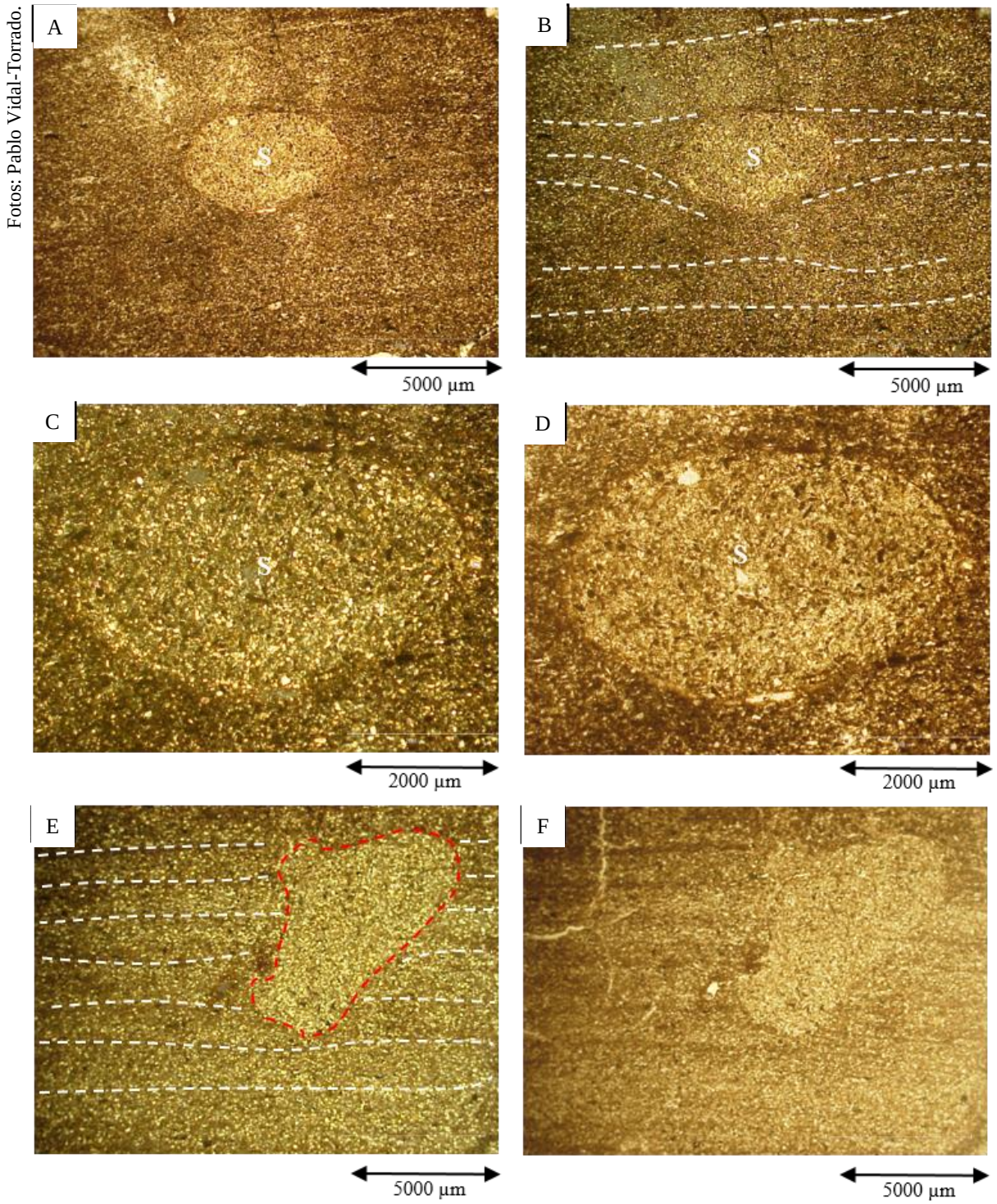


Figura 11.29. Fotomicrografias do horizonte 4Cg6, perfil AM-11, mostrando: matriz porfírica e bandada (microestratificação); seixo (S) proveniente do material de origem, pois afeta o bandamento do fundo matricial (tracejado branco) (PPL e XPL) (A) e (B); detalhe do seixo pingado (S) (XPL e PPL) (C) e (D); preenchimento denso completo (tracejado vermelho) e bandas finas paralelas (tracejado branco) (XPL e PPL) (E) e (F).

Perfil AM-12 - Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico

O perfil AM-12 foi amostrado em três horizontes, a saber: 3Cg (12-26 cm), 4 Abg (48-60 cm) e 5C´g2 (120-131 cm) (Tabela 11.10). O material grosso varia em profundidade, a distribuição relativa é chitônico-gefúrica e há poucas feições redoximórficas, como alguns hiporrevestimentos de Fe (mosqueados) e pequenos nódulos de Fe distribuídos no perfil. O fundo matricial aparenta intenso hidromorfismo (cores acinzentadas e bruno-acinzentadas) em todos os horizontes, sendo mais escuro em 4Abg (Figuras 11.30 e 11.31). Neste mesmo horizonte há microlamelas de argila (Figura 11.31).

Tabela 11.10. Descrição micromorfológica de horizontes selecionados do perfil AM-12 (Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico).

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)		
	3Cg (12-26 cm)	**4Abg (48-60 cm)**	**5C'g2 (120-131 cm)**
Fundo matricial	Material grosso: 70% Material fino: 10% Porosidade: 20%	Material grosso: 70% Material fino: 10% Porosidade: 20%	Material grosso: 60% Material fino: 20% Porosidade: 20%
Distribuição relativa G/F[(1)]	Chitônica-gefúrica. g/f $_{2um}$: 7/1	Chitônica-gefúrica. g/f $_{2um}$: 7/1	Chitônica-gefúrica. g/f $_{2um}$: 3/1
Material grosso	Grãos de quartzo de tamanho areia média e fina, subangulares, moderadamente selecionados. Poucos nódulos de ferro pequenos.	Grãos de quartzo de tamanho areia média e fina, subangulares, moderadamente selecionados. Poucos nódulos de ferro pequenos.	Grãos de quartzo de tamanho areia média e fina, subangulares, moderadamente selecionados. Poucos nódulos de ferro pequenos.
Material fino	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.
Poros	Predominam poros de empilhamento. Presença de cavidades e canais.	Predominam poros de empilhamento. Presença de cavidades e canais.	Predominam poros de empilhamento. Presença de cavidades e canais.
Microestrutura	Grãos com películas e pontes.	Grãos com películas e pontes.	Grãos com películas e pontes.
Fábricas birrefringentes	Poroestriada e granoestriada.	Poroestriada e granoestriada.	Poroestriada, granoestriada e estriada ao acaso.
Feições pedológicas	Presença de hiporrevestimentos e quaserrevestimentos bem desenvolvidos de ferro. Nódulos de ferro típicos pequenos. Preenchimentos de matéria orgânica e excrementos densos completos e incompletos.	Presença de hiporrevestimentos de poros e grãos moderadamente desenvolvidos de ferro e argila. Poucos nódulos de ferro típicos pequenos. Preenchimentos de canais soltos descontínuos de material grosso de tamanho médio e fino.	Presença de hiporrevestimentos de poros e grãos moderadamente desenvolvidos de ferro e argila. Poucos nódulos de ferro típicos pequenos.
Observações		Presença de restos de raízes nos poros.	

[(1)]G/F: Razão entre a parte ocupada pelo material grosso (G) e pelo material fino (F)

Fotos: Pablo Vidal-Torrado.

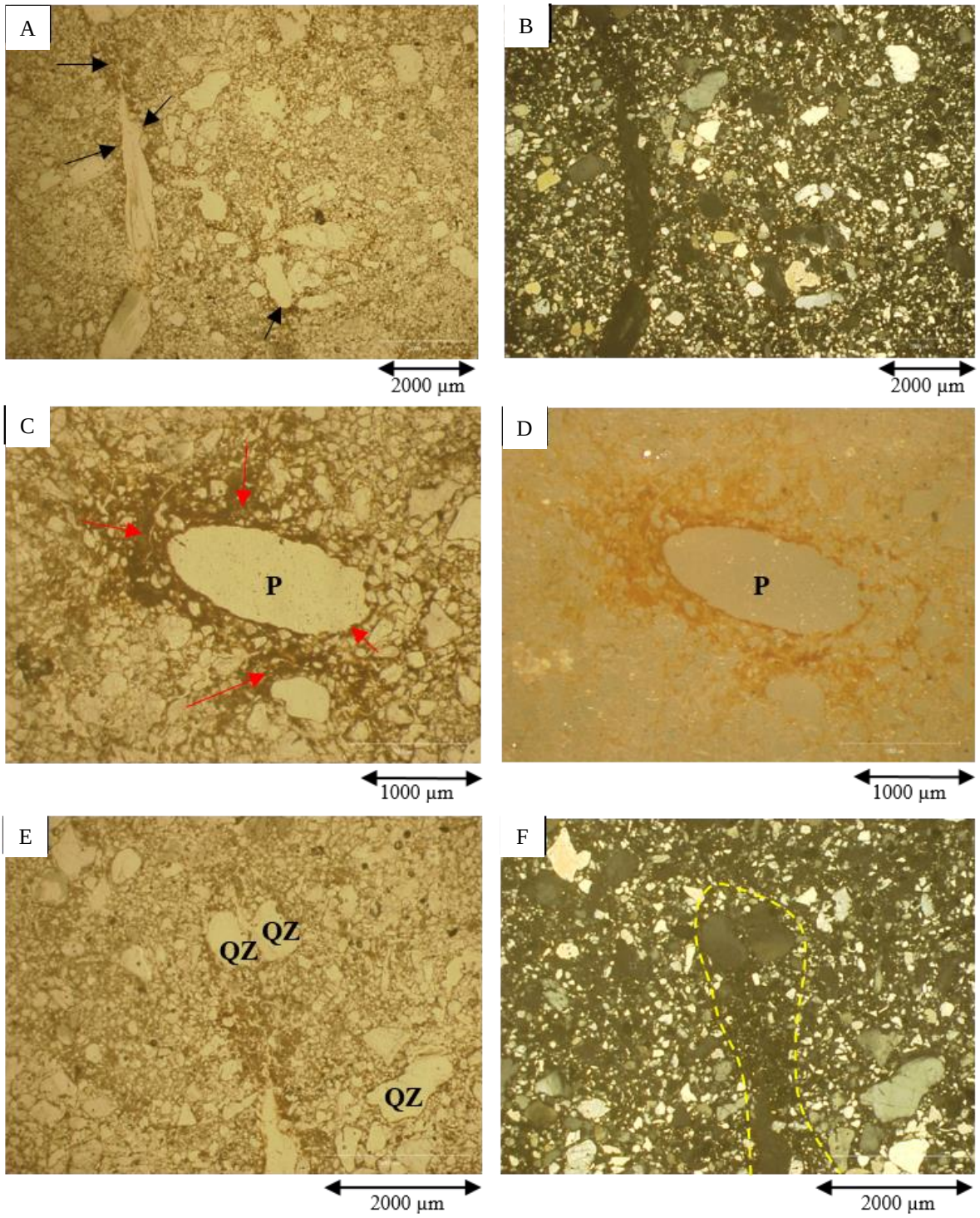


Figura 11.30. Fotomicrografias do horizonte 3Cg, perfil AM-12, mostrando: matriz chitônica-gefúrica, com grãos de quartzo subangulares, moderadamente selecionados e presença de hiporrevestimentos e revestimentos de ferro (setas pretas) (PPL e XPL) (A) e (B); bioporo (P) com hiporrevestimento e revestimento (setas vermelhas) ferruginosos (PPL e luz incidente) (C) e (D); canal com preenchimento solto descontínuo (tracejado amarelo) (PPL e XPL) (E) e (F). QZ – quartzo.

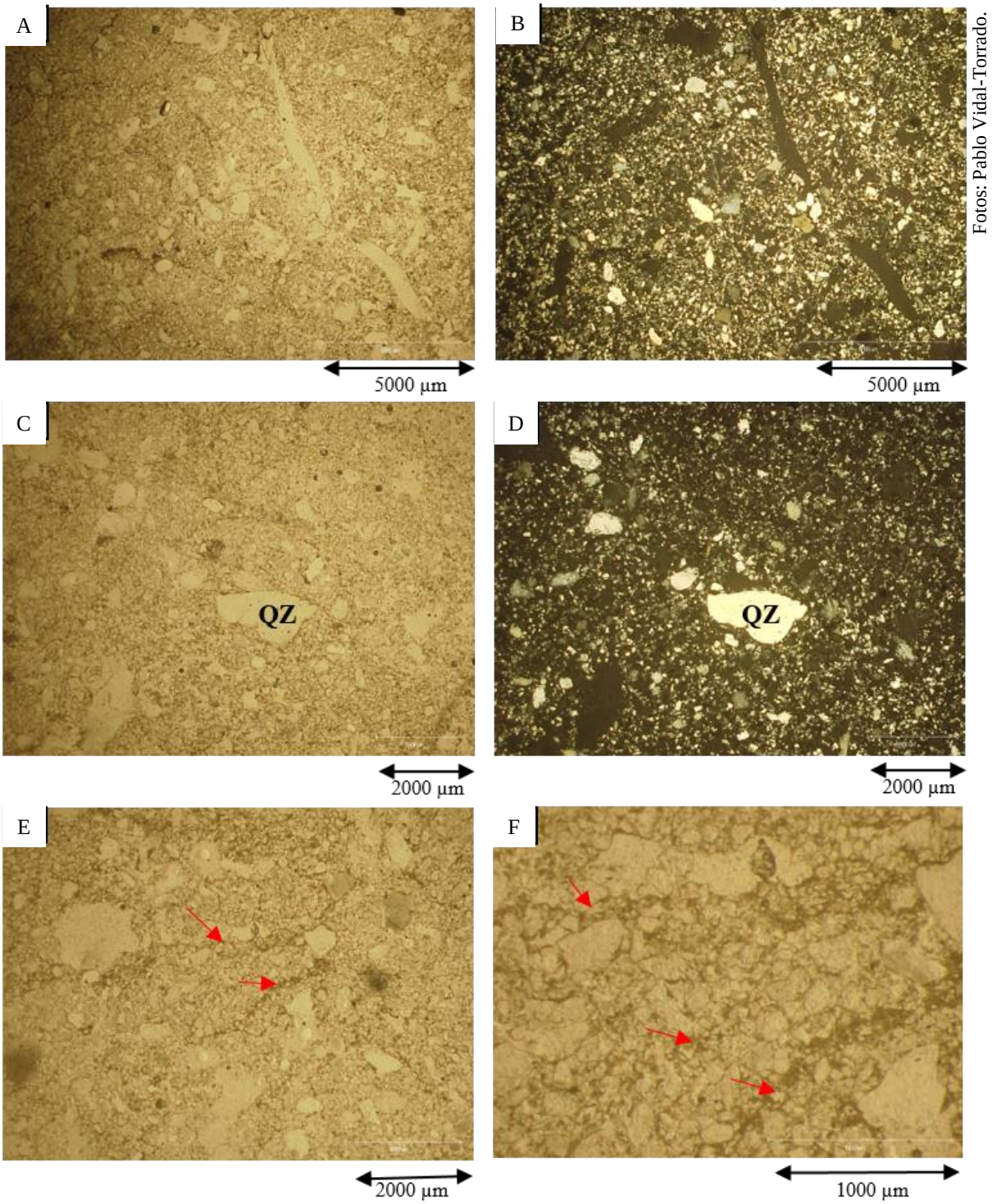


Figura 11.31. Fotomicrografias do horizonte 4Abg, perfil AM-12, mostrando: matriz chitônica-gefúrica, com grãos de quartzo subangulares, moderadamente selecionados (PPL, XPL, PPL e XPL) (A), (B), (C) e (D); microlamelas finas compostas de areia fina e argila, onduladas e paralelas (PPL) (E) e (F). QZ – quartzo.

Perfil AM-15 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico

Foram descritas cinco amostras coletadas entre 2 cm e 120 cm de profundidade (Tabela 11.11). A distribuição da fração grossa é heterogênea entre os horizontes, com areia mais grossa nos horizontes mais superficiais, possivelmente devido a diferenças de fluxo de transporte. A pedalidade é fracamente desenvolvida no perfil; a presença de feições redoximórficas (hipo e quaserrevestimentos) e a matriz gleizada indicam o hidromorfismo, com maior quantidade de feições ferruginosas nos dois últimos horizontes (Tabela 11.11 e Figuras 11.34 e 11.35). O pouco desenvolvimento de pedalidade, as descontinuidades sem homogeneização evidente (Figuras 11.32 e 11.33) e a manifestação da gleização são compatíveis com a classificação proposta.

Novamente, como em outros perfis desta RCC, em um solo com matriz porfírica siltosa submetido a hidromorfismo sazonal, aparece no horizonte mais profundo (7Cg4 - 110 cm a 122 cm) a porosidade cavitária (Figuras 11.34 e 11.35), evidenciando processos de depleção de argila.

Tabela 11.11. Descrição micromorfológica de horizontes selecionados do perfil AM-15 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico). A barra entre dois horizontes diz respeito à amostra coletada e descrita na transição entre eles.

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)				
	Ag/2C (2-9 cm)	**4C/5Abg (15-25 cm)**	**5Abg/5Cg1 (21-32 cm)**	**6Cg3 (90-104 cm)**	**7Cg4 (110-122 cm)**
Fundo matricial	Material grosso: 60% Material fino: 15% Porosidade: 25%	Zona 1 (40%): Material grosso: 60% Material fino: 15% Porosidade: 25% Zona 2 (60%): Material grosso: 30% Material fino: 50% Porosidade: 20%	Material grosso: 30% Material fino: 50% Porosidade: 20%	Material grosso: 30% Material fino: 45% Porosidade: 25%	Material grosso: 30% Material fino: 45% Porosidade: 25%
Distribuição relativa G/F(1)	Chitônica-gefúrica-mônica. g/f $_{2um}$: 4/1	Zona 1: chitônica-gefúrica-mônica. g/f $_{2um}$: 4/1 Zona 2: porfírica g/f $_{2um}$: 3/5	Porfírica g/f $_{2um}$: 3/5	Porfírica g/f $_{2um}$: 2/3	Porfírica g/f $_{2um}$: 2/3
Material grosso	Grãos de quartzo e minerais opacos, tamanho areia fina, arredondados e subangulares, bem selecionados. Presença de nódulos ferruginosos pequenos.	Zona 1: grãos de quartzo e minerais opacos, tamanho areia fina, arredondados e subangulares, bem selecionados. Presença de nódulos ferruginosos pequenos. Zona 2: grãos de quartzo e minerais opacos, tamanho areia muita fina, subangulares, bem selecionados. Presença de nódulos ferruginosos pequenos	Grãos de quartzo e minerais opacos, tamanho areia muita fina, subangulares, bem selecionados. Presença de nódulos ferruginosos pequenos.	Grãos de quartzo e minerais opacos, tamanho areia muita fina, subangulares, bem selecionados. Presença de nódulos ferruginosos pequenos.	Grãos de quartzo e minerais opacos, tamanho areia muita fina, subangulares, bem selecionados. Presença de nódulos ferruginosos pequenos.

Continua...

Tabela 11.11. Continuação.

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)				
	Ag/2C (2-9 cm)	**4C/5Abg (15-25 cm)**	**5Abg/5Cg1 (21-32 cm)**	**6Cg3 (90-104 cm)**	**7Cg4 (110-122 cm)**
Material fino	Argila e óxidos de ferro.	Zona 1: argila e óxidos de ferro Zona 2: argila e óxidos de ferro	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.
Poros	Empilhamento simples. Cavidades.	Zona 1: empilhamento simples. Cavidades. Zona 2: fissuras médias e grandes, canais, cavidades.	Fissuras médias e grandes, canais médios e grandes, cavidades médias e grandes, e câmaras.	Cavidades irregulares, câmaras, fissuras e canais.	Cavidades irregulares, câmaras, fissuras e canais.
Microestrutura	Grãos com películas e pontes.	Zona 1: grãos com películas e pontes. Zona 2: blocos angulares e subangulares médios. Pedalidade moderadamente a mal desenvolvida.	Blocos subangulares médios. Pedalidade mal desenvolvida.	Blocos subangulares médios e pequenos. Pedalidade moderadamente a mal desenvolvida.	Blocos subangulares médios e pequenos. Pedalidade moderadamente a mal desenvolvida.
Fábricas birrefringentes	Salpicada granida, granoestriada, poroestriada e estriada ao acaso.	Zona 1: salpicada granida, granoestriada, poroestriada e estriada ao acaso. Zona 2: abundantes. Salpicada granida e mosaico, estriada ao acaso, poroestriada e granoestriada.	Salpicada granida e mosaico, estriada ao acaso, poroestriada e granoestriada.	Salpicada granida e mosaico, estriada ao acaso, poroestriada e granoestriada.	Salpicada granida e mosaico, estriada ao acaso, poroestriada e granoestriada.

Continua...

Tabela 11.11. Continuação.

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)				
	Ag/2C (2-9 cm)	**4C/ 5Abg (15-25 cm)**	**5Abg/5Cg1 (21-32 cm)**	**6Cg3 (90-104 cm)**	**7Cg4 (110-122 cm)**
Feições pedológicas	Presença de lamelas finas de argila e ferro. Nódulos ferruginosos pequenos abundantes. Presença de hiporrevestimentos de ferro localizados na maioria das lamelas. Presença de excrementos coalescidos.	Zona 1: presença de lamelas finas de argila e ferro. Nódulos ferruginosos pequenos abundantes. Presença de hiporrevestimentos de ferro localizados, a maioria nas lamelas. Raízes finas, algumas ferruginizadas. Zona 2: hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de ferro abundantes, espessos e finos. Nódulos ferruginosos pequenos e comuns. Preenchimentos densos completos.	Hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de ferro abundantes, espessos e finos. Nódulos ferruginosos pequenos. Preenchimentos densos completos.	Hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de ferro. Nódulos típicos ferruginosos pequenos. Nódulos ferruginosos do tipo agregados médios. Presença de mosqueados de ferro na matriz porfírica. Feições ferruginosas ocupam 50% da matriz.	Hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de ferro. Nódulos típicos ferruginosos pequenos. Nódulos ferruginosos do tipo agregados médios. Presença de mosqueados de ferro na matriz porfírica. Feições ferruginosas ocupam 60% da matriz.
Observações	Abundância de raízes finas e médias, algumas ferruginizadas.	Presença abundante de raízes finas e médias ferruginizadas, algumas com excrementos coalescidos.	Presença de raízes finas e médias ferruginizadas, algumas com excrementos coalescidos.	Presença de um carvão milimétrico.	

(1)G/F: Razão entre a parte ocupada pelo material grosso (G) e pelo material fino (F).

Fotos: Pablo Vidal-Torrado.

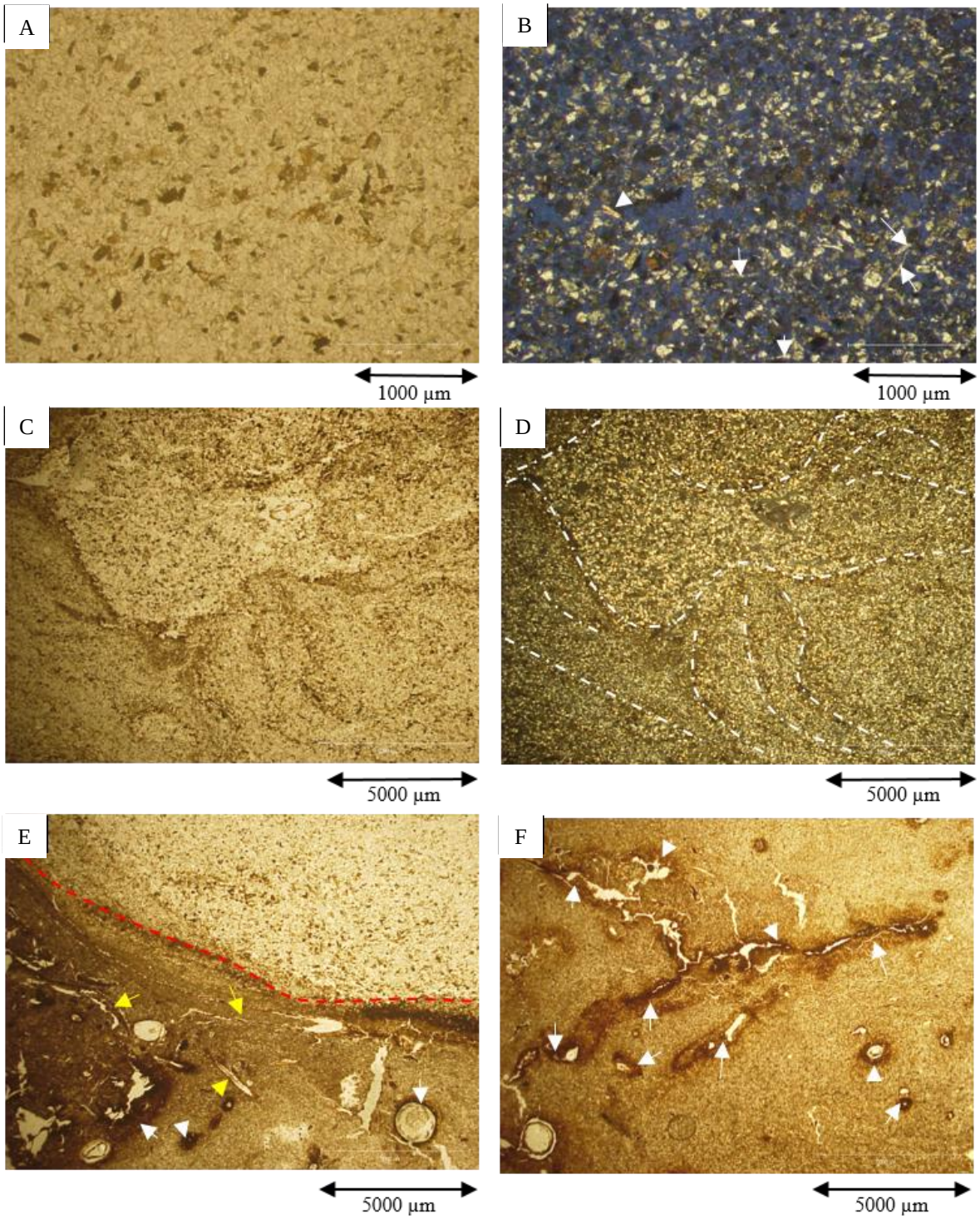


Figura 11.32. Fotomicrografias da transição entre os horizontes 4C e 5Abg (4C/5Abg), perfil AM-15, mostrando: trama gefúrica-mônica com grãos de quartzo e micas (setas brancas), tamanho areia fina, arredondados e subangulares, bem selecionados (PPL e XPL) (A) e (B); depósito turbulento de sedimentos finos (turbiditos) (tracejado branco) (PPL e XPL) (C) e (D); contato abrupto e ondulado (tracejado vermelho) entre tramas chitônica-gefúrica-mônica e porfírica; hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de ferro abundantes, espessos e finos (setas brancas) e restos vegetais degradados (setas amarelas) no interior de canais (PPL) (E); matriz porfírica gleizada; hiporrevestimentos e revestimentos ferruginosos (setas brancas) (PPL) (F).

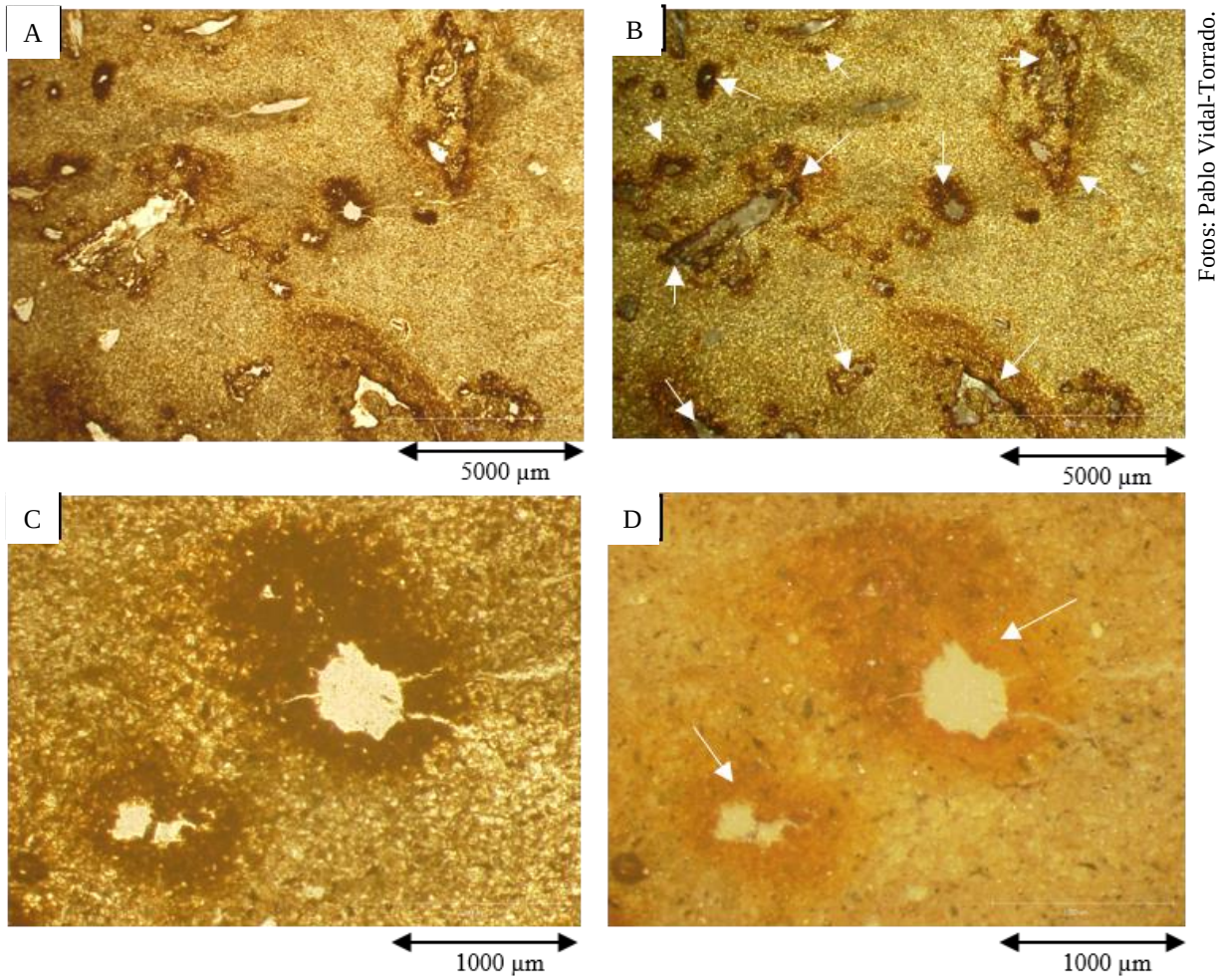


Figura 11.33. Fotomicrografias da transição entre os horizontes 5Abg e 5Cg1 (5Abg/5Cg1), perfil AM-15, mostrando: trama porfírica e hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de ferro abundantes, espessos e finos (setas brancas) (PPL e XPL) (A) e (B); detalhe de hiporrevestimento ferruginoso (setas brancas) (PPL e XPL) (C) e (D).

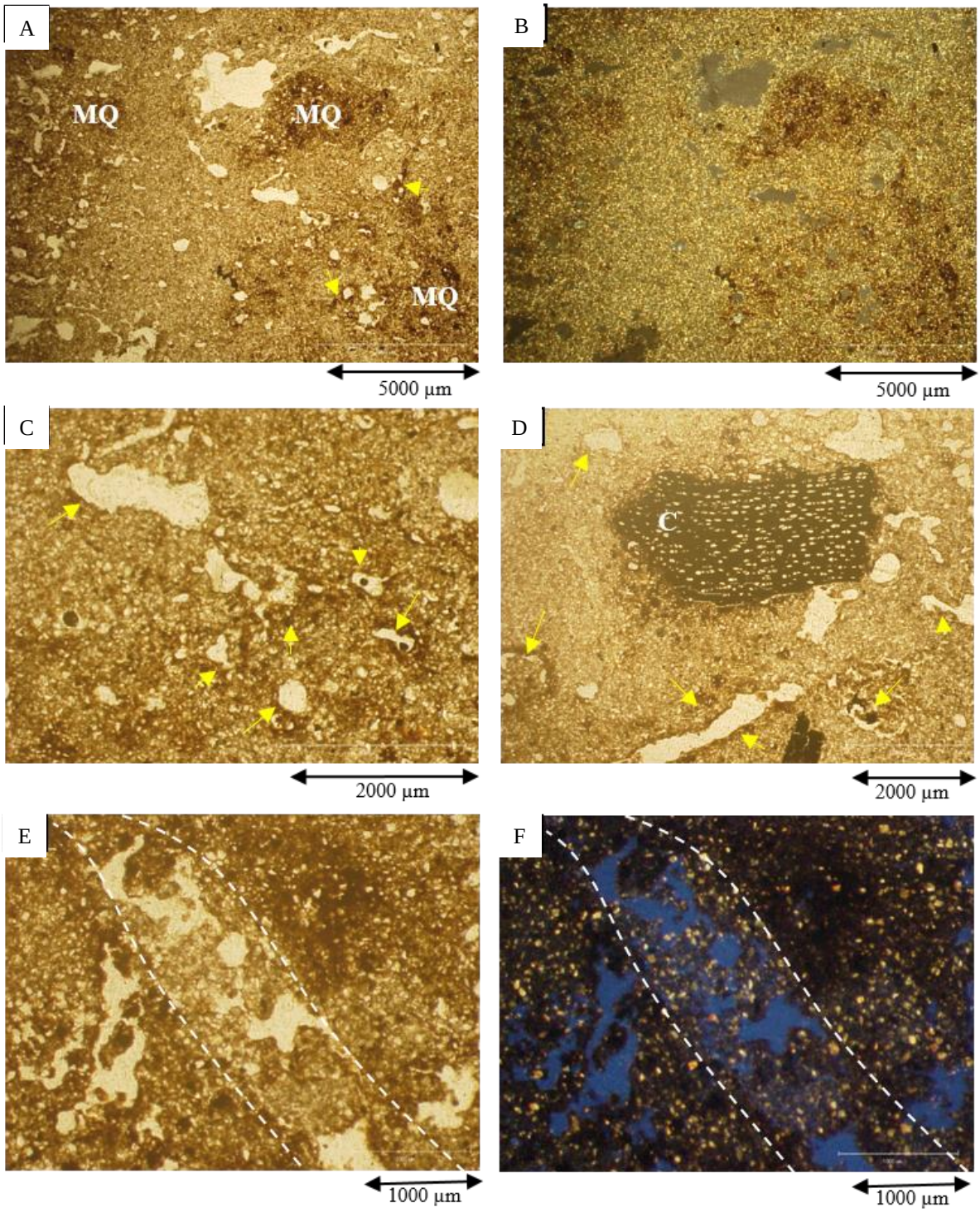


Figura 11.34. Fotomicrografias do horizonte 6Cg3, perfil AM-15, mostrando: trama porfírica com feições redoximórficas como mosqueados (MQ) e quaserrevestimentos (setas amarelas) em matriz gleizada (PPL e XPL) (A) e (B); detalhe dos quaserrevestimentos (setas amarelas) ao redor de câmaras e cavidades (PPL) (C); hiporrevestimentos, quaserrevestimentos e revestimentos (setas amarelas) em matriz gleizada e fragmento de carvão (C) (PPL) (D); canal com preenchimento denso descontínuo (tracejado branco) (PPL e XPL) (E) e (F).

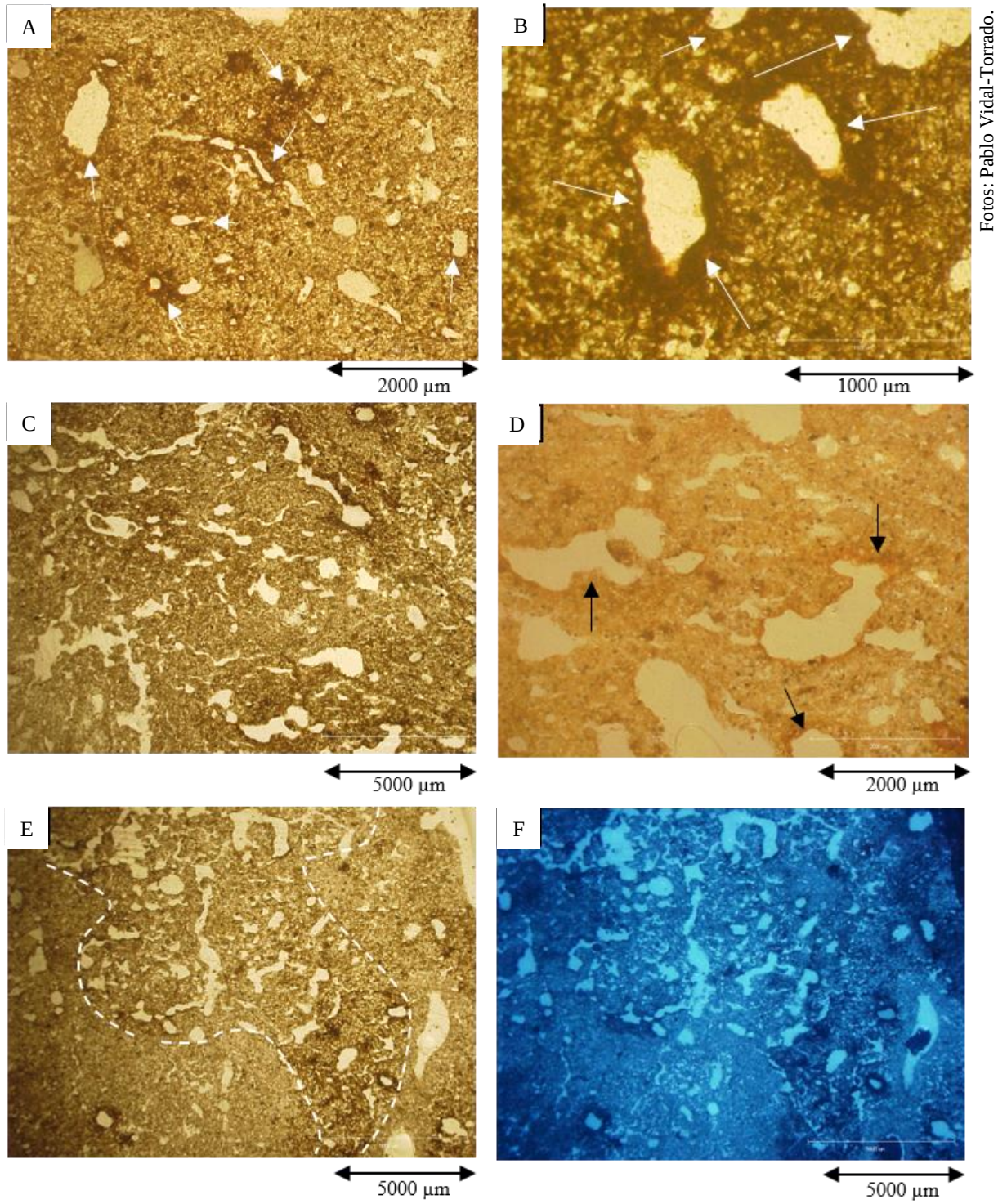


Figura 11.35. Fotomicrografias do horizonte 7Cg4, perfil AM-15, mostrando: trama porfírica com hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de ferro (setas brancas) em matriz gleizada (PPL) (A) e (B); porosidade cavitária de depleção (PPL) (C); detalhe da porosidade com quaserrevestimentos (setas pretas) de ferro (luz incidente) (D); preenchimento denso descontínuo biológico (tracejado branco) (PPL e XPL) (E) e (F).

Perfil AM-16 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico

No perfil AM-16 foram descritas quatro amostras coletadas entre 0 e 144 cm (Tabela 11.12). O hidromorfismo é evidente, caracterizado pela abundância de feições redoximórficas e de matriz gleizada. A distribuição relativa é porfírica com um fundo matricial siltoso e com areia muito fina (Figuras 11.36 a 11.39). A geoquímica deste perfil difere dos outros Gleissolos ao apresentar revestimentos (hipo e quase) e impregnações de Mn nos horizontes 2Cgn1 e 2Cgn3 (Figura 11.38). Feições associadas à expansão e à contração do solo foram descritas para o horizonte 2Abg, com poros planares comuns e presença de blocos angulares (Figura 11.37). A abundância de fábricas birrefringentes é característica de solos com argilas expansivas que são uniformes ao longo do perfil: salpicada granida e mosaico, poroestriada, granoestriada e estriada ao acaso. A presença comum de preenchimentos densos completos de canais levantou questionamentos quanto à origem destes: biológica (Figuras 11.37 e 11.38) ou, em alguns casos, por preenchimento de fissuras e fendas por gravidade (Figuras 11.36 e 11.39). Não foram identificadas feições cristalinas (carbonatos).

Tabela 11.12. Descrição micromorfológica de horizontes selecionados do perfil AM-16 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico). A barra entre dois horizontes diz respeito à amostra coletada e descrita na transição entre eles.

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)			
	Ag/CAg (0-14 cm)	**2Abg (15-25 cm)**	**2Cgn1 (58-68 cm)**	**2Cgn3 (135-144 cm)**
Fundo matricial	Material grosso: 10% Material fino: 75% Porosidade: 15%	Material grosso: 10% Material fino: 75% Porosidade: 15%	Material grosso: 30% Material fino: 60% Porosidade: 10%	Material grosso: 10% Material fino: 80% Porosidade: 10%
Distribuição relativa G/F(1)	Porfírica. Matriz mosqueada. g/f $_{2um}$: 1/7	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/7	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/2	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/8
Material grosso	Grãos de quartzo, tamanho areia muito fina, subangulares, bem selecionados. Nódulos de ferro pequenos.	Grãos de quartzo tamanho areia muito fina, subangulares, bem selecionados. Nódulos de ferro pequenos.	Grãos de quartzo tamanho areia muito fina, subangulares, bem selecionados. Nódulos de ferro.	Dominam nódulos de ferro. Grãos de quartzo tamanho areia muito fina, subangulares, bem selecionados.
Material fino	Argila, matéria orgânica e óxidos de ferro.	Argila, matéria orgânica e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.
Poros	Predominam fissuras e câmaras grandes. Cavidades e canais.	Predominam fissuras, canais e câmaras grandes.	Predominam fissuras, canais, cavidades e câmaras.	Predominam fissuras, canais, cavidades e câmaras grandes.
Microestrutura	Blocos angulares médios e grandes. Pedalidade moderadamente a mal desenvolvida.	Blocos e prismas angulares médios e grandes. Pedalidade bem desenvolvida.	Blocos angulares médios e pequenos. Pedalidade moderadamente a bem desenvolvida.	Blocos angulares médios e pequenos. Pedalidade moderadamente a bem desenvolvida.

Continua...

Tabela 11.12. Continuação.

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)			
	Ag/CAg (0-14 cm)	**2Abg (15-25 cm)**	**2Cgn1 (58-68 cm)**	**2Cgn3 (135-144 cm)**
Fábricas birrefringentes	Salpicada granida e mosaico. Poroestriada, granoestriada, estriada ao acaso.	Salpicada granida e mosaico. Poroestriada, granoestriada, estriada ao acaso.	Salpicada granida e mosaico. Poroestriada, granoestriada, estriada ao acaso.	Salpicada granida e mosaico. Poroestriada, granoestriada, estriada ao acaso.
Feições pedológicas	Presença de hiporrevestimentos e quaserrevestimentos bem desenvolvidos de ferro. Nódulos de ferro típicos pequenos. Zonas de depleção de ferro nítidas. Preenchimentos de argila, quartzo e ferro densos completos e incompletos.	Presença de hiporrevestimentos e quaserrevestimentos bem desenvolvidos de ferro. Nódulos de ferro típicos pequenos abundantes. Zonas de depleção de ferro. Preenchimentos de argila e ferro densos completos e incompletos.	Presença de hiporrevestimentos e quaserrevestimentos bem desenvolvidos de ferro com impregnação de manganês. Nódulos milimétricos do tipo agregado. Nódulos de ferro típicos pequenos e médios, alguns com fraca e moderada impregnação. Preenchimentos em canais soltos descontínuos.	Presença abundante de nódulos de ferro milimétricos do tipo agregado; e nódulos de ferro típicos pequenos e médios, alguns com fraca e moderada impregnação. Alguns nódulos sofrem segregação de ferro. Presença de hiporrevestimentos e quaserrevestimentos bem desenvolvidos de ferro com impregnação de manganês. Preenchimentos de areia fina e argila densos completos e incompletos.
Observações	Presença de raízes, algumas ferruginizadas e/ou com hiporrevestimentos.	Presença de raízes finas e médias ferruginizadas.		

(1)G/F: Razão entre a parte ocupada pelo material grosso (G) e pelo material fino (F).

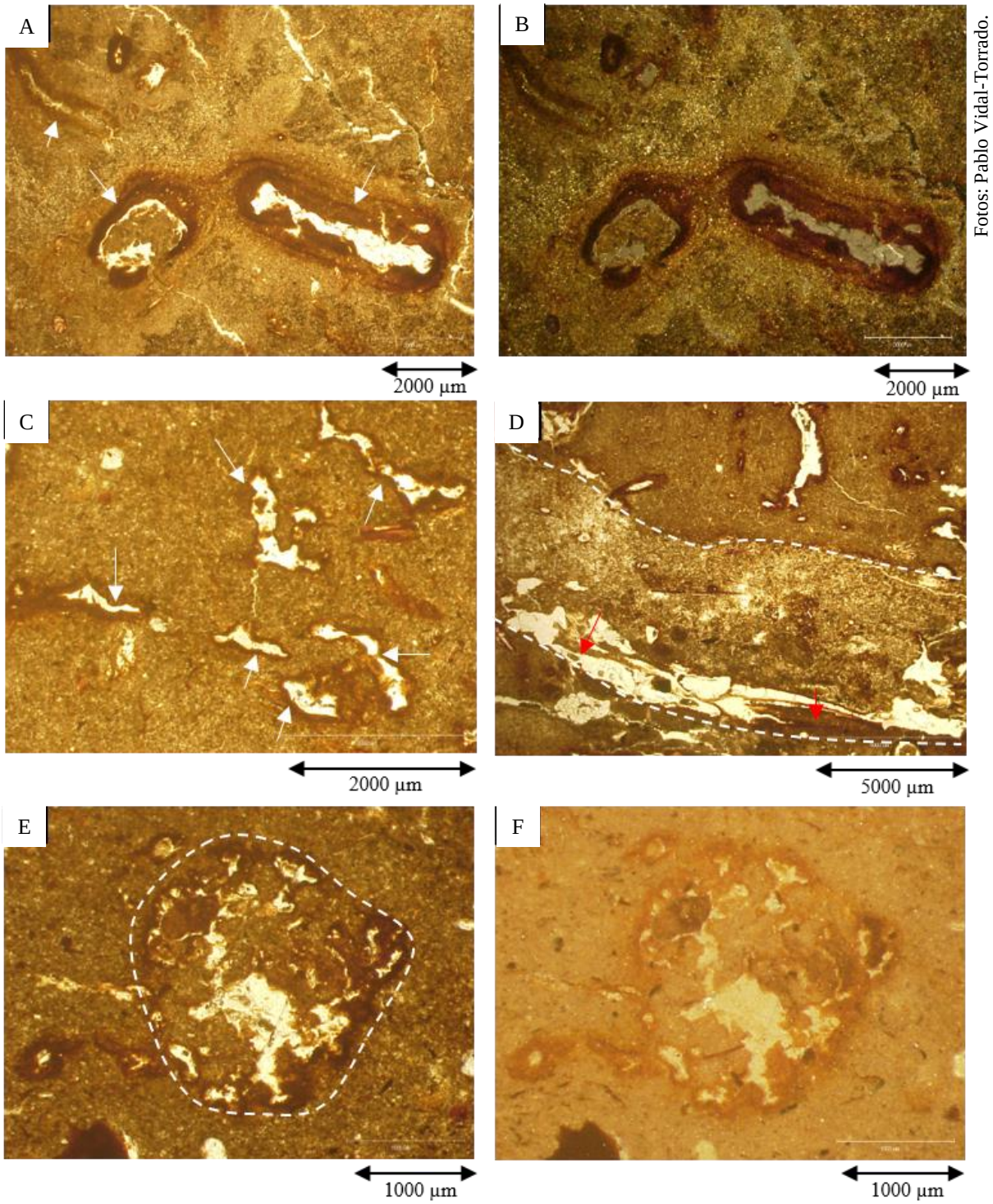


Figura 11.36. Fotomicrografias da transição entre os horizontes Ag e CAg (Ag/CAg), perfil AM-16, mostrando: matriz porfírica; hiporrevestimentos e quaserrevestimentos bem desenvolvidos de ferro (setas brancas) (PPL e XPL) (A) e (B); coalescência de porosidade, com hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de ferro (setas brancas) (PPL) (C); preenchimento denso completo de canal (tracejado branco) com restos de raízes (setas vermelhas) nas paredes (PPL) (D); coalescência agrupada de canais (tracejado branco), com hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de ferro (PPL e luz incidente) (E) e (F).

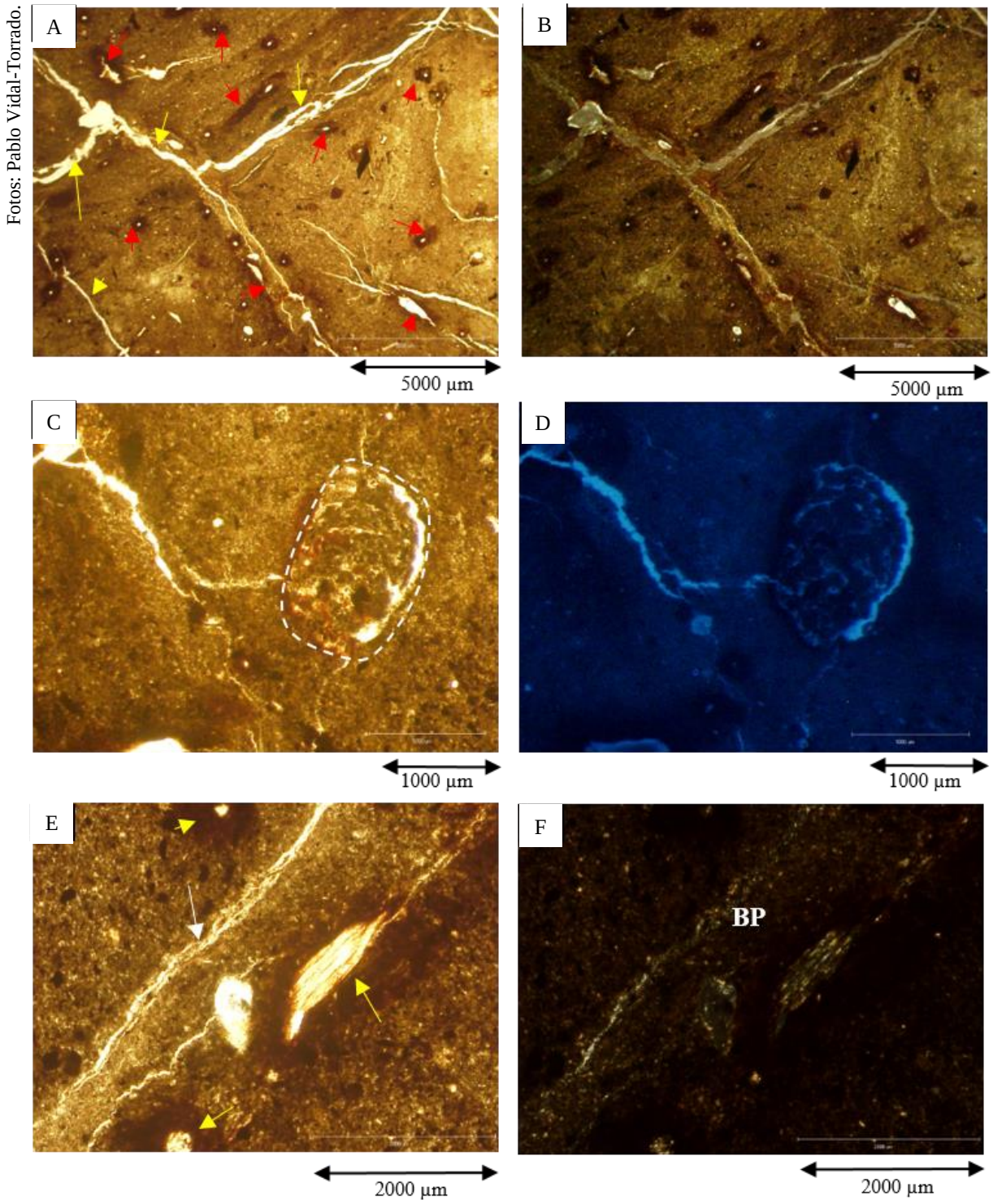
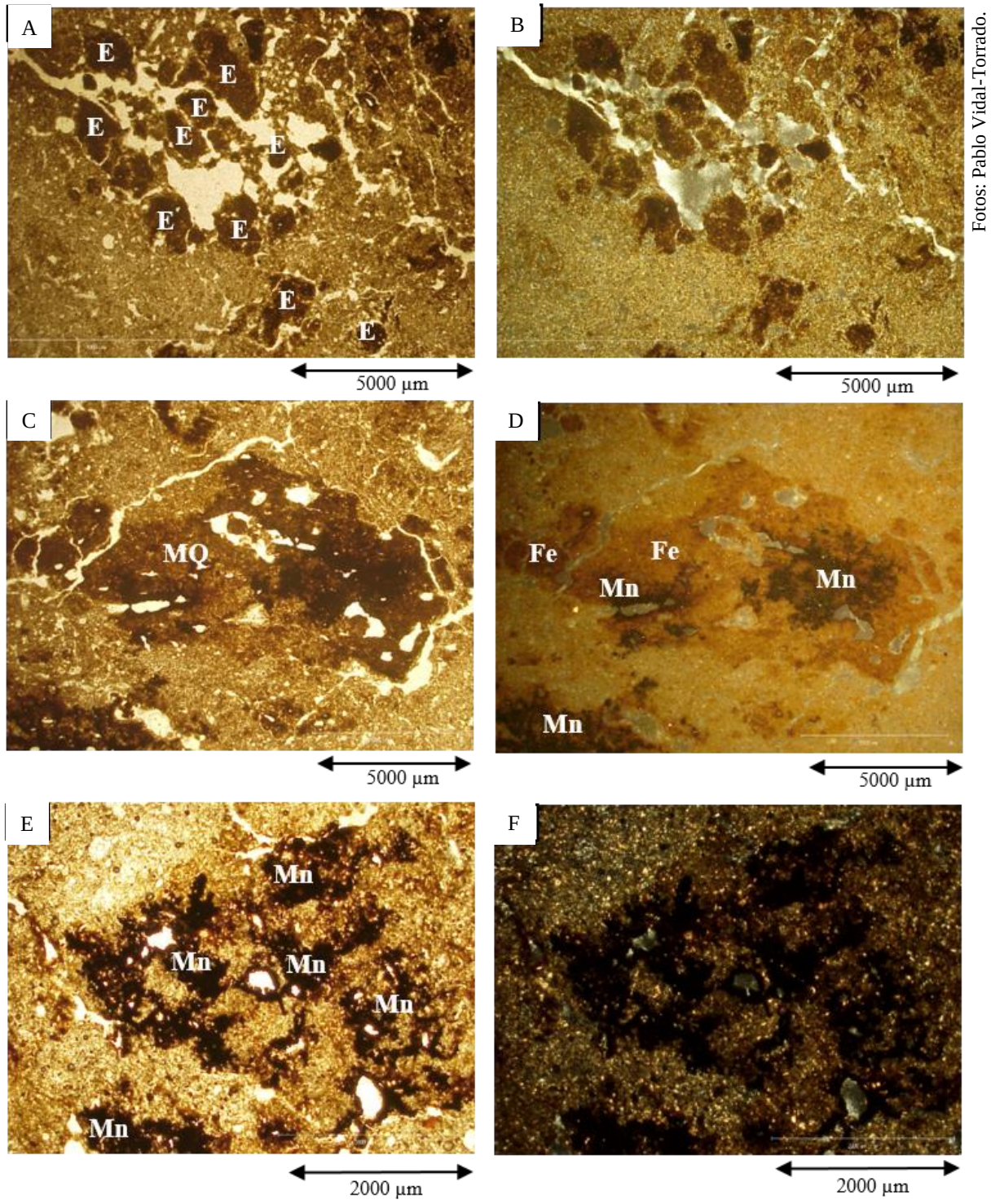


Figura 11.37. Fotomicrografias do horizonte 2Abg, perfil AM-16, mostrando: poros planares (setas amarelas) e blocos angulares com pedalidade bem desenvolvida; hiporrevestimentos e quaserrevestimentos (setas vermelhas) bem desenvolvidos de ferro (PPL e XPL) (A) e (B); matriz porfírica e canal com preenchimento denso arqueado (tracejado branco) de minhoca (PPL e UV) (C) e (D); poro planar (seta branca) com birrefringência poroestriada (BP), e hiporrevestimentos e quaserrevestimentos (setas amarelas) de ferro (PPL e XPL) (E) e (F).



Fotos: Pablo Vidal-Torrado.

Figura 11.38. Fotomicrografias do horizonte 2Cgn1, perfil AM-16, mostrando: matriz porfírica; preenchimento solto descontínuo por excrementos (E) (PPL e XPL) (A) e (B); feições redoximórficas do tipo mosqueado (MQ) com impregnações de ferro (Fe) e manganês (Mn) (PPL e luz incidente) (C) e (D); detalhes da impregnação com manganês (PPL e XPL) (E) e (F).

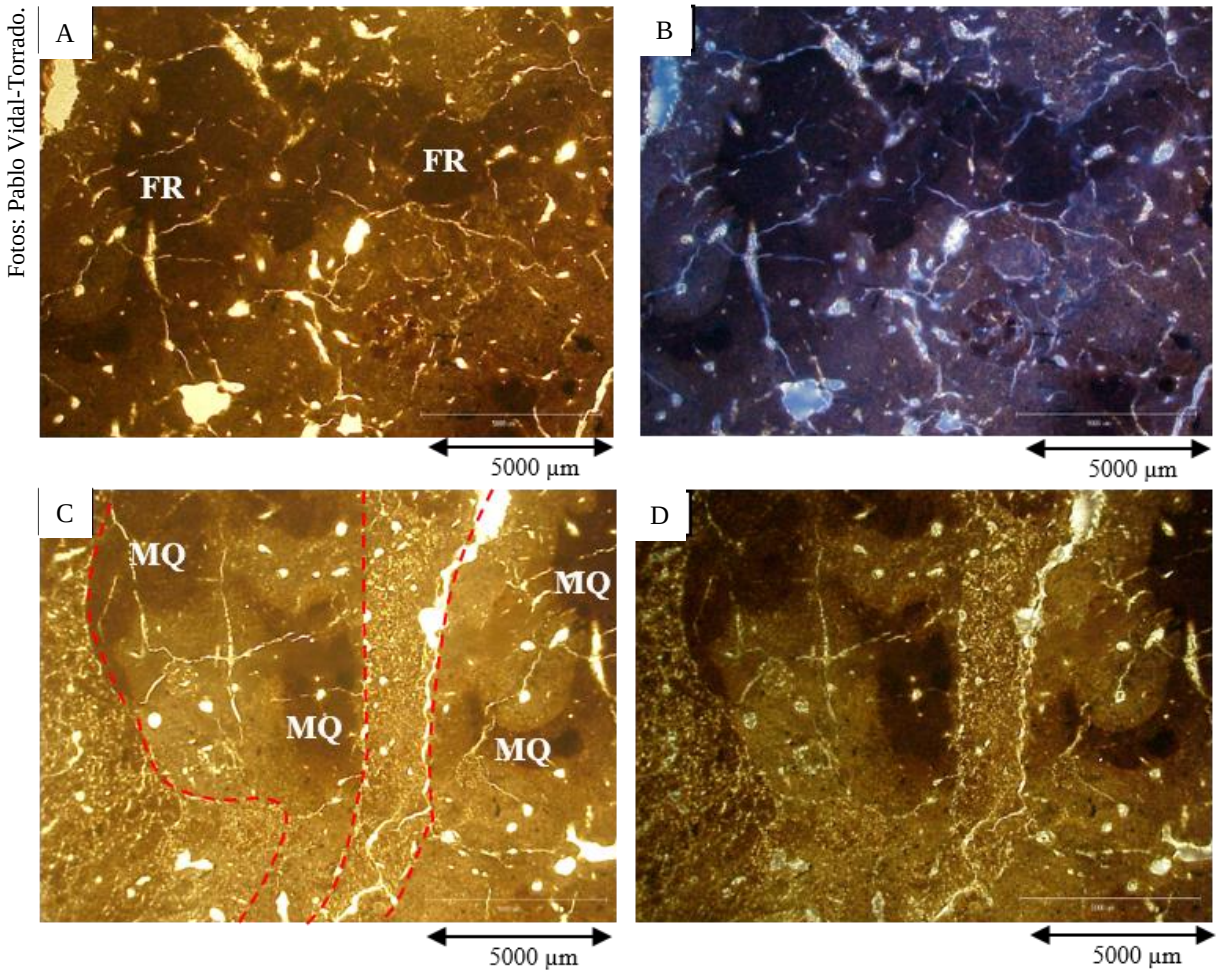


Figura 11.39. Fotomicrografias do horizonte 2Cgn3, perfil AM-16, mostrando: matriz porfírica, fissuras e câmaras comuns, bem como feições redoximórficas (FR) na forma de hiporrevestimentos, quaserrevestimentos e mosqueados de Fe e Mn (PPl e XPL/UV) (A) e (B); preenchimentos densos completos (tracejado vermelho) e mosqueados (MQ) em matriz gleizada (PPL e XPL) (C) e (D).

Perfil PA-05 - Latossolo Amarelo Distrófico típico

Neste perfil foram coletadas e descritas três amostras referentes aos horizontes BA (34-51 cm), Bw2 (101-119 cm) e Bw3 (160-174 cm) (Tabela 11.13). A descrição apresentada é característica de Latossolos com presença de intensa bioturbação nos horizontes Bw, indicada pela abundância de preenchimentos soltos contínuos e descontínuos (Figuras 11.40 a 11.42). Bioporos característicos de ação de raízes, de formigas e de cupins são apresentados na Figura 11.41. Neste Latossolo, as fábricas birrefringentes são visíveis sob grande magnificação (poroestriada, granoestriada, estriada paralela, estriada ao acaso e salpicada), o que deve estar associado à mineralogia das argilas e ao baixo conteúdo de óxidos de Fe, tal como descrito por Lima Neto et al. (2010) em horizontes coesos de Latossolos Amarelos dos Tabuleiros Costeiros, em que a fábrica birrefringente variou de indiferenciada para salpicada no horizonte Bw.

Tabela 11.13. Descrição micromorfológica de horizontes selecionados do perfil PA-05 (Latossolo Amarelo Distrófico típico).

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)		
	BA (34-51 cm)	**Bw2 (101-119 cm)**	**Bw3 (160-174 cm)**
Fundo matricial	Material grosso: 5% Material fino: 75% Porosidade: 20%	Material grosso: 5% Material fino: 75% Porosidade: 20%	Material grosso: 5% Material fino: 65% Porosidade: 30%
Distribuição relativa G/F[(1)]	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/15	Porfírica. Domínios enáulico-porfíricos. g/f $_{2um}$: 1/15	Porfírica. Domínios enáulico-porfíricos. g/f $_{2um}$: 1/13
Material grosso	Grãos de quartzo de tamanho areia média e muito fina, subangulares, moderadamente a bem selecionados. Poucos nódulos de ferro pequenos.	Grãos de quartzo de tamanho areia média e muito fina, subangulares, moderadamente a bem selecionados. Poucos nódulos de ferro pequenos.	Grãos de quartzo de tamanho areia média e muito fina, subangulares, moderadamente a bem selecionados. Poucos nódulos de ferro pequenos.
Material fino	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.
Poros	Predominam câmaras. Presença de cavidades irregulares, cavidades regulares, canais e fissuras.	Predominam câmaras. Presença de poros de empilhamento, cavidades irregulares, cavidades policôncavas, cavidades regulares, canais e fissuras.	Predominam câmaras. Presença de poros de empilhamento, cavidades irregulares, cavidades policôncavas, cavidades regulares, canais e fissuras.
Microestrutura	Blocos subangulares com pedalidade moderada.	Blocos subangulares com pedalidade moderada e microgranular coalescida.	Blocos subangulares com pedalidade moderada e microgranular coalescida.
Fábricas birrefringentes	Poroestriada, granoestriada, estriada paralela, estriada ao acaso e salpicada.	Poroestriada, granoestriada, estriada paralela, estriada ao acaso e salpicada.	Poroestriada, granoestriada, estriada paralela, estriada ao acaso e salpicada.
Feições pedológicas	Preenchimentos de agregados granulares e microagregados soltos contínuos e descontínuos abundantes. Preenchimentos densos completos e incompletos de argila. Presença de poucos revestimentos de argila com orientação forte e contínua. Nódulos de ferro típicos pequenos.	Preenchimentos de agregados granulares e microagregados soltos contínuos e descontínuos abundantes de provável origem biológica. Nódulos de ferro típicos pequenos.	Preenchimentos de agregados granulares e microagregados soltos contínuos e descontínuos abundantes de provável origem biológica. Revestimentos de argila raros. Nódulos de ferro típicos pequenos.

[(1)]G/F: Razão entre a parte ocupada pelo material grosso (G) e pelo material fino (F).

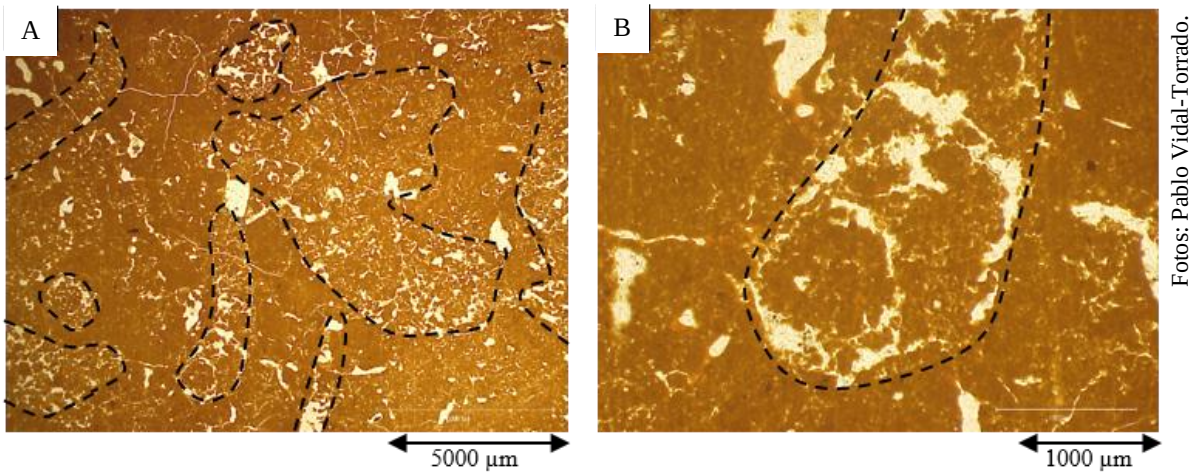


Figura 11.40. Fotomicrografias do horizonte BA, perfil PA-05, mostrando: trama porfírica; preenchimentos densos, alguns arqueados, completos e incompletos, abundantes, originados de bioturbação (tracejado preto) (PPL) (A); detalhe de canal com preenchimento denso arqueado e incompleto por minhoca (tracejado preto) (PPL) (B).

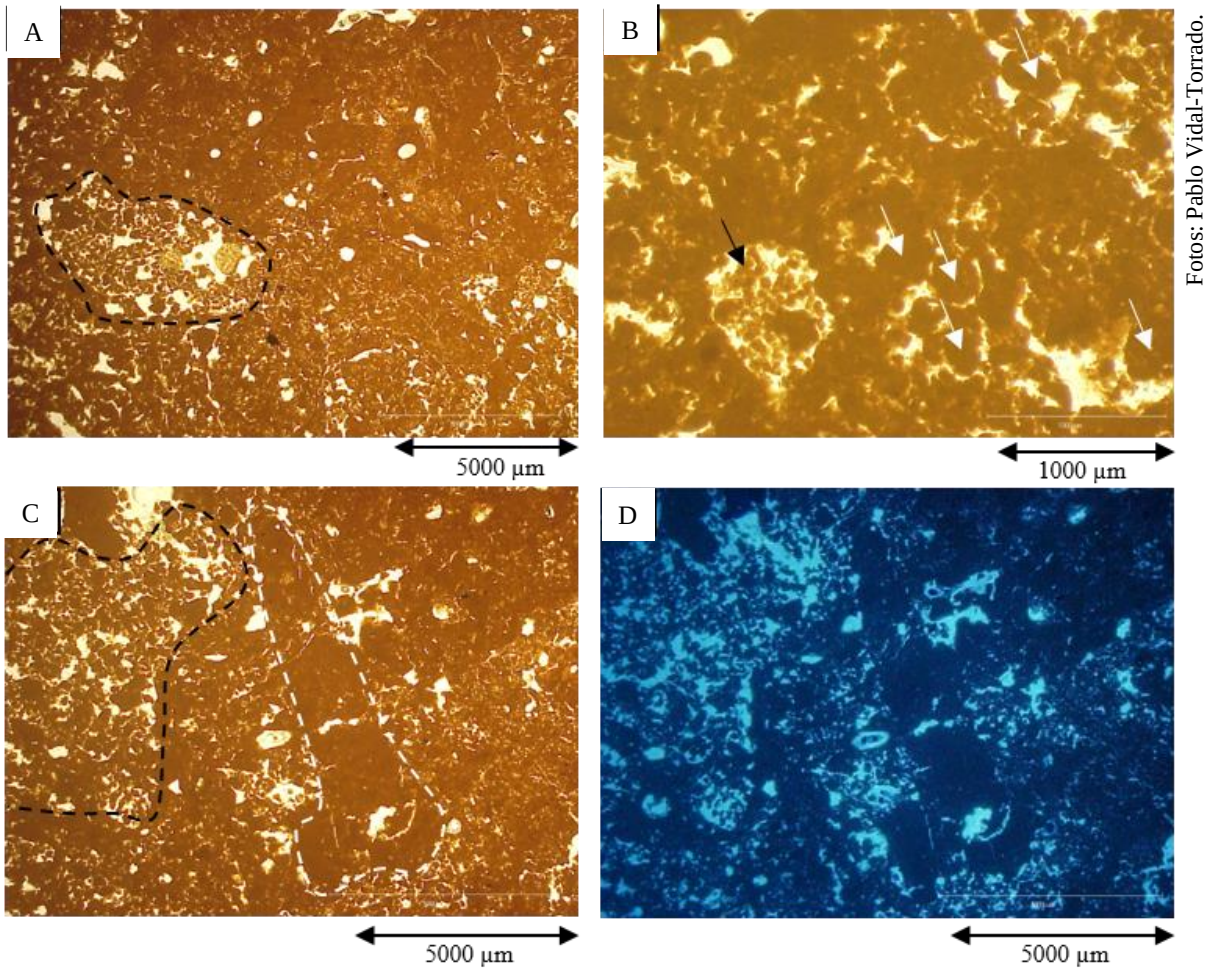


Figura 11.41. Fotomicrografias do horizonte Bw2, perfil PA-05, mostrando: trama porfírica; preenchimento solto descontínuo (tracejado preto); abundância de bioturbação (PPL) (A); preenchimento solto descontínuo (seta preta) por bioturbação e microagregados (setas brancas) (PPL) (B); preenchimento denso contínuo (tracejado branco) e solto descontínuo (tracejado preto) (PPL e UV) (C) e (D).

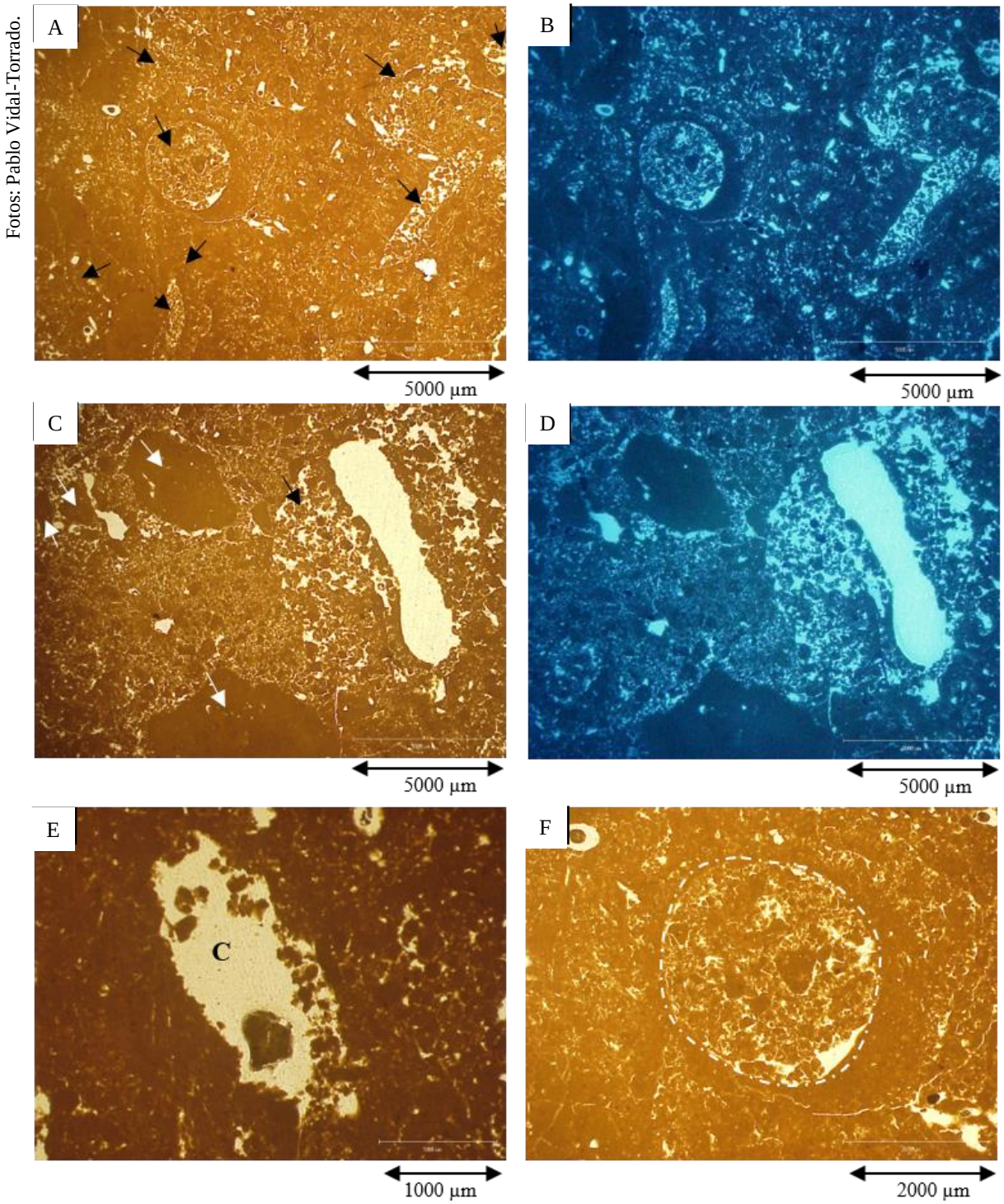


Figura 11.42. Fotomicrografias do horizonte Bw3, perfil PA-05, mostrando: trama porfírica; intensa atividade biológica (setas pretas) com preenchimentos soltos contínuos e descontínuos abundantes (PPL e UV) (A) e (B); blocos densos de argila (setas brancas) e intensa bioturbação (seta preta) (PPL e UV); cavidade com paredes adensadas e lisas (cupim) (C) e (D); cavidade com paredes picotadas (formigas) (C) com preenchimento solto descontínuo (PPL) (E); canal de raiz (tracejado branco) com preenchimento solto descontínuo (PPL) (F).

Perfil PA-06 - Neossolo Quartzarênico Órtico húmico

O perfil PA-06 evidenciou aspectos típicos de solos muito arenosos, mas com argila e matéria orgânica na fração fina suficientes para formar revestimentos de grãos de areia na distribuição relativa chitônica e alguns microagregados na distribuição relativa enáulica - esta última como característica de horizontes B latossólicos (Tabela 11.14; Figuras 11.43 a 11.45). De fato, os Neossolos Quartzarênicos mais pobres em argila frequentemente apresentam distribuição relativa mônica-chitônica, o que sugere ser o caso deste perfil ser classificado como intermediário para Latossolo. Alguns nódulos de Fe e feições biológicas (excrementos) foram descritos ao longo do perfil (Figura 11.44).

Tabela 11.14. Descrição micromorfológica de horizontes selecionados do perfil PA-06 (Neossolo Quartzarênico Órtico húmico).

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)		
	A4 (60-72 cm)	**AC (132-146 cm)**	**C (182-197 cm)**
Fundo matricial	Material grosso: 70% Material fino: 10% Porosidade: 20%	Material grosso: 70% Material fino: 10% Porosidade: 20%	Material grosso: 70% Material fino: 10% Porosidade: 20%
Distribuição relativa G/F(1)	Enáulica-chitônica. g/f $_{2um}$: 7/1	Enáulica-chitônica. g/f $_{2um}$: 7/1	Chitônica-enáulica. g/f $_{2um}$: 7/1
Material grosso	Grãos de quartzo, tamanho areia grossa e média, subangulares, moderadamente selecionados.	Grãos de quartzo, tamanho areia grossa e média, subangulares, moderadamente selecionados.	Grãos de quartzo, tamanho areia grossa e média, subangulares, moderadamente selecionados.
Material fino	Argila e matéria orgânica.	Argila e matéria orgânica.	Argila.
Poros	Predominam poros de empilhamento.	Predominam poros de empilhamento.	Predominam poros de empilhamento.
Microestrutura	Microagregados intergrãos.	Microagregados intergrãos.	Complexa: grãos com películas e microagregados intergrãos.
Fábricas birrefringentes	Indiferenciada.	Indiferenciada.	Indiferenciada.
Feições pedológicas	Poucos nódulos de ferro típicos pequenos.	Presença de dois nódulos de ferro típicos milimétricos.	Nódulos de ferro típicos pequenos.
Observações	Carvões milimétricos.	Carvões milimétricos. Presença de raízes em degradação com excrementos.	

(1)G/F: Razão entre a parte ocupada pelo material grosso (G) e pelo material fino (F).

Fotos: Pablo Vidal-Torrado.

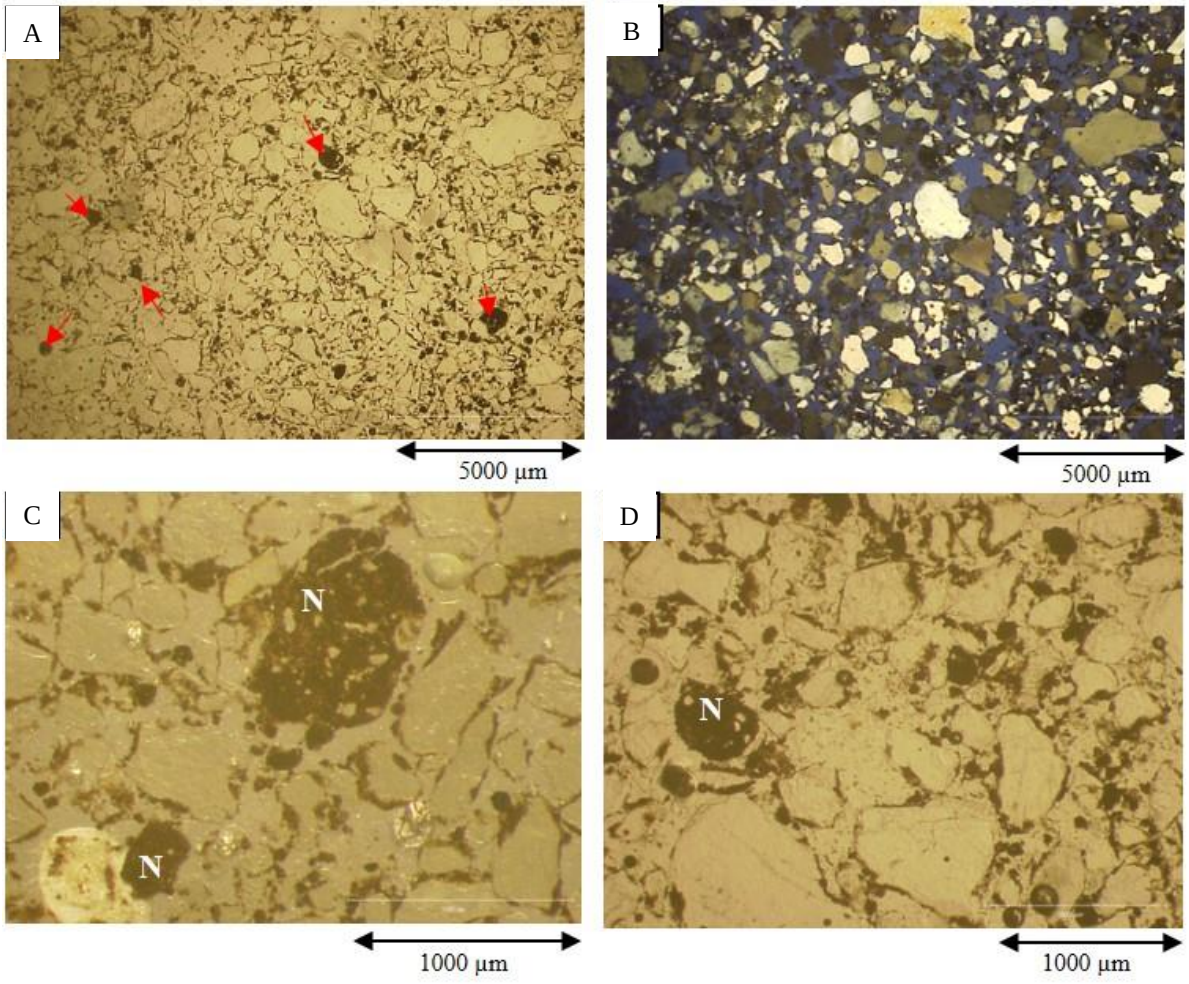


Figura 11.43. Fotomicrografias do horizonte A4, perfil PA-06, mostrando: trama enáulica-chitônica com poucos nódulos de ferro típicos pequenos (setas vermelhas) (PPL e XPL/UV) (A) e (B); detalhe de nódulos típicos ferruginosos (N) (PPL) (C) e (D).

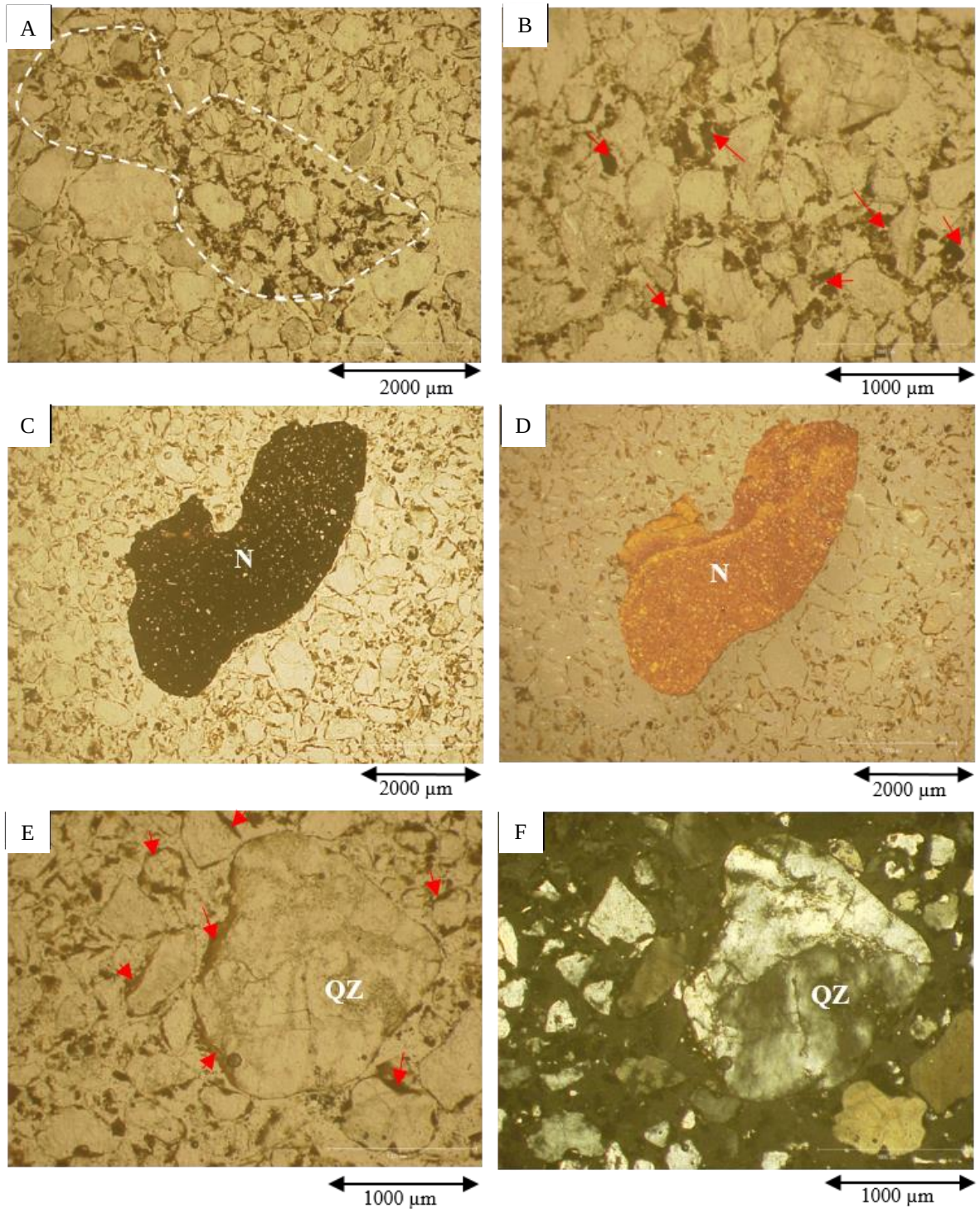


Figura 11.44. Fotomicrografias do horizonte AC, perfil PA-06, mostrando: trama enáulica-chitônica; presença de atividade biológica (tracejado branco) e microagregados (PPL) (A); detalhe dos microagregados intergrãos (setas vermelhas) (PPL) (B); nódulo de ferro típico (N) (PPL e luz incidente) (C) e (D); grãos de quartzo (QZ), tamanho areia grossa e média, subangulares, moderadamente selecionados e com revestimentos (setas vermelhas) (PPL e XPL) (E) e (F).

Fotos: Pablo Vidal-Torrado.

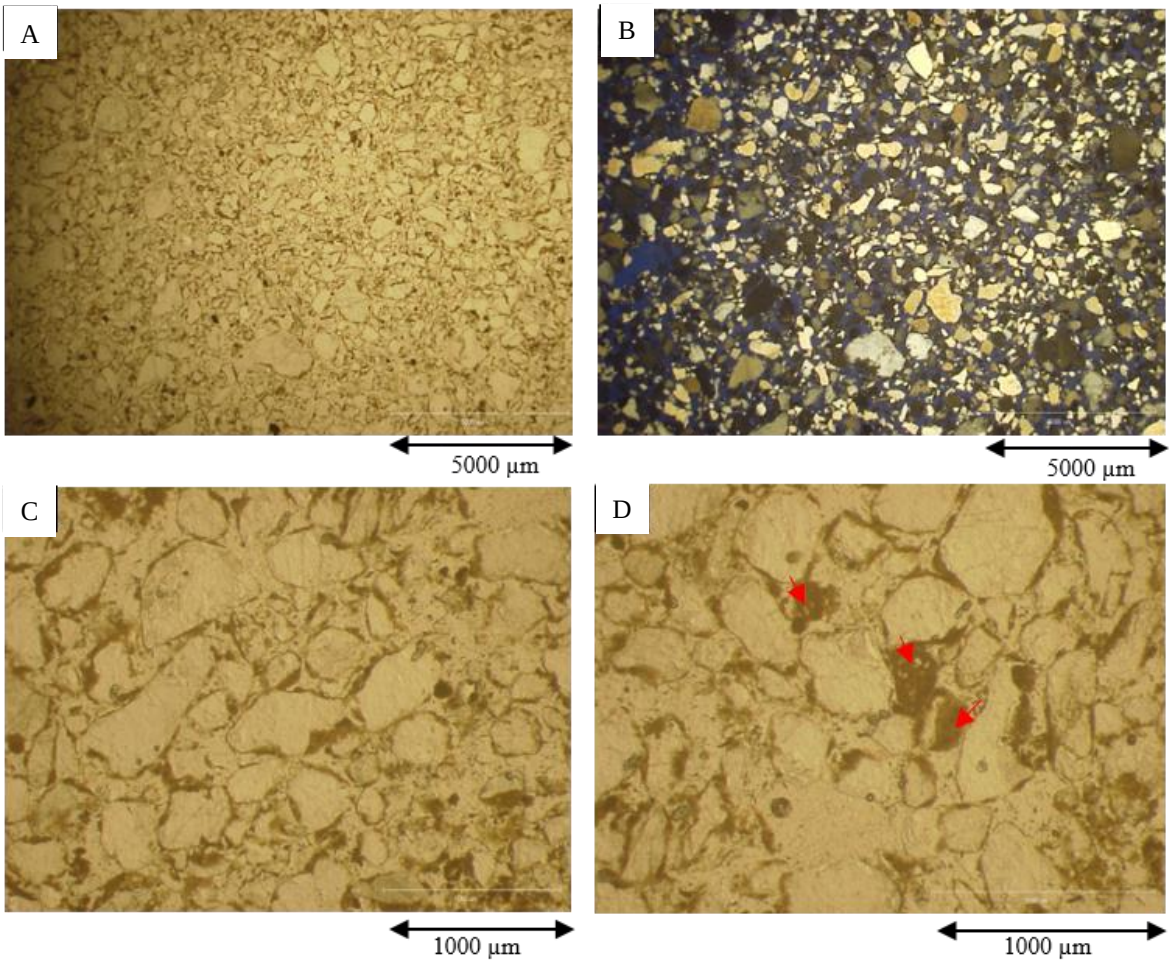


Figura 11.45. Fotomicrografias do horizonte C, perfil PA-06, mostrando: trama chitônica-enáulica com grãos de quartzo de tamanho areia grossa e média, subangulares, moderadamente selecionados (PPL e XPL/UV) (A) e (B); predomínio de trama chitônica em algumas porções da lâmina (PPL) (C); alguns excrementos (setas vermelhas) intergrãos (PPL) (D).

Perfil PA-07 - Latossolo Amarelo Distrófico húmico

Com atributos que sugerem um horizonte A antrópico, o perfil PA-07 destaca-se por apresentar atividade biológica intensa registrada até o horizonte Bw (145-157 cm), caracterizada por muitos preenchimentos soltos contínuos e descontínuos, com presença comum de excrementos de diferentes tamanhos, que podem ser atribuídos a diferentes agentes da macro- e da mesofauna (Figuras 11.46 a 11.49). Não foram identificados fragmentos de cerâmica, embora alguns nódulos de argila estejam presentes e poderiam ser remanescentes de cerâmica (Figura 11.48a). Similarmente ao descrito para o Latossolo Amarelo referente ao perfil PA-05, neste também há fabricas birrefringentes (salpicada granida, poroestriada e granoestriada), resultado do elevado conteúdo de argila, de sua mineralogia, contendo pequena quantidade de óxidos de Fe. Até 30 cm de profundidade, os fragmentos de carvão são médios e pequenos (Tabela 11.15; Figura 11.46).

Tabela 11.15. Descrição micromorfológica de horizontes selecionados do perfil PA-07 (Latossolo Amarelo Distrófico húmico). A barra entre dois horizontes diz respeito à amostra coletada e descrita na transição entre eles.

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)					
	A1 (0-7 cm)	**A2/A3 (20-31 cm)**	**A5 (52-62 cm)**	**A5/AB (70-87 cm)**	**BA (97-112 cm)**	**Bw (145-157 cm)**
Fundo matricial	Material grosso: 10% Material fino: 50% Porosidade: 40%	Material grosso: 10% Material fino: 50% Porosidade: 40%	Material grosso: 10% Material fino: 60% Porosidade: 30%	Material grosso: 10% Material fino: 50% Porosidade: 40%	Material grosso: 10% Material fino: 50% Porosidade: 40%	Material grosso: 10% Material fino: 50% Porosidade: 40%
Distribuição relativa G/F[(1)]	Porfírica-enáulica. g/f $_{2um}$: 1/5	Porfírica-enáulica. g/f $_{2um}$: 1/5	Porfírica-enáulica. g/f $_{2um}$: 1/6	Enáulica-porfírica. g/f $_{2um}$: 1/5	Enáulica-porfírica. g/f $_{2um}$: 1/5	Enáulica-porfírica. g/f $_{2um}$: 1/5
Material grosso	Grãos de quartzo de tamanho areia média e muito fina, angulares e subangulares, moderadamente selecionados. Nódulos de ferro.	Grãos de quartzo de tamanho areia média e muito fina, angulares e subangulares, moderadamente selecionados. Nódulos de ferro.	Grãos de quartzo de tamanho areia média e muito fina, angulares e subangulares, moderadamente selecionados. Nódulos de ferro.	Grãos de quartzo de tamanho areia média e muito fina, angulares e subangulares, moderadamente selecionados. Nódulos de ferro.	Grãos de quartzo de tamanho areia média e muito fina, angulares e subangulares, moderadamente selecionados. Nódulos de ferro e de argila.	Grãos de quartzo de tamanho areia média e muito fina, angulares e subangulares, moderadamente selecionados. Nódulos de ferro.
Material fino	Argila, matéria orgânica e óxidos de ferro.	Argila, matéria orgânica e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.
Poros	Câmaras, fissuras, cavidades e canais.	Câmaras, fissuras, cavidades e canais; empilhamento composto.	Câmaras, fissuras, cavidades, canais, empilhamento composto.	Câmaras, cavidades irregulares (policôncavas), canais e fissuras; empilhamento composto.	Câmaras, cavidades irregulares (policôncavas), canais e fissuras; empilhamento composto.	Empilhamento composto, câmaras, cavidades irregulares (policôncavas), canais e fissuras.

Continua...

Tabela 11.15. Continuação.

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)					
	A1 (0-7 cm)	**A2/A3 (20-31 cm)**	**A5 (52-62 cm)**	**A5/AB (70-87 cm)**	**BA (97-112 cm)**	**Bw (145-157 cm)**
Microestrutura	Blocos subangulares e granular, ambos com pedalidade bem desenvolvida.	Blocos subangulares e granular, ambos com pedalidade bem desenvolvida.	Blocos subangulares e granular, ambos com pedalidade bem desenvolvida.	Blocos subangulares de pedalidade bem desenvolvida, microgranular coalescida e microgranular com pedalidade bem desenvolvida.	Blocos subangulares de pedalidade bem desenvolvida, microgranular coalescida e microgranular com pedalidade bem desenvolvida.	Blocos subangulares de pedalidade bem e moderadamente desenvolvida, microgranular coalescida e microgranular com pedalidade bem desenvolvida.
Fábricas birrefringentes	Poroestriada, granoestriada, estriada ao acaso, salpicada granida.	Poroestriada, granoestriada, salpicada granida.	Salpicada granida, poroestriada e granoestriada.	Salpicada granida, poroestriada e granoestriada.	Salpicada granida, poroestriada e granoestriada.	Salpicada granida, poroestriada e granoestriada.
Feições pedológicas	Nódulos médios e pequenos de ferro. Preenchimentos soltos contínuos e descontínuos de canais e cavidades abundantes. Presença abundante de excrementos intactos. Muita atividade biológica.	Nódulos médios e pequenos de ferro. Preenchimentos soltos contínuos e descontínuos de canais e cavidades abundantes. Presença abundante de excrementos intactos. Muita atividade biológica.	Nódulos médios e pequenos de ferro. Preenchimentos soltos contínuos e descontínuos de canais e cavidades abundantes. Muita atividade biológica.	Nódulos médios e pequenos de ferro. Preenchimentos soltos contínuos e descontínuos de canais e cavidades abundantes. Muita atividade biológica.	Nódulos médios e pequenos de ferro. Preenchimentos soltos contínuos e descontínuos de canais e cavidades abundantes. Muita atividade biológica.	Nódulos médios e pequenos de ferro. Preenchimentos soltos contínuos e descontínuos de canais e cavidades abundantes. Muita atividade biológica.
Observações	Presença de carvões e raízes.	Presença de carvões milimétricos e raízes.				

(1)G/F: Razão entre a parte ocupada pelo material grosso (G) e pelo material fino (F).

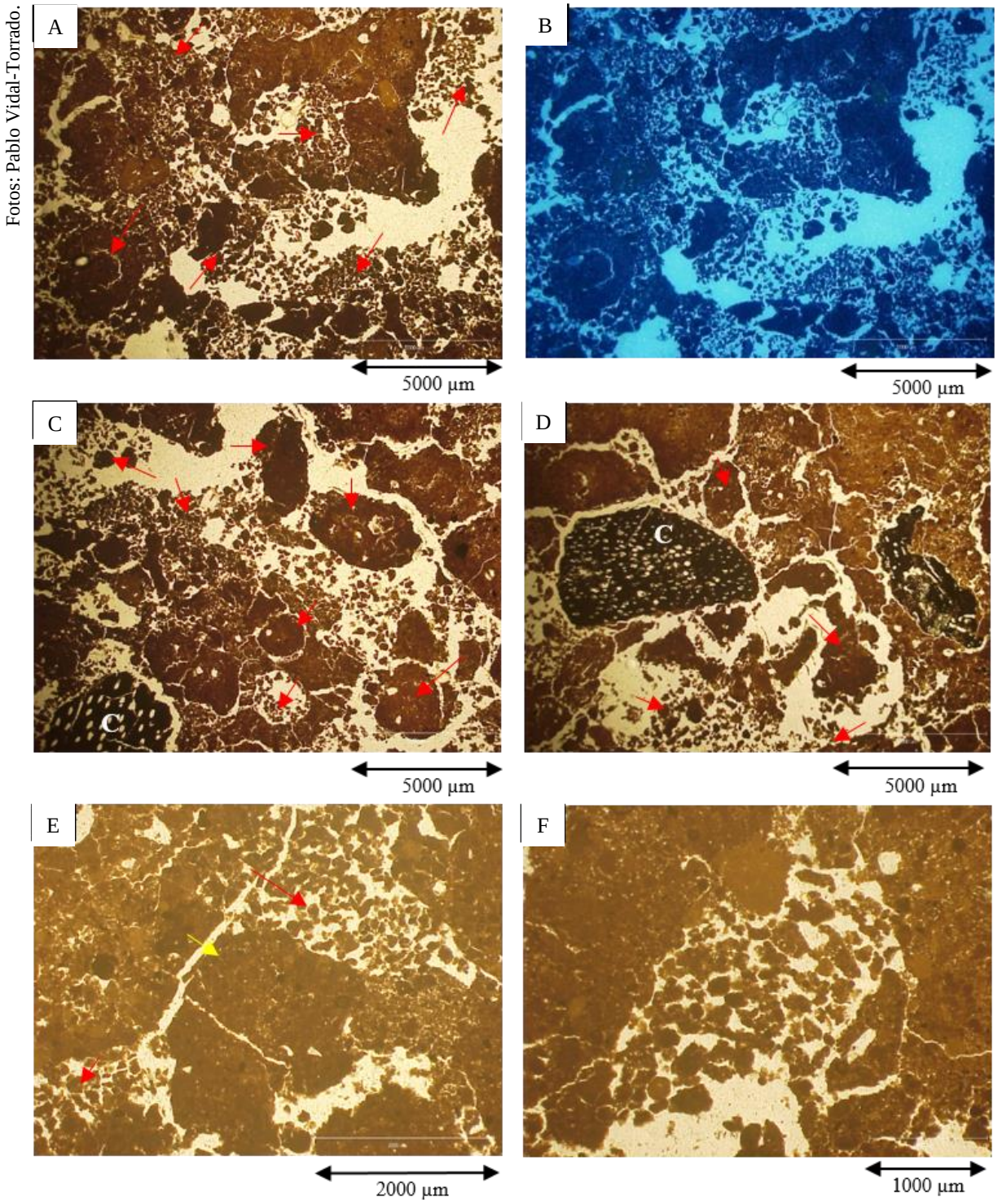
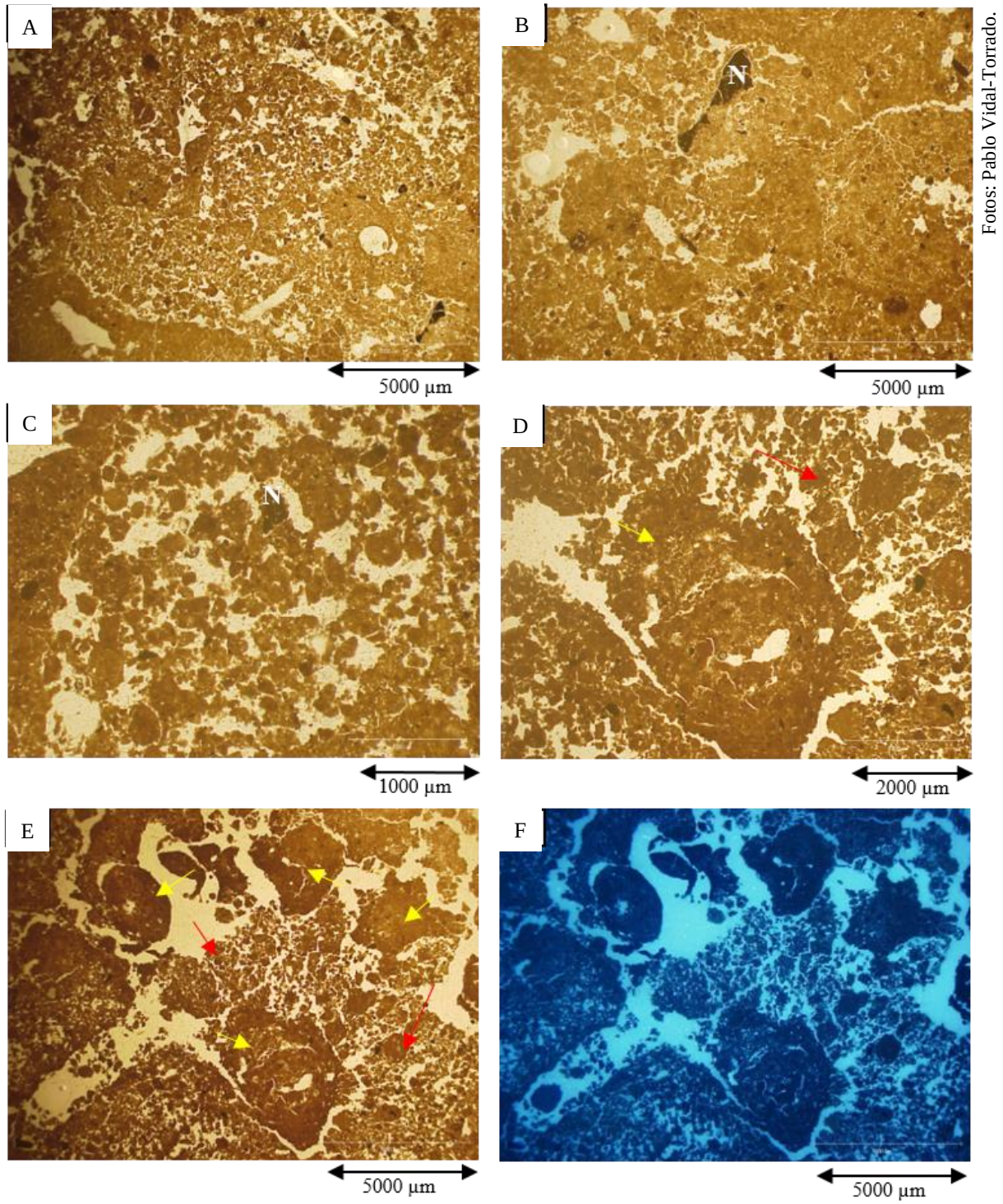


Figura 11.46. Fotomicrografias da transição entre os horizontes A2 e A3 (A2/A3), perfil PA-07, mostrando: trama porfírica-enáulica, intensa atividade biológica, preenchimento solto incompleto e excrementos de tamanhos variados (setas vermelhas) (PPL e UV) (A) e (B); fragmentos de carvão (C) e excrementos de tamanhos variados (setas vermelhas) (PPL) (C) e (D); excremento oval grande (seta amarela) com geração de excrementos menores (setas vermelhas) (PPL) (E); detalhe dos excrementos (PPL) (F).



Fotos: Pablo Vidal-Torrado.

Figura 11.47. Fotomicrografias do horizonte A5, perfil PA-07, mostrando: intensa atividade biológica; canais com preenchimento solto incompleto; nódulos de ferro (N) e agregados (PPL) (A) e (B); detalhe de microagregados e nódulo de ferro (N) como preenchimento solto descontínuo de canal (PPL) (C); predação de excrementos maiores (setas amarelas) que dão origem a excrementos menores (setas vermelhas) (PPL, PPL e UV) (D), (E) e (F).

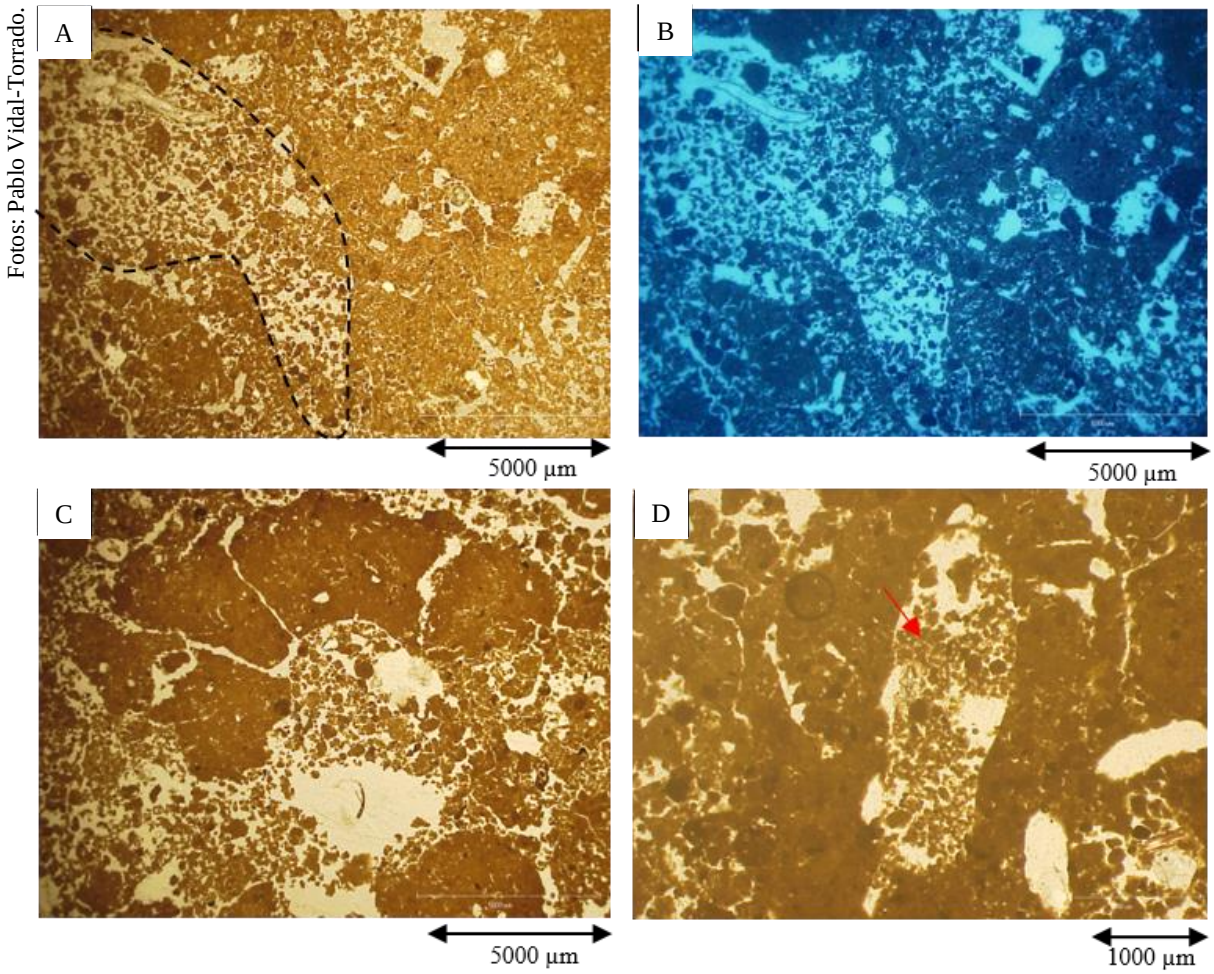


Figura 11.48. Fotomicrografias do horizonte BA, perfil PA-07, mostrando: matriz enáulica-porfírica; preenchimento solto descontínuo (tracejado preto) e intensa atividade biológica (PPL e UV) (A) e (B); preenchimento solto descontínuo por bioturbação (PPL) (C); canal com preenchimento solto descontínuo por mesofauna (seta vermelha) (PPL) (D).

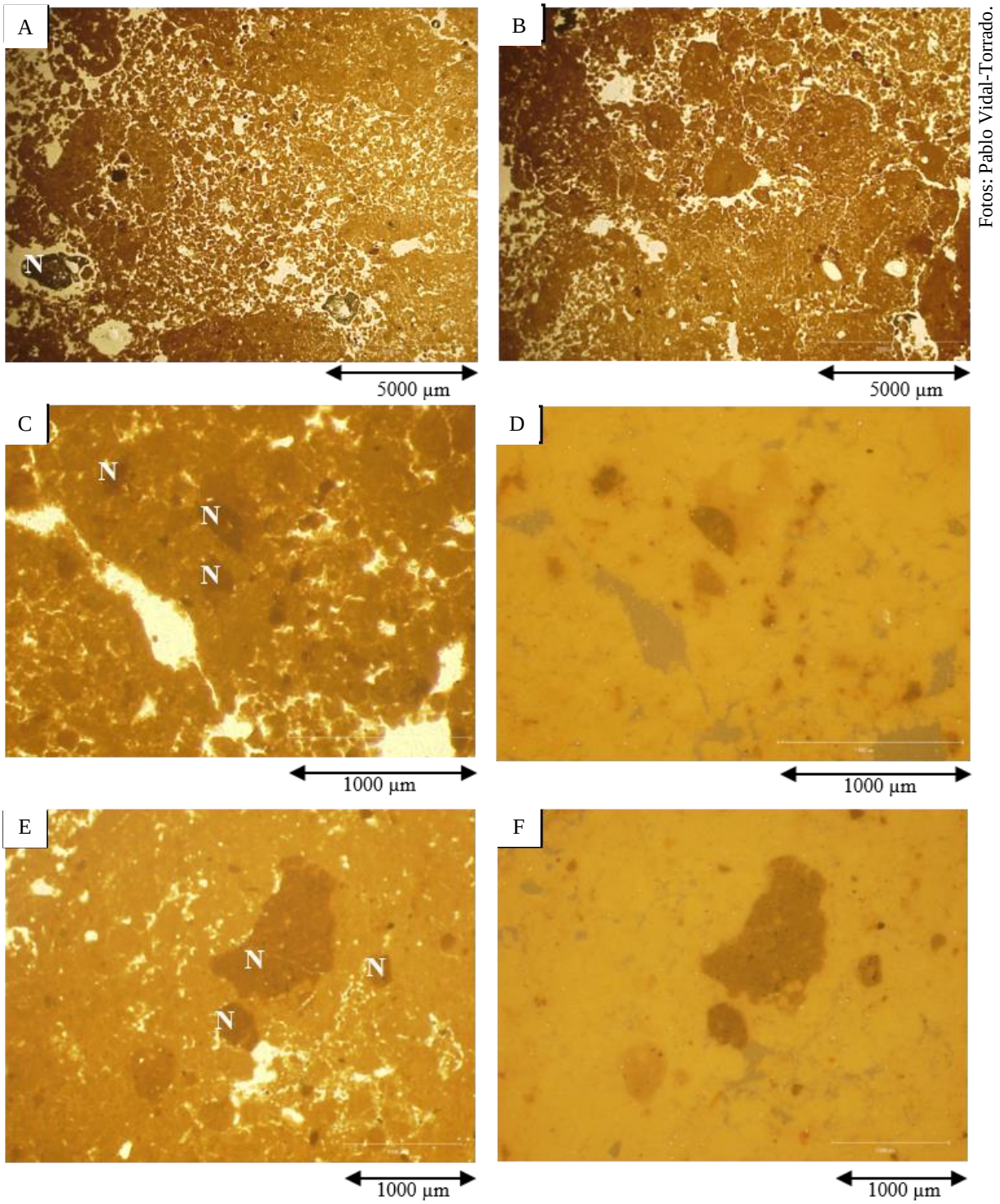


Figura 11.49. Fotomicrografias do horizonte Bw, perfil PA-07, mostrando: matriz enáulica-porfírica; intensa atividade biológica com preenchimentos soltos descontínuos (PPL) (A) e (B); detalhes de nódulos típicos ferruginosos (N) (PPL, luz incidente, PPL e luz incidente) (C), (D), (E) e (F).

Perfil PA-13 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico

No perfil PA-13 foram coletadas quatro amostras indeformadas de 0 cm até 120 cm de profundidade (Tabela 11.16). Não foi possível identificar claras descontinuidades entre os horizontes analisados, todos com distribuição relativa porfírica, predominância de areia muito fina e matriz siltosa (Figuras 11.50 a 11.53). A pedalidade é pouco desenvolvida nos três primeiros horizontes analisados (Apg/2CAg, 2CG2 e 3Cgn2), coletados até 82 cm de profundidade, e moderadamente desenvolvida no horizonte subsequente (3Cgn3), coletado e descrito entre 110 cm e 120 cm de profundidade. São abundantes as feições redoximórficas, com destaque para os hipo e quaserrevestimentos de Fe (Figuras 11.50 a 11.53), com presença de revestimentos de Mn no horizonte 3Cgn3 (Figura 11.52). Os nódulos de ferro são frequentes a abundantes, de tamanho pequeno, típicos e agregados em quase todo o perfil. As fábricas birrefringentes destacam-se até o horizonte 3Cgn2 (amostra coletada na profundidade de 70-82 cm) e passam a ser indiferenciadas no 3Cgn3 (amostra coletada na profundidade de 110-123 cm), o que não é esperado para um solo com argila de atividade alta. Como nos demais Gleissolos (AM-05, AM-11, AM-12, AM-16) que apresentam matriz porfírica e siltosa, descritos nesta RCC, a porosidade cavitária é importante, com coalescência desses poros gerando cavidades irregulares e canais com paredes policôncavas (Figuras 11.50, 11.51 e 11.53), resultado de mecanismos de dissolução (ferrólise). Não foram identificadas outras feições que indiquem atividade expansiva do solo: as pequenas fissuras distribuídas ao acaso podem ter resultado do processo de impregnação da amostra, ocasião em que a troca de água por acetona pode não ter sido perfeita. A atividade biológica da fauna do solo é intensa, em especial até o horizonte 3Cgn2, onde ocorrem preenchimentos densos completos arqueados, característicos de anelídeos (Figuras 11.51 e 11.53).

Tabela 11.16. Descrição micromorfológica de horizontes selecionados do perfil PA-13 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico). A barra entre dois horizontes diz respeito à amostra coletada e descrita na transição entre eles.

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)			
	Apg/2CAg (0-13 cm)	**2Cg2 (44-54 cm)**	**3Cgn2(70-82 cm)**	**3Cgn3(110-120 cm)**
Fundo matricial	Material grosso: 10% Material fino: 70% Porosidade: 20%	Material grosso: 10% Material fino: 80% Porosidade: 10%	Material grosso: 10% Material fino: 70% Porosidade: 20%	Material grosso: 20% Material fino: 60% Porosidade: 20%
Distribuição relativa G/F(1)	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/7	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/8	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/7	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/3
Material grosso	Grãos de quartzo de tamanho areia muito fina, subangulares, bem selecionados. Nódulos de ferro pequenos.	Grãos de quartzo de tamanho areia muito fina, subangulares, bem selecionados. Nódulos de ferro pequenos e médios.	Grãos de quartzo de tamanho areia muito fina, subangulares, bem selecionados. Nódulos de ferro pequenos e médios.	Dominam nódulos de ferro. Grãos de quartzo de tamanho areia muito fina, subangulares, bem selecionados.
Material fino	Argila, matéria orgânica e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.
Poros	Predominam fissuras pequenas e câmaras grandes. Cavidades e canais grandes e pequenos.	Predominam fissuras pequenas, canais e câmaras pequenas e médias.	Predominam câmaras, fissuras pequenas, canais e cavidades irregulares.	Predominam câmaras médias e fissuras pequenas. Presença de canais e cavidades.
Microestrutura	Blocos subangulares médios. Pedalidade moderadamente a mal desenvolvida.	Blocos subangulares pequenos e médios. Pedalidade moderadamente a mal desenvolvida.	Blocos subangulares pequenos e médios. Pedalidade moderadamente a mal desenvolvida.	Blocos subangulares pequenos e médios. Pedalidade moderadamente a bem desenvolvida.

Continua...

Tabela 11.16. Continuação.

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)			
	Apg/2CAg (0-13 cm)	**2Cg2 (44-54 cm)**	**3Cgn2 (70-82 cm)**	**3Cgn3 (110-120 cm)**
Fábricas birrefringentes	Salpicada granida e mosaico. Poroestriada.	Salpicada granida e mosaico. Poroestriada.	Salpicada granida e mosaico. Poroestriada.	Indiferenciada.
Feições pedológicas	Presença de hiporrevestimentos e quaserrevestimentos bem desenvolvidos de ferro. Nódulos de ferro típicos pequenos. Preenchimentos de argila e ferro densos completos e incompletos. Preenchimentos soltos contínuos de excrementos.	Nódulos de ferro típicos e agregados pequenos e médios abundantes. Presença de hiporrevestimentos e quaserrevestimentos bem desenvolvidos de ferro. Preenchimentos densos completos e incompletos, e soltos contínuos e descontínuos abundantes, alguns arqueados, por atividade biológica.	Nódulos de ferro típicos e agregados pequenos e médios abundantes. Os nódulos agregados apresentam impregnação moderada a fraca. Presença de zonas mosqueadas de impregnação fraca, segregando ferro. Presença de hiporrevestimentos e quaserrevestimentos bem desenvolvidos de ferro e eventualmente manganês.	Presença de nódulos de ferro do tipo agregado com impregnação moderada a fraca e de nódulos de ferro típicos pequenos e médios, alguns com fraca e moderada impregnação. Presença de hiporrevestimentos e quaserrevestimentos bem desenvolvidos de ferro e eventualmente de manganês. Presença de hiporrevestimentos de depleção de ferro.
Observações	Presença de raízes.			

(1)G/F: Razão entre a parte ocupada pelo material grosso (G) e pelo material fino (F).

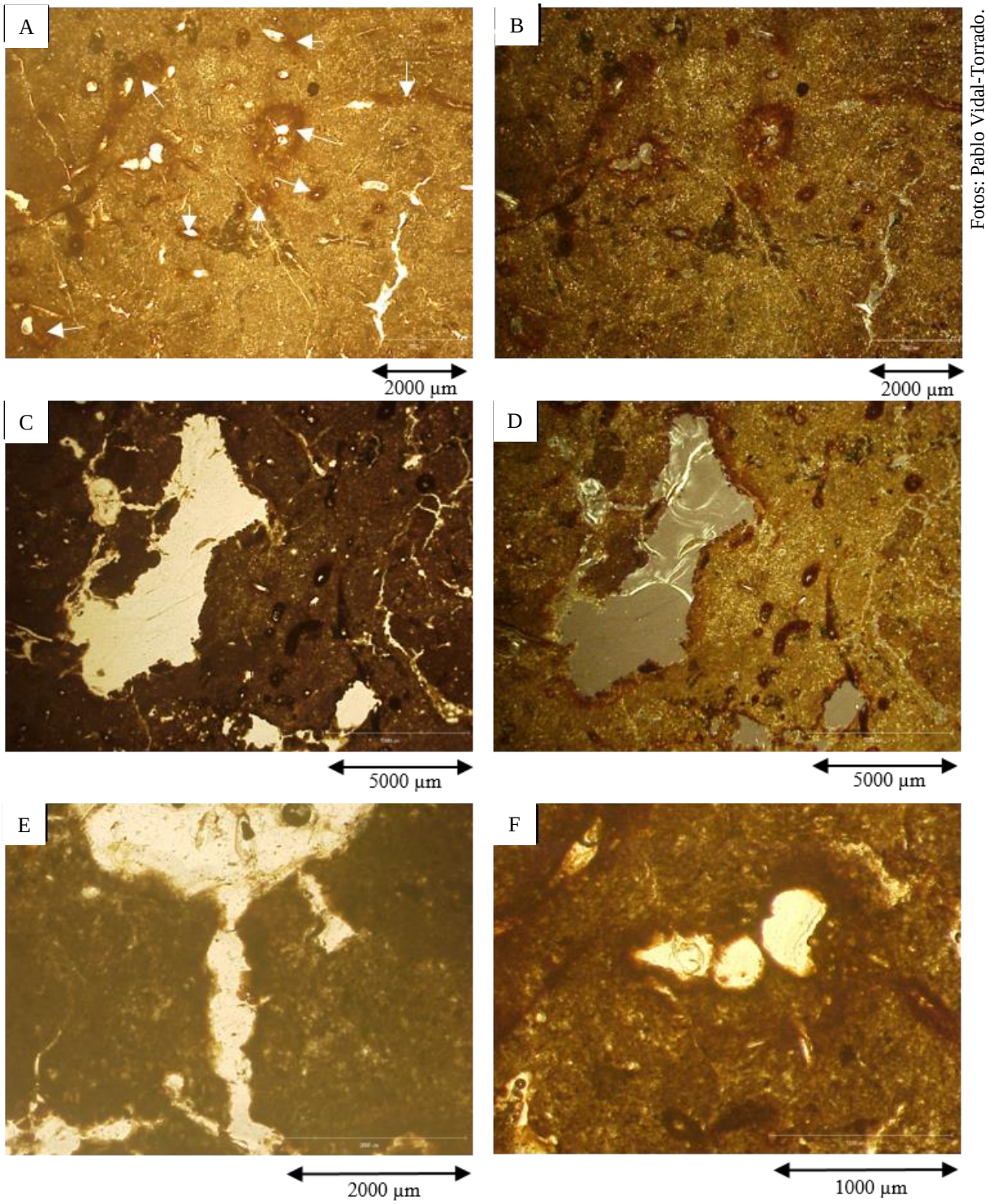


Figura 11.50. Fotomicrografias da transição entre os horizontes Apg e 2CAg (Apg/2CAg), perfil PA-13, mostrando: matriz porfírica siltosa, hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de ferro (setas brancas) (PPL e XPL) (A) e (B); cavidade formada por depleção química (ferrólise) (PPL e XPL) (C) e (D); canal com paredes policôncavas formado pela coalescência de cavidades com hiporrevestimentos de Fe (PPL) (E); quase coalescência de cavidades com hiporrevestimentos e revestimentos de Fe (PPL) (F).

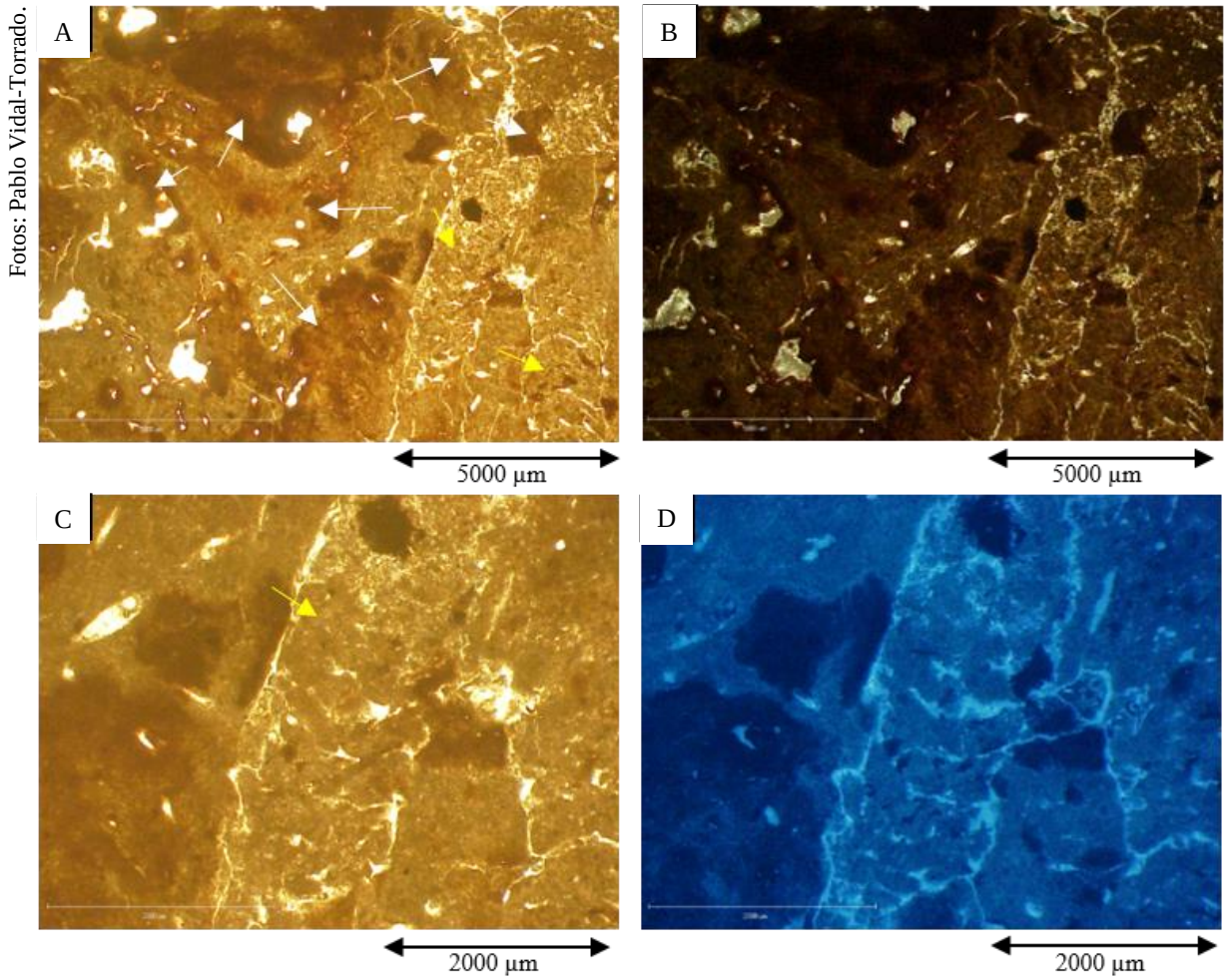


Figura 11.51. Fotomicrografias do horizonte 2Cg2, perfil PA-13, mostrando: trama porfírica com feições redoximórficas (setas brancas) em matriz gleizada; preenchimento denso completo arqueado biológico (setas amarelas) (PPL e XPL) (A) e (B); detalhe de preenchimento denso completo arqueado realizado por minhoca (seta amarela) (PPL e UV) (C) e (D).

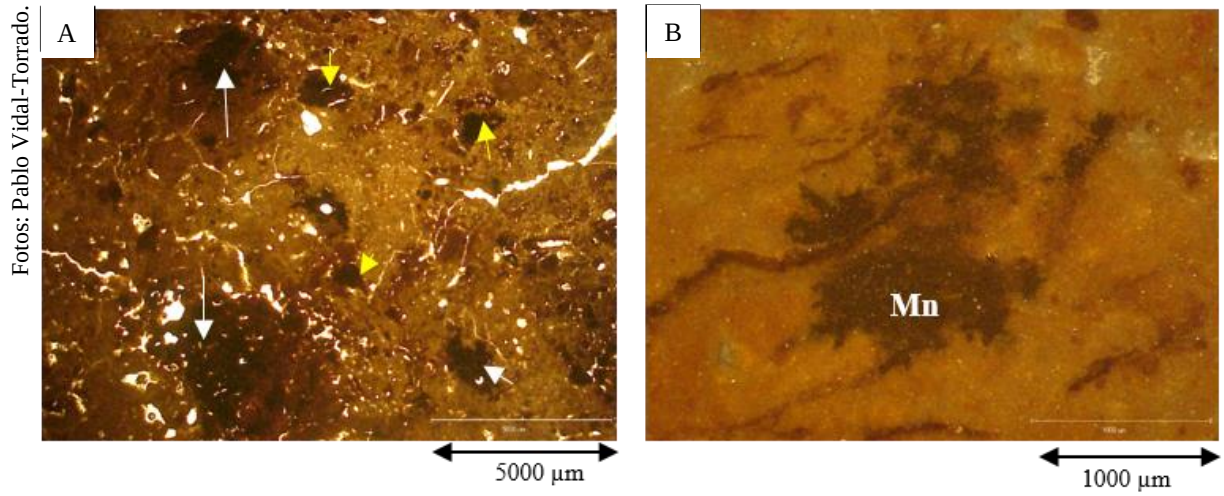


Figura 11.52. Fotomicrografias do horizonte 3Cgn3, perfil PA-13, mostrando: trama porfírica com nódulos ferruginosos típicos (setas amarelas) e de agregação (setas brancas); hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de ferro e manganês (PPL) (A); detalhe de impregnação de manganês (Mn) (luz incidente), com crescimento dendrítico (B).

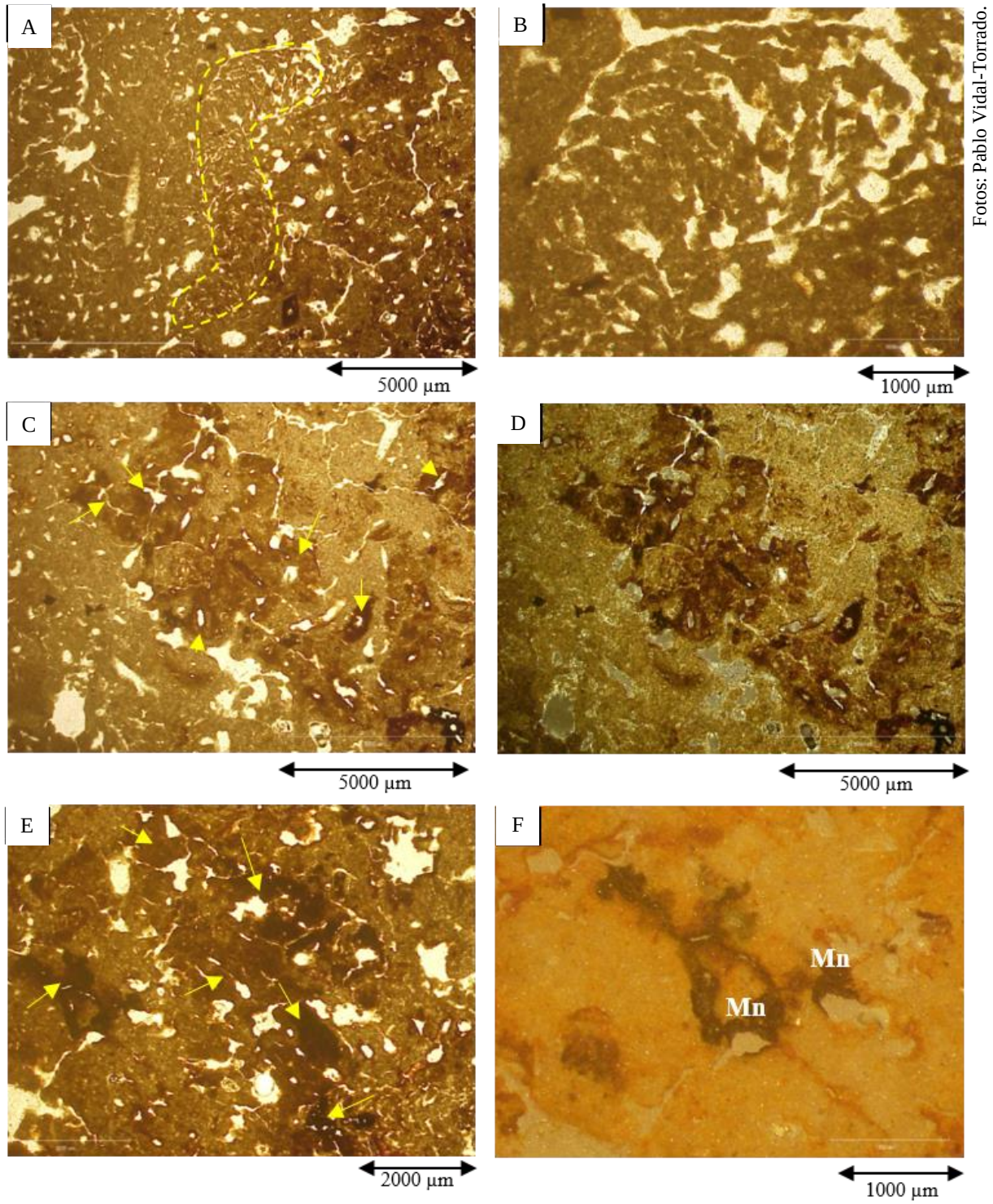


Figura 11.53. Fotomicrografias do horizonte 3Cgn2, perfil PA-13, mostrando: trama porfírica com preenchimento denso contínuo arqueado de minhoca (tracejado amarelo) (PPL) (A); detalhe de preenchimento denso contínuo arqueado de minhoca (PPL) (B); cavidades por dissolução química; feições redoximórficas (setas amarelas), tais como mosqueados e hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de ferro e manganês (PPL e XPL) (C) e (D); hiporrevestimentos e quaserrevestimentos bem desenvolvidos de ferro e manganês (setas amarelas) (PPL) (E); detalhe de impregnação com manganês (Mn) (luz incidente) (F).

Perfil PA-14 - Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico

O perfil PA-14 foi amostrado e descrito em quatro horizontes de 4 cm a 138 cm de profundidade (Tabela 11.17). Rico em feições redoximórficas desde a parte superior do perfil em sua matriz porfírica argilossiltosa, é hidromórfico em todos os horizontes (Figuras 11.54 a 11.57). Exibe poros planares e fissuras planares, todos muito orientados, os quais, juntamente com as microestruturas em cunha, são típicos de uma morfologia de solos expansivos (Figura 11.54). Preenchimentos densos completos mais finos indicam tanto a atividade biológica (quando arqueados; minhocas) (Figura 11.55) como remobilização por gravidade (argilopedoturbação) (Figura 11.57). Há presença de feições pedológicas cristalinas, provavelmente de carbonato de cálcio (esparita?) a partir do horizonte 2Cvg2, sendo mais abundantes nos horizontes (2Cvg3 e 2Cvgn) mais profundos do perfil (Tabela 11.17; Figura 11.57).

Tabela 11.17. Descrição micromorfológica de horizontes selecionados do perfil PA-14 (Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico).

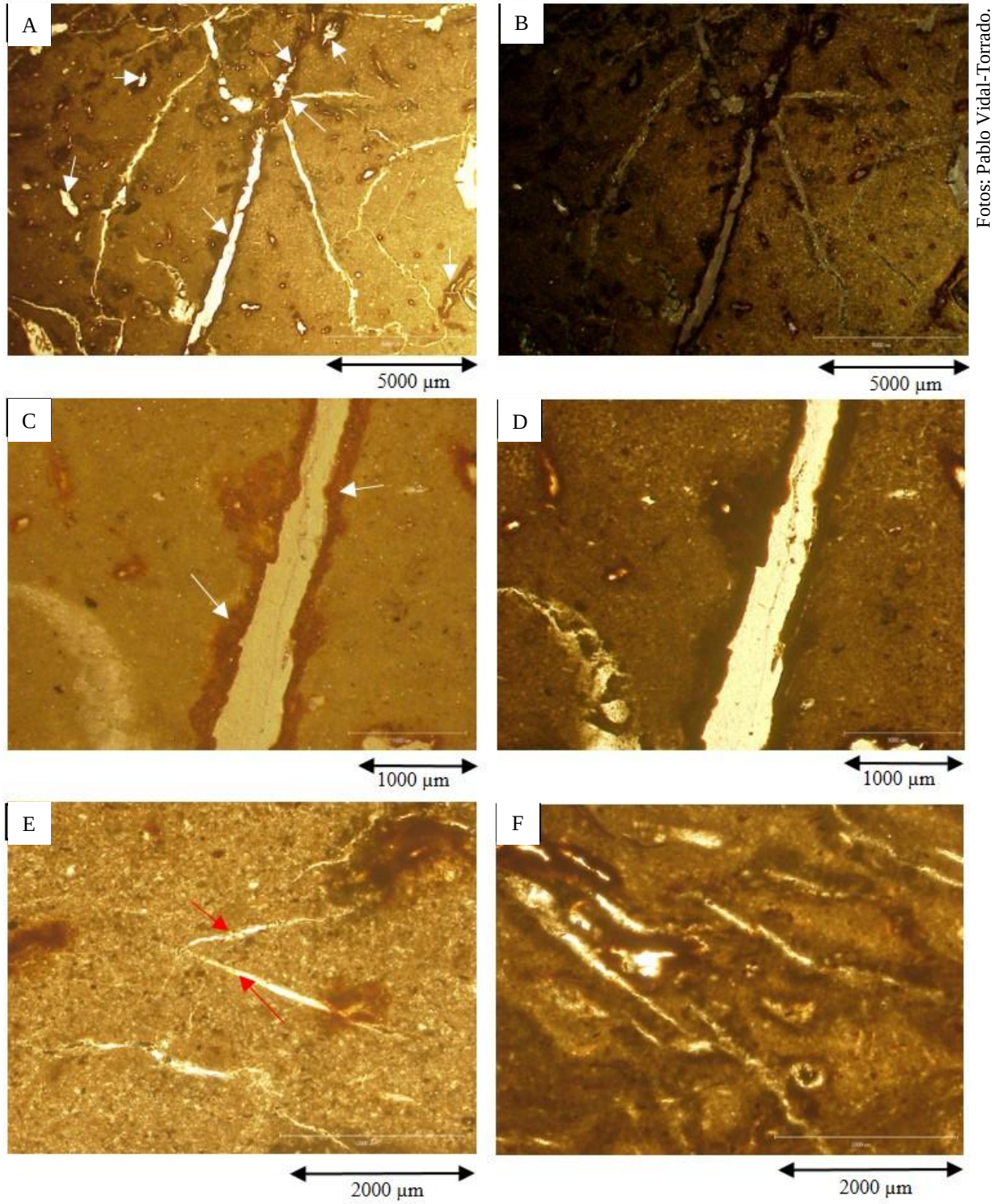
Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)			
	2CAvg (4-14 cm)	**2Cvg2 (51-63 cm)**	**2Cvg3 (90-102 cm)**	**2Cvgn (130-138 cm)**
Fundo matricial	Material grosso: 10% Material fino: 75% Porosidade: 15%	Material grosso: 20% Material fino: 70% Porosidade: 10%	Material grosso: 20% Material fino: 70% Porosidade: 10%	Material grosso: 20% Material fino: 60% Porosidade: 20%
Distribuição relativa G/F(1)	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/7,5	Porfírica. g/f $_{2um}$: 2/7	Porfírica. g/f $_{2um}$: 2/7	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/3
Material grosso	Grãos de quartzo de tamanho areia muito fina e silte, subangulares, bem selecionados. Nódulos de ferro.	Grãos de quartzo de tamanho areia fina, subangulares, bem selecionados. Nódulos de ferro pequenos e médios.	Grãos de quartzo de tamanho areia fina, subangulares, bem selecionados. Nódulos de ferro pequenos e médios.	Dominam nódulos de ferro. Grãos de quartzo de tamanho areia muito fina, subangulares, bem selecionados.
Material fino	Argila, matéria orgânica e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.	Argila e óxidos de ferro.
Poros	Predominam fissuras e câmaras. Presença de cavidades e canais médios e pequenos.	Predominam fissuras e câmaras. Presença de cavidades e canais médios e pequenos.	Predominam fissuras e câmaras. Presença de cavidades e canais médios e pequenos.	Predominam fissuras e câmaras. Presença de cavidades e canais médios e pequenos.
Microestrutura	Blocos subangulares médios e grandes. Pedalidade moderadamente a bem desenvolvida.	Blocos subangulares pequenos e médios. Pedalidade moderadamente desenvolvida.	Blocos subangulares pequenos e médios. Pedalidade moderadamente a bem desenvolvida.	Blocos subangulares médios e grandes. Pedalidade moderadamente a bem desenvolvida.
Fábricas birrefringentes	Salpicada granida e mosaica. Poroestriada.	Indiferenciada.	Salpicada granida e mosaica. Poroestriada.	Indiferenciada.

Continua...

Tabela 11.17. Continuação.

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)			
	2CAvg (4-14 cm)	**2Cvg2 (51-63 cm)**	**2Cvg3 (90-102 cm)**	**2Cvgn (130-138 cm)**
Feições pedológicas	Presença de hiporrevestimentos e quaserrevestimentos bem desenvolvidos de ferro. Nódulos de ferro típicos pequenos. Hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de matéria orgânica?	Presença de hiporrevestimentos e quaserrevestimentos bem desenvolvidos de ferro. Presença de nódulos de ferro típicos e agregados pequenos e médios abundantes com impregnação moderada e forte. Zonas de depleção de ferro. Poucas feições pedológicas cristalinas de carbonato.	Nódulos de ferro típicos e agregados pequenos e médios abundantes. Os nódulos agregados apresentam impregnação moderada. Presença de zonas mosqueadas de impregnação fraca, segregando ferro. Presença de hiporrevestimentos e quaserrevestimentos bem desenvolvidos de ferro. Preenchimentos densos completos de argila em fissuras e microfissuras. Presença de feições pedológicas cristalinas de carbonato (esparita?).	Presença de nódulos de ferro do tipo agregado com impregnação moderada e de nódulos de ferro típicos, pequenos e médios, alguns com fraca e moderada impregnação. Alguns nódulos sofrem segregação (perda) de ferro. Presença de hiporrevestimentos e quaserrevestimentos bem desenvolvidos de ferro. Presença de grandes preenchimentos densos completos de material mais argiloso acinzentado, bastante fissurado com presença de segregação de ferro em bandas, algumas com orientação bandeada e paralela, outras ao acaso; formação de nódulos típicos e agregados com impregnação moderada e presença de grãos de material grosso (quartzo) arredondados bem selecionados. Presença de feições pedológicas cristalinas de carbonato (esparita?).
Observações	Presença de raízes, algumas ferruginizadas.			

(1)G/F: Razão entre a parte ocupada pelo material grosso (G) e pelo material fino (F).



Fotos: Pablo Vidal-Torrado.

Figura 11.54. Fotomicrografias do horizonte 2CAvg, perfil PA-14, mostrando: trama porfírica, poros planares com distribuição radial e hiporrevestimento de ferro (setas brancas) (PPL e XPL) (A) e (B); detalhe de hiporrevestimento de ferro em poros planares (luz incidente e PPL) (C) e (D); estrutura em cunha milimétrica (setas vermelhas) (PPL) (E); cavidade fissural orientada com hiporrevestimento e quaserrevestimento de ferro (PPL) (F).

Fotos: Pablo Vidal-Torrado.

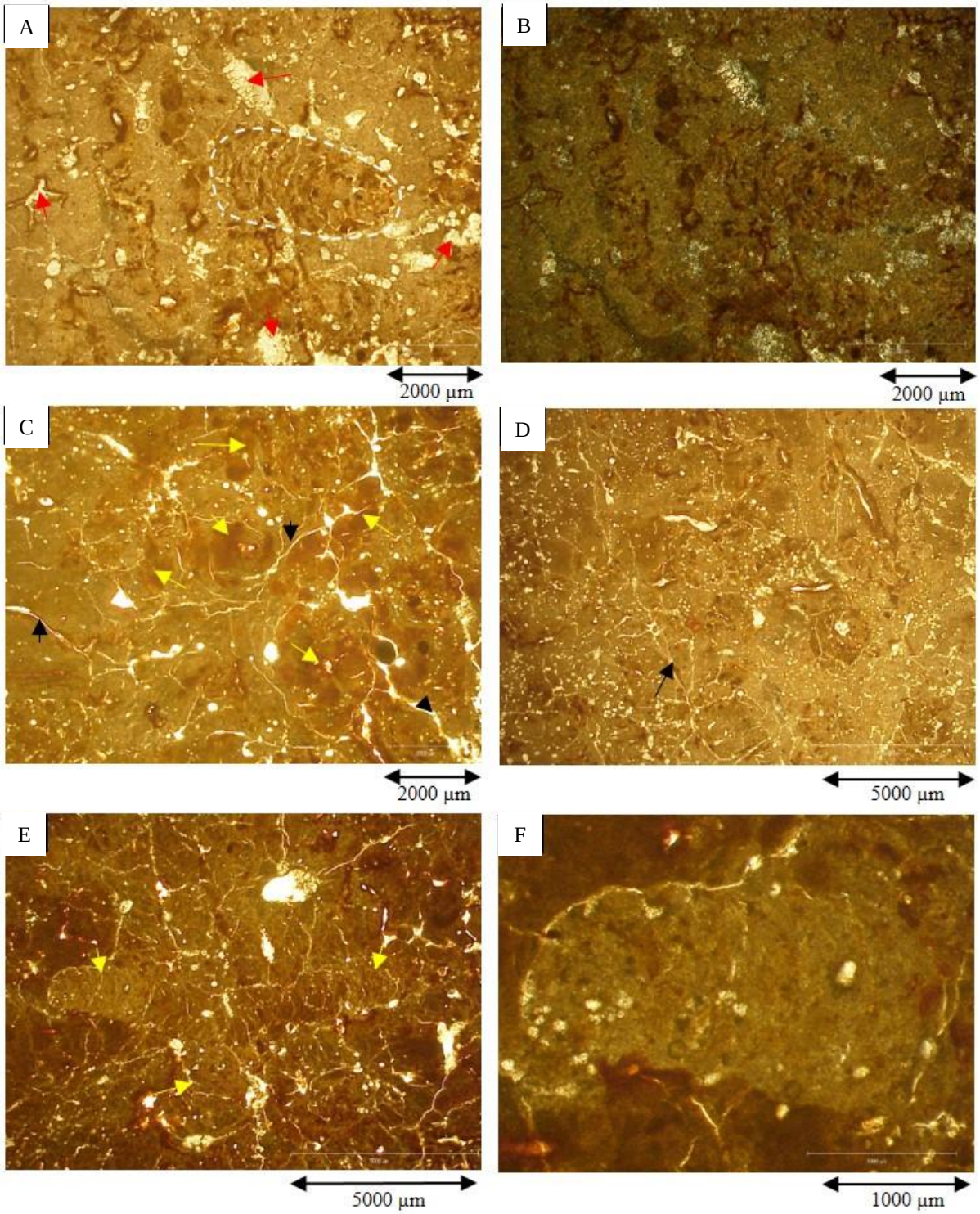


Figura 11.55. Fotomicrografias do horizonte 2Cvg2, perfil PA-14, mostrando: trama porfírica; preenchimento denso contínuo arqueado de minhoca (tracejado branco); feições redoximórficas caracterizadas por hiporrevestimentos e quaserrevestimentos bem desenvolvidos de ferro (setas amarelas); fissuras abundantes (setas pretas) e presença de feições pedológicas cristalinas de carbonatos (setas vermelhas) (PPL, XPL, PPL e PPL) (A), (B), (C) e (D); preenchimento denso contínuo arqueado de minhoca (setas amarelas) (PPL) (E); detalhe de preenchimento de minhoca (PPL) (F).

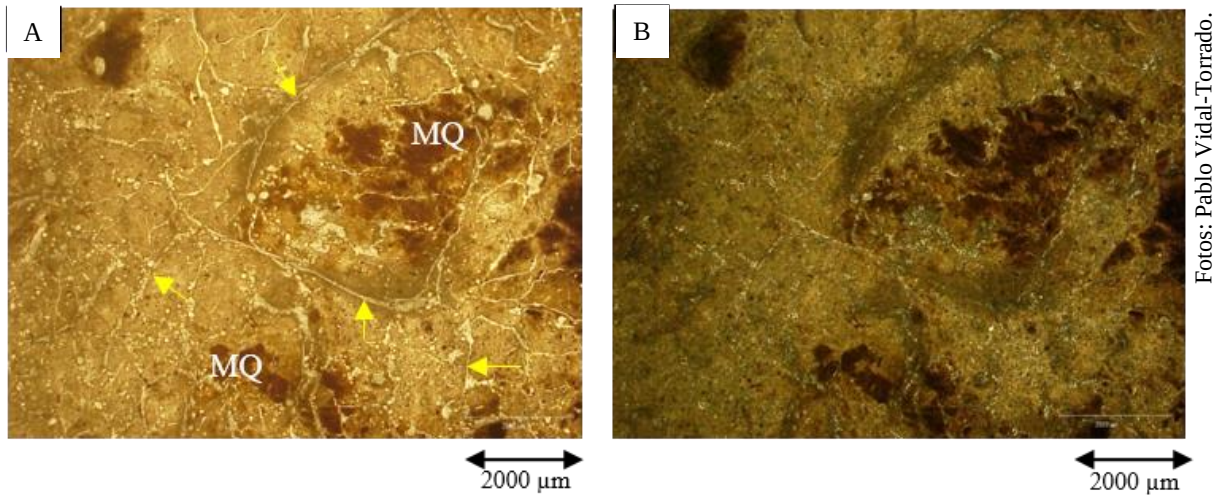


Figura 11.56. Fotomicrografias do horizonte 2Cvg3, perfil PA-14, mostrando: trama porfírica, mosqueados (MQ) e preenchimentos densos completos de argila em fissuras e microfissuras planares (setas amarelas) (PPL e XPL) (A) e (B).

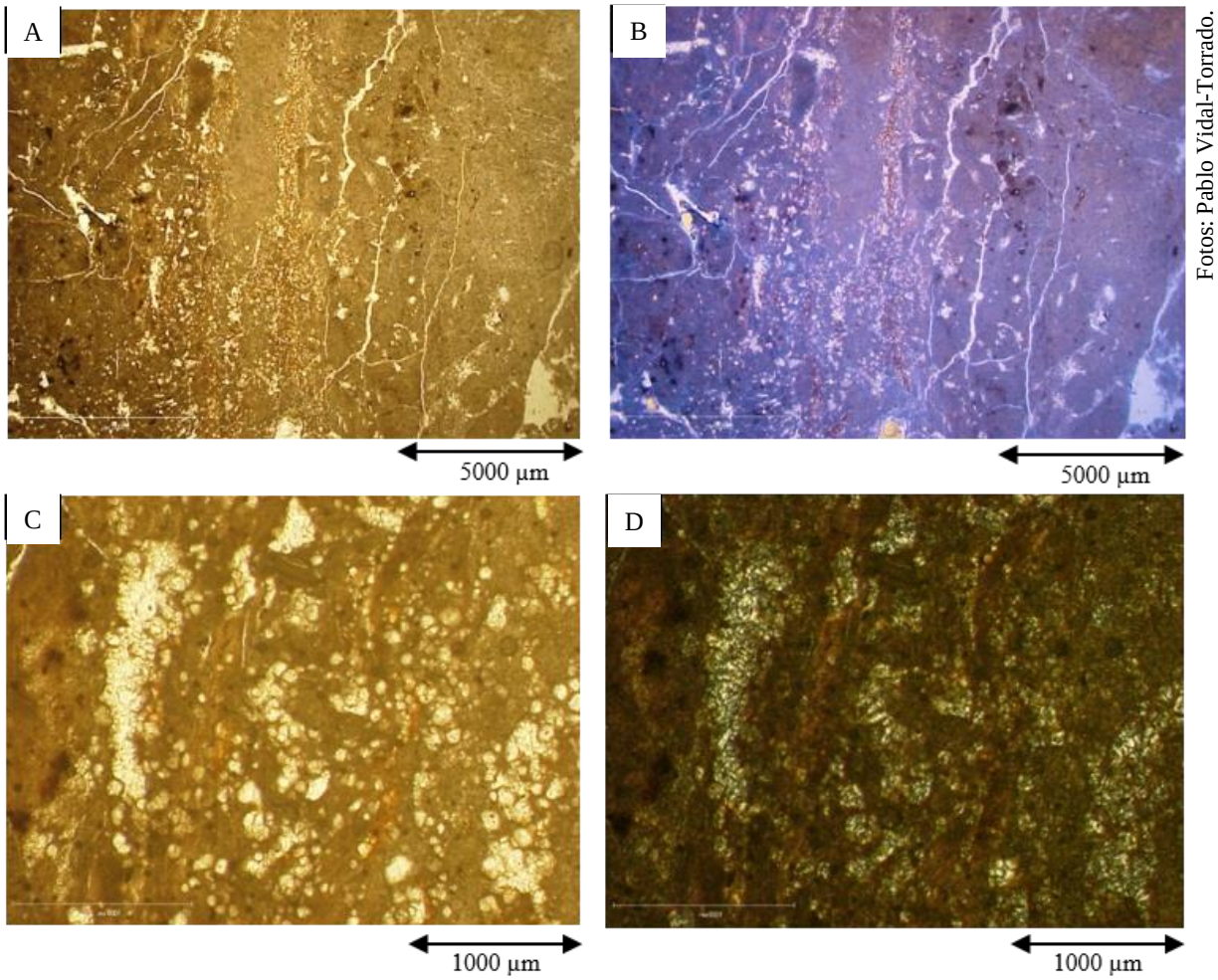


Figura 11.57. Fotomicrografias do horizonte 2Cvgn, perfil PA-14, mostrando: trama porfírica; grandes preenchimentos densos completos de material mais argiloso acinzentado, bastante fissurado, com ocorrência de feições pedológicas cristalinas (PPL e XPL/UV) (A) e (B); detalhe das feições pedológicas cristalinas de carbonato (esparita?) (PPL e XPL) (C) e (D).

Perfil PA-17 - Organossolo Háplico Hêmico típico

Do perfil PA-17, devido à dificuldade de coleta, foram amostrados quatro horizontes próximos da superfície, sendo três deles na camada de 0 cm a 21 cm e outro de 29 cm a 38 cm (Tabela 11.18). Os horizontes Hd1, Hd2 e Hd3 mostram distribuição relativa porfírica, feições pedológicas (revestimentos, preenchimentos), microestrutura (blocos, granular) e pedalidade mais próprias de horizontes minerais, embora com elevado conteúdo de C, de solos mais bem drenados já com uma pedogênese mais evoluída (Figuras 11.58 a 11.60). De fato, o histórico da área (quilombo) inclui o uso da terra por mais de 100 anos com alguma drenagem do local e remoção da vegetação nativa o que, de acordo com o que foi apresentado por Peter Schad durante a RCC (vide Capítulo 26), deve ter provocado a transformação do horizonte hístico original em um horizonte com decréscimo importante no conteúdo de C e o surgimento de pedalidade e feições pedológicas bem desenvolvidas, conforme descrito para *mulmic material* no IUSS Working Group WRB (2022), situação muito conhecida em áreas de Organossolos drenados artificialmente para fins agrícolas em outras partes do mundo (Driessen et al., 2001; Lachacz et al., 2023).

Já o horizonte 2Ho1 é composto de material orgânico fibroso pouco decomposto com níveis diferenciados de pedogeneização e decomposição (Figura 11.61). A atividade biológica neste perfil é muito intensa; o elevado conteúdo de matéria orgânica é fonte para essa atividade, sendo possível identificar preenchimentos soltos descontínuos e contínuos de excrementos intactos e antigos em todos os horizontes estudados. Nas fotomicrografias é possível ver o resultado da decomposição de vegetais por meio da presença de excrementos da macro e da mesofauna do solo (Tabela 11.18; Figuras 11.58 a 11.61).

Tabela 11.18. Descrição micromorfológica de horizontes selecionados do perfil PA-17 (Organossolo Háplico Hêmico típico). A barra entre dois horizontes diz respeito à amostra coletada e descrita na transição entre eles.

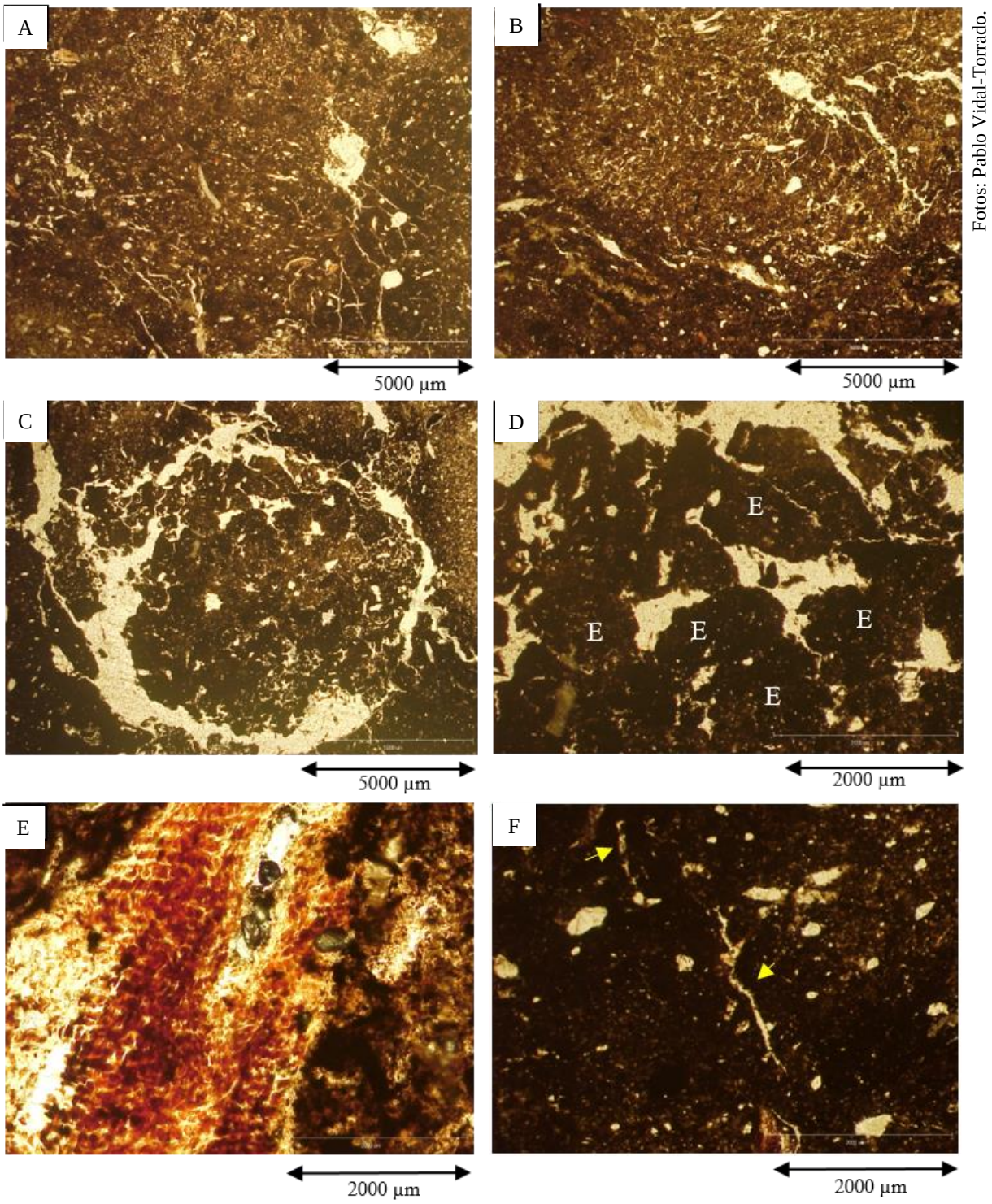
Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)			
	Hd1/Hd2 (0-11 cm)	**Hd2 (4-11 cm)**	**Hd3 (11-21 cm)**	**2Ho1 (29-38 cm)**
Fundo matricial	Material grosso: 10% Material fino: 70% Porosidade: 20%	Material grosso: 10% Material fino: 70% Porosidade: 20%	Material grosso: 10% Material fino: 70% Porosidade: 20%	Material orgânico fibroso: 50% Porosidade: 50%
Distribuição relativa G/F[(1)]	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/7	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/7	Porfírica. g/f $_{2um}$: 1/7	-
Material grosso	Grãos de quartzo de tamanho areia média, muito fina e silte, subangulares, moderadamente selecionados. Nódulos de ferro.	Grãos de quartzo de tamanho areia média, muito fina e silte, subangulares, moderadamente selecionados.	Grãos de quartzo de tamanho areia média, muito fina e silte, subangulares, moderadamente selecionados.	-
Material fino	Matéria orgânica e argila.	Matéria orgânica e argila.	Matéria orgânica e argila.	Material orgânico fibroso pouco decomposto com níveis diferenciados de pedogeneização e decomposição. Aparecem restos vegetais mais preservados.
Poros	Predominam fissuras e câmaras. Presença de cavidades e canais médios e pequenos.	Predominam fissuras e câmaras. Presença de cavidades irregulares e arredondadas e canais médios e pequenos.	Predominam fissuras e câmaras. Presença de cavidades irregulares e arredondadas e canais médios e pequenos.	Cavidades, canais, câmaras e fissuras devido ao arranjo do material orgânico fibroso.
Microestrutura	Blocos subangulares médios e grandes. Pedalidade moderadamente a mal desenvolvida.	Blocos subangulares pequenos e médios. Pedalidade moderadamente desenvolvida.	Blocos subangulares pequenos e médios. Pedalidade moderadamente a bem desenvolvida.	Fibrosa dominante e granular.

Continua...

Tabela 11.18. Continuação.

Descrição	Horizontes (profundidades de coleta)			
	Hd1/Hd2 (0-11 cm)	**Hd2 (4-11 cm)**	**Hd3 (11-21 cm)**	**2Ho1 (29-38 cm)**
Fábricas birrefringentes	Indiferenciada.	Indiferenciada.	Indiferenciada.	Indiferenciada.
Feições pedológicas	Preenchimentos soltos descontínuos e contínuos, alguns de excrementos intactos e antigos. Preenchimentos densos completos de matéria orgânica e argila em cavidades e canais. Presença de hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de matéria orgânica. Nódulos de ferro típicos pequenos.	Preenchimentos soltos descontínuos e contínuos, alguns de excrementos intactos e antigos. Preenchimentos densos completos de matéria orgânica e argila em cavidades e canais. Presença de nódulos de ferro típicos pequenos.	Preenchimentos soltos descontínuos e contínuos, alguns de excrementos intactos e antigos. Preenchimentos densos completos de matéria orgânica e argila em cavidades e canais. Presença de materiais orgânicos fibrosos pouco decompostos na matriz e poros ocupando entorno de 20% da lâmina.	Preenchimentos soltos descontínuos e contínuos de excrementos intactos e antigos.
Observações	Presença moderada de raízes em diferentes graus de decomposição. Presença de carvões.	Presença moderada de raízes em diferentes graus de decomposição.	Presença moderada de raízes em diferentes graus de decomposição. Presença de carvões.	

(1)G/F: Razão entre a parte ocupada pelo material grosso (G) e pelo material fino (F).



Fotos: Pablo Vidal-Torrado.

Figura 11.58. Fotomicrografias da transição entre os horizontes Hd1 e Hd2 (Hd1/Hd2), perfil PA-17, mostrando: pedalidade moderada, matriz porfírica, argilossiltosa com preenchimentos densos completos de matéria orgânica e argila em cavidades e canais e hiporrevestimentos e quaserrevestimentos de matéria orgânica (PPL) (A); preenchimento denso contínuo arqueado de minhoca (PPL) (B); preenchimento denso incompleto por matéria orgânica, excrementos e minerais (PPL) (C); detalhe dos excrementos preservados (E) (PPL) (D); restos vegetais em decomposição (PPL) (E); hiporrevestimento de matéria orgânica (setas amarelas) (PPL) (F).

Fotos: Pablo Vidal-Torrado.

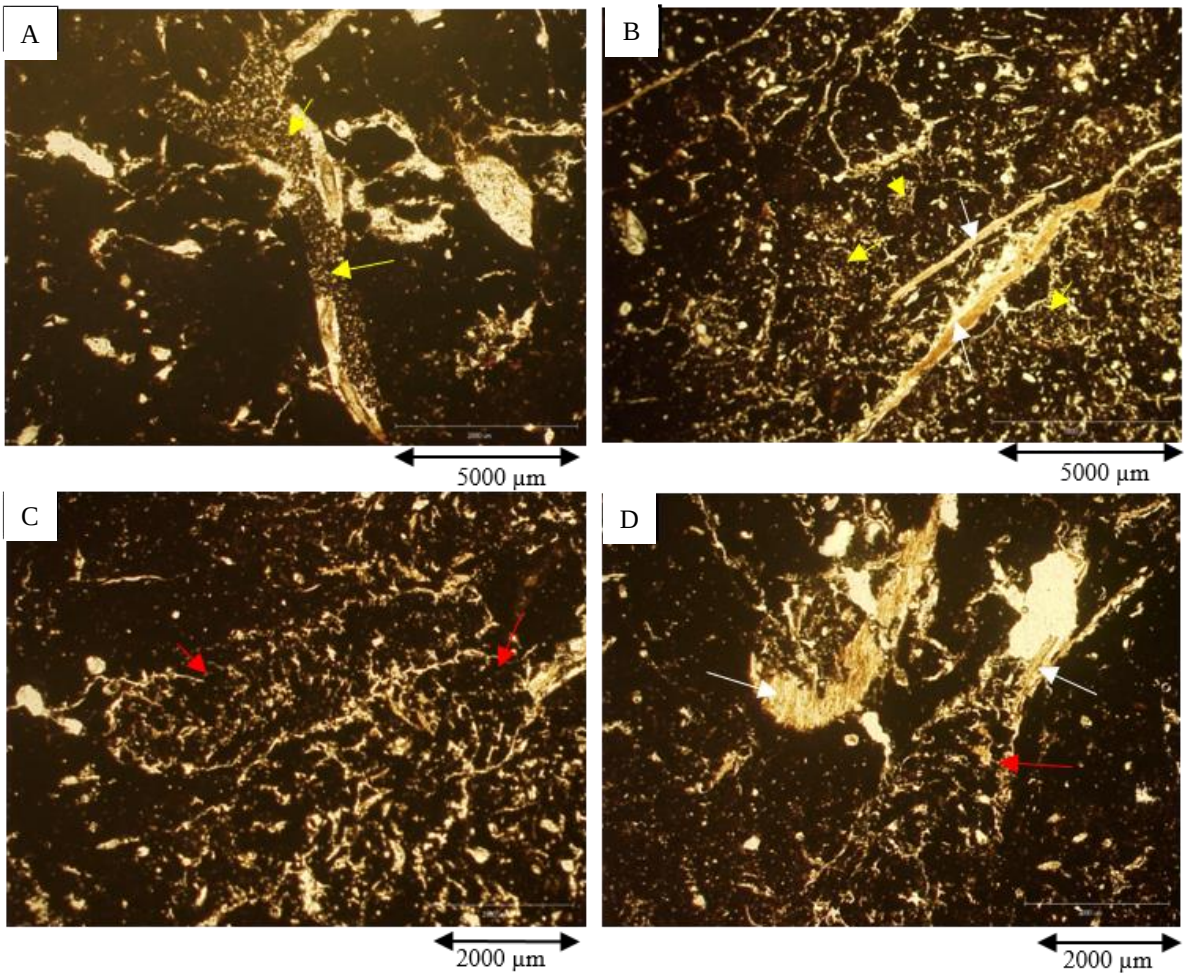


Figura 11.59. Fotomicrografias do horizonte Hd2, perfil PA-17, mostrando: trama porfírica; excrementos de tamanhos variados de mesofauna (ácaros?) (setas amarelas); restos vegetais (setas brancas); preenchimentos densos contínuos arqueados de minhoca (setas vermelhas) (PPL) (A), (B), (C) e (D).

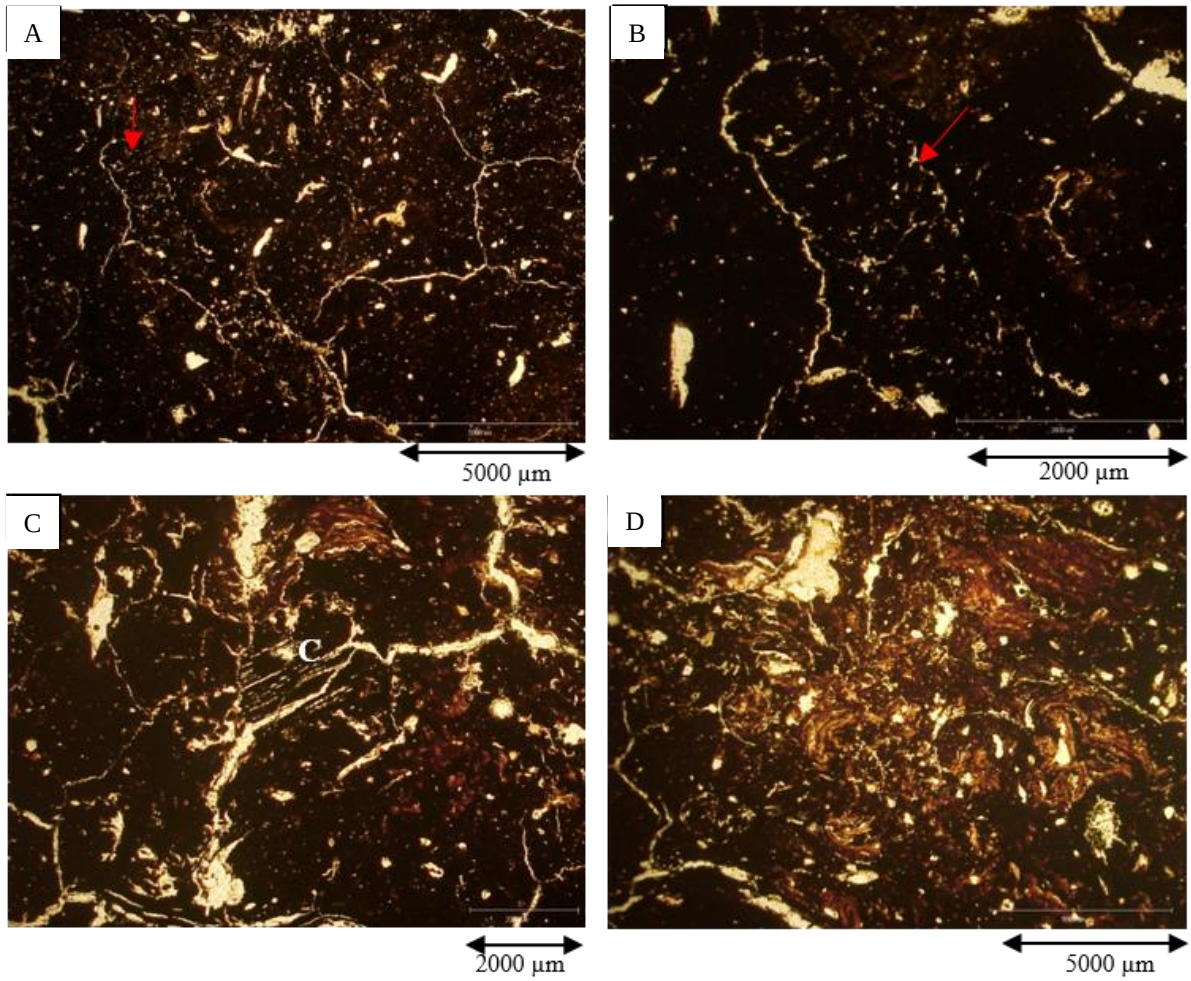


Figura 11.60. Fotomicrografias do horizonte Hd3, perfil PA-17, mostrando: trama porfírica; presença de fissuras e poros e preenchimento denso contínuo arqueado de minhoca (seta vermelha) (PPL) (A); detalhe de preenchimento denso feito por minhoca (seta vermelha) (PPL) (B); fragmento de carvão (C) (PPL) (C); material lenhoso (PPL) (D).

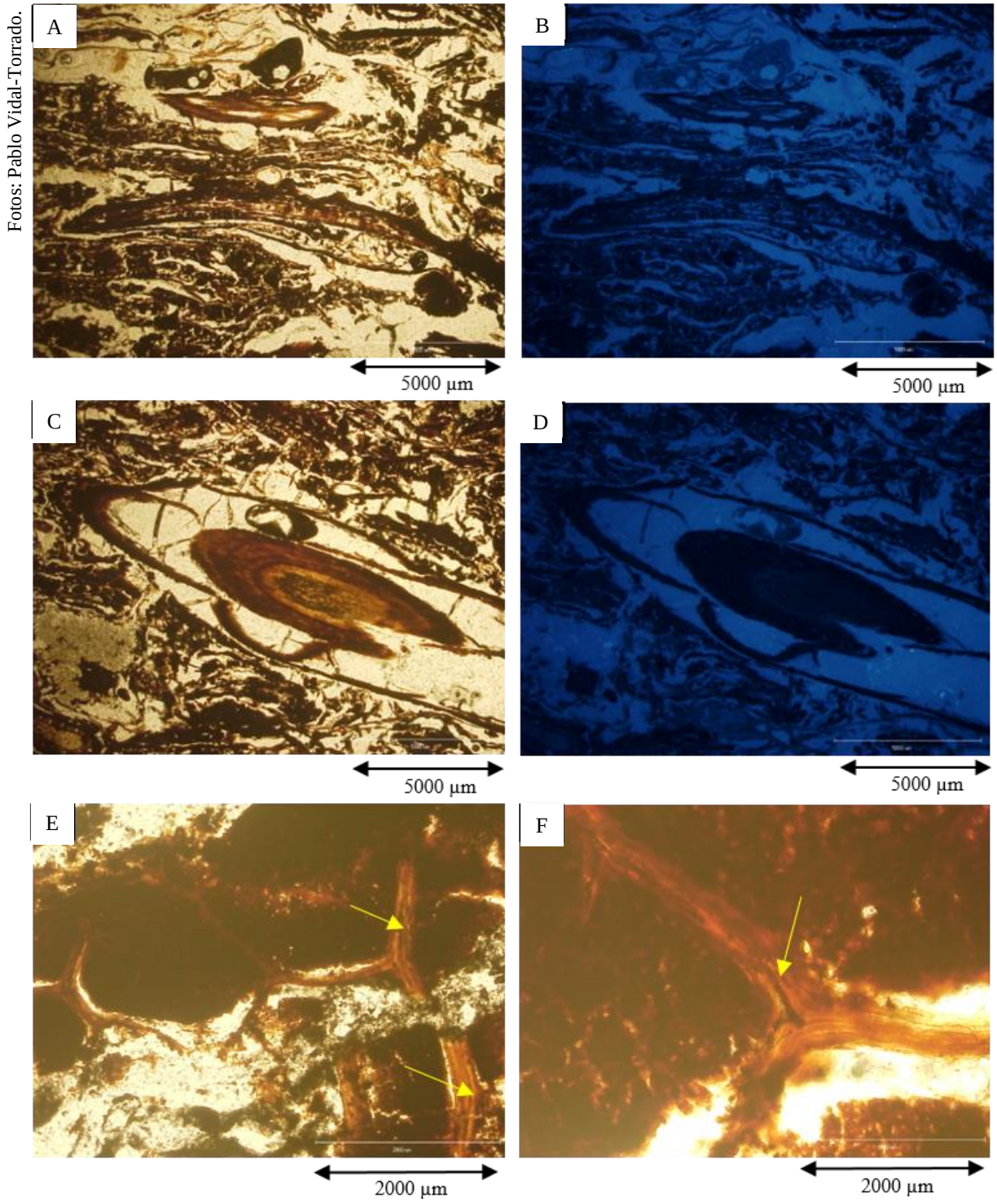


Figura 11.61. Fotomicrografias do horizonte 2Ho1, perfil PA-17, mostrando: restos vegetais (PPL, UV, PPL, UV) (A), (B), (C) e (D); raízes (PPL) (E) e (F).

4. Considerações finais

A descrição micromorfológica dos perfis estudados na XV RCC incluiu aqueles modificados pela ação do homem (Terra Preta de Índio), onde foi possível identificar fragmentos de cerâmica em diferentes profundidades como principal registro arqueológico do perfil AM-01. Fragmentos de carvão e o espessamento da melanização podem ser ali atribuídos tanto à ação antrópica como à intensa bioturbação observada. Aparentemente, a argiluviação esteve e está presente na pedogênese do perfil AM-01 (Macedo et al., 2017), deixando o questionamento sobre a classificação originalmente proposta pelos seus descritores como Latossolo.

Os Latossolos Amarelos argilosos ou muito argilosos (perfis AM-02, PA-05 e PA-07) têm em comum a presença, nos horizontes B latossólicos, de uma trama porfírica mais adensada (de estrutura em blocos) e, portanto, com menor macroporosidade em relação à trama enáulica (de estrutura microgranular) dos horizontes B latossólicos da maioria dos Latossolos do País que possuem composição granulométrica similar, mas com mineralogia mais oxídica. Outro aspecto que os Latossolos estudados têm em comum é a presença de nódulos de Fe em diferentes tamanhos ao longo do perfil, sendo milimétricos na maioria dos perfis ou centimétricos, como no Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico (perfil AM-02). Os horizontes deste último perfil também apresentam muitos grãos de quartzo na fração areia com superfícies cariadas e ranhuras (*etched quartz*), que evidenciam uma importante dissolução dos bordos e do interior dessas areias, aspecto pouco comum e pouco registrado na literatura sobre os Latossolos. Ainda, neste perfil, há evidências de impregnação prévia por óxidos de ferro de grãos de quartzo (*runiquartz*), sugerindo retrabalhamento destes ou herança da degradação de petroplintita. Os Latossolos Amarelos estudados também apresentaram fábricas birrefringentes em todos os horizontes, evidenciando a ligeira expansão e contração que a matriz desses solos muito argilosos, caulinítico e com pouco conteúdo de óxidos de ferro, experimenta durante a alternância de períodos úmidos e secos.

Um perfil de Espodossolo Hiperespesso (AM-09) foi coletado para fins de análise micromorfológica entre 317 cm e 406 cm de profundidade, onde foi possível identificar feições claras da podzolização e outras raras de hidromorfismo parcial (revestimentos de Fe). Também é evidente neste perfil a ocorrência de fluxos heterogêneos de sedimentos arenosos, indicando tanto a origem sedimentar de seu material de origem como a impossibilidade de esse material ter sofrido homogeneização prévia por outros processos pedogenéticos, como a latossolização prévia de um material de origem mais argiloso que perderia essa argila por podzolização remontante, como sugerido por Lucas et al. (1988).

Os grandes destaques desta RCC, sem dúvidas, são os diversos solos hidromórficos derivados de sedimentos siltosos e argilossiltosos, cuja fração areia é dominada por areia fina ou muito fina. Gleissolos, Neossolos Flúvicos e Vertissolos descritos, estudados e assim originalmente classificados, incluem-se neste contexto. A intensidade do hidromorfismo reflete-se na maior ou menor ocorrência de feições redoximórficas, nódulos de plintita e matriz gleizada. A hidrologia de cada pedon é o motor da intensidade dos processos hidromórficos, formando quase, hipo e revestimentos variados em forma e composição. Alguns poucos horizontes mostraram impregnação tanto de Fe como de Mn, este último com seu crescimento dendrítico característico. A porosidade cavitária, com abundância de cavidades e coalescência

destas, contendo hiporrevestimentos e revestimentos de ferro, é evidência de processos de dissolução de argila. O mecanismo responsável por essa destruição de argila foi denominado por Brinkman (1970, 1979) como ferrólise e depende de alternância de condições redutoras e oxidantes, entre outros fatores. Portanto, a presença de porosidade cavitária e de feições redoximórficas em solos com matrizes porfíricas gleizadas é reflexo de uma hidrologia sazonal, porém com marcante hidromorfismo.

Ao microscópio óptico, foi possível identificar, com facilidade, aspectos da sedimentação das várzeas em estudo, tendo, por vezes, microestratificação plana/paralela e, em outros casos, outros tipos de microestratificação relacionadas a fluxos turbulentos e a mudanças de direção. Preenchimentos densos de material mais fino em meio a matriz mais grossa podem ter-se formado não apenas por atividade biológica, mas por preenchimento rápido de fendas abertas em solos com argilas expansivas, como comumente ocorre em Vertissolos e outros solos vérticos. Em alguns Gleissolos e, sobretudo, no Vertissolo referente ao perfil PA-14, foram descritas feições típicas de solos expansivos, como os longos poros planares e as estruturas em cunha, além da presença de feições cristalinas de carbonatos (esparita?) nos horizontes mais profundos desse perfil. Em que pese a constante sedimentação nas várzeas, a expressiva manifestação do hidromorfismo em todas as posições das várzeas amazônicas estudadas, sejam diques marginais sejam planícies de inundação, marca o processo da gleização como dominante e que se sobrepõe claramente ao caráter flúvico dos solos, mesmo estando estes em posições mais elevadas (diques). Tal aspecto não deveria ser negligenciado na classificação em primeiro nível categórico.

Durante a excursão da XV RCC, houve importantes questionamentos no campo a respeito das classes de drenagem atribuídas originalmente aos perfis pelos seus descritores e que não condizem com as evidências de gleização, tanto na macro como na micromorfologia. Segundo o SiBCS (Santos et al., 2018), os Gleissolos são necessariamente mal ou muito mal drenados, e alguns perfis classificados como tal não apresentavam essas classes de drenagem. Sugere-se que se rediscutam as classes de drenagem ou que se aceitem Gleissolos imperfeitamente a mal drenados. Nenhuma descrição micromorfológica dos solos classificados nesta RCC como Gleissolos, apresentadas neste capítulo, seria compatível com solos considerados moderadamente drenados.

A atividade da macrofauna é marcante em quase todos os perfis descritos, com muitos exemplos de preenchimentos densos arqueados de diferentes tamanhos e ocorrendo em diferentes profundidades, característicos de anelídeos. Excrementos da macrofauna do solo de diferentes tamanhos, muitas vezes intactos, outras vezes predados por animais da mesofauna, aparecem não só nos solos minerais e no solo orgânico das várzeas, como também nos Latossolos Amarelos argilosos com horizontes A Antrópico (AM-01) e A húmico (PA-07). A bioturbação tão evidente na maioria dos solos estudados reflete a intensidade da vida nos solos das várzeas e naqueles de seu entorno.

Finalmente, cabe destacar a presença de um Organossolo (perfil PA-17) em uma turfeira equatorial amazônica, aspecto apontado em literatura relativamente recente (Lähteenoja et al., 2013), mas ainda pouco explorado na literatura pedológica do Brasil. O uso contínuo desse Organossolo pelo homem por meio de alguma drenagem e remoção da vegetação original levou à modificação de seus atributos nos horizontes orgânicos mais próximos à superfície por

mecanismos de degradação microbiológica e mineralização da matéria orgânica com alguma subsidência (Driessen et al., 2001; Buol et al., 2011; Lachacz et al., 2023), desenvolvendo agregação forte a moderada com decréscimo do conteúdo de matéria orgânica e aumento do conteúdo mineral em relação aos horizontes orgânicos subjacentes. Tal situação não está prevista atualmente no SiBCS e foi identificada pelo professor Peter Schad, durante a RCC, como sendo um claro exemplo de *mulmic material* (IUSS Working Group WRB, 2022). O impacto de atividades antrópicas em solos de tão elevada fragilidade ambiental merece a atenção do SiBCS, que poderia adotar algo similar em seus atributos diagnósticos. Essa situação também poderá ser identificada em várzeas sistematizadas com Organossolos (turfeiras, veredas, p. ex.) para agricultura em outras partes do Brasil.

Referências

BRINKMAN, R. Ferrolysis, a hydromorphic soil forming process. **Geoderma**, v. 3, p. 199- 206, 1970.

BRINKMAN, R. **Ferrolysis, a soil-forming process in hydromorphic conditions**. Wageningen: Centre for Agricultural Publishing and Documentation, 1979. 106 p. (Centre for Agricultural Publishing and Documentation. Agricultural Research Reports, 887).

BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. **Handbook for soil thin section description**. Wolverhampton: Waine Research, 1985. 153 p.

BUOL, S. W.; SOUTHARD, R. J.; GRAHAM, R. C.; McDANIEL, P. A. **Soil genesis and classification**. 6th. ed. New York: John Wiley & Sons, 2011. 543 p.

CASTRO, S. S. de; COOPER, M. **Fundamentos de micromorfologia de solos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. 240 p.

CASTRO, S. S. de; COOPER, M.; SANTOS, M. C.; VIDAL-TORRADO, P. Micromorfologia do solo: bases e aplicações. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMAS, J. M. de; LOPES, A. S.; ALVAREZ V. V. H. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: UFV, 2003. v. 3, p. 107-164.

COOPER, M.; CASTRO, S. S. de; COELHO, M. R. Micromorfologia do solo. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. pt. 5, cap. 1, p. 527-564. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/194786/1/Pt-5-Cap-1-Micromorfologia-do-solo.pdf. Acesso em: 18 jul. 2022.

DRIESSEN, P.; DECKERS, J.; SPAARGAREN, O.; NACHTERGAELE, F. **Lecture notes on the major soils of the world**. Rome: FAO, 2001. 308 p.

ESWARAN, H.; STOOPS, G. Surface textures of quartz in tropical soils. **Soil Science Society of America Journal**, Division S-9-Soil Mineralogy, v. 43, n. 2, p. 420-424, 1979.

IUSS WORKING GROUP WRB. World reference base for soil resources. **International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps**. 4th ed. Vienna: International Union of Soil Sciences, 2022. 236 p.

ŁACHACZ, A.; KALISZ, B.; SOWIŃSKI, P.; SMRECZAK, B.; NIEDŹWIECKI, J. Transformation of organic soils due to artificial drainage and agricultural use in Poland. **Agriculture**, v. 13, n. 3, art. 634, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture13030634.

LÄHTEENOJA, O.; FLORES, B.; NELSON, B. Tropical peat accumulation in Central Amazonia. **Wetlands**, v. 33, p. 495-503, Mar. 2013. DOI: https://doi.org/10.1007/s13157-013-0406-0.

LIMA NETO, J. A.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M.; SOUZA-JÚNIOR, V. S.; ARAÚJO FILHO, J. C.; LIMA, J F. W. F. Atributos químicos, mineralógicos e micromorfológicos de horizontes coesos de latossolos e argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 473-486, abr. 2010.

LUCAS, Y.; BOULET, R.; CHAUVEL, A. Intervention simultanée des phénomènes d'enfoncement vertical et de transformation latérale dans la mise en place de systèmes de sols de la zone tropicale humide. Cas des systèmes sols ferrallitiques – podzols de l'Amazonie Brésilienne. **Comptes Rendus de l'Académie des Science**. Série II, v. 306, n. 19, p. 1395-1400, 1988.

MACEDO, R. S.; TEIXEIRA, W. G.; CORRÊA, M. M.; MARTINS, G. C.; VIDAL-TORRADO, P. Pedogenetic processes in anthrosols with pretic horizon (Amazonian Dark Earth) in Central Amazon, Brazil. **Plos One**, v. 12, n. 5, e0178038, May 2017. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178038.

MURPHY, C. P. **Thin section preparation of soils and sediments**. Berkhamsted: A B Academic Publishers, 1986. 149 p.

MURPHY, C. P.; BULLOCK, P.; TURNER, R. H. The measurement and characterisation of voids in soil thin sections by image analysis. Part I. Principles and techniques. **Journal of Soil Science**, v. 28, n. 3, p. 498-508, Sept. 1977. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1977.tb02258.x.

RINGROSE-VOASE, A. J. Micromorphology of soil structure: description, quantification, application. **Australian Journal of Soil Research**, v. 29, n. 6, p. 777-813, 1991. DOI: https://doi.org/10.1071/SR9910777.

RODRIGUES, I. M. M.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; MACHADO, V. S. Cauixi em cerâmica arqueológica da região de Lagoa Santa, Minas Gerais: inclusão de esponjas processadas ou exploração de depósitos sedimentares com espículas? **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, Belém, v. 12, n. 1, p. 85-100, jan./abr. 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/1981.81222017000100005.

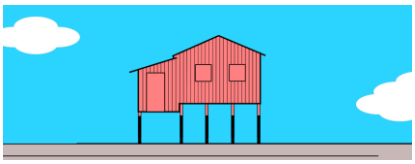
SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003. Acesso em: 22 jul. 2025.

VEPRASKAS, M. J. (ed.). **Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections**. Madison: Soil Science Society of America, 2003. 181 p. DOI: http://doi.org/10.2136/2003.guidelinesforanalysis.

VEPRASKAS, M. J.; CALDWELL, P. V. Interpreting morphological features in wetland soils with a hydrologic model. **Catena**, v. 73, n. 2, p. 153-165, Apr. 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.07.005.

VILLAGRAN, X. S.; ALVES, M. L.; KATER, T.; SILVA, K. B. V. da; BATALLA, N.; COSTA, M. da; ERLER, D. M. A.; FERREIRA, M. P.; MAGON, P.; REYS, A. C. dos; STRAIOTO, H.; TOGNOLI, A. R.; STRAUSS, A.; LAMA, E. A. del; MARTINS, L.; TEIXEIRA-BASTOS, M.; NEVES, E. G.; ZIMPEL, C.; PUGLIESE, F. Petrografia de cerâmicas da fase Bacabal (sambaqui Monte Castelo): um dos mais antigos usos de cauixi na Amazônia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 17, n. 1, e20200120. 2022. DOI: 10.1590/2178-2547-BGOELDI-2020-0120.

Capítulo 12



Mineralogia das frações areia, cascalho e calhau dos solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos

Caroline Delpupo
Valdomiro Severino de Souza Júnior
Alex de Carvalho
Fábio Soares de Oliveira
Aaron Lim

1. Introdução

Nos estudos pedológicos, a fração argila historicamente tem recebido a maior parte da atenção, devido à sua relevância na determinação das propriedades físico-químicas dos solos e à sua importância para interpretações sobre sua origem e evolução. Em contraste, as frações mais grossas — como areia, cascalho e calhau — costumam ser tratadas apenas como elementos quantitativos para fins texturais, sendo raramente objeto de análises mineralógicas mais detalhadas, geralmente limitadas à fração arenosa. Consequentemente, esses dados, quando disponíveis, são pouco aproveitados em análises integradas com outras características do solo.

Estudos como o de Calderano (2017) evidenciam o valor da mineralogia dos grãos para a compreensão da gênese e a classificação dos solos, bem como para a avaliação de seu potencial de liberação de nutrientes a médio e longo prazos. Pinto (2002) destaca que o formato dos grãos de areia também pode interferir em propriedades mecânicas do solo. Além disso, a avaliação das frações mais espessas pode revelar informações valiosas sobre feições como concreções e nódulos. Em solos de regiões tropicais úmidas, a fração arenosa frequentemente registra sinais dos processos de transporte, tanto de curta quanto de longa distância, funcionando como importante indicador sedimentológico — elemento-chave em análises genéticas e na detecção de descontinuidades litológicas (Novaes Filho et al., 2012; Medeiros et al., 2013).

A crescente adoção de metodologias interdisciplinares no campo da Ciência do Solo, tanto no Brasil quanto internacionalmente, reflete a busca por uma abordagem mais abrangente na compreensão da complexidade edáfica. Nesse sentido, integrar técnicas analíticas vindas da Sedimentologia e da Petrologia às análises das frações arenosa e cascalhenta do solo tem contribuído significativamente para esclarecer questões antigas sobre a origem, a estrutura e o funcionamento dos solos (Oliveira et al., 2021).

Nesse cenário, as Reuniões Brasileiras de Classificação e Correlação de Solos (RCCs) têm desempenhado papel de destaque ao promover abordagens metodológicas inovadoras, chamadas Pesquisas Coligadas, que articulam diferentes áreas do conhecimento. A partir da

XIII RCC, ocorrida no Maranhão (Viana et al., 2020), intensificaram-se os esforços para explorar a significância genética das frações areia e superiores. Na edição seguinte, em Goiás e Tocantins (XIV RCC), diversos perfis com ocorrência de nódulos e concreções foram submetidos a análises morfológicas e mineralógicas detalhadas (Souza et al., 2023). Já na XV RCC, realizada em 2024, a seleção de solos das várzeas do Médio Rio Amazonas e áreas vizinhas visa lançar luz sobre a origem dos materiais, os processos pedogenéticos atuantes, a contribuição da fração grossa na dinâmica do solo e seu papel nas estratégias regionais de uso da terra.

Buscou-se com a seleção dos solos para a XV RCC, como tradicionalmente ocorre nesse evento, espelhar a diversidade pedológica dos estados-alvos. Os dezessete perfis estudados foram enquadrados em nove distintas ordens do *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* (SiBCS) (Santos et al., 2018) – Argissolo Amarelo (AM-01), Cambissolo Flúvico (AM-07), Espodossolo Humilúvico (AM-09), Gleissolos Háplicos (AM-05, AM-06, AM-11, AM-12, AM-15, AM-16 e PA-13), Latossolos Amarelos (AM-02, PA-05 e PA-07), Neossolo Quartzarênico (PA-06), Organossolo Háplico (PA-17), Plintossolo Argilúvico (AM-08) e Vertissolo Hidromórfico (PA-14), refletindo, naturalmente, a diversidade de fatores de formação ao longo das várzeas do Médio Rio Amazonas e seu entorno, nos estados do Amazonas e Pará.

Além de fornecer conhecimentos relevantes sobre os solos presentes nos estados abrangidos, um dos principais objetivos das RCCs é aprimorar a qualidade e a precisão da taxonomia de solos no Brasil. A classificação de solos em ambientes pouco estudados provoca importantes questionamentos sobre a aplicabilidade e a abrangência dos critérios taxonômicos adotados nacionalmente. Dentro desse contexto, a análise das frações grossas dos solos da XV RCC busca oferecer subsídios para o aperfeiçoamento do SiBCS (Santos et al., 2018), especialmente no que se refere à descrição macroscópica e à mensuração de nódulos e concreções.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é caracterizar mineralógica e morfologicamente as frações grossas (areia fina, areia grossa, cascalho e calhau) de solos da XV RCC, sobretudo como subsídio à classificação e às interpretações genéticas e de uso dos solos analisados.

2. Material e métodos

Foram estudados horizontes subsuperficiais selecionados de todos os dezessete perfis de solo da XV RCC (ver Tabela 12.1). As frações cascalho e calhau (peneiras de 2,0 mm, 20 mm e 20 cm) foram separadas no laboratório da Embrapa Solos, segundo Teixeira et al. (2017). As frações areia fina e areia grossa (peneiras de 0,053 mm, 0,212 mm e 2,0 mm) foram separadas no laboratório do Instituto Federal de Minas Gerais, e, antes do peneiramento, as amostras foram submetidas a agitação lenta em agitador orbital por 16 horas, utilizando-se solução de NaOH a 0,1 mol L-1. Posteriormente, as amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 105 °C, durante 24 horas, conforme descrito por Teixeira et al. (2017). A caracterização completa dos solos, incluindo aspectos morfológicos, atributos físicos e químicos, além de sua localização e contexto pedoambiental, encontra-se disponível em outros capítulos deste volume.

Tabela 12.1. Perfis e classificação taxonômica dos solos da XV RCC.

Perfil	Classificação Taxonômica[(1)]
AM-01	Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico, textura média/argilosa/muito argilosa, epieutrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, floresta equatorial perenifólia, relevo plano.
AM-02	Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico, textura muito argilosa, A moderado, endoconcrecionário, álico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo forte ondulado.
AM-05	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura siltosa, A moderado, Tma, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano.
AM-06	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/siltosa/média, A moderado, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.
AM-07	Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, textura média/siltosa, A moderado, Tma, fase floresta tropical higrófila de várzea, relevo plano.
AM-08	Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico, textura média/argilosa/muito argilosa, A moderado, epiálico, Tmoa, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.
AM-09	Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa, A fraco, endodúrico, fase campinarana equatorial arbórea, relevo plano.
AM-11	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico, textura siltosa-média/média-siltosa, A moderado, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano.
AM-12	Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico, textura média, A moderado, álico, epialumínico, Tmoa, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano.
AM-15	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/arenosa/siltosa, A fraco, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.
AM-16	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa, A moderado, mesoendossolódico, Tma, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.
PA-05	Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.
PA-06	Neossolo Quartzarênico Órtico húmico, textura arenosa-média, álico, fase cerrado equatorial subcaducifólio, relevo plano.
PA-07	Latossolo Amarelo Distrófico húmico, textura muito argilosa, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.
PA-13	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa/siltosa, A moderado, endossódico, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.
PA-14	Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico, textura argilosa/siltosa, A fraco, endossolódico, eutrófico, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano.
PA-17	Organossolo Háplico Hêmico típico, textura argilosa/média/orgânica fíbrica, distrófico, epissáprico e mesoendofíbrico, muito lenhosa, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.

[(1)] Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

Fonte: Santos et al (2018).

A caracterização da fração grossa dos solos da XV RCC foi feita conforme protocolo organizado por Souza et al. (2023). Abaixo, estão descritos de maneira detalhada os passos e etapas deste protocolo, até mesmo com algumas modificações em função da natureza específica dos solos em estudo.

A composição mineralógica das frações grossas foi feita por meio de reconhecimento de propriedades físicas e óticas diagnósticas dos minerais constituintes, em lupa binocular (estereomicroscópio) Coleman de luz refletida e transmitida (ocular WD 2x/60 mm e zoom da objetiva de 1x) e microscópio petrográfico com luz polarizada Laborama, disponível no Laboratório de Geografia Física do IFMG, campus Ouro Preto.

O percentual de cada espécie mineral, material orgânico, de artefatos arqueológicos, de litofragmentos e de nódulos presentes nas amostras foi determinado semiquantitativamente conforme estimativa visual proposta por Terry e Chilingar (1955 citados por Calderano, 2017). Foi indicada ainda a classe de quantidade, por volume, de nódulos em cada fração (Santos et al., 2015).

Os minerais primários predominantes foram descritos segundo as seguintes propriedades físicas: cor (primária e secundária), brilho, hábito, clivagem/fratura, diafaneidade (transparência), além da presença de incrustações e inclusões (Klein; Dutrow, 2012; Calderano, 2017). Os nódulos foram descritos segundo sua cor (Munsell, 2009, para cascalho e calhau; e visual/simplificada para areia), dureza, forma e natureza (Santos et al., 2015); textura superficial e brilho (Bigarella et al., 1955) e origem (Tardy, 1993). Também se descreveu a presença de inclusão de minerais primários na matriz dos nódulos. Os artefatos arqueológicos foram descritos quanto à sua natureza, cor (Munsell, 2009) e tamanho (Santos et al., 2015).

Testes quanto à suscetibilidade magnética também foram feitos, sob lupa, com uso de ímã, assim como a reação ao ácido clorídrico diluído (10%), tanto em minerais primários, quanto em nódulos e artefatos arqueológicos.

Algumas amostras das frações calhau, cascalho e areia total foram analisadas por difratometria de raios-X, na forma de pó não orientado, no Laboratório de Mineralogia do Solo da UFRPE (MineralLab). Utilizou-se difratômetro Shimadzu modelo XRD 6000, com radiação Cu-Kα e monocromador de grafite, sob uma voltagem de 40 kV e corrente de 20 mA, com velocidade de 1,5º 2θ min^{-1}, registrando a varredura na amplitude de 5 a 40 º[2θ]. Os minerais foram identificados com base nos dados reportados por Brown e Brindley (1980) e Moore e Reynolds (1989).

3. Resultados e discussão

A seguir, são apresentados mosaicos de fotomicrografias e composição mineralógica das frações grossas (areia, cascalho e calhau, quando presentes) de horizontes selecionados de todos os perfis da XV RCC, assim como difratogramas de raios-X de amostras em pó de algumas destas frações.

Perfil AM-01 - Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico

Foram analisadas quatro amostras do perfil AM-01, sendo elas: a fração cascalho dos horizontes Au4 (8 g kg^{-1}), ABu (8 g kg^{-1}) e Bw (1 g kg^{-1}) e a fração areia total do horizonte Bt (263 g kg^{-1}) (Tabela 12.2).

Tabela 12.2. Composição granulométrica da TFSA e da amostra total de horizontes selecionados para análises mineralógicas, morfológicas, morfométricas e morfoscópicas dos grãos de solos da XV RCC.

Perfil/ Horizonte/ Profundidade	Frações da amostra total			Composição granulométrica da TFSA				
	Calh.	Casc.	TFSA	AG	AF	Areia total	Silte	Arg.
	g kg^{-1}							
AM-01 Au4 (37-54 cm)	6	8	986	257	140	398	103	499
AM-01 ABu (73-95 cm)	57	8	935	253	150	403	102	495
AM-01 Bt (119-153 cm)	0	0	1000	169	94	263	51	686
AM-01 Bw (153-200 cm)	0	1	999	168	95	263	59	678
AM-02 Bw4 (108-163 cm)	0	5	995	93	37	130	59	811
AM-02 Bwc1 (163-177 cm)	45	373	582	98	40	138	80	781
AM-05 3Cg2 (33-65 cm)	0	0	1000	1	7	8	659	333
AM-06 5Cg3 (73-105 cm)	0	0	1000	6	171	177	645	177
AM-07 2C (87-126 cm)	0	0	1000	6	236	242	611	147
AM-08 2Btgf2 (67-101 cm)	0	28	972	25	102	127	406	467
AM-09 3Bh (321-326 cm)	0	10	990	832	62	894	37	69
AM-11 Cg2 (41-61 cm)	0	0	1000	2	181	184	657	160
AM-12 5C'g2 (99-150 cm)	0	0	1000	150	516	666	188	146
AM-15 5Cg1 (23-41 cm)	0	0	1000	2	188	191	697	113
AM-16 2Cg (27-51 cm)	0	0	1000	1	24	24	668	307
AM-16 2Cgn2 (76-119 cm)	0	0	1000	4	16	20	713	267
PA-05 Bw2 (72-130 cm)	0	0	1000	9	12	21	154	825
PA-06 C (169-205^{+})	0	15	985	692	181	873	61	66
PA-07 Bw (137-200)	0	0	1000	12	27	40	173	788
PA-13 2Cg2 (32-55 cm)	0	0	1000	7	23	30	716	254
PA-14 2Cvg3 (71-113 cm)	0	1	999	9	17	26	587	388
PA-14 2C'vg1(150-170 cm)	0	18	982	13	16	30	671	299
PA-17 Hd3 (12-29 cm)	0	0	1000	254	54	308	411	281

Calh.: fração calhau (Ø 200,0-20,0 mm); Casc.: fração cascalho (Ø 20,0-2,0 mm); AG: fração areia grossa (Ø 2,0-0,2 mm); AF: fração areia fina (Ø 0,2-0,05 mm); Silte: fração silte (Ø 0,05-0,002 mm); Arg.: fração argila (Ø <0,002 mm).

As frações cascalho dos horizontes Au4, ABu e Bw apresentam, de maneira geral, materiais bastante semelhantes, sendo eles: carvão/cerâmica, nódulos ferruginosos e quartzo (Figura 12.1 e Tabela 12.3), corroborando sua influência antrópica. Os fragmentos de carvão/cerâmica são em sua maioria tabulares, fortemente incrustados por sílica amorfa. Alguns poucos nódulos presentes na fração cascalho apresentam atração magnética (> 5%).

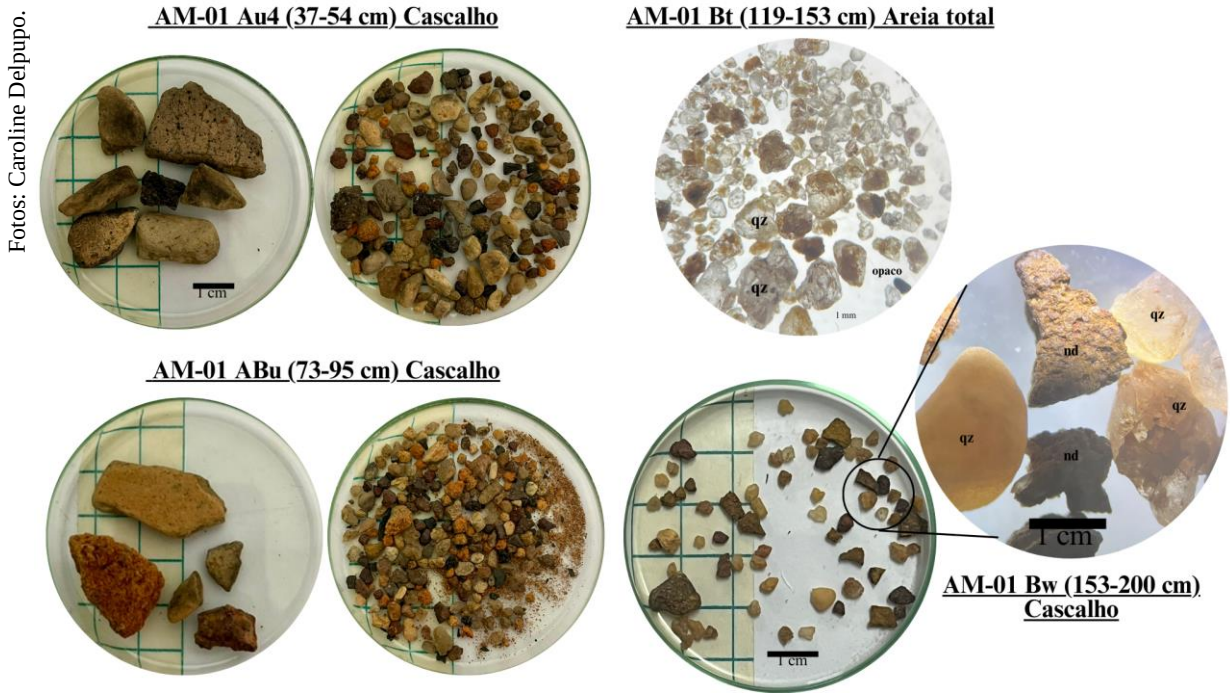


Figura 12.1. Fotomicrografias das frações cascalho e areia total de horizontes selecionados do perfil AM-01 (Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico), XV RCC.

Tabela 12.3. Composição mineralógica das frações cascalho e areia total de horizontes selecionados do perfil AM-01 (Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico), XV RCC

Fração/horizonte/profundidade	Quartzo	Opacos	Nódulos	Carvão/ cerâmica	Classe de quantidade de nódulos da fração[(2)]
	---------- %[(1)] ----------				
Cascalho Au4 (37-54 cm)	20	0	30	50	Frequente
Cascalho ABu (73-95 cm)	20	0	40	40	Muito frequente
Areia total Bt (119-153 cm)	98	2	0	0	-
Cascalho Bw (153-200 cm)	50	0	40	10	Muito frequente

[(1)]Estimativa visual conforme Terry e Chilingar. [2]Segundo o *Manual de descrição e coleta de solo no campo*.

Fonte: Santos et al. (2015) e Terry e Chilingar (1955 citados por Calderano, 2017).

O horizonte Bt (119-153 cm) possui sua fração grossa composta, sobretudo, de areia grossa (AG: 169 g kg^{-1}; AF: 94 g kg^{-1}; Tabela 12.2). O horizonte não apresenta frações cascalho ou maiores, e as frações areia grossa e areia fina possuem uma mineralogia bastante simples (Figura 12.1, Tabela 12.3), com forte predominância de quartzo como mineral primário e traços de minerais opacos. Embora o horizonte analisado não apresente nódulos em nenhuma das frações grossas presentes, há fortes indícios de ferruginização, já que a maior parte dos grãos de quartzo apresenta inclusões de óxidos de ferro.

Os difratogramas de raios-X de amostras em pó do perfil AM-01 (Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico) indicam um solo com mineralogia composta majoritariamente

de quartzo, seguido de óxidos de ferro como goethita e hematita, além da presença de caulinita. Na fração areia total moída (AM-01 Bt), observa-se o predomínio absoluto de quartzo, com picos característicos em 0,428 nm, 0,334 nm e 0,246 nm, representando a forte presença de minerais primários resistentes ao intemperismo. Nas frações cascalho moído (Bw, ABu e Au4), além do quartzo, destacam-se os picos associados à goethita, à hematita e à caulinita, minerais secundários predominantes em condições de intemperismo mais avançados. Nesse caso, para estarem presentes na fração grossa de solos formados em ambientes de elevado intemperismo químico como a Amazônia brasileira, certamente estão compondo nódulos (Figura 12.2).

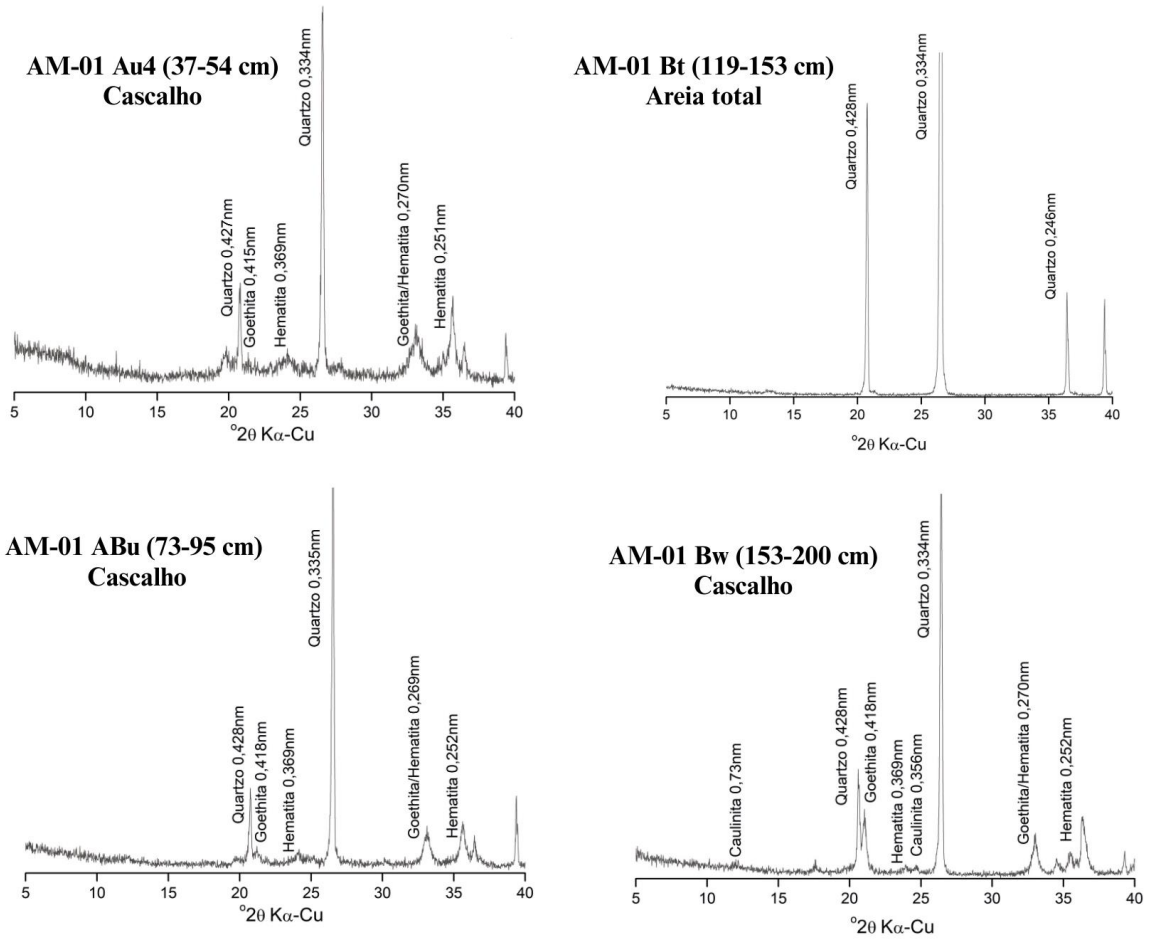


Figura 12.2. Mineralogia por difração de raios-X das frações cascalho e areia total moídas de horizontes selecionados do perfil AM-01 (Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico), XV RCC. Espaçamento interplanar *d* em nm.

Perfil AM-02 - Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico

O AM-02 é o perfil que apresenta um horizonte (Bwc1) com a maior proporção de fração ≥ 2 mm entre os solos estudados na XV RCC, tendo 42% de sua massa ocupada por cascalhos e calhaus (373 e 45 g kg^{-1}, respectivamente, Tabela 12.2). Esse Latossolo apresenta suas frações calhaus e cascalhos fortemente dominadas por petroplintita, com uma morfologia ameboidal (Figura 12.3, Tabela 12.4).

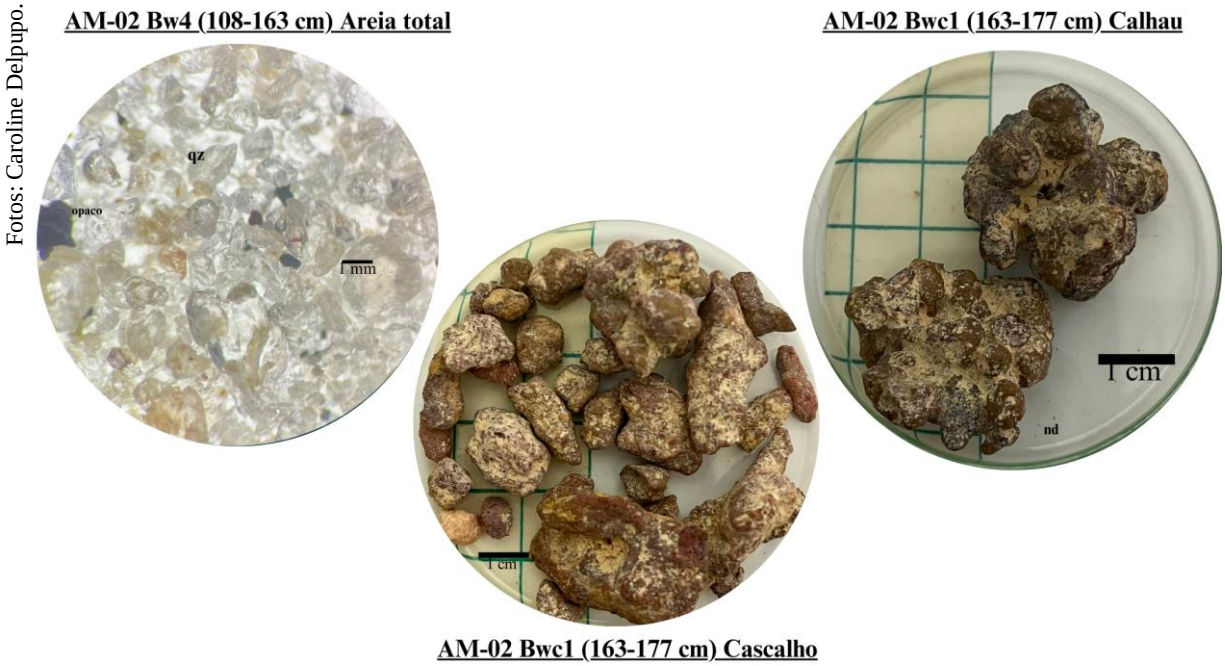


Figura 12.3. Fotomicrografias das frações areia total, cascalho e calhau de horizontes selecionados do perfil AM-02 (Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico), XV RCC.

Tabela 12.4. Composição mineralógica das frações areia total, cascalho e calhau de horizontes selecionados do perfil AM-02 (Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico), XV RCC.

Fração/horizonte/profundidade	Quartzo	Opacos	Nódulos	Outros	Classe de quantidade de nódulos da fração[(2)]
	---------- %[(1)] ----------				
Areia total Bw4 (108-163 cm)	93	2	3	2	Muito pouco
Cascalho Bwc1 (163-177 cm)	0	0	100	0	Dominante
Calhau Bwc1 (163-177 cm)	5	0	93	2	Dominante

[(1)]Estimativa visual conforme Terry e Chilingar (1955) citado por Calderano (2017). Opacos (na fração areia): magnetita. Outros (na fração areia e calhau): pirolusita.

[(2)]Segundo Santos et al. (2015).

Já a fração areia total do horizonte Bw4 (130 g kg^{-1}, Tabela 12.2) é eminentemente quartzosa, seguida por traços de minerais opacos e nódulos ferruginosos (Figura 12.3, Tabela 12.4). A despeito do volume de nódulos ferruginosos encontrado no horizonte subjacente (Bwc1), ressalta-se a modesta ferruginização na forma de incrustações ou inclusões de óxidos

de ferro nos minerais da fração areia desse horizonte. Os grãos de quartzo são em sua grande maioria transparentes e com brilho reluzente (Figura 12.3, Tabela 12.4).

A Figura 12.4 apresenta o difratograma de raios-X da amostra em pó AM-02 Bwc1 (163–177 cm), referente à fração calhau, que revela uma mineralogia compatível com material intensamente intemperizado, típico de horizontes profundos de Latossolos. O padrão difratométrico mostra a presença de caulinita, com picos em 0,724 nm e 0,358 nm. Além da caulinita, identifica-se expressiva contribuição de óxidos de ferro, como hematita (picos em 0,370 nm, 0,252 nm e 0,243 nm) e goethita (0,417 nm e sobreposição com hematita em 0,271 nm), minerais que conferem coloração avermelhada e estão associados a processos de ferruginização e laterização. Essa assembleia mineralógica presente na fração calhau, por outro lado, não é compatível com esse ambiente de intemperismo intenso. Nesse caso, e corroborando a análise mineralógica sob lupa, trata-se de minerais pedogenéticos que compõem os nódulos presentes nesta fração. A presença de quartzo (0,428 e 0,336 nm) indica resquícios de minerais primários resistentes, enquanto os picos atribuídos à pirolusita (0,313 e 0,243 nm) sugerem teores significativos de manganês, possivelmente também concentrados em nódulos ferruginosos.

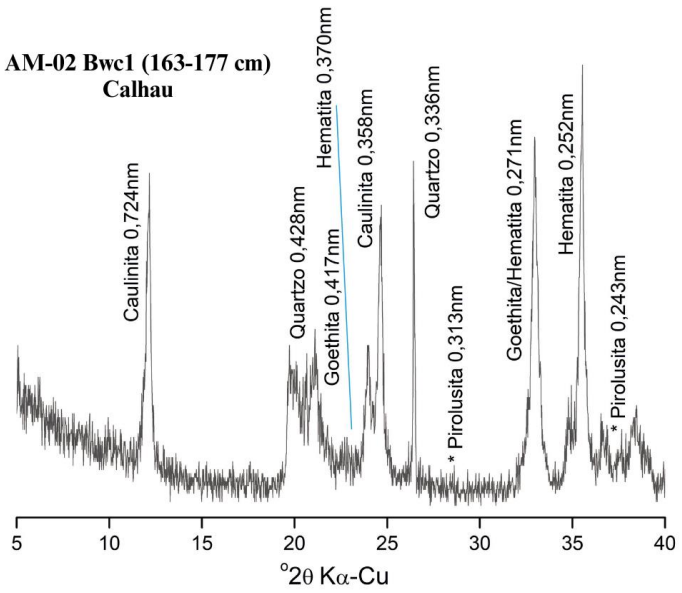


Figura 12.4. Mineralogia por difração de raios-X da fração calhau moída do horizonte Bwc1 do perfil AM-02 (Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico), XV RCC. Espaçamento interplanar *d* em nm.

Perfil AM-05 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico

O perfil AM-05 chama a atenção pela importante presença de material orgânico em diferentes níveis de decomposição na fração areia total do horizonte 3Cg2 (8 g kg^{-1}, Tabela 12.2). Como componentes minerais, foi possível identificar quartzo transparente e com brilho reluzente; corpos silicosos de origem biológica (fitólitos), sobretudo espículas de esponjas; e traços de muscovita (Figura 12.5, Tabela 12.5).

Fotos: Caroline Delpupo.

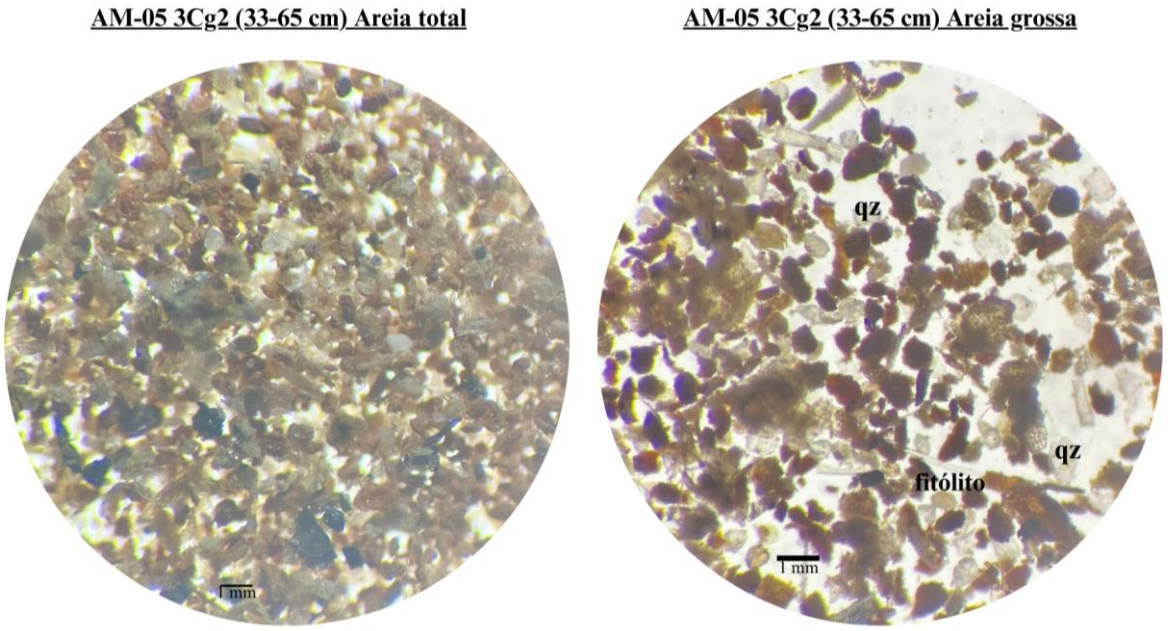


Figura 12.5. Fotomicrografias das frações areia total e areia grossa do horizonte 3Cg2 do perfil AM-05 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico), XV RCC.

Tabela 12.5. Composição mineralógica das frações areia total e areia grossa do horizonte 3Cg2 do perfil AM-05 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico), XV RCC.

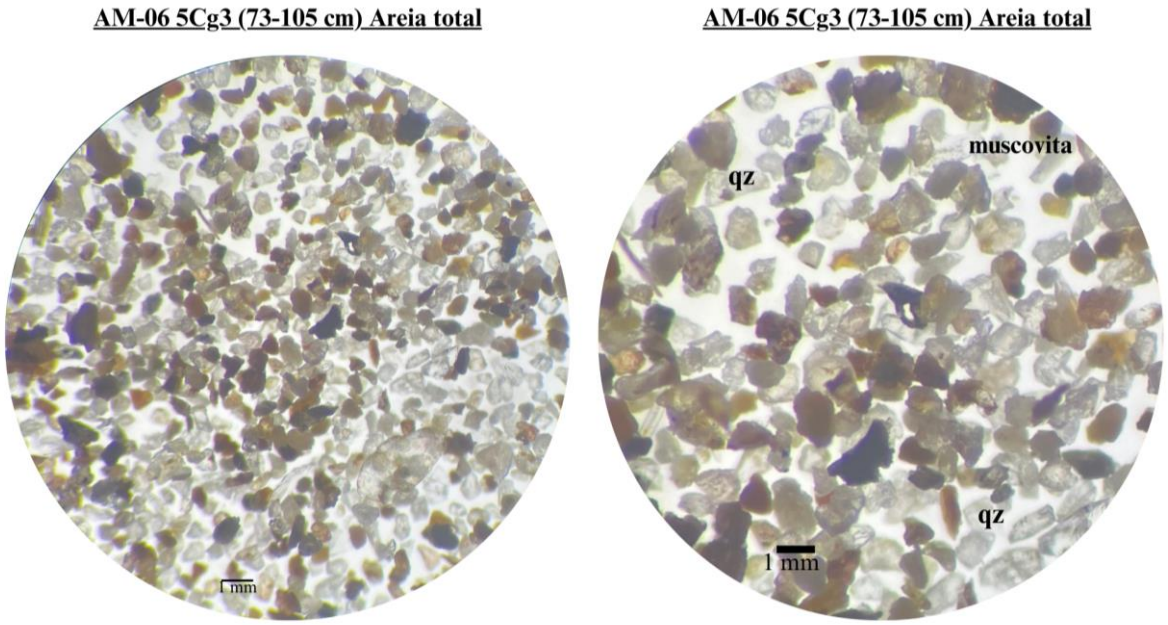
Fração/horizonte/ profundidade	Quartzo	Fitólito	Nódulos	Muscovita	Material orgânico	Classe de quantidade de nódulos da fração[(2)]
	---------- %[(1)] ----------					
Areia total 3Cg2 (33-65 cm)	20	30	10	2	38	Pouco
Areia grossa 3Cg2 (33-65 cm)	20	20	10	2	48	Pouco

[(1)]Estimativa visual conforme Terry e Chilingar (1955) citado por Calderano (2017).

[(2)]Segundo Santos et al. (2015).

Perfil AM-06 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico

O horizonte 5Cg3 do perfil AM-06 não apresentou frações ≥ 2 mm. Possui predomínio da areia fina (171 g kg^{-1}) em relação à areia grossa (6 g kg^{-1}) (Tabela 12.2), assim como uma mineralogia mais variada, tendo quartzo, muscovita, anfibólio, K-feldspato, pirofilita, vermiculita, caulinita e nódulos ferruginosos na fração areia total (Figura 12.6, Tabela 12.6). A prevalência da fração areia fina dificulta o processo de descrição de características morfológicas do grão na lupa utilizada neste estudo, cujo aumento máximo é de 4,5 x. Nesse caso, a associação da mineralogia ótica sob lupa e difração de raios-X foi fundamental.



Fotos: Caroline Delpupo.

Figura 12.6. Fotomicrografias da fração areia total do horizonte 5Cg3 do perfil AM-06 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico), XV RCC.

Tabela 12.6. Composição mineralógica da fração areia total do horizonte 5Cg3 do perfil AM-06 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico), XV RCC.

Fração/horizonte/ profundidade	Quartzo	Opacos	Nódulos	Muscovita	Outros	Classe de quantidade de nódulos da fração[(2)]
	---------- %[(1)] ----------					
Areia total 5Cg3 (73-105 cm)	40	10	10	10	30	Pouco

[(1)]Estimativa visual conforme Terry e Chilingar (1955) citado por Calderano (2017). Opacos: anfibólio. Outros: K-feldspato, pirofilita, vermiculita e caulinita.

[(2)]Segundo Santos et al. (2015).

O DRX da fração areia moída do horizonte 5Cg3 (perfil AM-06, Figura 12.7) apresenta uma mineralogia diversificada, refletindo a baixa intensidade de intemperismo. Observam-se picos bem definidos de quartzo (0,428 nm, 0,334 nm e 0,246 nm), feldspato (0,403 nm, 0,325 nm e 0,319 nm), e mica (muscovita/ilita em 1,010 e 0,500 nm), além de minerais como vermiculita (1,42 nm) e pirofilita (0,94 nm). Também se identifica a presença de anfibólio (0,845 nm) e caulinita (0,712 nm), indicando a coexistência de minerais primários e secundários.

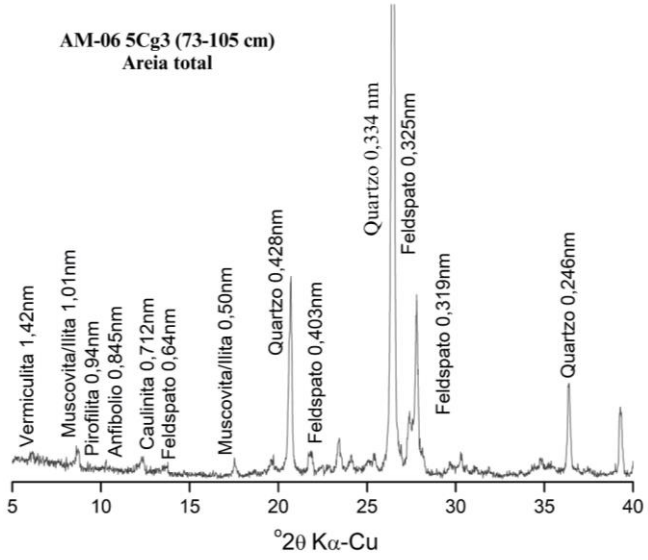


Figura 12.7. Mineralogia por difração de raio-X da fração areia total moída do horizonte 5Cg3 do perfil AM-06 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico), XV RCC. Espaçamento interplanar *d* em nm.

A presença de feldspatos e micas evidencia a herança mineralógica da rocha de origem, pouco transformada por processos pedogenéticos. O conjunto mineralógico revela uma fração arenosa rica e relativamente pouco alterada, com potencial reserva nutricional ao solo. Esses dados são consistentes com a natureza gleissólica do solo, onde a saturação hídrica e a reduzida oxidação limitam a formação de óxidos e argilominerais típicos de ambientes mais intensamente intemperizados.

Perfil AM-07 - Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico

À semelhança do perfil AM-06, o perfil AM-07 apresentou, em seu horizonte 2C, uma mineralogia de grãos bastante variada (Figura 12.8, Tabela 12.7). Dos perfis analisados, representa o de maior proporção de minerais primários intemperizáveis, como anfibólio, feldspato potássico e traços de biotita. Além disso, possui quartzo, minerais opacos e nódulos ferruginosos, todos na fração areia total (teor de 242 g kg^{-1}, Tabela 12.2). Tal cenário mineralógico corrobora a origem andina (recente, portanto) dos sedimentos sobre os quais este solo é formado.

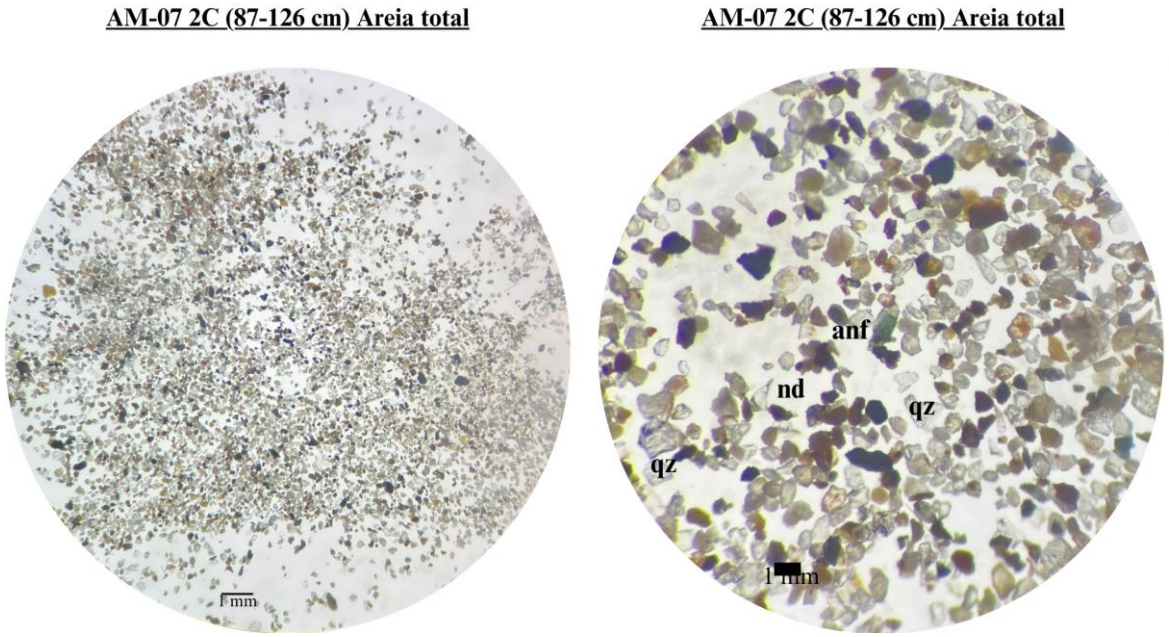


Figura 12.8. Fotomicrografias da fração areia total do horizonte 2C do perfil AM-07 (Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico), XV RCC.

Tabela 12.7. Composição mineralógica da fração areia total do horizonte 2C do perfil AM-07 (Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico), XV RCC.

Fração/horizonte/ profundidade	Quartzo	Opacos	Nódulos	K-Feldspato	Outros	Classe de quantidade de nódulos da fração[(2)]
	---------- %[(1)] ----------					
Areia total 2C (87-126 cm)	40	2	10	3	40	Pouco

[(1)]Estimativa visual conforme Terry e Chilingar (1955) citado por Calderano (2017). Outros: anfibólio, biotita e muscovita.

[(2)]Segundo Santos et al. (2015).

O difratograma da amostra de areia total moída (horizonte 2C, Figura 12.9) revela uma mineralogia variada, típica de materiais de origem com baixo grau de intemperismo. Observam-se picos intensos e bem definidos de quartzo (0,427 nm e 0,333 nm), indicando sua predominância como mineral primário resistente. Os feldspatos também estão presentes, com picos em 0,401 nm, 0,317 nm e 0,64 nm, além de possíveis pseudomorfos substituídos por caulinita.

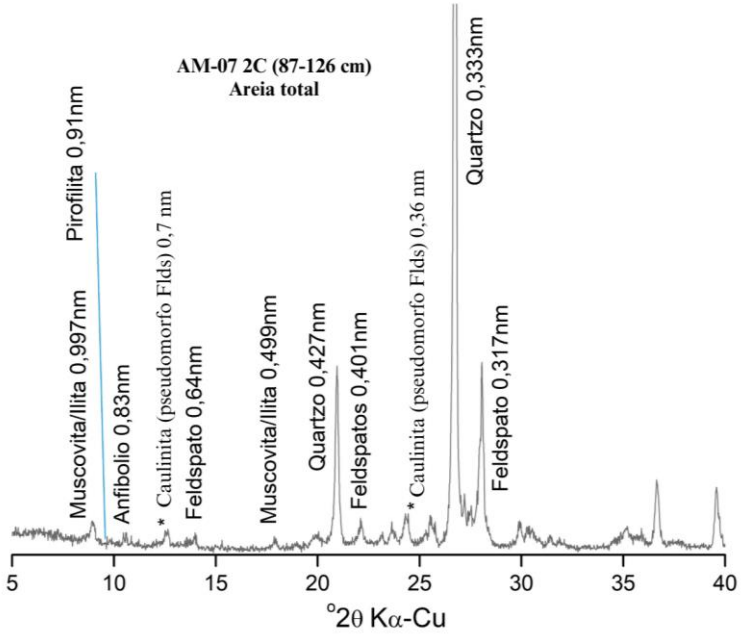


Figura 12.9. Mineralogia por difração de raios-X da fração areia total (moída) do horizonte 2C do perfil AM-07 (Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico), XV RCC. Espaçamento interplanar *d* em nm.

A presença de muscovita/ilita (0,997 nm e 0,499 nm) e de pirofilita (0,91 nm) sugere aporte de minerais derivados de rochas metamórficas ou sedimentares ricas em micas. Além disso, são identificados anfibólios (0,83 nm) e caulinita (0,7 e 0,36 nm), esta última podendo estar associada à alteração incipiente de feldspatos. A diversidade mineralógica e a presença de fases primárias e secundárias refletem um ambiente com dinâmica deposicional ativa e baixa estabilidade geoquímica, típico de sistemas flúvicos com influência de processos redoximórficos.

Perfil AM-08 - Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico

Embora abarque as várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno, o perfil AM-08 é o único perfil de Plintossolo da XV RCC. O horizonte selecionado teve suas frações cascalho (28 g kg^{-1}, Tabela 12.2) e areia total (127 g kg^{-1}, Tabela 12.2) descritas com diferenças significativas em composição. Enquanto a fração cascalho é essencialmente composta de nódulos ferruginosos, a fração areia total apresenta uma composição predominante de quartzo. Embora careça de estudos mais específicos, as características dos nódulos identificados sugerem incipiente processo de ferrólise das petroplintitas presentes (Figura 12.10, Tabela 12.8). A fração cascalho apresenta ligeira atração magnética.

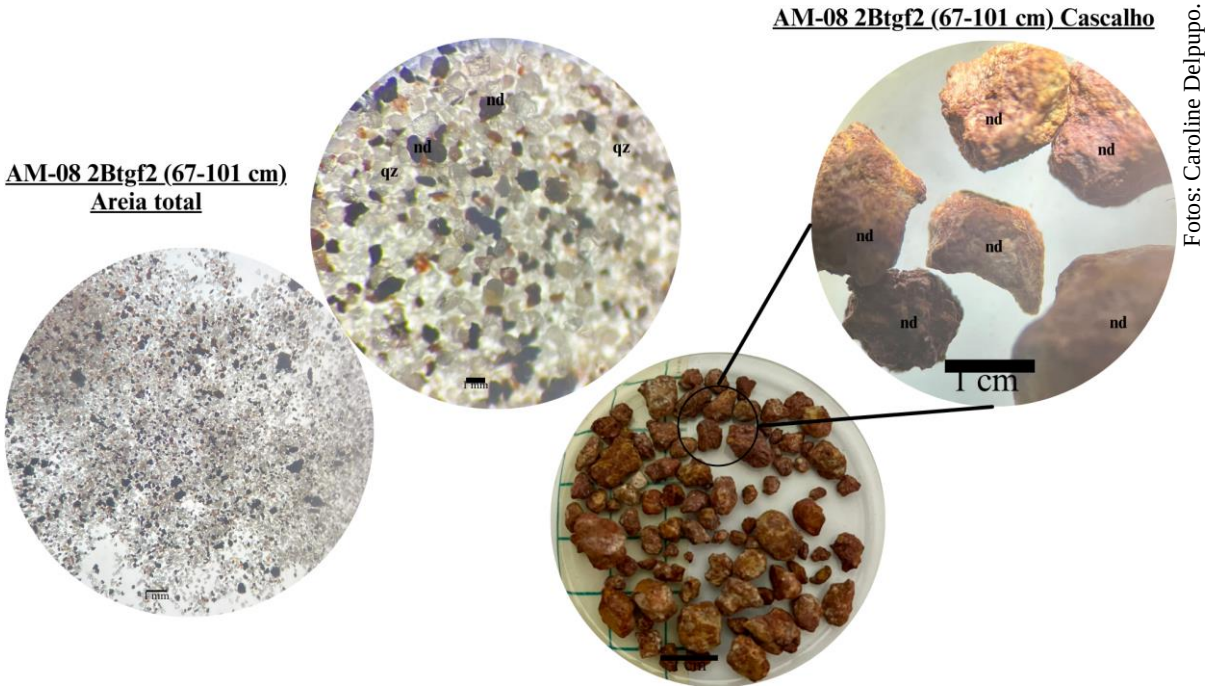


Figura 12.10. Fotomicrografias das frações areia total e cascalho do horizonte 2Btgf2 do perfil AM-08 (Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico), XV RCC.

Tabela 12.8. Composição mineralógica das frações areia total e cascalho do horizonte 2Btgf2 do perfil AM-08 (Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico), XV RCC.

Fração/horizonte/ profundidade	Quartzo	Opacos	Nódulos	Outros	Classe de quantidade de nódulos da fração[(2)]
	----------		%[(1)]	----------	
Areia total 2Btgf2 (73-101 cm)	60	7	30	3	Frequente
Cascalho 2Btgf2 (73-101 cm)	5	0	95	0	Dominante

[(1)]Estimativa visual conforme Terry e Chilingar (1955) citado por Calderano (2017). Opacos (na fração areia): magnetita. Outros (na fração areia): zircão, rutilo.

[(2)]Segundo Santos et al. (2015).

Perfil AM-09 - Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico

O perfil AM-09 apresenta uma mineralogia das frações cascalho e areia total (10 e 894 g kg^{-1}, respectivamente) (Tabela 12.2) bastante simples. Os minerais primários da fração areia total restringem-se ao quartzo e ao zircão (Figura 12.11, Tabela 12.9), condizente com um Espodossolo. Os grãos de quartzo de todas as frações analisadas apresentam raríssimas incrustações ferruginosas e são translúcidos.

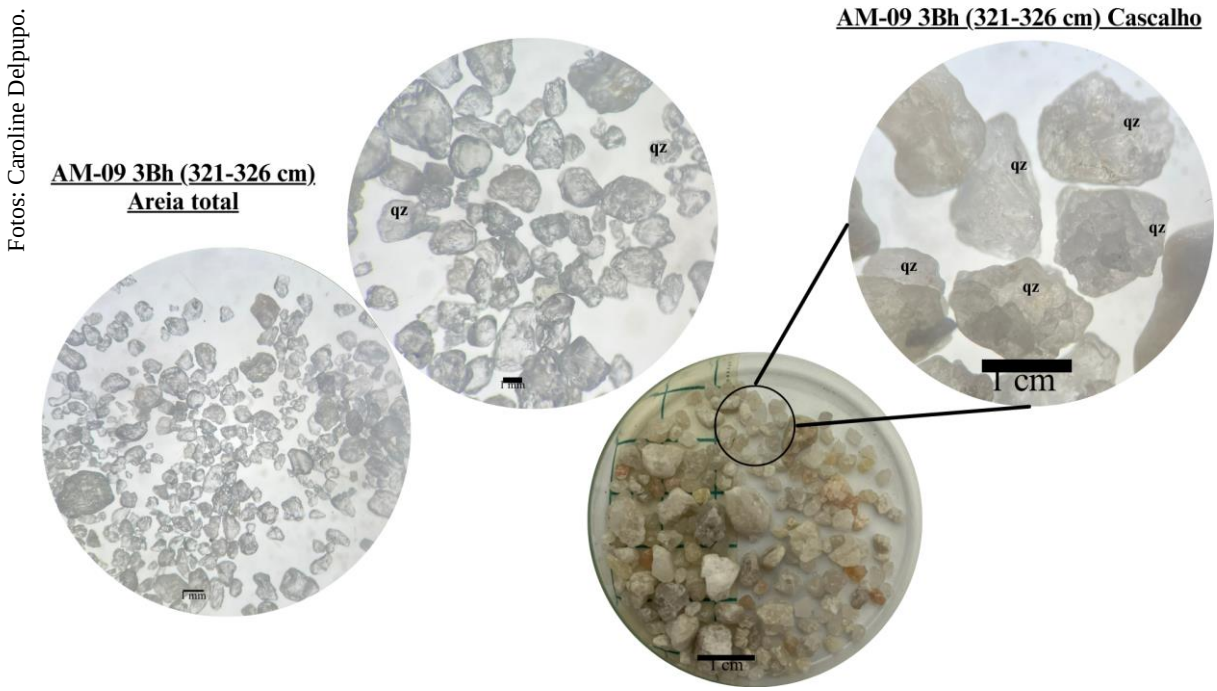


Figura 12.11. Fotomicrografias das frações areia total e cascalho do horizonte 3Bh do perfil AM-09 (Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico), XV RCC.

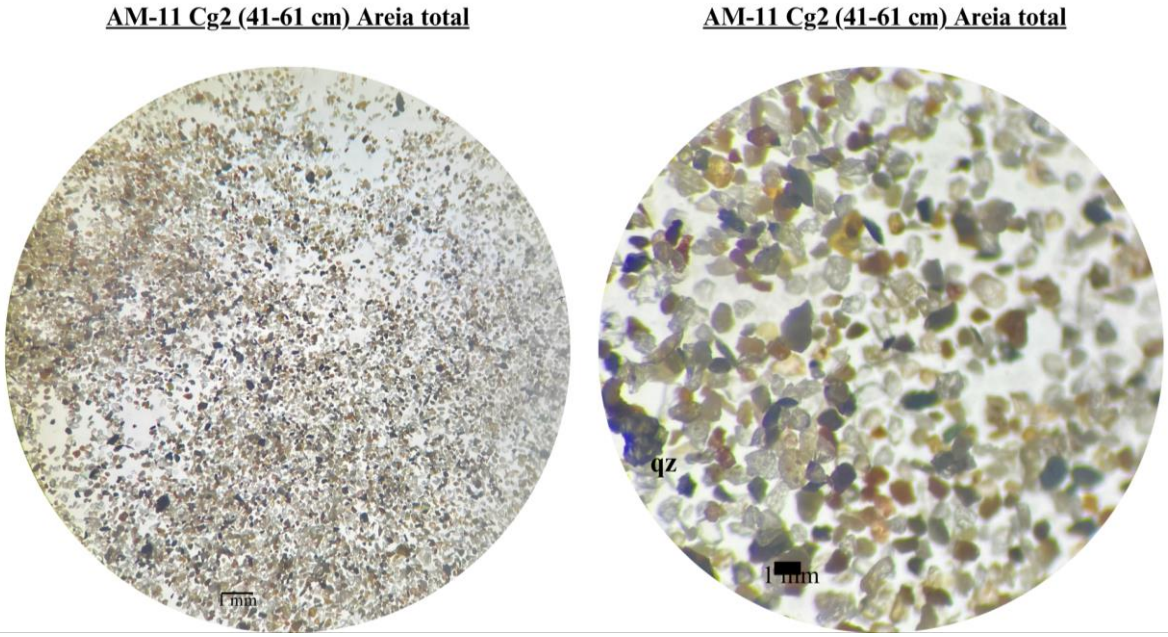
Tabela 12.9. Fotomicrografias e composição mineralógica das frações areia total e cascalho do horizonte 3Bh do perfil AM-09 (Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico), XV RCC.

Fração/horizonte/profundidade	Quartzo	Nódulos	K-Feldspato
	---------- %[1] ----------		
Areia total 3Bh (321-326 cm)	95	0	5
Cascalho 3Bh (321-326 cm)	98	0	2

[1]Estimativa visual conforme Terry e Chilingar (1955) citado por Calderano (2017). Outros (na fração areia): zircão.

Perfil AM-11 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico

Mais um exemplar de Gleissolo da XV RCC, o perfil AM-11 apresenta uma composição granulométrica essencialmente siltosa (657 g kg^{-1}, Tabela 12.2). A fração areia total do horizonte Cg2 (184 g kg^{-1}, Tabela 12.2) é composta principalmente de quartzo, muscovita, nódulos e minerais opacos (Figura 12.12, Tabela 12.10).



Fotos: Caroline Delpupo.

Figura 12.12. Fotomicrografias da fração areia total do horizonte Cg2 do perfil AM-11 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico), XV RCC.

Tabela 12.10. Composição mineralógica da fração areia total do horizonte Cg2 do perfil AM-11 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico), XV RCC.

Fração/horizonte/ profundidade	Quartzo	Opacos	Nódulos	Muscovita	Outros	Classe de quantidade de nódulos da fração[2]
	---------- %[1] ----------					
Areia total Cg2 (41-61 cm)	55	15	15	10	5	Frequente

[1]Estimativa visual conforme Terry e Chilingar (1955) citado por Calderano (2017). Opacos: magnetita. Outros (na fração areia): rutilo.

[2]Segundo Santos et al. (2015).

Perfil AM-12 – Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico

O perfil AM-12 é mais um Gleissolo da XV RCC, entretanto, diferentemente dos demais, este perfil apresenta valores elevados de areia total no horizonte 5C'g2 (666 g kg^{-1}, Tabela 12.2). De maneira similar ao AM-07, também o AM-12 possui uma mineralogia diversificada, apresentando quartzo, muscovita, zircão e anatásio na fração areia total (Figura 12.13, Tabela 12.11). Não apresentou atração magnética.

Fotos: Caroline Delpupo.

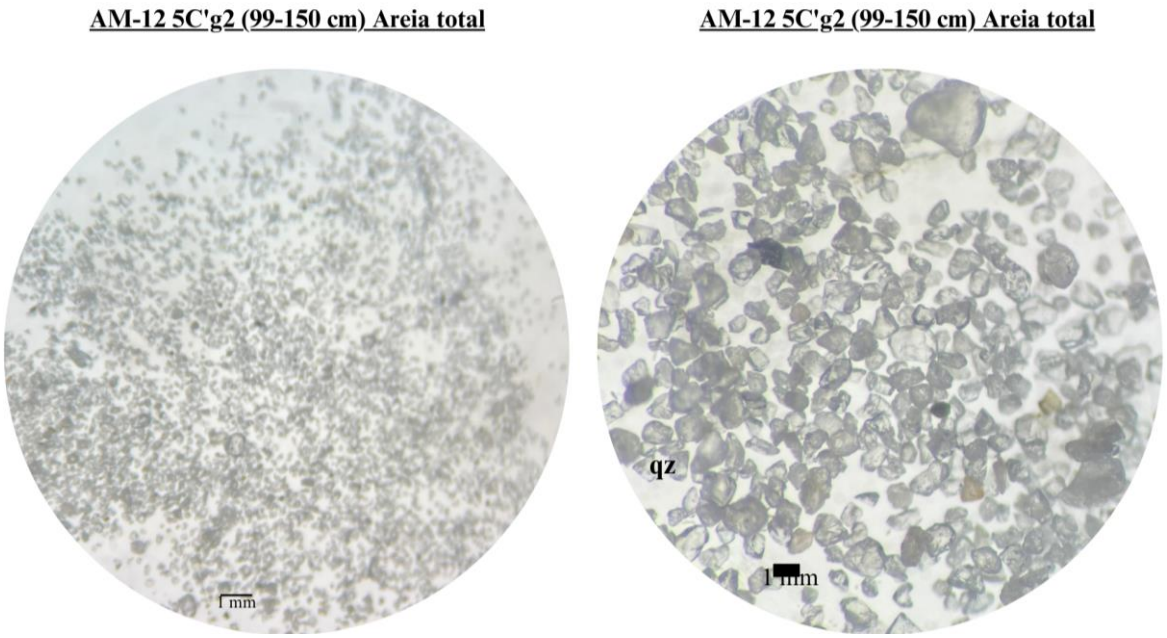


Figura 12.13. Fotomicrografias da fração areia total do horizonte 5C'g2 do perfil AM-12 (Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico), XV RCC.

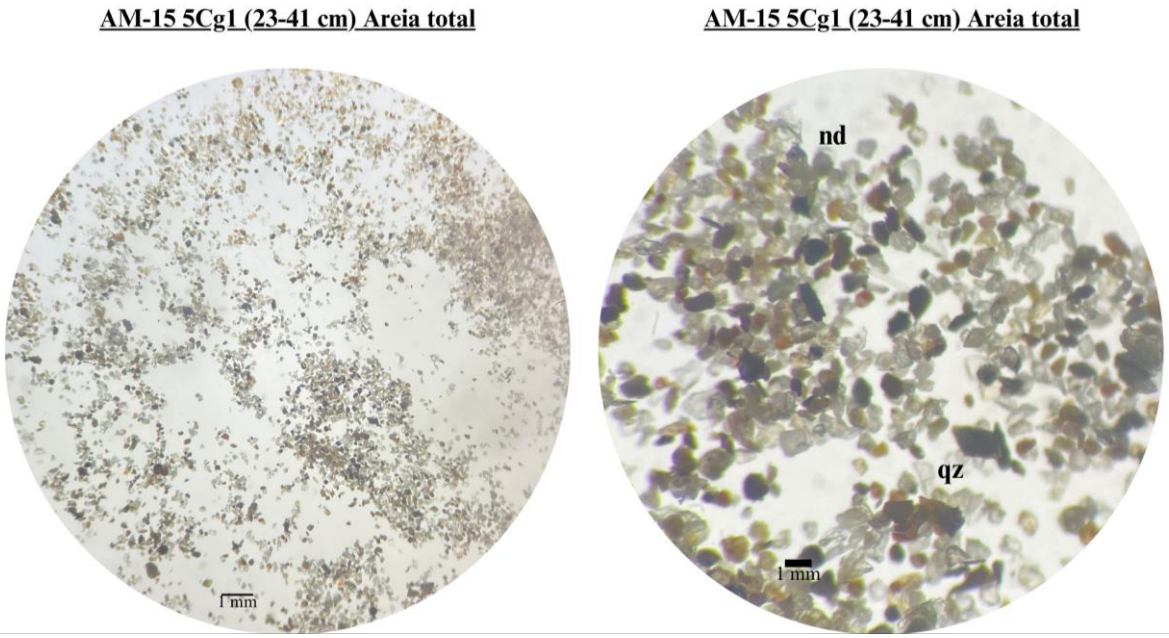
Tabela 12.11. Composição mineralógica da fração areia total do horizonte 5C'g2 do perfil AM-12 (Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico), XV RCC.

Fração/horizonte/profundidade	Quartzo	Muscovita	Outros
	---------- %[1] ----------		
Areia total 5C'g2 (99-150 cm)	80	15	5

[1]Estimativa visual conforme Terry e Chilingar (1955) citado por Calderano (2017). Outros: zircão e anatásio.

Perfil AM-15 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico

O perfil AM-15 apresenta pouca expressividade da fração areia total (191 g kg^{-1}, Tabela 12.2) e uma textura essencialmente siltosa (teor de silte de 697 g kg^{-1}, Tabela 12.2). A análise da fração areia total do horizonte 5Cg1 revela uma mineralogia relativamente variada, bastante coerente com um solo aluvial jovem. Foi possível identificar, ainda, a abundante presença de fitólitos (Figura 12.14, Tabela 12.12).



Fotos: Caroline Delpupo.

Figura 12.14. Fotomicrografias e composição mineralógica da fração areia total do horizonte 5Cg1 do perfil AM-15 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico), XV RCC.

Figura 12.12. Fotomicrografias e composição mineralógica da fração areia total do horizonte 5Cg1 do perfil AM-15 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico), XV RCC.

Fração/horizonte/profundidade	Quartzo	Opacos	Nódulos	Muscovita	Outros	Classe de quantidade de nódulos da fração[(2)]
	---------- %[(1)] ----------					
Areia total 5Cg1 (23-41 cm)	50	10	30	5	5	Frequente

[(1)]Estimativa visual conforme Terry e Chilingar (1955) citado por Calderano (2017). Opacos: magnetita. Outros: fitólito e material orgânico.

[(2)]Segundo Santos et al. (2015).

Perfil AM-16 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico

O perfil AM-16 também apresenta pouca expressividade mineralógica das frações de areia total e uma textura essencialmente siltosa (668 e 713 g kg^{-1}, respectivamente, Tabela 12.2). A análise da fração areia total dos horizontes 2Cg e 2Cgn2 (24 e 20 g kg^{-1}, respectivamente) (Tabela 12.2) apresenta uma mineralogia composta sobretudo de quartzo, muscovita e nódulos. Foi possível identificar ainda carvão e abundante presença de fitólitos. Houve um ligeiro aumento da presença de nódulos no horizonte 2Cgn2 (76-119 cm), em detrimento da presença de muscovita (Figura 12.15, Tabela 12.13).

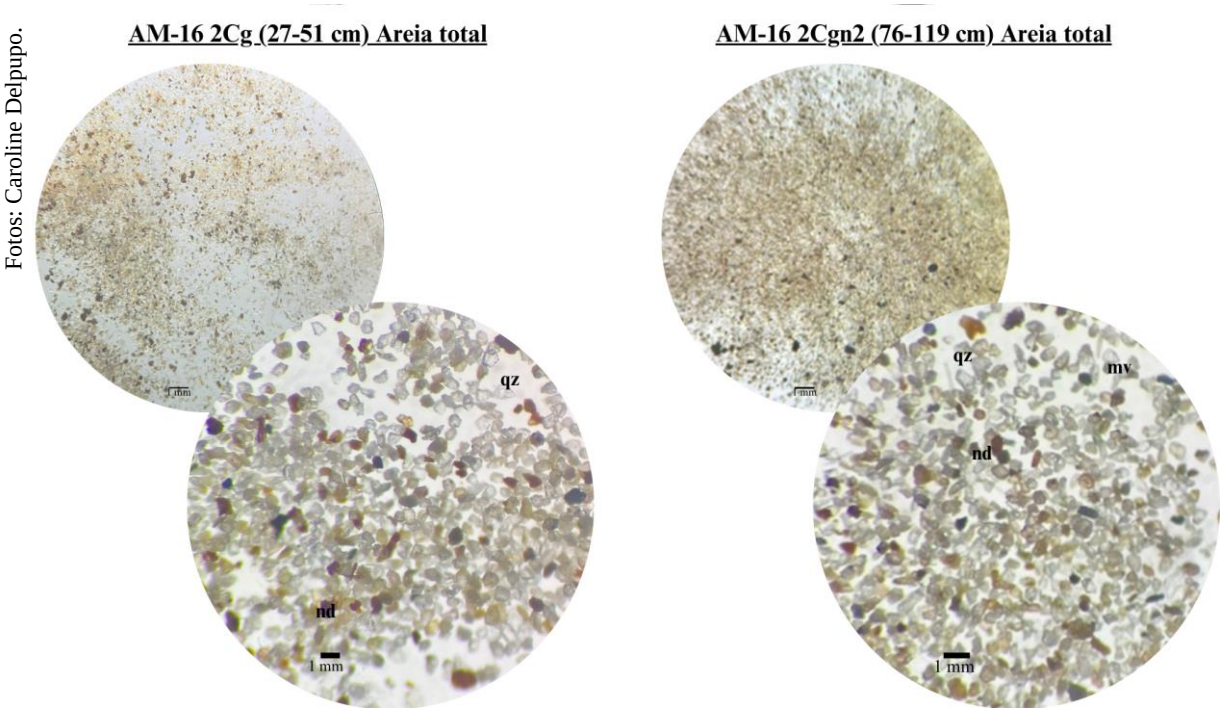


Figura 12.15. Fotomicrografias das frações areia total dos horizontes 2Cg e 2Cgn2 do perfil AM-16 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico), XV RCC.

Tabela 12.13. Composição mineralógica das frações areia total dos horizontes 2Cg e 2Cgn2 do perfil AM-16 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico), XV RCC.

Fração/horizonte/profundidade	Quartzo	Opacos	Nódulos	Muscovita	Outros	Classe de quantidade de nódulos da fração[(2)]
	---------- %[(1)] ----------					
2Cg (27-51 cm)	48	2	10	20	20	Pouco
2Cgn2 (76-119 cm)	48	2	20	10	20	Frequente

[(1)]Estimativa visual conforme Terry e Chilingar (1955) citado por Calderano (2017). Opacos: magnetita. Outros: zircão, rutilo, fitólitos, carvão.

[(2)]Segundo Santos et al. (2015).

Perfil PA-05 – Latossolo Amarelo Distrófico típico

Foi analisada a fração areia total do horizonte Bw2 do perfil PA-05. O horizonte não apresenta frações ≥ 2 mm, e mesmo a fração areia (total) é muito pouco expressiva em sua composição granulométrica da TFSA (21 g kg^{-1}, Tabela 12.2). Metade da fração areia total do horizonte analisado é constituída de quartzo, em sua maioria, transparente e com poucas inclusões ferruginosas (Figura 12.16, Tabela 12.14). Vale ressaltar a presença de um material amarelo-avermelhado e muito circular na fração areia fina que se desfaz ao leve toque com a pinça, sugerindo tratar-se de agregados argilosos que não foram dispersos durante o processo de separação das frações (pseudoareias).

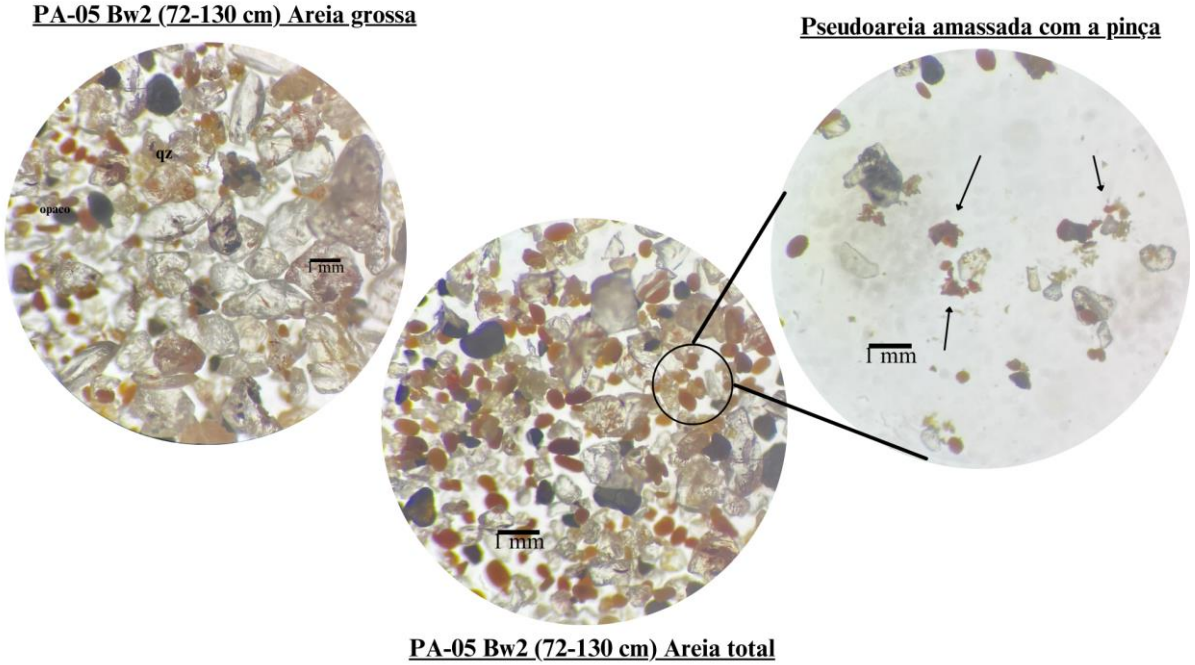


Figura 12.16. Fotomicrografias da fração areia total do horizonte Bw2 do perfil PA-05 (Latossolo Amarelo Distrófico típico), XV RCC.

Tabela 12.14. Composição mineralógica da fração areia total do horizonte Bw2 do perfil PA-05 (Latossolo Amarelo Distrófico típico), XV RCC.

Fração/Horizonte/Profundidade	Quartzo	Opacos	Nódulos	Pseudo areias	Outros	Classe de quantidade de nódulos da fração[(2)]
	---------- %[(1)] ----------					
Areia total Bw2 (72-130 cm)	40	10	10	30	10	Pouco

[(1)]Estimativa visual conforme Terry e Chilingar (1955) citado por Calderano (2017). Opacos: magnetita. Outros: zircão, fitólitos.

[(2)]Segundo Santos et al. (2015).

Perfil PA-06 - Neossolo Quartzarênico Órtico húmico

O perfil PA-06 teve suas frações cascalho e areia total analisadas em amostras do horizonte C. Trata-se do horizonte com o menor teor de argila entre os solos da XV RCC, apresentando apenas 66 g kg^{-1} de argila (Tabela 12.2), teor similar ao do horizonte 3Bh do perfil AM-09, Espodossolo (69 g kg^{-1}). Tanto a fração areia total quanto a fração cascalho (15 g kg^{-1}, Tabela 12.2) são compostas principalmente de quartzo, seguido de uma pouco expressiva parcela de nódulos ferruginosos (Figura 12.17, Tabela 12.15). Sua fração areia total é composta de dois grupos de quartzos – um deles mais anguloso, transparente e de brilho reluzente; outro, mais arredondado e com forte inclusão ferruginosa. De maneira semelhante, a fração cascalho é composta predominantemente de quartzo, com a mesma distinção entre tipos de feições de alteração. Também a fração cascalho possui nódulos em sua composição, ligeiramente mais expressiva que na fração areia total.

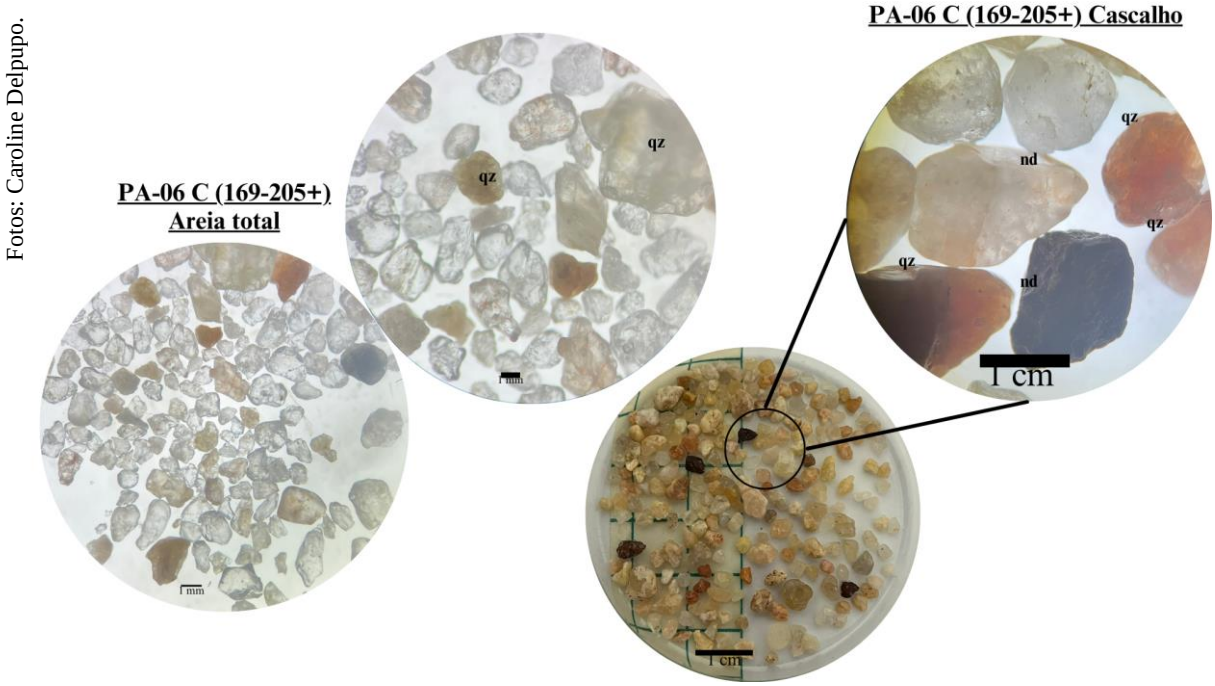


Figura 12.17. Fotomicrografias das frações areia total e cascalho do horizonte C do perfil PA-06 (Neossolo Quartzarênico Órtico húmico), XV RCC.

Tabela 12.15. Fotomicrografias e composição mineralógica das frações areia total e cascalho do horizonte C do perfil PA-06 (Neossolo Quartzarênico Órtico húmico), XV RCC.

Fração/horizonte/profundidade	Quartzo	Nódulos	Classe de quantidade de nódulos da fração[(2)]
	---------- %[(1)] ----------		
Areia total C (169-205 cm)	95	5	Pouco
Cascalho C (169-205 cm)	90	10	Pouco

[(1)]Estimativa visual conforme Terry e Chilingar (1955) citado por Calderano (2017). Opacos: magnetita. Outros: zircão, fitólitos.

[(2)]Segundo Santos et al. (2015).

Os difratogramas de raios-X das amostras moídas PA-06, horizonte C (areia total) e PA-06, horizonte C (cascalho) foram exatamente iguais e indicam uma mineralogia extremamente simples, com predomínio absoluto de quartzo (Figura 12.18). Os picos mais intensos e bem definidos ocorrem nas posições 0,426 nm, 0,334 nm e 0,246 nm. Essa composição mineralógica reforça o caráter altamente lixiviado e o alto grau de intemperismo químico do perfil, com predominância de materiais residuais.

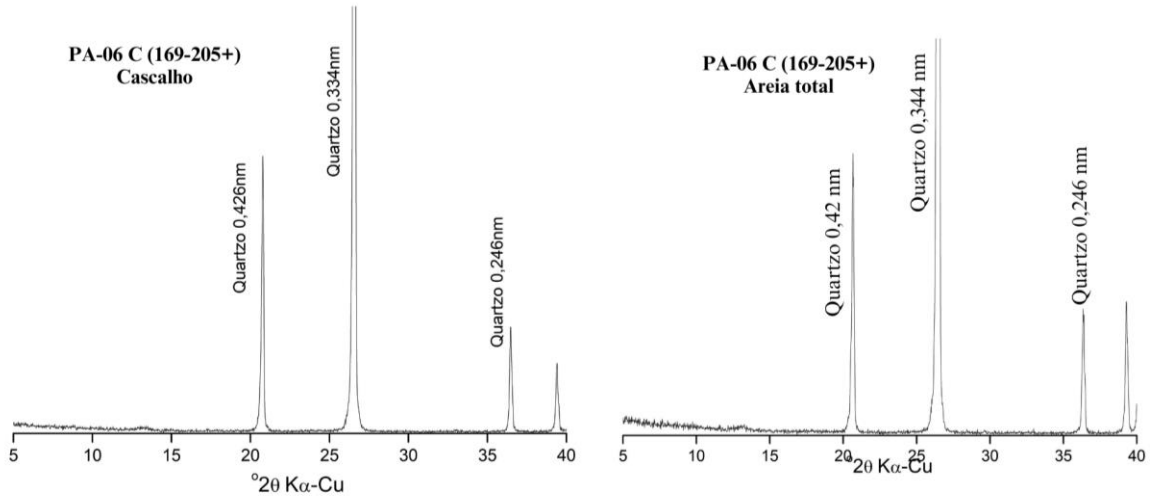


Figura 12.18. Mineralogia por difração de raios-X das amostras moídas das frações cascalho e areia total do horizonte C do perfil PA-06 (Neossolo Quartzarênico Órtico húmico), XV RCC. Espaçamento interplanar *d* em nm.

Perfil PA-07 - Latossolo Amarelo Distrófico húmico

O horizonte Bw do perfil PA-07 é um dos mais argilosos entre os solos analisados na XV RCC, apresentando 788 g kg^{-1} de argila (Tabela 12.2). Este horizonte não possui frações cascalho ou calhau, e sua fração areia é de apenas 40 g kg^{-1} (Tabela 12.2). A análise mais retida sob lupa revelou que, mesmo já sendo muito pouco expressiva, possivelmente a fração areia é ainda menor, uma vez que 90% dessa fração é composta de um material amarelo-avermelhado e muito circular que se desfaz ao leve toque com a pinça, sugerindo tratar-se de agregados argilosos que não foram dispersos durante o processo de separação das frações (pseudoareias). Caso se confirme tal cenário, o horizonte analisado pode apresentar menos de 4 g kg^{-1} de areia. O restante da fração areia total é composto de nódulos ferruginosos e minerais opacos. Estes últimos, provavelmente, estão relacionados à fraca atração magnética apresentada. Os grãos de quartzo presentes possuem baixíssimos indícios de ferruginização, sendo transparentes e com brilho reluzente (Figura 12.19, Tabela 12.16).

Fotos: Caroline Delpupo.

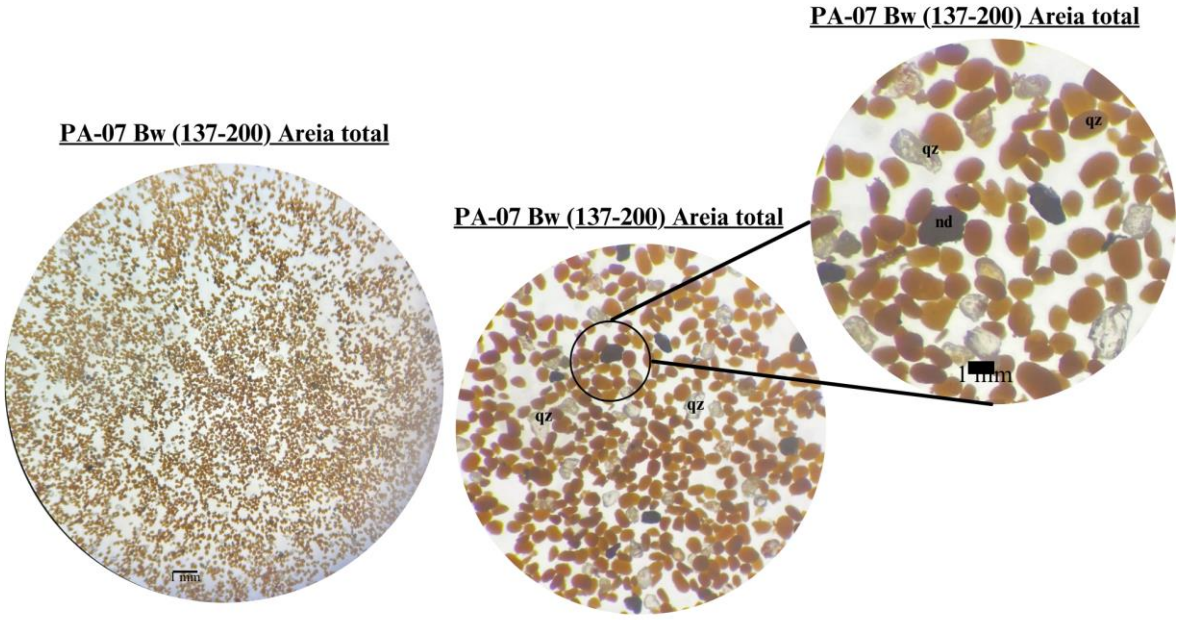


Figura 12.19. Fotomicrografias da fração areia total do horizonte Bw do perfil PA-07 (Latossolo Amarelo Distrófico húmico), XV RCC.

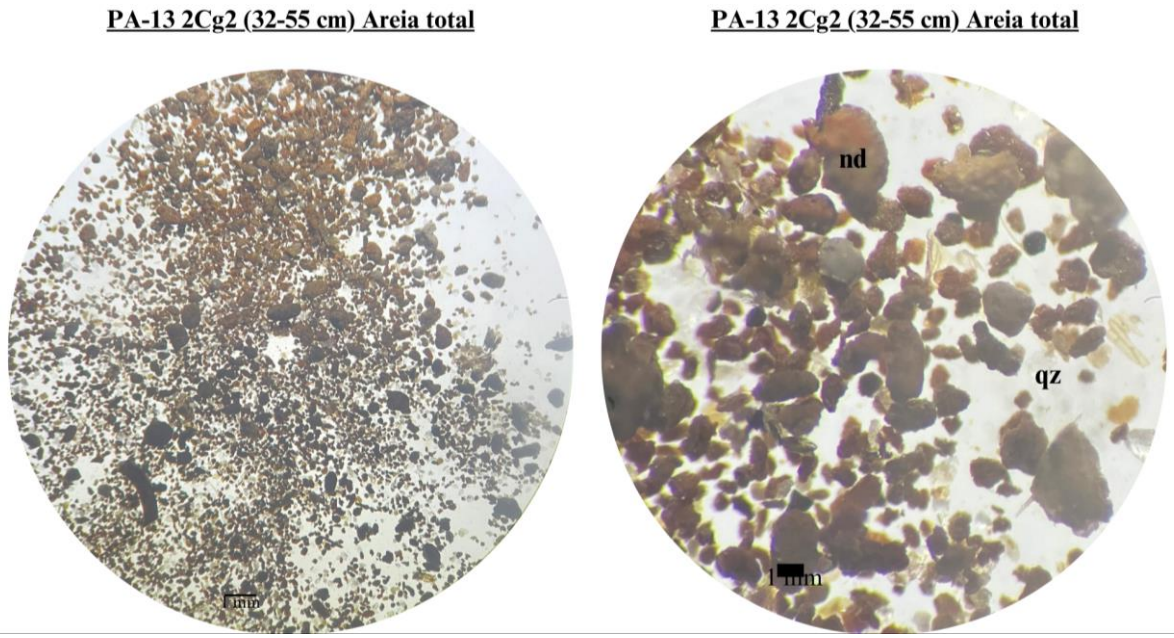
Tabela 12.16. Composição mineralógica da fração areia total do horizonte Bw do perfil PA-07 (Latossolo Amarelo Distrófico húmico), XV RCC.

Fração/horizonte/profundidade	Quartzo	Opacos	Nódulos	Pseudoareias	Classe de quantidade de nódulos da fração[(2)]
	---------- %[1] ----------				
Areia total Bw (137-200 cm)	6	1	3	90	Muito pouco

[(1)]Estimativa visual conforme Terry e Chilingar (1955) citado por Calderano (2017). Opacos: magnetita. Outros: zircão, fitólitos.

Perfil PA-13 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico

A análise da fração areia total (30 g kg^{-1}, Tabela 12.2) do horizonte 2Cg2 do perfil PA-13 indica dominância de nódulos (Figura 12.20, Tabela 12.17). De forma semelhante a outro Gleissolo da XV RCC, o perfil PA-13 é bastante rico em materiais orgânicos em diferentes níveis de decomposição.



Fotos: Caroline Delpupo.

Figura 12.20. Fotomicrografias da fração areia total do horizonte 2Cg2 do perfil PA-13 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico), XV RCC.

Tabela 12.17. Composição mineralógica da fração areia total do horizonte 2Cg2 do perfil PA-13 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico), XV RCC.

Fração/horizonte/profundidade	Quartzo	Opacos	Nódulos	Material orgânico	Classe de quantidade de nódulos da fração[(2)]
	---------- %[(1)] ----------				
Areia total 2Cg2 (32-55 cm)	10	2	75	13	Muito frequente

[(1)]Estimativa visual conforme Terry e Chilingar (1955) citado por Calderano (2017). Opacos: magnetita. Outros: zircão, fitólitos.

[(2)]Segundo Santos et al. (2015).

Perfil PA-14 – Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico

O perfil PA-14 apresenta a maior parte da TFSA composta de silte e argila, assim como a maioria dos perfis de várzea da XV RCC (AM-05, AM-06, AM-07, AM-11, AM-16, PA-13 e PA-14). Apresenta pouca expressividade das frações grossas, mesmo quando inserido no contexto de outros Vertissolos do País (Tabela 12.2). A análise da fração areia total do horizonte 2Cvg3 (26 g kg^{-1}, Tabela 12.2) revela um predomínio de material vegetal ainda pouco decomposto, além da presença de agregados argilosos que não foram dispersos durante o processo de separação das frações (pseudoareias) e de fitólitos (Figura 12.21, Tabela 12.18). Já a fração cascalho presente no horizonte 2C'vg1 (150-170 cm), embora pouco expressiva em relação à massa do solo (18 g kg^{-1}; Tabela 12.2), revelou a presença de nódulos carbonáticos com forte reação ao ácido clorídrico diluído (10%).

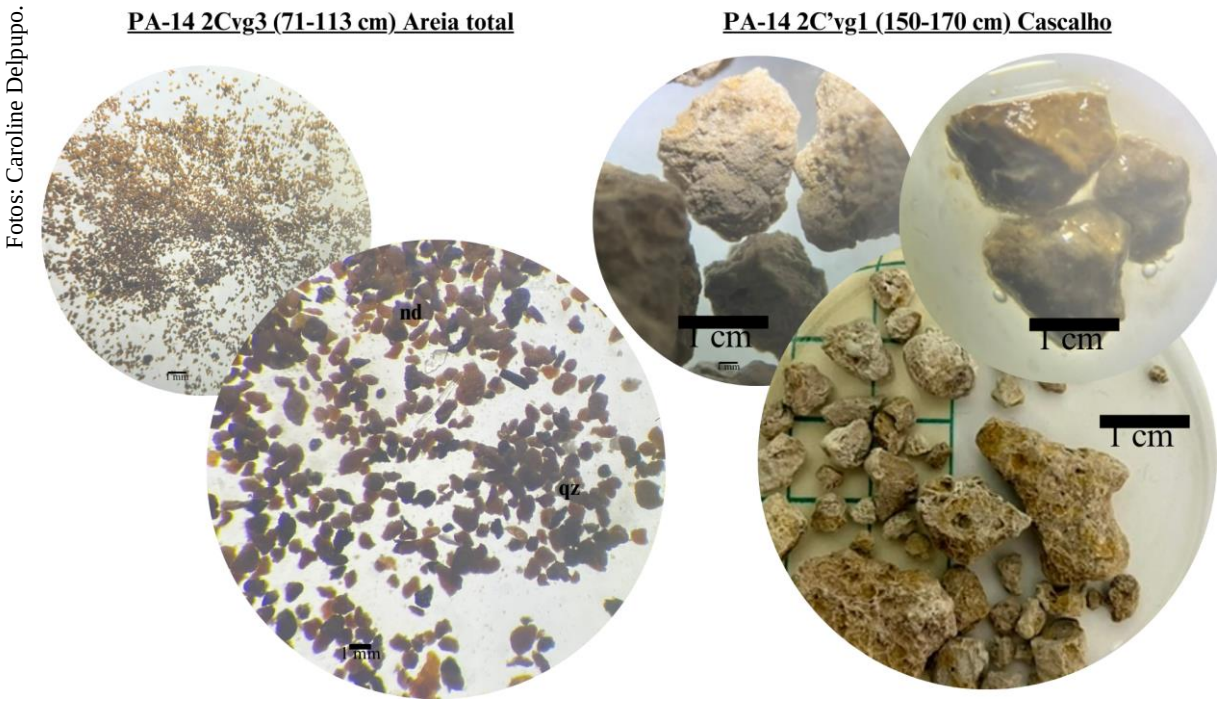


Figura 12.21. Fotomicrografias das frações areia total do horizonte 2Cvg3 e cascalho do horizonte 2C'vg1 do perfil PA-14 (Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico), XV RCC.

Tabela 12.18. Composição mineralógica das frações areia total do horizonte 2Cvg3 e cascalho do horizonte 2C'vg1 do perfil PA-14 (Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico), XV RCC.

Fração/horizonte/profundidade	Quartzo	Opacos	Nódulos	Muscovita	Outros	Classe de quantidade de nódulos da fração[(2)]
	---------- %[(1)] ----------					
Areia total 2Cvg3 (71-113 cm)	10	2	10	5	73	Pouco
Cascalho 2C'vg1 (150-170 cm)	10	0	90	0	0	Dominante

[(1)]Estimativa visual conforme Terry e Chilingar (1955) citado por Calderano (2017). Opacos: magnetita. Outros: zircão, fitólitos.

[(2)]Segundo Santos et al. (2015).

Os difratogramas de raios-X das amostras PA-14, horizonte 2Cvg3 (areia total moída) e PA-14, horizonte 2C'vg1 (cascalho moído) (Figura 12.22) revelam uma mineralogia relativamente variada, marcada pela coexistência de minerais primários e secundários. Na fração areia total, o quartzo aparece como o mineral dominante, com picos nítidos em 0,428 nm e 0,334 nm, indicativos de sua estabilidade e herança litológica. Também são identificados picos atribuídos a feldspatos (0,65 e 0,58 nm) e muscovita/ilita (1,03 e 0,503 nm), apontando para a presença de minerais pouco alterados.

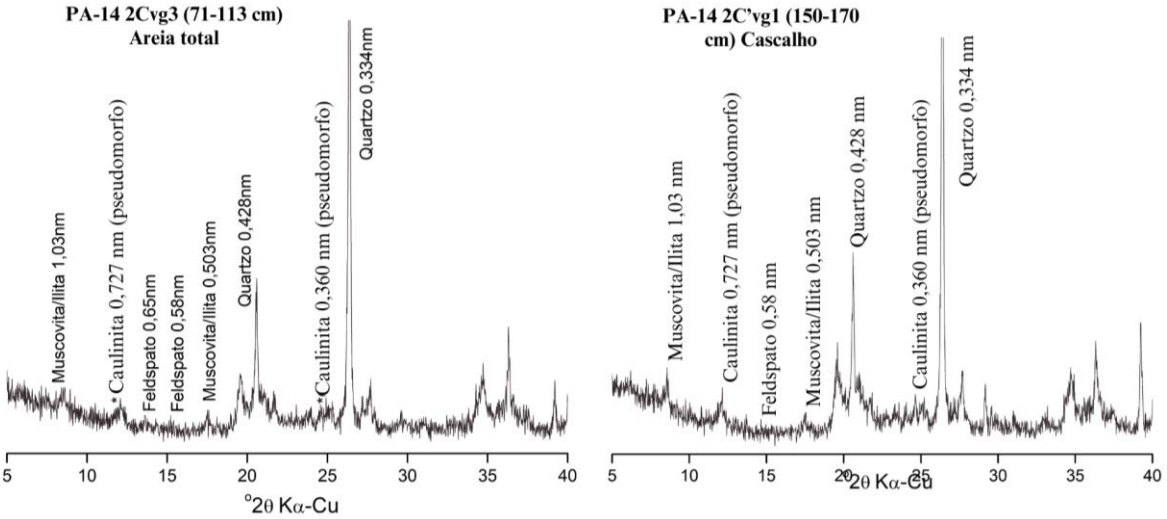


Figura 12.22. Mineralogia por difração de raios-X das frações areia total moída do horizonte 2Cvg3 e cascalho moído do horizonte 2C'vg1 do perfil PA-14 (Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico), XV RCC. Espaçamento interplanar *d* em nm.

Além disso, destaca-se a ocorrência de caulinita (picos em 0,727 e 0,360 nm), frequentemente interpretada como resultado da pseudomorfose de feldspatos, ou seja, sua substituição parcial por minerais secundários devido ao intemperismo químico. Esse processo é comum em ambientes onde há variação do regime redox, como em solos hidromórficos, e pode ser intensificado por ciclos de umedecimento e secagem. A diversidade mineral e a presença de minerais expansivos conferem ao solo características químicas e físicas particulares, como alta suscetibilidade à variação volumétrica e potencial de liberação de nutrientes por decomposição progressiva.

Perfil PA-17 – Organossolo Háplico Hêmico típico

O perfil PA-17, único Organossolo entre os solos da XV RCC, apresenta, como era de se esperar, as frações areia grossa e areia fina (254 e 54 g kg^{-1}, respectivamente, Tabela 12.2) do horizonte Hd3 (12-29 cm) compostas predominantemente de material orgânico bastante decomposto, com alguma presença de matéria orgânica fíbrica e quartzo (Figura 12.23, Tabela 12.19).

Fotos: Caroline Delpupo.

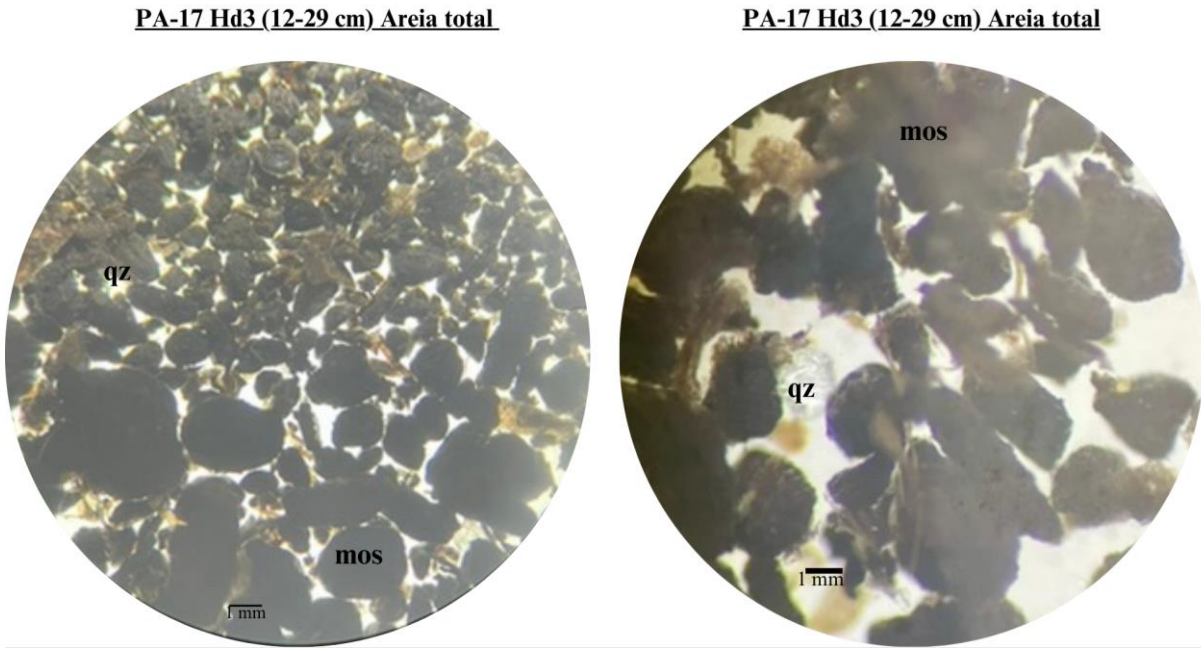


Figura 12.23. Fotomicrografias da fração areia total do horizonte Hd3 do perfil PA-17 (Organossolo Háplico Hêmico típico), XV RCC.

Tabela 12.19. Composição mineralógica da fração areia total do horizonte Hd3 do perfil PA-17 (Organossolo Háplico Hêmico típico), XV RCC.

Fração/horizonte/profundidade	Quartzo	Material orgânico
	---------- %[(1)] ----------	
Areia total Hd3 (12-29 cm)	5	95

[(1)]Estimativa visual conforme Terry e Chilingar (1955) citado por Calderano (2017).

4. Considerações finais

Mesmo que de maneira preliminar, as análises das frações grossas dos solos da XV RCC, desenvolvidos nas várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno, revelaram importantes informações que poderão subsidiar conclusões acerca da gênese e da evolução pedológica, notadamente, a partir da morfologia e da constituição mineralógica.

Um dos grandes desafios que o desenvolvimento deste capítulo traz é a incorporação de abordagens científicas transversais como a microscopia ótica e a morfometria de grãos, em um contexto em que os critérios taxonômicos devem ser de fácil empregabilidade e reprodutíveis, sobretudo em nível macroscópico.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio de todos que compuseram a organização da XV RCC, em especial, dos editores José Francisco Lumbreras e Maurício Rizzato Coelho, da Embrapa Solos. Os autores agradecem também a Central Multiusuários do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), financiada pela proposta APQ-02529-24 (Fapemig), pelo apoio operacional ao longo da realização deste trabalho.

Referências

BIGARELLA, J. J.; HARTKOPF, C. C.; SOBANSKI, A.; TREVISAN, N. Textura superficial dos grãos em areias e arenitos. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 10, p. 253-275, 1955.

BROWN, G.; BRINDLEY, G. W. X-ray diffraction procedures for clay mineral identification. In: BRINDLEY, G. W.; BROWN, G. (ed.). **Crystal structures of clay minerals and their x-ray identification**. London: Mineralogical Society of Great Britain and Ireland, 1980. p. 305-360. (Mineralogical Society. Monograph, n. 5. DOI: https://doi.org/10.1180/mono-5.5.

CALDERANO, S. B. Análise mineralógica de grãos. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. pt. 4, cap. 2, p. 443-451. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1107356. Acesso em: 1 set. 2025.

KLEIN, C.; DUTROW, B. **Manual de ciência dos minerais**. 23. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 716 p.

MEDEIROS, P. S. C. de; NASCIMENTO, P. C. do; INDA, A. V.; SILVA, D. S. da. Caracterização e classificação de solos graníticos em topossequência na região Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 43, n. 7, p. 1210-1217, 2013. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000700011.

MOORE, D. M.; REYNOLDS, R. C. **X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals**. Oxford: Oxford University Press, 1989. 332 p.

MUNSELL, A. H. **Munsell soil color charts**. Grand Rapids, MI, 2009.

NOVAES FILHO, J. P.; COUTO, E. G.; RODRIGUES, L. C. M.; CHIG, L. A.; JOHNSON, M. S. Indicativos de descontinuidade litológica de regolitos derivados de granitos em uma microbacia sob floresta amazônica, em Juruena - MT. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 317-324, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000200001.

OLIVEIRA, F. S. de; FURQUIM, S. A. C.; PEREIRA, M. G.; SOUZA, C. D.; SILVA NETO, E. C. da; CALEGARI, M. R.; COSTA, A. M. da. A pedologia e seus diálogos científicos: abordagens analíticas transversais para o estudo dos solos. In: SOUZA-FILHO, L. F.; SILVA, R. C.; CÉSAR, F. R. C. F.; SOUZA, C. M. M. (org.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2021. v. 11, p. 291-352.

PINTO, C. de S. **Curso básico de mecânica dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 355 p.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003. Acesso em: 1 set. 2025.

SANTOS, R. D. dos; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101 p.

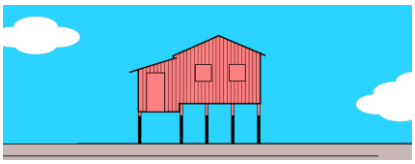
SOUZA, C. D.; SOUZA, J. J. L. L. de; OLIVEIRA, F. S. de; SOUZA JUNIOR, V. S. de. Mineralogia das frações areia e cascalho dos solos da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos - RCC de Goiás e Tocantins. In: SANTOS, G. G.; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, R. E. M. de; MADARI, B. E. (ed.). **Guia de campo da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Goiás e Tocantins. Brasília, DF: Embrapa, 2023. cap. 10. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1155338. Acesso em: 1 set. 2025.

TARDY, Y. **Pétrologie des latérites et des sols tropicaux**. Paris: Masson, 1993. 459 p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085209. Acesso em: 1 set. 2025.

VIANA, J. H. M.; DONAGEMMA, G. K.; CLEMENTE, E. de P. Análise granulométrica de solos: subsídios para avaliação de ocorrência de descontinuidades litológicas em perfis selecionados da XIII RCC. In: SILVA, M. B. e; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de (ed.). **Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC do Maranhão. Brasília, DF: Embrapa, 2020. E-book. cap. 13. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1127220. Acesso em: 1 set. 2025.

Capítulo 13



Mineralogia das frações argila e silte dos solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos

Sebastião Barreiros Calderano
Aline Pacobahyba de Oliveira

1. Introdução

Por sua importância nas inter-relações das várias propriedades dos solos, a mineralogia da fração argila constitui um tema de destacado interesse para as investigações voltadas ao reconhecimento dos processos de gênese e transformação dos minerais em ambientes pedogenéticos, que podem influenciar tanto nas características como no comportamento dos solos.

A fração argila (Ø < 0,002 mm), constituída predominantemente de minerais como os filossilicatos (argilominerais), de formato planar, e os óxidos, de formatos distintos, apresenta grande atividade físico-química, com reflexos também na morfologia do solo. Essa característica é consequência, principalmente, da expressiva superfície específica de seus constituintes, como, também, da presença de cargas superficiais, permanentes ou dependentes do pH.

A ocorrência e a diversidade dos argilominerais são condicionadas pelo material de origem, pelo intemperismo e pela pedogênese, com suas respectivas transformações mineralógicas, neoformações e fases de estabilidade, onde o tempo também tem importância fundamental, sobretudo em condições tropicais. Resulta disso uma diversidade mineralógica, indicadora da intensidade do intemperismo e dos processos pedogenéticos envolvidos e atuantes.

A importância dos minerais da fração argila (argilominerais e óxidos) do solo está na sua participação efetiva nas propriedades físicas (textura, consistência, expansão e contração, retenção de água etc.), químicas (disponibilidade de nutrientes, CTC, sorção e dessorção, acidez, salinidade etc.) e morfológicas (cor, estrutura, fendilhamento, presença de *slickensides* etc.).

Alguns atributos são usados no reconhecimento do solo no campo e na própria distinção de classes de solos em diferentes níveis taxonômicos de alguns sistemas de classificação, com destaque para o *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* (SiBCS) (Santos et al., 2018). São exemplos: atividade da fração argila, relações moleculares Ki e Kr, cor, *gilgai*, caracteres ácrico, retrátil, rúbrico, coeso e vértico, entre outros.

Além da fração argila, os elevados teores de silte também podem influenciar nos diversos atributos e comportamento dos solos, a depender, em parte, da mineralogia desta fração e do teor de matéria orgânica. Sensação de sedosidade ao tato, estrutura pouco desenvolvida, ocorrência de selamento superficial, alta propensão à erosão e alta suscetibilidade à compactação são algumas características comuns dos solos siltosos.

O objetivo do presente trabalho foi identificar os minerais presentes nas frações argila e silte dos solos estudados na *XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos*: RCC das várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno (XV RCC), realizada nos estados do Amazonas e Pará, como subsídio para interpretações referentes à sua gênese e à avaliação de critérios para distinção taxonômica.

2. Material e métodos

2.1. Solos analisados e relação com o material de origem

Para a análise mineralógica, foram selecionados um ou dois horizontes diagnósticos de cada perfil de solo da XV RCC (Tabela 13.1). A escolha dos horizontes baseou-se nas propriedades morfológicas e nos resultados de análises físicas e químicas de 17 perfis de solos, representativos de diferentes pedoambientes, desde Iranduba (AM) até Belterra (PA): Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico; Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico; Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico; Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico (três perfis); Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico (dois perfis); Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico; Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico; Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico; Latossolo Amarelo Distrófico húmico, Latossolo Amarelo Distrófico típico, Neossolo Quartzarênico Órtico húmico, Organossolo Háplico Hêmico típico, Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico e Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico.

Os solos foram descritos e coletados de acordo com Santos et al. (2015) e classificados conforme o *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* (Santos et al., 2018). Os atributos morfológicos, físicos e químicos desses solos, bem como a sua localização e características ambientais, são descritos de forma particularizada no Capítulo 9.

Conforme informações detalhadas contidas nos Capítulos 2 e 9, os materiais de origem dos solos deste estudo são provenientes da alteração de rochas sedimentares pouco consolidadas da Formação Alter do Chão, do período Cretáceo ou Cretáceo/Paleógeno (solos de terra firme), sedimentos depositados durante o Pleistoceno (terraços aluviais) e sedimentos aluvionares de texturas argilosa, argilossiltosa e argiloarenosa, depositados durante o Holoceno (várzeas holocênicas).

Informações sobre a geologia dos estados de Amazonas e Pará, com foco específico no roteiro desta RCC, são apresentadas no Capítulo 2.

Tabela 13.1. Composição granulométrica e atributos químicos dos horizontes selecionados dos perfis da XV RCC (vide Capítulo 9). Continua.

Horizonte	Profundidade	Composição granulométrica				pH		Δ pH	Complexo sortivo					Relações moleculares		Atividade da fração argila
Símbolo		AG	AF	Silte	Argila	H_2O	KCl		Valor S	Al^{3+}	Valor T	V	m	Ki	Kr	
	- - cm - -	- - - - - - - g kg^{-1} - - - - - - -							- - - - - $cmol_c$ kg^{-1} - - - - -			- - - % - - -				- - $cmol_c$ kg^{-1} - -
AM-01 – Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico, textura média/argilosa/muito argilosa, epieutrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico																
Bt	119 - 153	169	94	51	686	4,9	4,5	- 0,4	1,7	0,1	5,6	30	6	2,13	1,60	8
AM-02 – Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico, textura muito argilosa, A moderado, endoconcrecionário, álico, caulinítico, Tmb, hipoférrico																
Bw4	108 - 163	93	37	59	811	4,8	4,4	- 0,4	0,1	0,5	1,8	6	83	2,21	2,05	2
AM-05 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura siltosa, A moderado, Tma																
3Cg2	33 - 65	1	7	659	333	4,8	3,6	- 1,2	14,0	2,8	21,6	65	17	2,69	2,25	65
4Cg3	65 - 115	5	14	717	265	5,1	3,9	- 1,2	18,4	0,7	22,6	81	4	2,41	1,84	85
AM-06 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/siltosa/média A moderado, Tma																
5Cg3	73 - 105	6	171	645	177	5,8	4,5	- 1,3	14,5	0,1	16,7	87	1	2,47	1,77	94
6Cg4	105 - 156	4	216	642	137	6,0	4,6	- 1,4	14,3	0,1	16,4	87	1	2,80	2,08	119
AM-07 – Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, textura média/siltosa, A moderado, Tma																
2C	87 - 126	6	236	611	147	5,8	4,6	- 1,2	14,6	0,1	17,2	85	1	3,14	2,30	117
AM-08 – Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico, textura média/argilosa/muito argilosa, A moderado, epiálico, Tmoa																
2Btgf2	67 - 101	25	102	406	467	4,6	3,9	- 0,7	0,2	8,6	13,4	1	98	2,37	1,76	29
2Cg1	101 - 151	35	73	421	470	4,5	3,8	- 0,7	0,4	10,2	14,5	3	96	2,20	1,75	31
AM-09 – Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa, A fraco, endodúrico																
3Bh	321 - 326	832	62	37	69	4,7	3,8	- 0,9	0,1	1,1	6,0	2	92	2,09	1,82	
4Bhsm	326 - 366	767	90	41	102	4,9	4,3	- 0,6	0,1	0,7	8,1	1	87	1,25	1,19	
4Bhs	366 - 380	847	42	30	81	5,0	4,4	- 0,6	0,1	0,5	7,8	1	83	1,16	1,11	
AM-11 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico, textura siltosa-média/média-siltosa, A moderado, Tma																
Cg2	41 - 61	2	181	657	160	4,7	4,1	- 0,6	11,7	0,6	17,2	68	5	2,35	1,70	108
4Cg5	86 - 115	0	224	634	143	5,2	4,5	- 0,7	10,5	0,2	14,9	70	2	2,42	1,74	105
AM-12 – Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico, textura média, A moderado, álico, epialumínico, Tmoa																
5C'g2	99 - 150	150	516	188	146	5,1	4,4	- 0,7	0,3	1,1	2,6	12	79	2,16	2,02	18

Continua...

Tabela 13.1. Continuação.

Horizonte	Profundidade	Composição granulométrica				pH		Δ pH	Complexo sortivo					Relações moleculares		Atividade da fração argila
Símbolo		AG	AF	Silte	Argila	H_2O	KCl		Valor S	Al^{3+}	Valor T	V	m	Ki	Kr	
	- - cm - -	- - - - - - - g kg^{-1} - - - - - - -							- - - - $cmol_c$ kg^{-1} - - - -			- - - % - - -				- - $cmol_c$ kg^{-1} - -
AM-15 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/arenosa/siltosa, A fraco, Tma																
5Cg1	23 - 41	2	188	697	113	5,9	5,0	- 0,9	10,9	0	12,9	84	0	3,12	2,31	115
6Cg3	60 - 108	3	191	642	164	5,4	4,5	- 0,9	9,4	0,1	11,8	80	1	2,68	1,96	72
AM-16 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa, A moderado, mesoendossolódico, Tma																
2Cg	27 - 51	1	24	668	307	5,5	3,9	- 1,6	14,1	0,5	17,7	80	3	2,44	1,83	58
2Cgn2	76 - 119	4	16	713	267	7,9	5,6	- 1,5	21,3	0	22,1	96	0	2,06	1,66	83
PA-05 – Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico																
Bw2	72 - 130	9	12	154	825	4,5	4,0	- 0,5	0,1	1,1	3,7	3	92	2,20	1,72	4
PA-06 – Neossolo Quartzarênico Órtico húmico, textura arenosa-média, álico																
C	169 - 205	785	94	26	95	5,0	4,3	- 0,7	0,1	0,5	2,1	5	83	2,65	2,20	
PA-07 – Latossolo Amarelo Distrófico húmico, textura muito argilosa, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, hipoférrico																
Bw	137 - 200	12	27	173	788	4,7	4,3	- 0,4	0,1	0,6	3,5	3	86	2,01	1,68	4
PA-13 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa/siltosa, A moderado, endossódico, Tma																
2Cg2	32 - 55	7	23	716	254	5,3	4,1	- 1,2	12,8	0,7	16,5	78	5	2,50	1,97	65
3Cgn2	69 - 101	4	12	699	285	5,5	4,0	- 1,5	12,4	1,2	16,8	74	9	2,66	2,13	59
PA-14 – Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico, textura argilosa/siltosa, A fraco, endossolódico, eutrófico, Tma																
2Cvg1	20 - 43	2	4	620	374	4,8	3,8	- 1,0	14,2	1,3	19,0	75	8	2,63	2,17	51
2Cvg3	71 - 113	9	17	587	388	6,9	5,6	- 1,3	24,8	0	25,9	96	0	2,69	2,17	68
PA-17 – Organossolo Háplico Hêmico típico, textura argilosa/média/orgânica fíbrica, distrófico, epissáprico e mesoendofíbrico, muito lenhosa																
Hd3	12 - 29	254	54	411	281	4,1	3,4	- 0,7	3,7	6,9	68,6	5	65	2,42	2,27	244

AG - areia grossa; AF - areia fina.

2.2. Confecção de lâminas e difratometria de raios-X

A fração argila (Ø < 0,002 mm) foi separada no laboratório de física do solo da Embrapa Solos, após dispersão física lenta e dispersão química da terra fina seca ao ar (TFSA) com solução de NaOH, com diluição equivalente a 0,025 mol L^{-1}. Essa fração foi coletada por sifonamento após 24 horas, conforme descrito em Donagemma et al. (2017). A fração argila foi analisada por difratometria de raios-X (DRX), cuja amostra é denominada neste trabalho de amostra total, e sob os seguintes tratamentos: aquecimento em diferentes temperaturas e solvatação com etilenoglicol (Jackson, 1975). As lâminas foram preparadas de forma orientada, pelo método do esfregaço.

Foi confeccionada uma lâmina de cada amostra, sem tratamento prévio, que foi irradiada no DRX, em condições de temperatura ambiente (25 ºC). Na sequência, após a leitura, essa lâmina foi submetida ao tratamento de solvatação com etilenoglicol, quando pertinente, ou seja, ocorrendo um indicativo da presença de mineral 2:1, passível de expansão. Após a execução da leitura, nessa condição, procedeu-se ao tratamento térmico, com aquecimento por duas horas em forno mufla, nas temperaturas de 350 ºC e 550 ºC, com leituras executadas após cada etapa de aquecimento. Os procedimentos metodológicos referentes aos tratamentos supracitados encontram-se parcialmente detalhados em Calderano et al. (2009, 2017). Esse procedimento simplificado, aplicado neste trabalho, seguiu também o exemplo de Grabowska-Olszewska et al. (1984).

A fração silte (Ø de 0,002 a 0,053 mm) foi obtida após sucessivas lavagens da suspensão, para sua purificação, até que o sobrenadante se apresentasse límpido. Os procedimentos encontram-se descritos em Donagemma et al. (2017). Essa fração foi separada apenas nos solos cujos teores mostraram-se mais elevados, quais sejam: AM-05, AM-06, AM-07, AM-08, AM-11, AM-15, AM-16, PA-13, PA-14 e PA-17 (vide Tabela 13.1). Para essa análise, as lâminas foram preparadas de forma não orientada (método do pó), em caixilhos de metal, conforme descrito em Calderano et al. (2009, 2017).

A análise mineralógica foi realizada por difratometria de raios-X, no laboratório de mineralogia da Embrapa Solos, em um difratômetro Rigaku, modelo MiniFlex II, utilizando-se tubo de cobre como fonte de radiação Kα e monocromador de grafite, operando com tensão de 30 kV e corrente de 15 mA. As leituras foram executadas por passo, com variação de 0,050º s^{-1}. O intervalo de varredura para todas as amostras foi de 2 a 45 º[2θ].

Os difratogramas foram confeccionados usando-se o programa Microcal Origin 6.0® e, para a fração argila, são apresentados na seguinte ordem: amostra total na temperatura ambiente (AT-25), solvatada com etilenoglicol (AT-EG) e aquecida nas temperaturas supramencionadas conforme assinalado (AT-350 e AT-550).

Os difratogramas da fração silte são apresentados usando-se um artifício de corte para escala de intensidade, com valor de 2000 cps, posto que a intensidade máxima do pico do

quartzo (mineral predominante em todas as amostras) varia de 6.000 cps no perfil AM-06 (amostra 23.3499) a 15.000 cps no perfil AM-08 (amostra 23.3511). A escala adotada visa favorecer a observação dos picos dos outros minerais, que aparecem com menor intensidade, além de possibilitar uma melhor comparação visual entre eles.

2.3. Critérios para identificação dos minerais

A identificação dos minerais foi realizada com base nas tabelas do JCPDS, constantes em Berry (1974), além de tabelas e critérios de Thorez (1976), Brindley e Brown (1984), Moore e Reynolds Junior (1997) e Mincryst (2022). Informações adicionais foram obtidas em Barnhisel e Bertsch (1989), Dixon e Weed (1989), Fontes (1990), Kämpf et al. (1995), Kämpf e Curi (2003) e Resende et al. (2005). É importante destacar que a denominação dos argilominerais identificados refere-se a um determinado grupo de minerais, e não a um mineral específico. A grafia dos nomes dos minerais está de acordo com Branco (2008).

Conforme a descrição feita em Calderano et al. (2019a, 2019b), a identificação dos minerais presentes na fração argila é realizada a partir do reconhecimento dos picos das difrações e da intensidade relativa, características de cada um deles, nos difratogramas de raios-X, e das possíveis variações decorrentes dos tratamentos aplicados. A preparação das lâminas exerce influência sobre a expressão dos picos de difração nos difratogramas. A montagem orientada favorece a observação dos picos dos minerais planares (filossilicatos), que recebem a denominação específica de argilominerais, conforme a série ou ao longo do plano (*00l*).

Em decorrência dos tratamentos aplicados, a expressão dos picos nos difratogramas em comparação com a montagem da amostra de argila não tratada possibilita a identificação da presença dos diferentes constituintes minerais. O tratamento de solvatação com etilenoglicol, seguido de aquecimento em diferentes temperaturas, tem a finalidade de avaliar o comportamento de expansão/contração e colapso dos argilominerais de retículo 2:1, além de evidenciar uma possível ocorrência de minerais interestratificados. Destaca-se, também, que os tratamentos térmicos aplicados na amostra são diagnósticos para alguns minerais suscetíveis às temperaturas aplicadas, pois seus picos de difrações sofrem alterações ou desaparecem em determinadas temperaturas.

A análise mineralógica realizada neste trabalho não permite a quantificação dos minerais identificados, pois isso requer avaliações e técnicas específicas. No entanto, a intensidade dos picos, nos difratogramas das amostras ao natural em temperatura ambiente e solvatada com etilenoglicol, pode ser usada como um índice de concentração relativa, desde que os difratogramas sejam interpretados com cautela (Fanning et al., 1989; Resende et al., 2005), pois deve-se levar em consideração também a área total dos picos, proporcionando assim uma estimativa, ainda que geral, da predominância relativa dos minerais na fração argila dos solos. Hillier (2003) menciona a expressão "intensidades integradas", para se referir à área total dos picos.

3. Resultados e discussão

3.1 Características mineralógicas gerais

Na fração argila dos solos analisados, conforme mostrado nas figuras apresentadas no Apêndice 13.1, foram reconhecidos os seguintes minerais: caulinita, mica, esmectita, clorita, vermiculita, vermiculita com hidróxi-Al entrecamadas e pirofilita, completando o grupo dos argilominerais. Ocorrem também oxi-hidróxidos de ferro cristalinos como goethita e lepidocrocita, além de gibbsita (hidróxido de alumínio). Verificou-se, ainda, a presença de anatásio, rutilo e pseudorrutilo (óxidos de titânio) e quartzo.

Dos argilominerais identificados, a caulinita encontra-se presente em todos os horizontes analisados. É marcada por suas difrações diagnósticas de primeira, segunda e terceira ordem [0,719, 0,358 e 0,238 nm], que ocorrem nas regiões de 12,30, 24,86 e 37,70 °[2θ] dos difratogramas. O aquecimento da amostra a 550 °C (AT-550) promove a sua desidroxilação e, consequentemente, o desaparecimento de seus picos de difração, confirmando sua presença.

A caulinita apresenta-se de forma predominante nos seguintes perfis: AM-01, AM-02, AM-09, PA-05, PA-06, PA-07 e PA-17. É muito provável que essa predominância também se dê nos perfis AM-08 e AM-12. Nos demais solos tende a ocorrer em proporção inferior aos argilominerais de retículo 2:1 considerados em conjunto.

Essa predominância está em concordância com os atributos químicos dos solos, que possibilitam embasar tal assertiva, e de acordo com a sua classificação como solos cauliníticos (Latossolos e Argissolo), no 5º nível taxonômico do *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* (SiBCS) (Santos et al., 2018). Apesar de não se incluírem entre os solos classificados como cauliníticos no 5º nível taxonômico, registra-se também a predominância expressiva da caulinita no Espodossolo (AM-09) e Neossolo (PA-06).

Em geral, a caulinita destaca-se por suas difrações bem formadas, homogêneas e de intensidade relativa mais elevada, refletindo também o aspecto de sua aparente boa cristalinidade, como pode ser visto nos difratogramas apresentados para ilustrar a análise. Merece destaque também a expressão de seus picos diagnósticos nos três horizontes analisados do perfil AM-09 (Espodossolo), além da homogeneidade na constituição mineralógica.

A mica (termo inclusivo para illita) é encontrada em todos os perfis analisados nos ambientes de várzea, com exceção do PA-17, a saber: AM-05, AM-06, AM-07, AM-08, AM-11, AM-12, AM-15, AM-16, PA-13 e PA-14. Apenas no perfil AM-12 ela aparece em menor proporção. É identificada por suas difrações diagnósticas, de primeira, segunda, terceira e até de quarta ordem [~1,00, 0,500, 0,332 e 0,250 nm], que ocorrem aproximadamente nas regiões de 8,85, 17,70, 26,80 e 35,80 °[2θ] dos difratogramas. Verifica-se que esses picos de difrações permanecem estáveis após os tratamentos aplicados, sendo essa uma das características diagnósticas para sua identificação. Essa estabilidade refere-se à posição dos picos, que não se altera no caso das micas. Observa-se apenas um aumento na intensidade de suas difrações com o aquecimento, decorrente do colapso da estrutura de outros minerais de retículo 2:1, como consequência dos tratamentos térmicos aplicados.

Juntamente com a mica, a esmectita ocorre de forma bastante expressiva em todos os perfis analisados nos ambientes de várzea, com exceção do PA-17, a saber: AM-05, AM-06, AM-07, AM-08, AM-11, AM-15, AM-16, PA-13 e PA-14. Sua presença é evidenciada pelos picos na região de ~6,00 a 6,30 °[2θ] observados na amostra em temperatura ambiente (AT-25), que sofrem deslocamentos para ~5,10 a 5,20 °[2θ], em reação ao tratamento de solvatação com etilenoglicol. Esse deslocamento indica a expansão de sua estrutura, sendo essa uma característica diagnóstica desse argilomineral. Considera-se que sua presença seja suficientemente importante para influenciar nos valores da atividade da fração argila desses perfis ou horizontes específicos (vide Tabela 13.1 e Capítulo 9).

Nos mesmos ambientes de várzeas, observa-se também a presença de clorita nos seguintes perfis: AM-05, AM-06, AM-07, AM-11, AM-15, AM-16, PA-13 e PA-14. Verificam-se seus picos de difrações característicos e de forma bastante homogênea em todos os horizontes analisados. São considerados principalmente os picos na região de ~6,00 a 6,30 °[2θ] e na região de 18,70 °[2θ], além dos que ocorrem na mesma posição da caulinita. Sua posição não é afetada pelo tratamento com etilenoglicol, porém, após o aquecimento da amostra a 550 °C, alguns picos também desaparecem, restando apenas o pico 001 [1,40 nm] na região de 6,30 °[2θ].

A presença de vermiculita foi observada nas amostras dos perfis AM-08 e AM-12. A não expansão após o tratamento com etilenoglicol e a ausência de clorita favorecem essa interpretação.

A vermiculita com hidróxi-Al entrecamadas ocorre de forma discreta nos perfis AM-01, AM-02, AM-09, PA-05, PA-06 e PA-07 (Argissolo, Latossolos, Espodossolo e Neossolo). Como na vermiculita, sua presença é evidenciada pelo pico de difração de pequena intensidade [1,40 nm], que aparece na região de ~6,30 °[2θ], desaparecendo após o aquecimento da amostra, o que indica o colapso para ângulos maiores [~1,10 a 1,00 nm], na região de ~8,00 a 8,80 °[2θ].

A pirofilita aparece somente nos perfis AM-08 e AM-12 em proporção bastante reduzida, o que pode ser inferido da intensidade muito baixa de suas difrações diagnósticas, que aparecem na região de 9,64, 19,27 e 29,18 °[2θ] (espaçamentos 0,92, 0,46 e 0,30 nm). Verifica-se que o pico mais evidente, de terceira ordem, na região de 29,18 °[2θ], sofre pequeno deslocamento após o aquecimento da amostra a 550 °[2θ].

Os minerais de ferro (oxi-hidróxidos) presentes, como goethita e lepidocrocita, são observados em diversos perfis, em proporção bastante reduzida, o que está de acordo com os baixos valores para os óxidos de ferro, provenientes do ataque sulfúrico (vide Capítulo 9).

A goethita ocorre nos perfis AM-01, AM-02, AM-05, AM-08, AM-11, AM-15, AM-16, PA-05, PA-06 e PA-07, em geral em pequenas proporções. Sua presença é evidenciada pelos picos principais na região de 21,25 a 21,40 e 33,20 °[2θ], correspondentes aos espaçamentos 0,418 a 0,415 e 0,269 nm, observados no difratograma da amostra não aquecida. Em geral são de baixa intensidade. O destaque para esse mineral dá-se no perfil AM-01, onde os picos diagnósticos são mais expressivos. Nos perfis PA-05 e PA-07, seus picos também se destacam, porém ainda de forma muito reduzida.

Como consequência do tratamento térmico aplicado, observa-se a formação de hematita no difratograma da amostra AT-550 do perfil AM-01. O aquecimento da amostra a 350 e 550 °C proporciona a destruição da goethita e provável recristalização como hematita, como assinalado no difratograma da amostra aquecida (Figura 13.1). Conforme Brindley e Brown (1984), a decomposição da goethita dá-se no intervalo de temperatura de 230 a 350 ºC. Essa variação é decorrente da substituição isomórfica do ferro por alumínio, sendo as goethitas aluminosas mais resistentes à temperatura.

Verifica-se, ainda, a presença de lepidocrocita nos perfis AM-05, AM-08, AM-11, AM-15, AM-16, ocorrendo juntamente com a goethita. Sua presença é evidenciada por sua difração diagnóstica principal que aparece na região de 14,14 º[2θ] (espaçamento 0,626 nm) dos difratogramas das amostras não aquecidas.

A gibbsita ocorre nos perfis AM-01, AM-09, AM-12, PA-05, PA-06 e PA-07, em geral em pequena proporção. Sua presença é evidenciada pelos picos diagnósticos na região de 18,30 e 20,30 º[2θ] (espaçamento 0,485 e 0,437 nm) do difratograma. Após o aquecimento da amostra a 350 ºC (AT-350), os picos desaparecem, indicando a desidratação e a destruição da estrutura do mineral. Destaca-se no horizonte Bhsm do perfil AM-09 (Espodossolo), onde seu pico principal aparece com maior intensidade.

Com relação aos óxidos de titânio, observa-se a presença de anatásio, rutilo e pseudorrutilo em alguns perfis. O anatásio aparece nos perfis AM-01, AM-02, AM-09, AM-12, PA-05, PA-06, PA-07 e PA-17, em geral em pequena proporção, como pode ser inferido da baixa intensidade de seus picos de difração. Sua presença é evidenciada por seus picos diagnósticos na região de 25,30 e 37,70 º[2θ] (espaçamentos 0,352 e 0,238 nm) observados no difratograma da amostra AT-550, após o desaparecimento dos picos da caulinita.

Juntamente com o anatásio, observa-se também a presença de rutilo somente no perfil AM-12, distinguido por seu pico principal que aparece na região de 27,40 °[2θ] correspondente ao espaçamento 0,325 nm. Complementando os óxidos de titânio, verifica-se também a presença do mineral pseudorrutilo nos perfis AM-01, PA-05 e PA-07. É identificado por seus picos, que ocorrem na região de 27,40 e 36,00 °[2θ], correspondentes aos espaçamentos 0,325 e 0,249 nm.

O pseudorrutilo é um mineral de transição, formado a partir da alteração da ilmenita, entre outros. É também conhecido como leucoxênio e é muito comum na fração areia, onde ocorre como crosta de alteração e descoloração sobre os cristais (ou grãos) da ilmenita.

Nota-se também a ocorrência de quartzo em diversos perfis, quais sejam: AM-05, AM-06, AM-07, AM-08, AM-09, AM-08, AM-11, AM-12, AM-15, AM-16, PA-13, PA-14 e PA-17. Sua presença é evidenciada pelas difrações dos seus dois picos principais que ocorrem principalmente na região de 20,84 e 26,66 °[2θ] dos difratogramas, correspondentes aos espaçamentos 0,426 e 0,334 nm. Esse último (0,334 nm) é encontrado sempre associado com a difração de terceira ordem da mica, quando este argilomineral estiver presente.

Na fração silte, os resultados obtidos são muito parecidos aos encontrados na fração argila, no que concerne aos argilominerais. Isso pode ser verificado nos difratogramas

mostrados no Apêndice 13.1, juntamente com os difratogramas da fração argila. Além dos argilominerais como clorita, esmectita, mica e caulinita, foram encontrados também na análise dessa fração quartzo, feldspatos, anfibólio e, possivelmente, hematita em um dos horizontes.

Clorita e esmectita não ocorrem nos dois horizontes do perfil AM-08. No horizonte 2Cg do perfil AM-16 a intensidade é muito baixa, e não foi considerada a presença desses minerais. Nos outros perfis ocorrem em todos os horizontes analisados. Apesar da baixa intensidade do pico, destacam-se no horizonte 6Cg4 (AM-06) e no horizonte 2C (AM-07).

A mica (termo inclusivo para illita) é encontrada em todos os perfis analisados. Seus picos de difração destacam-se nos dois horizontes dos perfis PA-13 e PA-14.

A caulinita também aparece em todos os horizontes analisados. Apesar da baixa intensidade dos seus picos, destaca-se nos horizontes Cg2 (AM-11), 5Cg1 (AM-15), Cvg1 (PA-14) e nos dois horizontes do perfil PA-13.

Verifica-se também a presença discreta de anfibólio nos seguintes perfis: AM-05 (horizonte 3Cg2), AM-06 (horizonte 6Cg4), AM-07 (horizonte 2C), AM-11 (horizontes Cg2 e 4Cg5), AM-15 (horizonte 5Cg1), AM-16 (horizonte 2Cgn2) e PA 13 (horizonte 2Cg2). Sua presença é apontada pelo pico na região de 10,50 °[2θ] (espaçamento 0,853 nm), em geral de baixa ou muito baixa intensidade, porém destaca-se no perfil AM-15.

Os feldspatos aparecem em todos os horizontes analisados, como indicado nos difratogramas. A denominação aqui inclui tanto os K-feldspatos quanto os plagioclásios. Diversos picos são correlacionados à sua presença. No perfil AM-08 são observadas as menores intensidades dos picos, principalmente no horizonte 2Btgf2. Nos outros horizontes as intensidades dos picos principais são bem expressivas.

O quartzo também ocorre em todos os horizontes analisados. Sua presença é evidenciada por seus picos diagnósticos, como assinalado nos difratogramas. Na fração silte, é o mineral predominante, o que pode ser inferido da alta intensidade de seu pico principal, que ocorre na região de 26,66 °[2θ] (espaçamento 0,334 nm) e dos seus outros picos. Conforme foi mencionado no item 2.2, a intensidade máxima do pico principal varia de 6.000 cps, no perfil AM-06 (amostra 23.3499), a 15.000 cps, no perfil AM-08 (amostra 23.3511). A alta intensidade relativa interfere, negativamente, na visualização dos picos dos outros minerais que ocorrem, provavelmente, em menores proporções.

Exclusivamente no horizonte 2Btg2 do perfil AM-08 (Plintossolo Argilúvico), observa-se a presença de dois picos mal-formados e de baixa intensidade, que podem ser atribuídos à presença de hematita. Essa ocorrência é destoante do resultado obtido na fração argila, em que se verifica somente a presença de goethita e lepidocrocita. No entanto, isso pode ser devido à presença dos nódulos avermelhados da plintita, diluídos na fração argila, mas mais concentrados na fração silte, por serem mais resistentes à dispersão.

Os resultados aqui apresentados estão coerentes com os estudos desenvolvidos para os solos da região por Lima (2001).

3.2. Apresentação dos resultados por perfil

A seguir, no Apêndice 13.1, são exibidos os resultados de cada perfil incluindo os difratogramas das frações argila e silte para ilustração. São mostrados também comentários adicionais e/ou considerações relevantes envolvendo a sua interpretação e a pertinência dos minerais presentes.

De um modo geral, há grande semelhança entre os difratogramas dos horizontes de um mesmo perfil de solo, o que indica certa homogeneidade na constituição mineralógica em profundidade, evidenciada também mesmo naqueles horizontes diferenciados com descontinuidade morfológica. Entre os perfis, essa homogeneidade persiste em alguns solos de um mesmo pedoambiente. Isso pode ser verificado nos perfis do ambiente de várzeas e de terra firme (áreas não sujeitas à inundação sazonal), com base nos resultados apresentados.

Como pode ser observado nos difratogramas, os solos analisados podem ser agrupados com base em uma constituição mineralógica similar e na aparente predominância dos principais argilominerais entre si. Assim, considerando somente os minerais como caulinita, mica, esmectita e clorita, na fração argila, temos os seguintes agrupamentos:

Grupo 1 – Solos com mineralogia predominantemente caulinítica:

Argissolo Amarelo (AM-01) e Latossolo Amarelo (AM-02, PA-05 e PA-07)

Espodossolo Humilúvico (AM-09) e Neossolo Quartzarênico (PA-06)

Grupo 2 – Solo com caulinita aparentemente predominante, contendo mica e vermiculita:

Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico (AM-12)

Grupo 3 – Solo com caulinita, mica, esmectita e vermiculita, sem predominância aparente:

Plintossolo Argilúvico Alumínico (AM-08)

Grupo 4 – Solos com mica, esmectita e clorita aparentemente predominantes (em conjunto) sobre a caulinita:

Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico (AM-07), Vertissolo Hidromórfico Órtico (PA-14)

Gleissolo Háplico Ta Eutrófico (AM-05, AM-06, AM-11, AM-15, AM-16 e PA-13)

Grupo 5 – Solo com mineralogia predominantemente caulinítica, porém de ambiente flúvio-lacustre:

Organossolo Háplico Hêmico (PA-17)

4. Considerações finais

Os resultados observados na análise mineralógica do presente estudo são coerentes com as características apontadas tanto para os solos em si, quanto para o ambiente onde ocorrem. Pela expressão dos difratogramas apresentados para cada perfil, representados pelo(s)

horizonte(s) analisado(s), podemos considerar as seguintes justificativas para o agrupamento dos solos estudados nesta RCC, conforme mencionado no item anterior.

Considera-se, no primeiro grupo, os solos mais evoluídos, com relação ao intemperismo e à pedogênese, característicos do ambiente do bioma amazônico, como os Argissolos Amarelos (AM-01) e Latossolos Amarelos (AM-02, PA-05 e PA-07), desenvolvidos sobre material de origem da Formação Alter do Chão, situados em condições de relevo com altitudes mais elevadas (maior que 50 m), tendo a caulinita como mineral predominante. Seguindo essa predominância mineralógica, podem ser englobados nesse grupo o Neossolo Quartzarênico Órtico húmico (PA-06) e o Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico (AM-09), situados em cotas de 39 m e 71 m, respectivamente, ambos desenvolvidos sobre material essencialmente arenoso e quartzoso, da Formação Alter do Chão, originalmente muito intemperizado. É com surpresa que se verifica a homogeneidade da constituição mineralógica nos três horizontes analisados do perfil AM-09 (Espodossolo) (vide Figuras 10 e 11).

No segundo grupo, considerou-se o Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico (AM-12), pela sua constituição mineralógica, com a caulinita aparentemente predominante, contendo também mica e vermiculita. Esse solo desenvolve-se sobre sedimentos aluvionares, em ambiente de planície de inundação, com altitude de 22 m. Embora tenha sido classificado originalmente como Ta, ressalta-se que, pelo valor apresentado no horizonte analisado, a atividade da fração argila é baixa (18 $cmol_c\ kg^{-1}$) (vide Tabela 13.1).

No terceiro grupo foi considerado o Plintossolo Argilúvico Alumínico (AM-08), por sua constituição mineralógica composta por caulinita, mica, esmectita e vermiculita, sem predominância aparente. Esse solo desenvolve-se sobre sedimentos aluvionares, em ambiente de terraços, depositados durante o Pleistoceno, com altitude de 26 m.

No quarto grupo foram considerados todos os solos de várzea, pelo surpreendente resultado da análise mineralógica muito semelhante para os horizontes analisados e para os perfis entre si, independentemente da distância entre eles. Este comportamento revela que apesar da influência dos distintos processos de inundação e deposição de materiais nas várzeas, a natureza dos sedimentos transportados parece ser muito semelhante. Esse grupo engloba os solos desenvolvidos sobre sedimentos aluvionares, depositados durante o Holoceno. São representados pelos seguintes perfis: Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico (AM-07), Gleissolo Háplico Ta Eutrófico (AM-05, AM-06, AM-11, AM-15, AM-16 e PA-13) e Vertissolo Hidromórfico (PA-14). Verifica-se que o resultado da análise mineralógica é bastante homogêneo e possui grande semelhança para todos os perfis. Os solos apresentam a seguinte constituição mineralógica: mica, esmectita e clorita, que sendo consideradas em conjunto são aparentemente predominantes sobre a caulinita. A presença expressiva da esmectita, aliada aos outros dois constituintes com estrutura 2:1, favorece e justifica os valores elevados para a atividade da fração argila, como pode ser verificado na Tabela 13.1.

No quinto grupo foi considerado o Organossolo Háplico Hêmico típico (PA-17). Esse solo apresenta mineralogia predominantemente caulinítica e desenvolve-se sobre sedimentos flúvio-lacustres, depositados durante o Holoceno, em ambiente de várzea. A altitude desse perfil é de apenas 3 m. Conforme valores demonstrados na Tabela 13.1, esse solo é o que possui

o maior valor para a atividade da fração argila. Esse fato reforça a importância da matéria orgânica para esse atributo, posto que a mineralogia exerce pouca ou nenhuma influência sobre ele, nesse solo especificamente.

Referências

BARNHISEL, R. I.; BERTSCH, P. M. Chlorites and hydroxy-interlayered vermiculite and smectite. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (ed.). **Minerals in soil environments**. 2nd ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. cap. 15, p. 729-788. DOI: https://doi.org/10.2136/sssabookser1.2ed.c15.

BERRY, L. G. (ed.). **Selected powder diffraction data for minerals**. Swarthmore, PA: Joint Committee on Powder Diffraction Standards, 1974. 833 p.

BRANCO, P. de M. **Dicionário de mineralogia e gemologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 608 p.

BRINDLEY, G. W.; BROWN, G. (ed.). **Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification**. London: Mineralogical Society, 1984. 495 p. DOI: https://doi.org/10.1180/mono-5.

CALDERANO, S. B.; CARVALHO FILHO, A. de; LUMBRERAS, J. F.; GREGORIS, G. Mineralogia da fração argila dos solos da IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: estado do Acre. In: SILVA, L. M. da; ANJOS, L. H. C. dos; LUMBRERAS, J. F.; PEREIRA, M. G.; WADT, P. G. S. (ed.). **Pesquisas coligadas da IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: solos de formações sedimentares em sistemas amazônicos: potencialidades e demandas de pesquisa. Brasília, DF: Embrapa, 2019a. E-book. cap. 2. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1110799. Acesso em: 2 set. 2025.

CALDERANO, S. B.; DUARTE, M. N.; GREGORIS, G. Análise mineralógica das frações argila e silte por difratometria de raios-X. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. pt. 4, cap. 3, p. 452-471. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1107360. Acesso em: 2 set. 2025.

CALDERANO, S. B.; DUARTE, M. N.; GREGORIS, G. **Análise mineralógica das frações finas do solo por difratometria de raios-X**: revisão e atualização da metodologia e critérios usados na Embrapa Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 9 p. (Embrapa Solos. Comunicado técnico, 53). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/660961. Acesso em: 2 set. 2025.

CALDERANO, S. B.; OLIVEIRA, A. P. de; GREGORIS, G. Mineralogia da fração argila dos solos da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: estado de Rondônia. In: LUMBRERAS, J. F.; SILVA, L. M. da; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; COELHO, M. R.; WADT, P. G. S; PEREIRA, M. G.; DELARMELINDA-HONORÉ, E. A.; BURITY, K. T. L. (ed.). **Guia de campo da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Rondônia. Brasília, DF: Embrapa, 2019b. E-book. cap. 7. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1112765. Acesso em: 2 set. 2025.

DIXON, J. B.; WEED, S. B. (ed.). **Minerals in soil environments**. 2nd ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. 1244 p. DOI: https://doi.org/10.2136/sssabookser1.2ed.

DONAGEMMA, G. K.; CALDERANO, S. B.; VIANA, J. H. M. Separação das frações granulométricas do solo para análises mineralógicas. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. pt. 4, cap. 1, p. 439-442. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1107355. Acesso em: 2 set. 2025.

FANNING, D. S.; KERAMIDAS, V. Z.; EL-DESOKY, M. A. Micas. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (ed.). **Minerals in soil environments**. 2nd ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. cap. 12, p. 551-634. DOI: https://doi.org/10.2136/sssabookser1.2ed.c12.

FONTES, M. P. F. Vermiculita ou esmectita com hidróxi nas entrecamadas: proposição de nomenclatura. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, n. 1, p. 24-28, 1990.

GRABOWSKA-OLSZEWSKA, B.; OSIPOV, V.; SOKOLOV, V. **Atlas of the microstructure of clay soils**. Warszawa: Panstwowe Wydawinicttwo Naukowe, 1984. 414 p.

HILLIER, S. Quantitative analysis of clay and other minerals in sandstones by X-ray powder diffraction (XRPD). In: WORDEN, R. H.; MORAD, S. (ed.). **Clay mineral cements in sandstones**. Malden: Blackwell Publishing, 2003. cap. 11, p. 213-251. (International Association of Sedimentologists. Special publication, 34). DOI: https://doi.org/10.1002/9781444304336.ch11.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis**: advanced course. 2nd ed. Madison: University of Wisconsin, 1975. 895 p.

KÄMPF, N.; AZEVEDO, A. C.; COSTA JUNIOR, M. I. da. Estrutura básica de argilomineral 2:1 com hidróxi-Al entrecamadas em Latossolo Bruno do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, n. 2, p. 185-190, 1995.

KÄMPF, N.; CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; VENEGAS, V. H. A. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3, p. 1-54.

LIMA, H. N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental**. 2001. 176 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Disponível em: http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/7934. Acesso em: 2 set. 2025.

MINCRYST: crystallographic and crystallochemical database for minerals and their structural analogues. Disponível em: http://database.iem.ac.ru/mincryst. Acesso em: 10 ago. 2022.

MOORE, D. M.; REINOLDS JUNIOR, R. C. **X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals**. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 1997. 378 p.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J. C.; RESENDE, S. B. de. **Mineralogia de solos brasileiros**: interpretações e aplicações. Lavras: UFLA, 2005. 192 p.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003. Acesso em: 2 set. 2025.

SANTOS, R. D. dos; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101 p.

THOREZ, J. **Practical identification of clay minerals**: a handbook for teachers and students in clay mineralogy. Dison: G. Lelotte, 1976. 90 p.

Apêndice 13.1. Difratogramas de raios-X das frações argila e silte.

A seguir são apresentados os resultados de cada perfil incluindo os difratogramas para ilustração (Figuras 1 a 26). Segue-se nesta apresentação a mesma ordem de descrição e estudos dos solos contidos no Capítulo 9 e na Tabela 13.1.

Perfil AM-01 – Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico, textura média/argilosa/muito argilosa, epieutrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano. Horizonte Bt, amostra 23.3001.

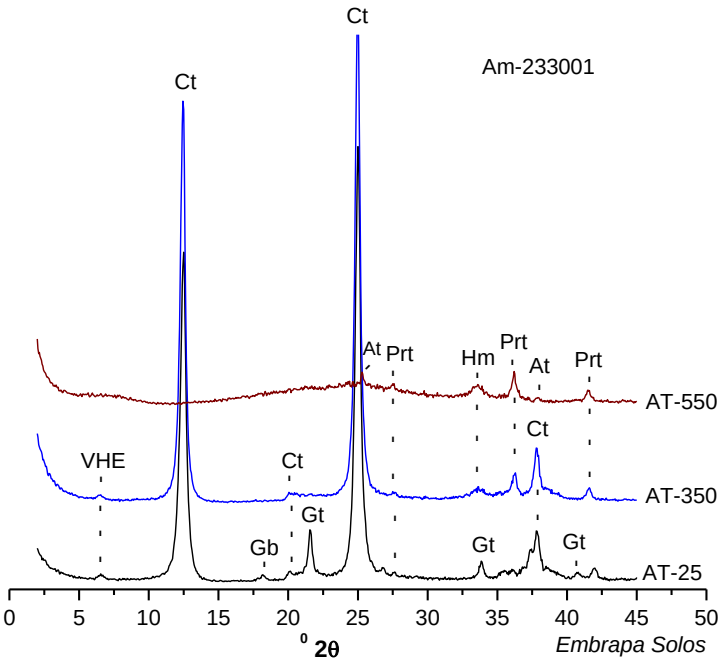


Figura 13.1. Difratogramas de raios-X (montagem orientada; radiação CuKα) da fração argila do horizonte Bt, perfil AM-01 (XV RCC). VHE - vermiculita com hidróxi-Al entrecamadas, Ct - caulinita, Gb - gibbsita, Gt - goethita, At - anatásio, Prt - pseudorrutilo, Hm - hematita formada após aquecimento. AT - amostra total na temperatura ambiente (25 ºC) e aquecida a 350 ºC e 550 ºC.

Perfil AM-02 – Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico, textura muito argilosa, A moderado, endoconcrecionário, álico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo forte ondulado. Horizonte Bw4, amostra 23.3009.

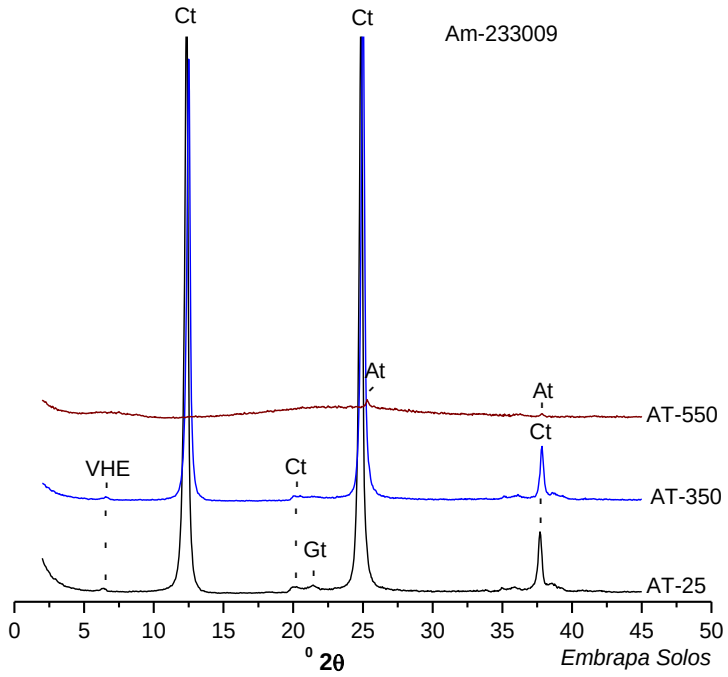


Figura 13.2. Difratogramas de raios-X (montagem orientada; radiação CuKα) da fração argila do horizonte Bw4, perfil AM-02 (XV RCC). VHE - vermiculita com hidróxi-Al entrecamadas, Ct - caulinita, Gt - goethita, At - anatásio. AT - amostra total na temperatura ambiente (25 ºC) e aquecida a 350 ºC e 550 ºC.

Perfil AM-05 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura siltosa, A moderado, Tma, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano. Horizontes 3Cg2 e 4Cg3, amostras 23.3491 e 23.3492.

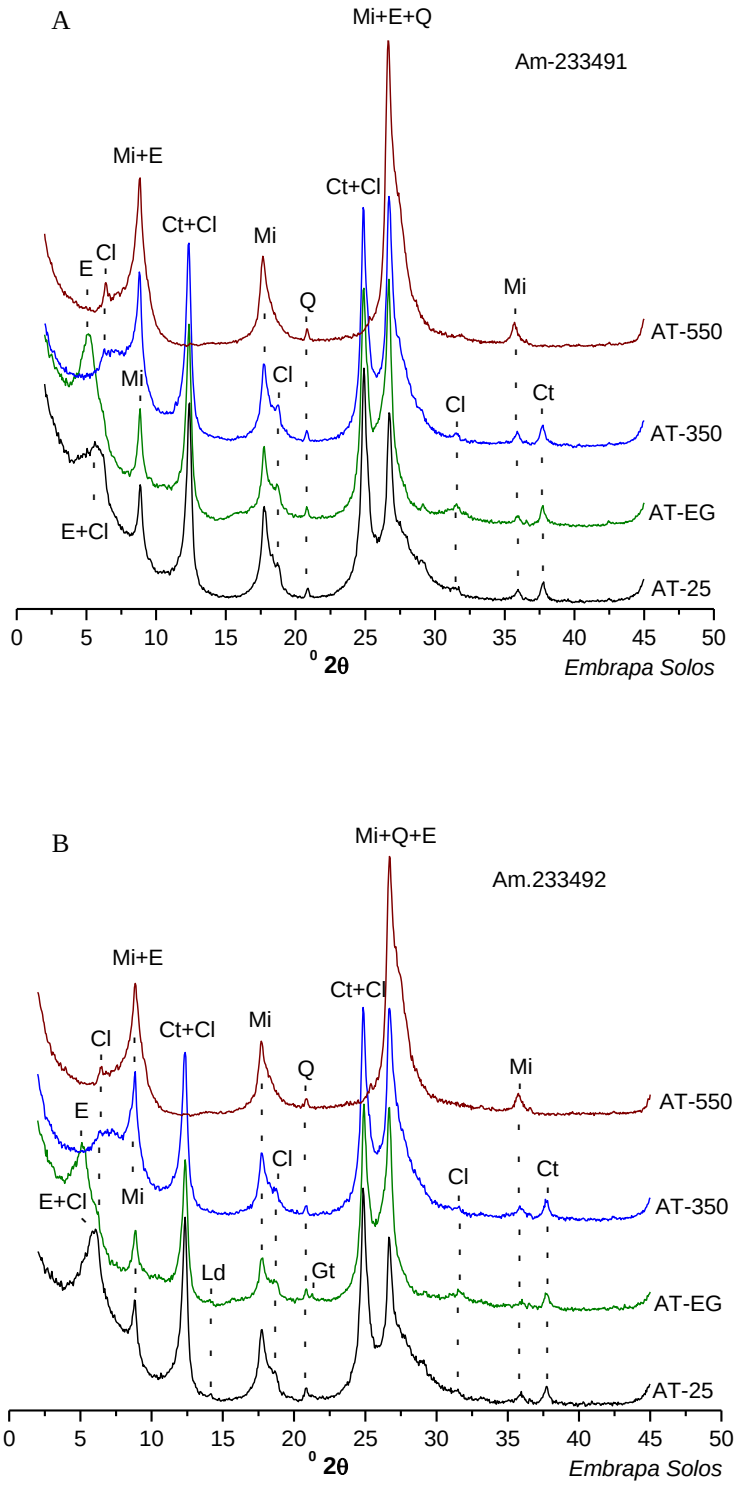


Figura 13.3. Difratogramas de raios-X (montagem orientada; radiação CuKα) da fração argila dos horizontes 3Cg2 (A) e 4Cg3 (B), perfil AM-05 (XV RCC). E - esmectita, Cl - clorita, Mi - mica, Ct - caulinita, Ld - lepidocrocita, Gt - goethita, Q - quartzo. AT - amostra total na temperatura ambiente (25 ºC), solvatada com etilenoglicol (EG) e aquecida a 350 ºC e 550 ºC.

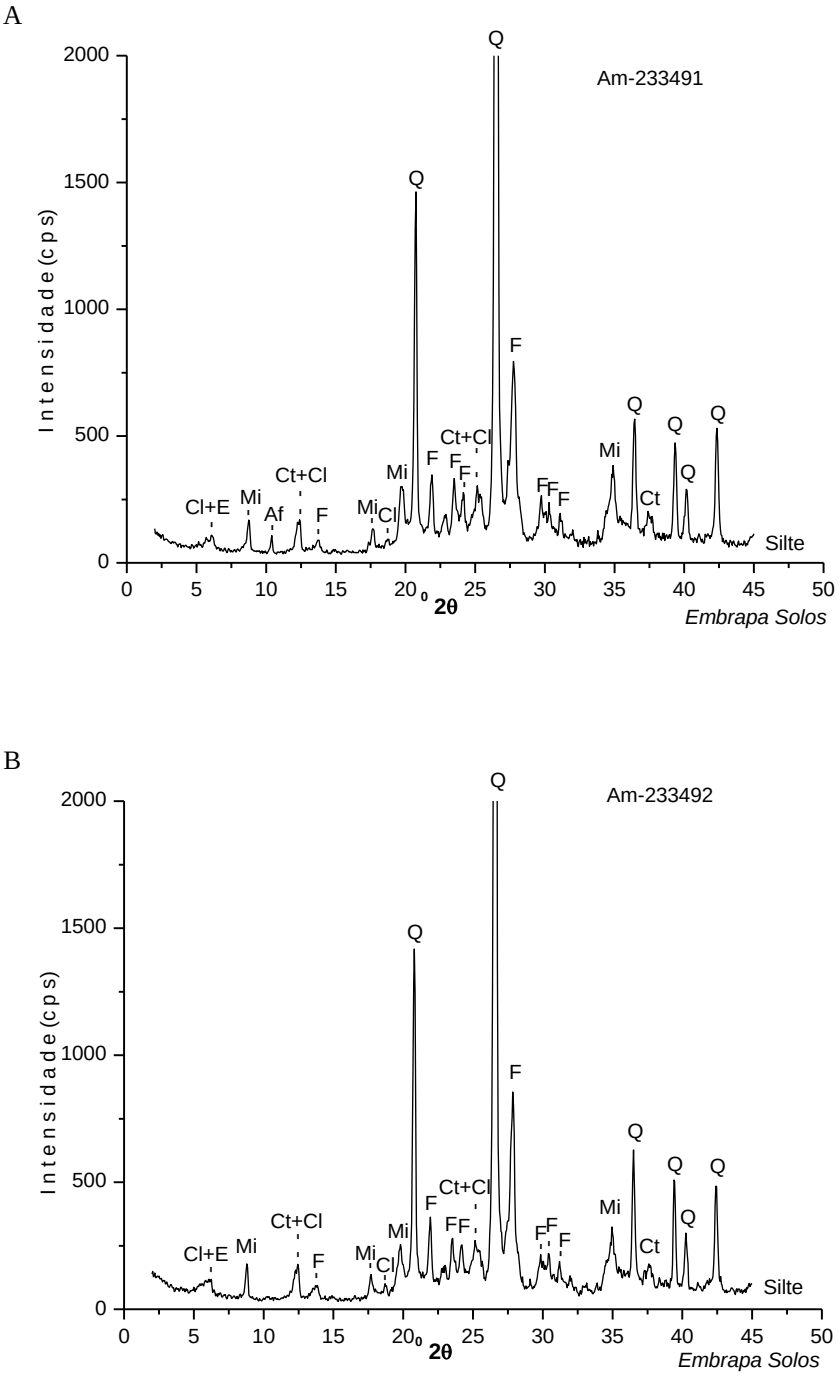
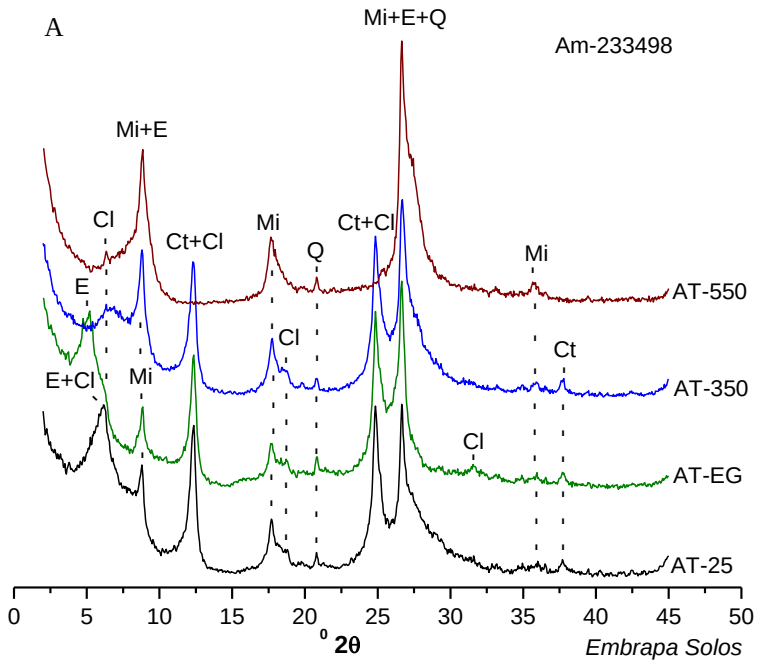


Figura 13.4. Difratogramas de raios-X (montagem não orientada; radiação CuKα) da fração silte dos horizontes 3Cg2 (A) e 4Cg3 (B), perfil AM-05 (XV RCC).

Cl - clorita,
E - esmectita,
Mi - mica,
Af - anfibólio,
Ct - caulinita,
F - feldspato,
Q - quartzo.

Perfil AM-06 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/siltosa/média, A moderado, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano. Horizontes 5Cg3 e 6Cg4, amostras 23.3498 e 23.3499.



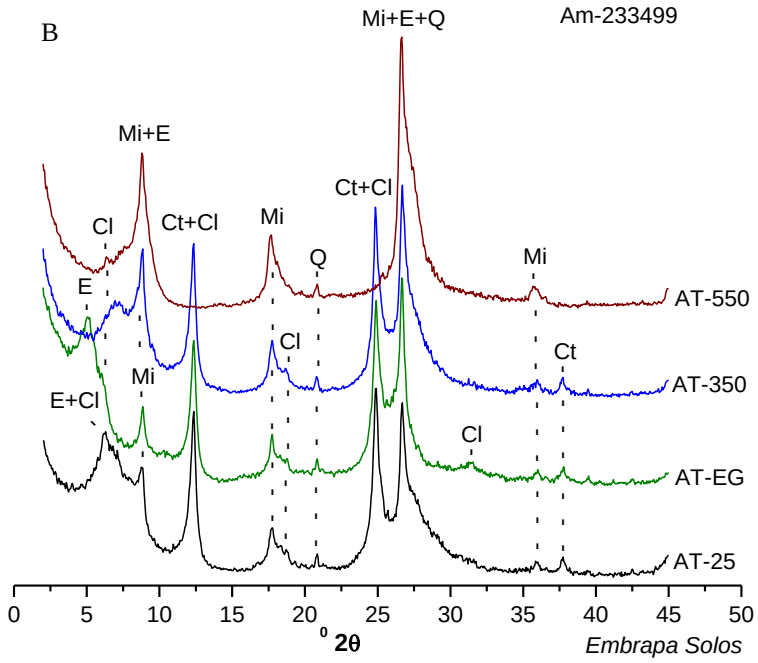


Figura 13.5. Difratogramas de raios-X (montagem orientada; radiação CuKα) da fração argila dos horizontes 5Cg3 (A) e 6Cg4 (B), perfil AM-06 (XV RCC). E - esmectita, Cl - clorita, Mi - mica, Ct - caulinita, Q - quartzo. AT - amostra total na temperatura ambiente (25 ºC), solvatada com etilenoglicol (EG) e aquecida a 350 ºC e 550 ºC.

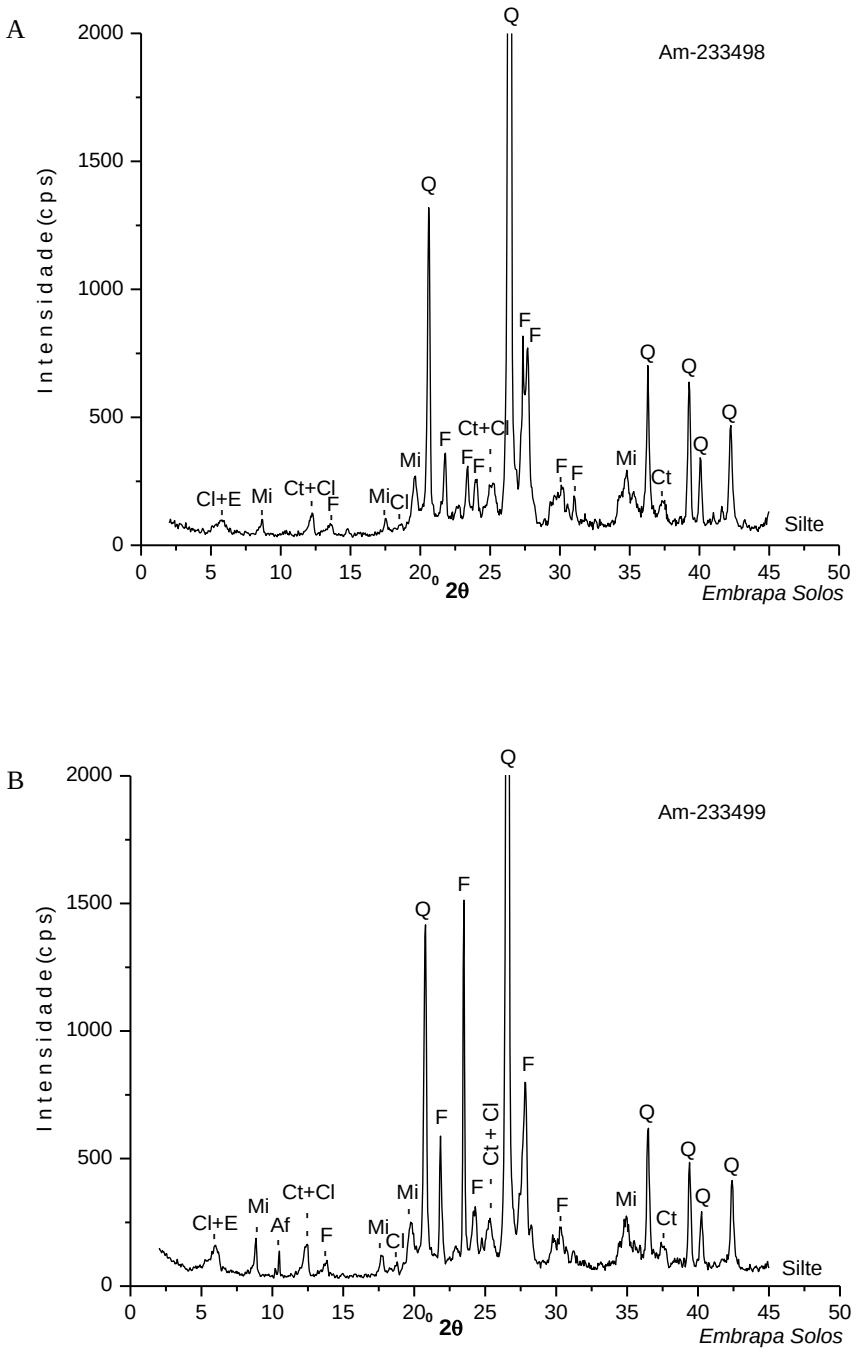


Figura 13.6. Difratogramas de raios-X (montagem não orientada; radiação CuKα) da fração silte dos horizontes 5Cg3 (A) e 6Cg4 (B), perfil AM-06 (XV RCC).

Cl - clorita,
E - esmectita,
Mi - mica,
Af - anfibólio,
Ct - caulinita,
F - feldspato,
Q - quartzo.

Perfil AM-07 – Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, textura média/siltosa, A moderado, Tma, fase floresta tropical higrófila de várzea, relevo plano. Horizonte 2C, amostra 23.3505.

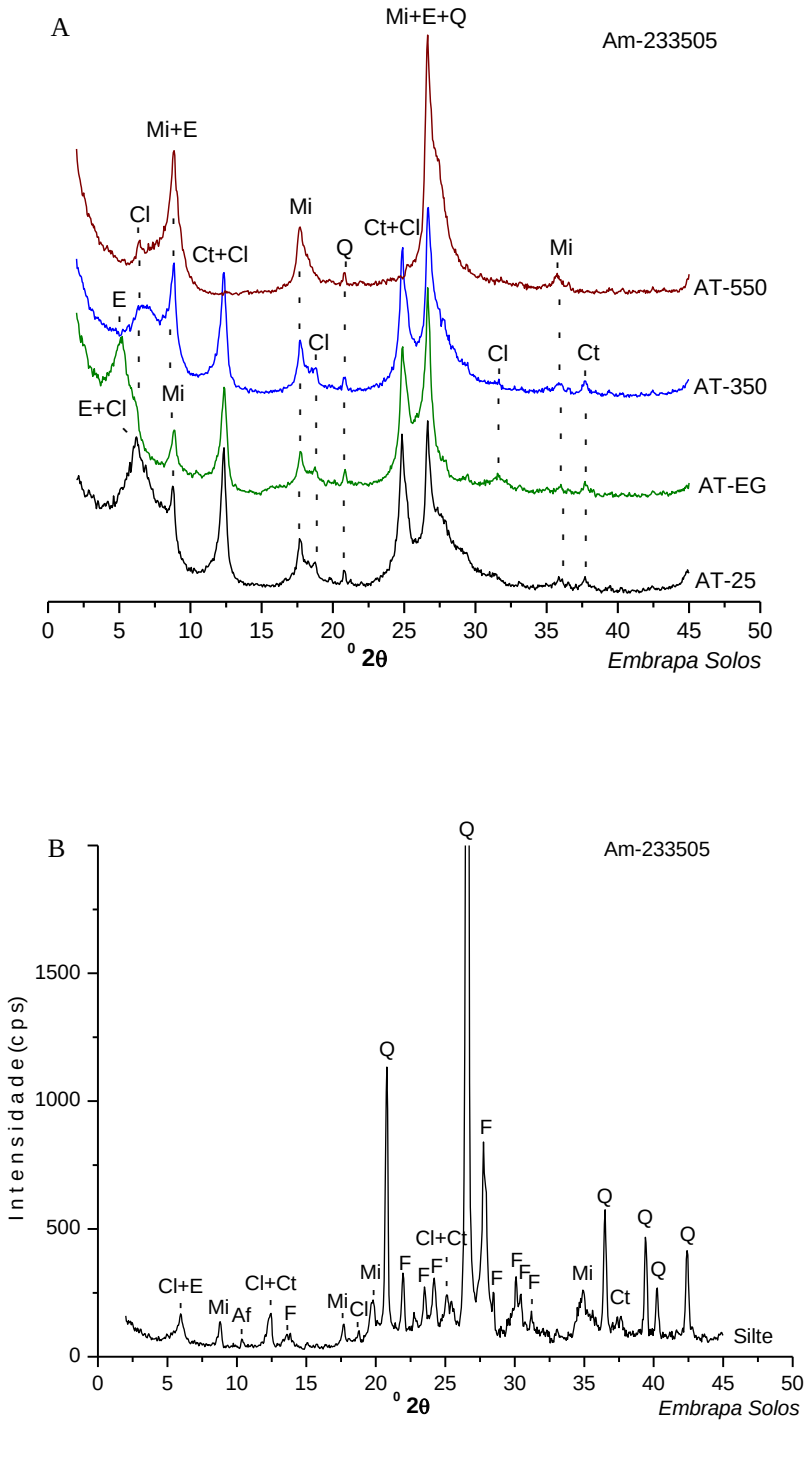


Figura 13.7. Difratogramas de raios-X, radiação CuKα, da fração argila (A) (montagem orientada) e da fração silte (B) (montagem não orientada), do horizonte 2C, perfil AM-07 (XV RCC). E - esmectita, Cl - clorita, Mi - mica, Ct - caulinita, Q - quartzo, Af - anfibólio, F - feldspato. AT - amostra total na temperatura ambiente (25 ºC), solvatada com etilenoglicol (EG) e aquecida a 350 ºC e 550 ºC.

Perfil AM-08 – Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico, textura média/argilosa/muito argilosa, A moderado, epiálico, Tmoa, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano. Horizontes 2Btgf2 e 2Cg1, amostras 23.3511 e 23.3512.

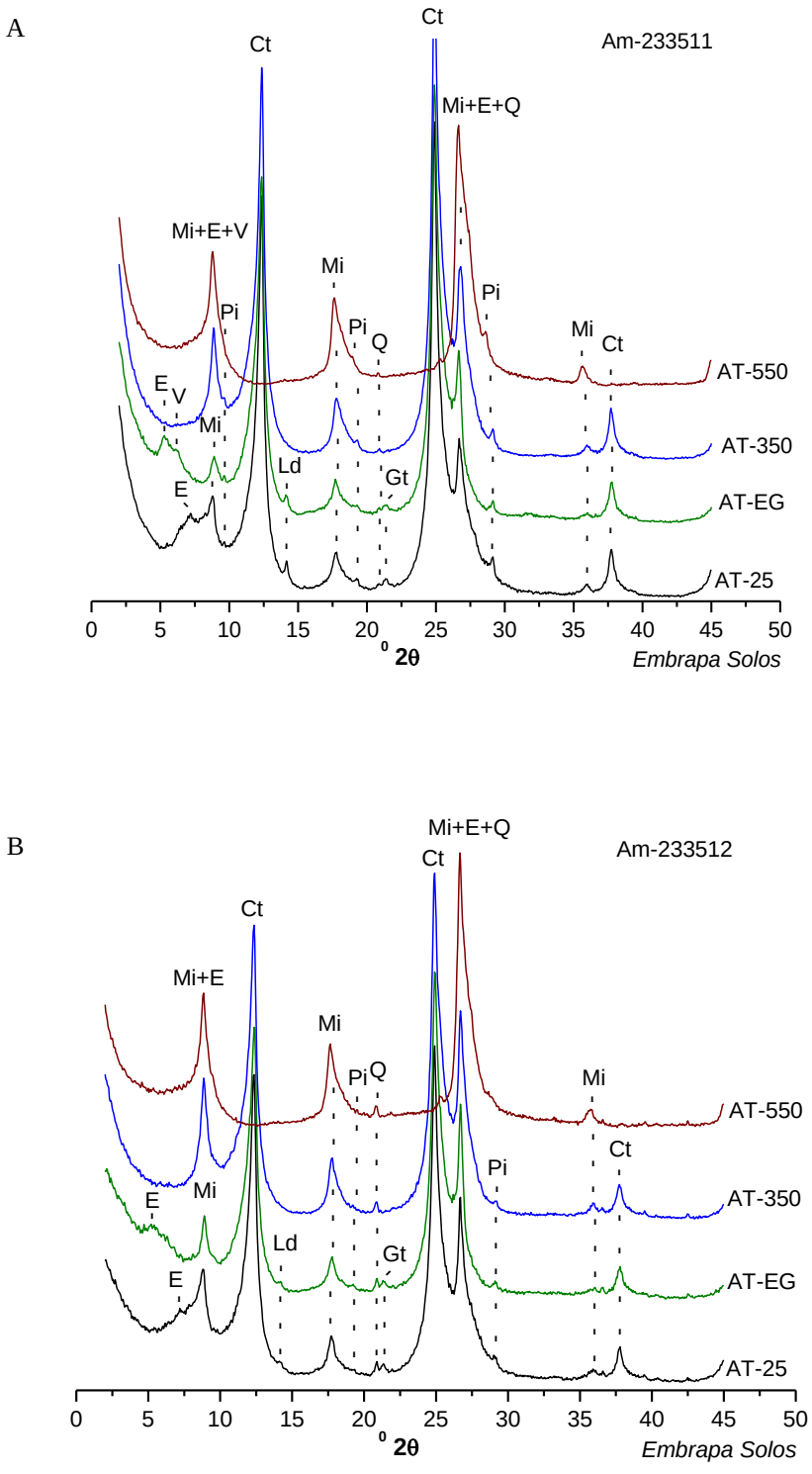


Figura 13.8. Difratogramas de raios-X (montagem orientada; radiação CuKα) da fração argila do horizonte 2Btgf2 (A) e 2Cg1 (B), perfil AM-08 (XV RCC). E - esmectita, V - vermiculita, Mi - mica, Ct - caulinita, Ld - lepidocrocita, Gt - goethita, Q - quartzo, Pi - pirofilita. AT - amostra total na temperatura ambiente (25 ºC), solvatada com etilenoglicol (EG) e aquecida a 350 ºC e 550 ºC.

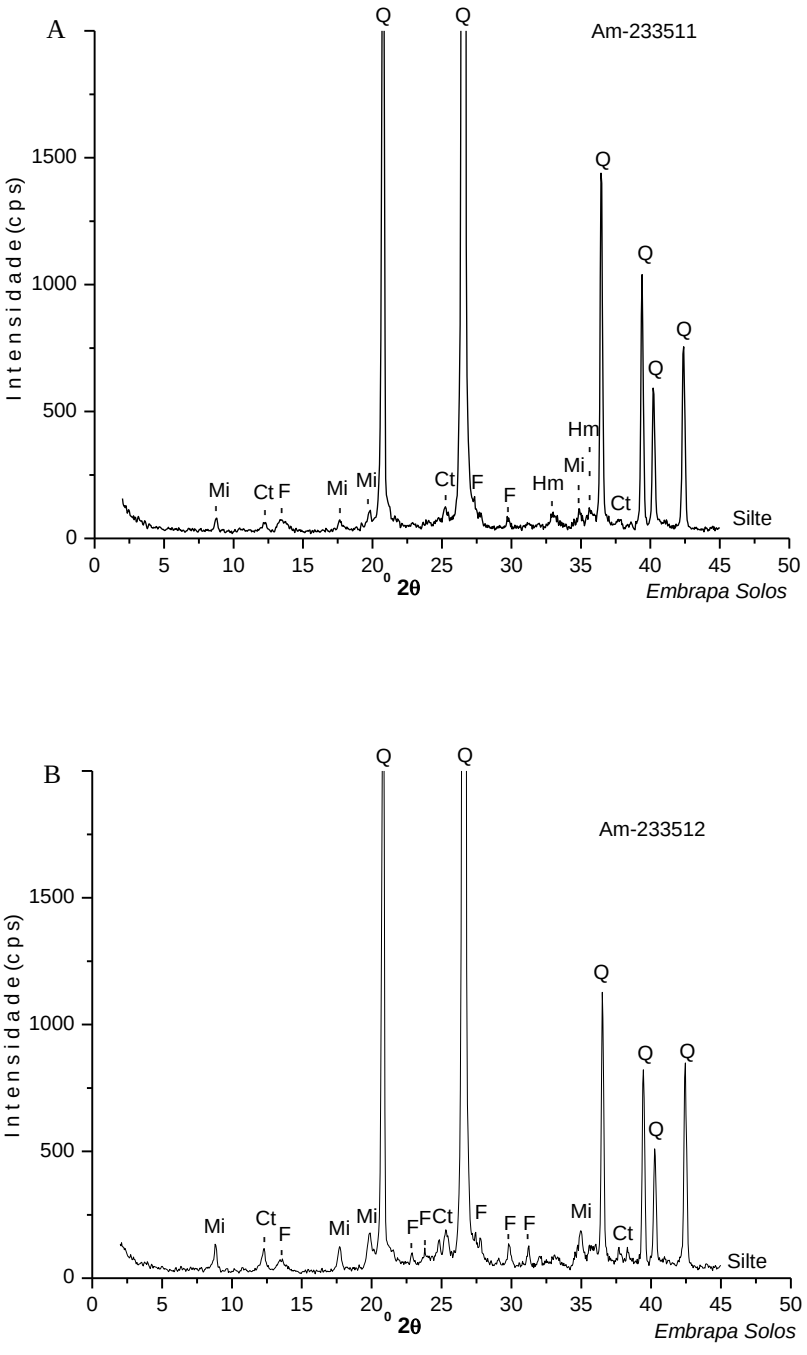


Figura 13.9. Difratogramas de raios-X (montagem não orientada; radiação CuKα) da fração silte dos horizontes 2Btgf2 (A) e 2Cg1 (B), perfil AM-08 (XV RCC). Mi - mica, Ct - caulinita, F - feldspato, Q - quartzo, Hm - hematita.

Perfil AM-09 – Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa, A fraco, endodúrico, fase campinarana equatorial arbórea, relevo plano. Horizontes 3Bh, 4Bhsm e 4Bhs, amostras 23.3520, 23.3521 e 23.3522.

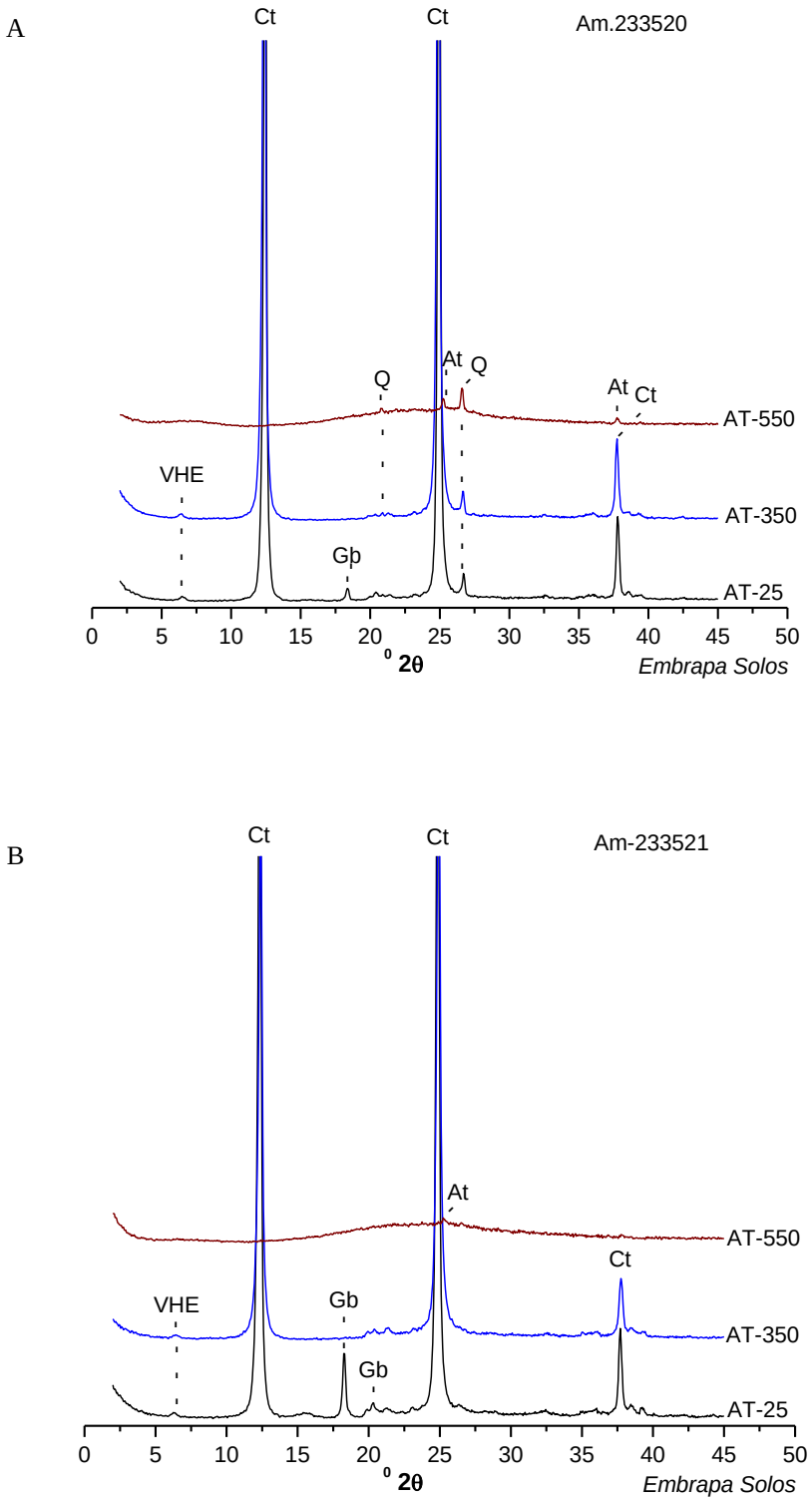


Figura 13.10. Difratogramas de raios-X (montagem orientada; radiação CuKα) da fração argila dos horizontes 3Bh (A) e 4Bhsm (B), perfil AM-09 (XV RCC). VHE - vermiculita com hidróxi-Al entrecamadas, Ct - caulinita, Gb - gibbsita, At - anatásio, Q - quartzo. AT - amostra total na temperatura ambiente (25 ºC) e aquecida a 350 ºC e 550 ºC.

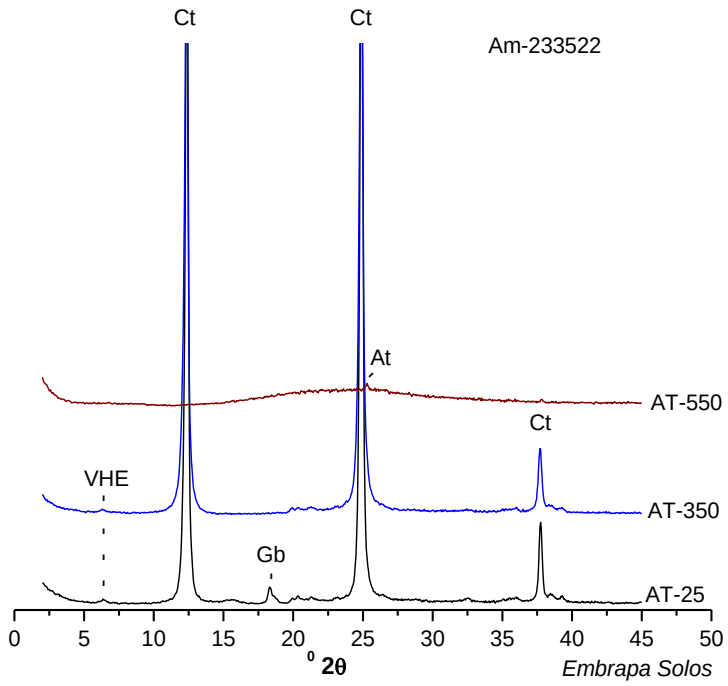


Figura 13.11. Difratogramas de raios-X (montagem orientada; radiação CuKα) da fração argila do horizonte 4Bhs, perfil AM-09 (XV RCC). VHE - vermiculita com hidróxi-Al entrecamadas, Ct - caulinita, Gb - gibbsita, At - anatásio. AT - amostra total na temperatura ambiente (25 ºC) e aquecida a 350 ºC e 550 ºC.

Perfil AM-11 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico, textura siltosa-média/média-siltosa, A moderado, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano. Horizontes Cg2 e 4Cg5, amostras 23.3528 e 23.3531.

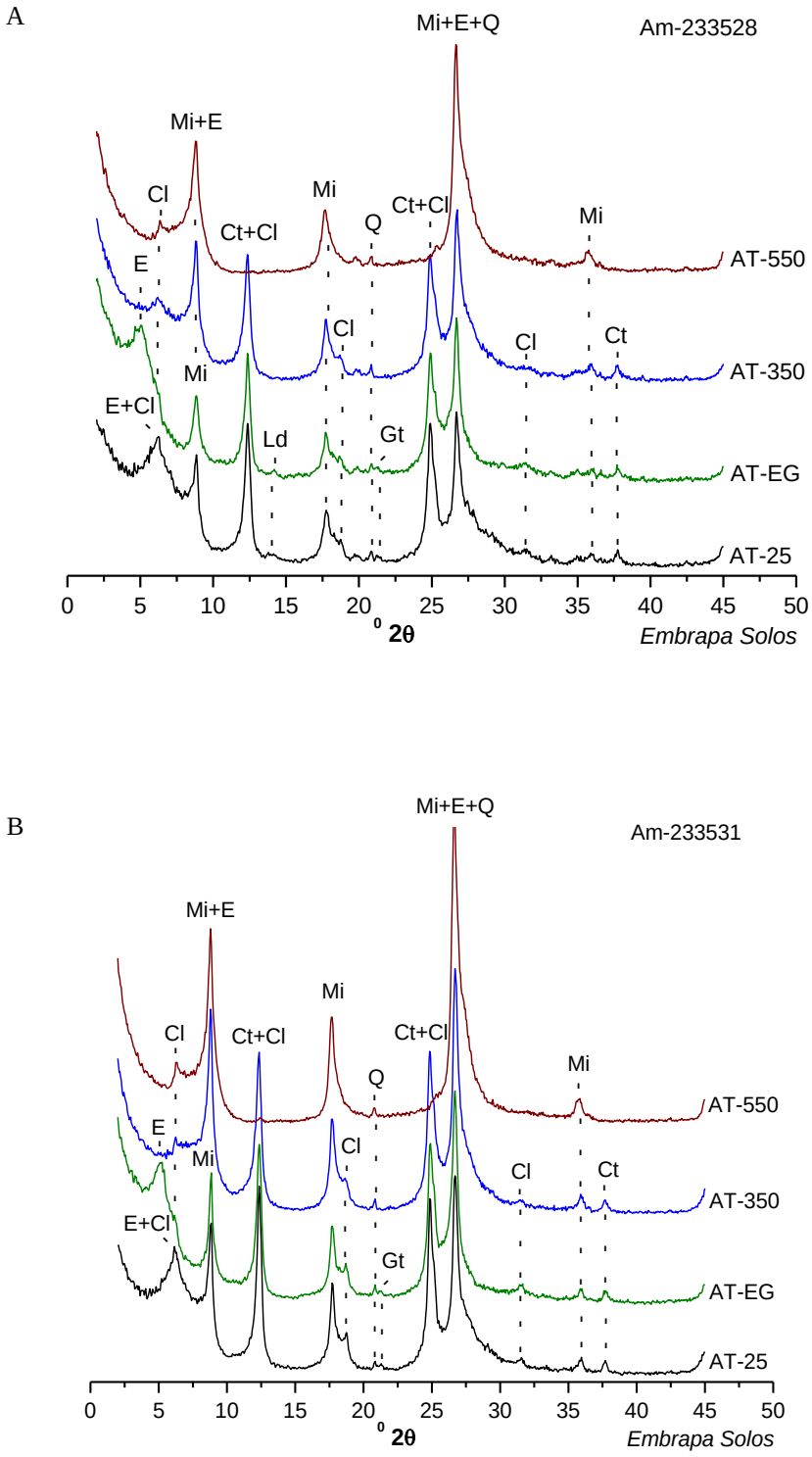


Figura 13.12. Difratogramas de raios-X (montagem orientada; radiação CuKα) da fração argila dos horizontes Cg2 (A) e 4Cg5 (B), perfil AM-11 (XV RCC). E - esmectita, Cl - clorita, Mi - mica, Ct - caulinita, Ld - lepidocrocita, Gt - goethita, Q - quartzo. AT - amostra total na temperatura ambiente (25 ºC), solvatada com etilenoglicol (AT-EG) e aquecida a 350 ºC e 550 ºC.

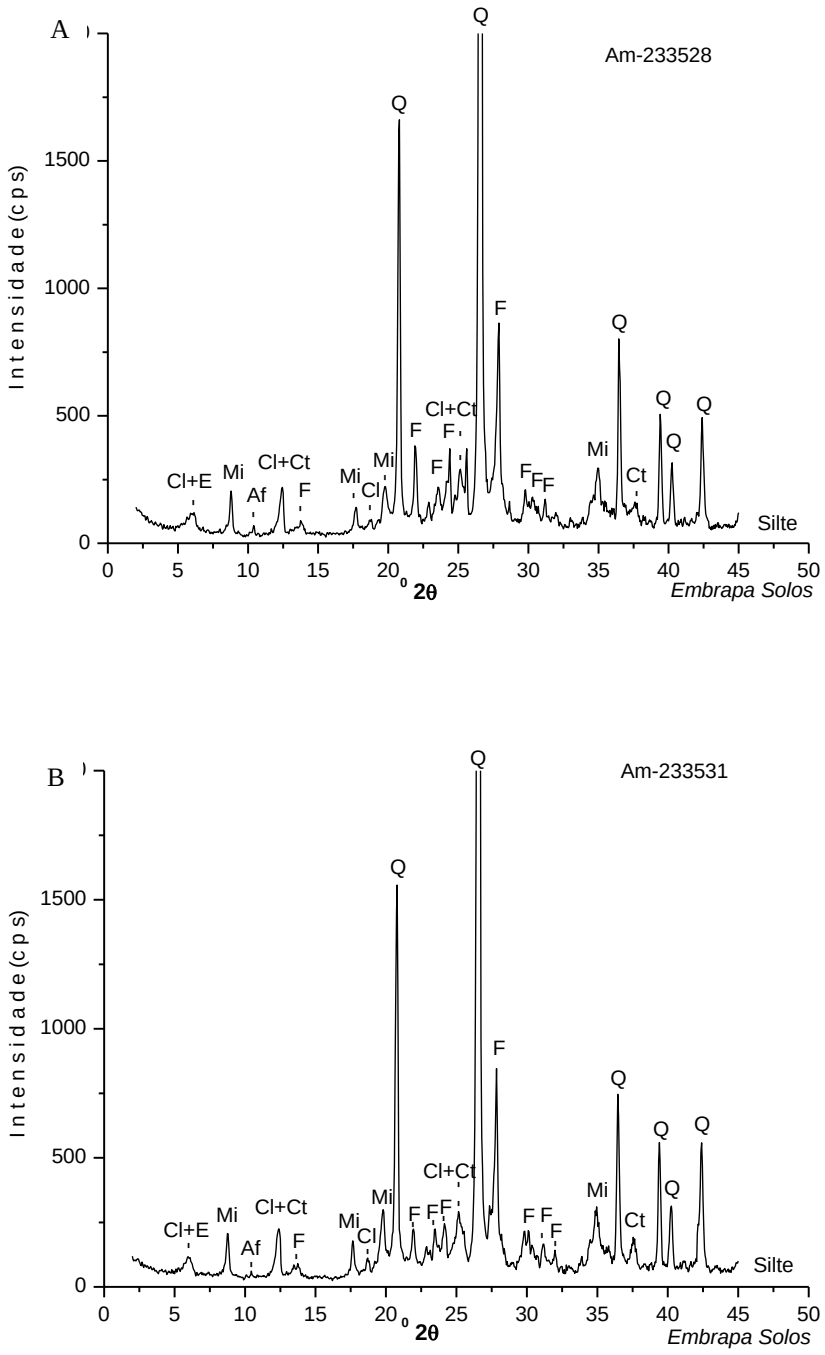


Figura 13.13. Difratogramas de raios-X (montagem não orientada; radiação CuKα) da fração silte dos horizontes Cg2 (A) e 4Cg5 (B), perfil AM-11 (XV RCC). Cl - clorita, E - esmectita, Mi - mica, Af - anfibólio, Ct - caulinita, F - feldspato, Q - quartzo.

Perfil AM-12 – Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico, textura média, A moderado, álico, epialumínico, Tmoa, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano. Horizonte 5C'g2, amostra 23.3538.

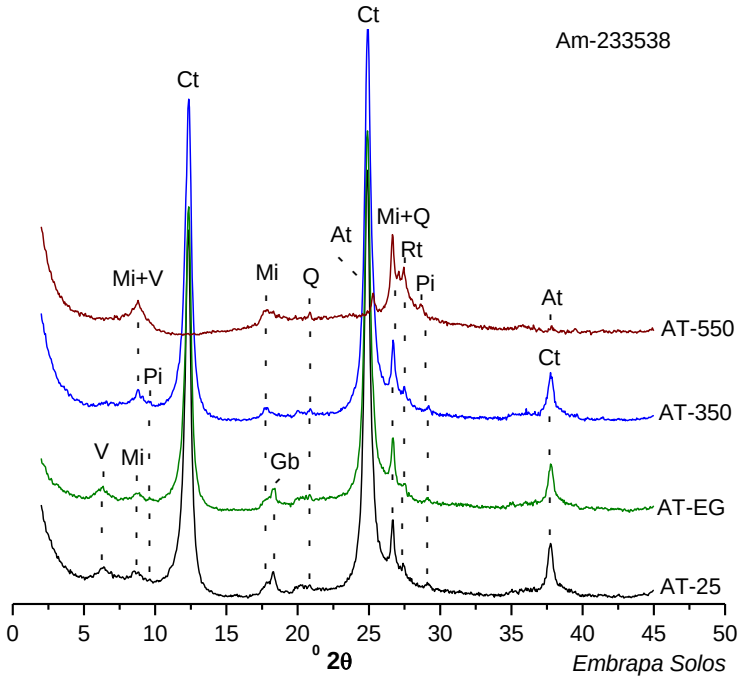
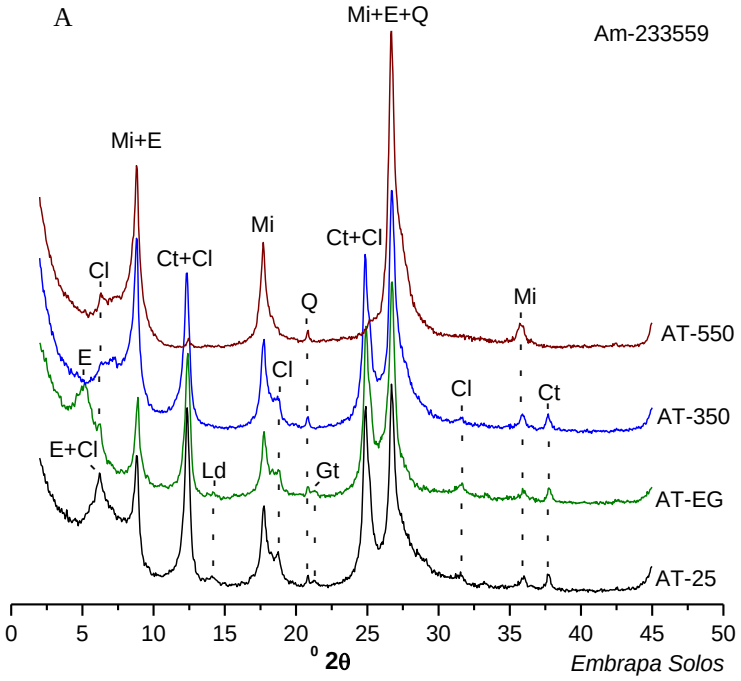


Figura 13.14. Difratogramas de raios-X (montagem orientada; radiação CuKα) da fração argila do horizonte 5C'g2, perfil AM-12 (XV RCC). V - vermiculita, Mi - mica, Pi - pirofilita, Ct - caulinita, Gb - gibbsita, Q - quartzo, At - anatásio, Rt - rutilo. AT - amostra total na temperatura ambiente (25 ºC), solvatada com etilenoglicol (EG) e aquecida a 350 ºC e 550 ºC.

Perfil AM-15 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/arenosa/siltosa, A fraco, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano. Horizontes 5Cg1 e 6Cg3, amostras 23.3559 e 23.3561.



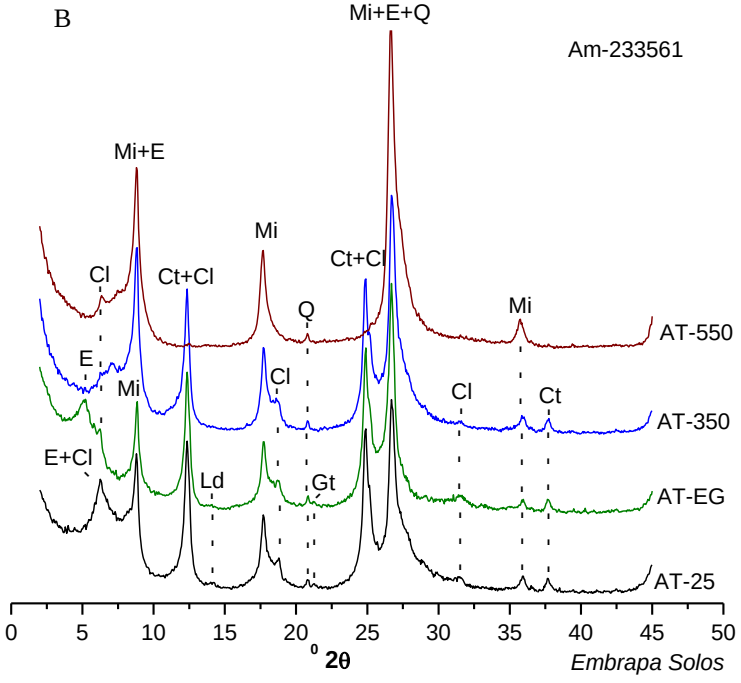


Figura 13.15. Difratogramas de raios-X (montagem orientada; radiação CuKα) da fração argila do horizonte 5Cg1 (A) e 6Cg3 (B), perfil AM-15 (XV RCC). E - esmectita, Cl - clorita, Mi - mica, Ct - caulinita, Ld - lepidocrocita, Gt - goethita, Q - quartzo. AT - amostra total na temperatura ambiente (25 ºC), solvatada com etilenoglicol (EG) e aquecida a 350 ºC e 550 ºC.

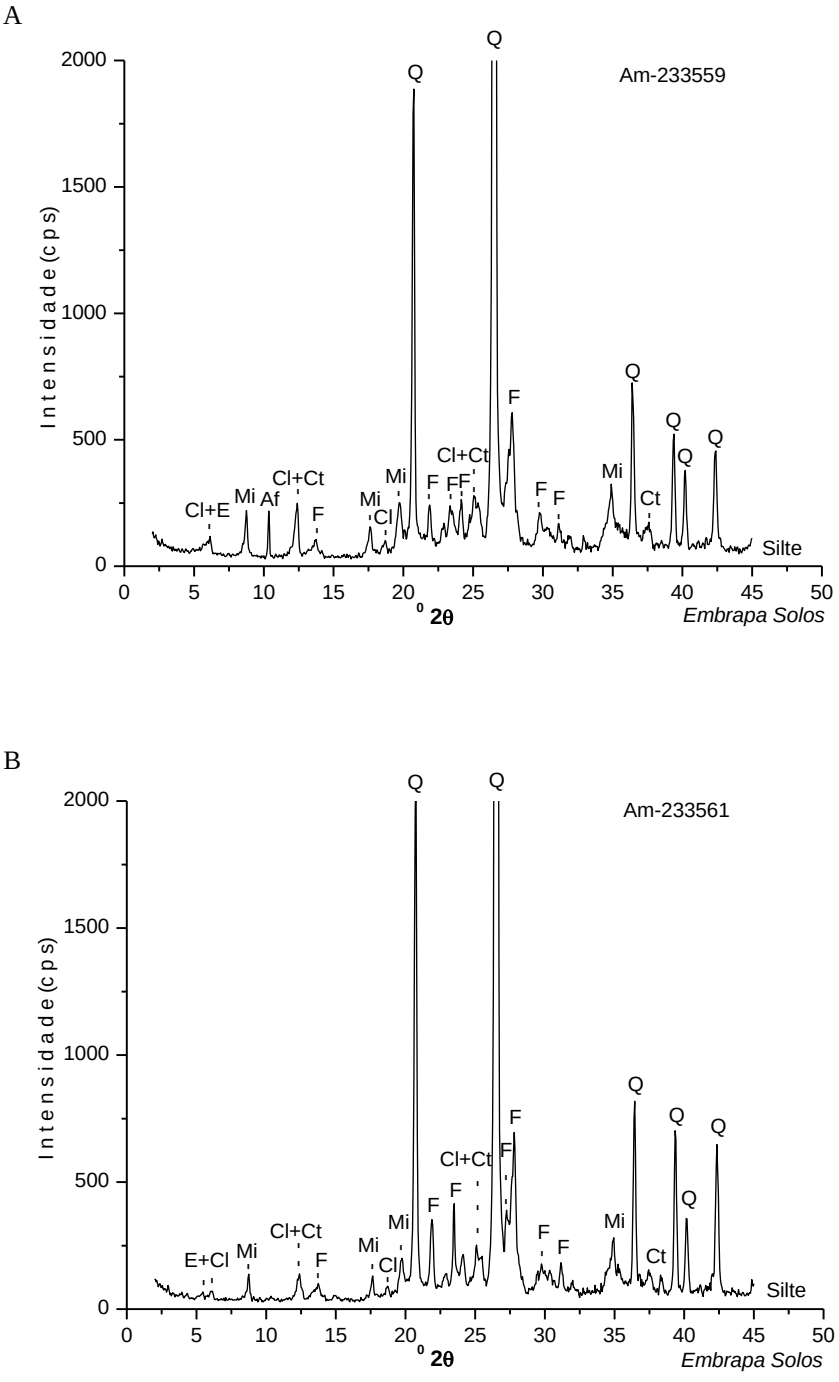
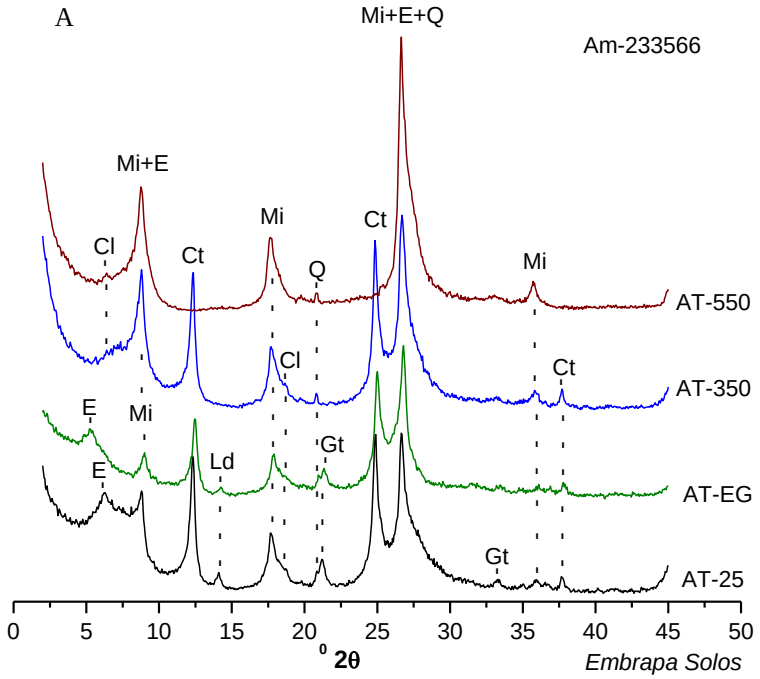


Figura 13.16. Difratogramas de raios-X (montagem não orientada; radiação CuKα) da fração silte dos horizontes 5Cg1 (A) e 6Cg3 (B), perfil AM-15 (XV RCC). Cl - clorita, E - esmectita, Mi - mica, Af - anfibólio, Ct - caulinita, F - feldspato, Q - quartzo.

Perfil AM-16 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa, A moderado, mesoendossolódico, Tma, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano. Horizontes 2Cg e 2Cgn2, amostras 23.3566 e 23.3568.



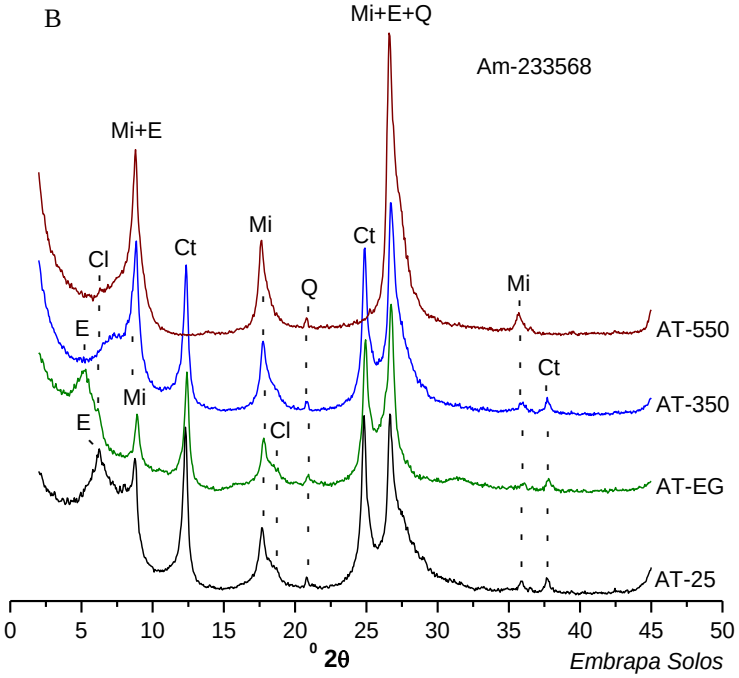


Figura 13.17. Difratogramas de raios-X (montagem orientada; radiação CuKα) da fração argila do horizonte 2Cg (A) e 2Cgn2 (B), perfil AM-16 (XV RCC). E - esmectita, Cl - clorita, Mi - mica, Ct - caulinita, Ld - lepidocrocita, Gt - goethita, Q - quartzo. AT - amostra total na temperatura ambiente (25 ºC), solvatada com etilenoglicol (EG) e aquecida a 350 ºC e 550 ºC.

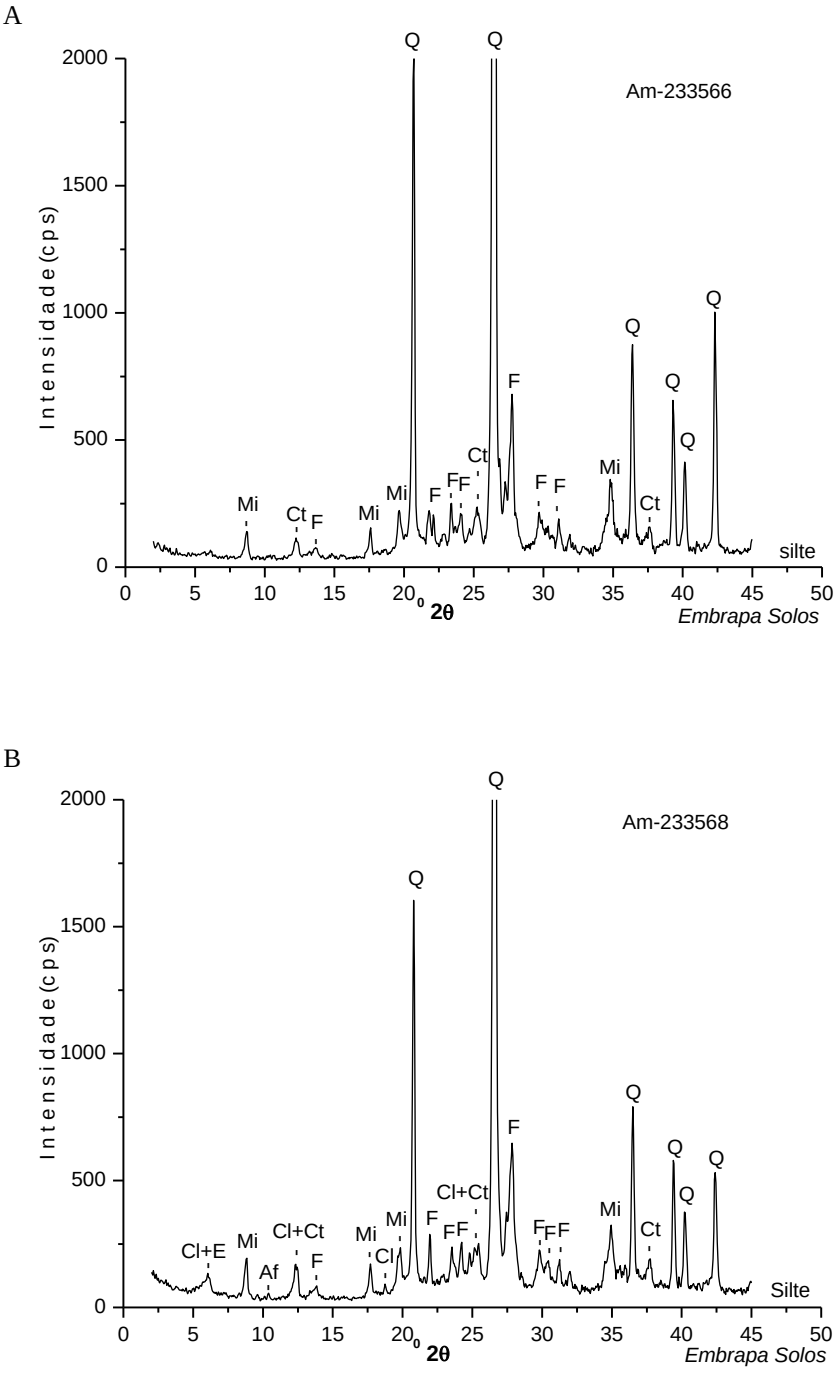


Figura 13.18. Difratogramas de raios-X (montagem não orientada; radiação CuKα) da fração silte dos horizontes 2Cg (A) e 2Cgn2 (B), perfil AM-16 (XV RCC). Cl - clorita, E - esmectita, Mi - mica, Af - anfibólio, Ct - caulinita, F - feldspato, Q - quartzo.

Perfil PA-05 – Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano. Horizonte Bw2, amostra 23.3016.

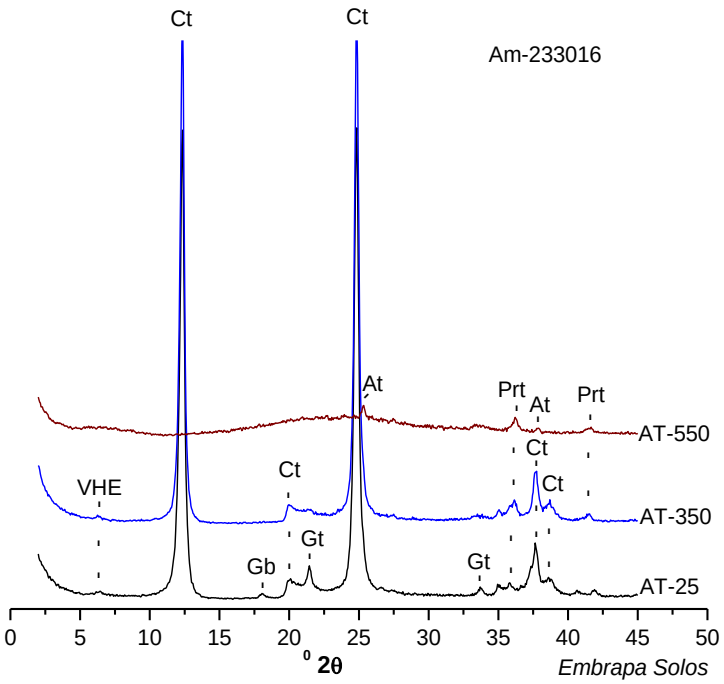


Figura 13.19. Difratogramas de raios-X (montagem orientada; radiação CuKα) da fração argila do horizonte Bw2, perfil PA-05 (XV RCC). VHE - vermiculita com hidróxi-Al entrecamadas, Ct - caulinita, Gb - gibbsita, Gt - goethita, At - anatásio, Prt - pseudorrutilo. AT - amostra total na temperatura ambiente (25 ºC) e aquecida a 350 ºC e 550 ºC.

Perfil PA-06 – Neossolo Quartzarênico Órtico húmico, textura arenosa-média, álico, fase cerrado equatorial subcaducifólio, relevo plano. Horizonte C, amostra 23.3024.

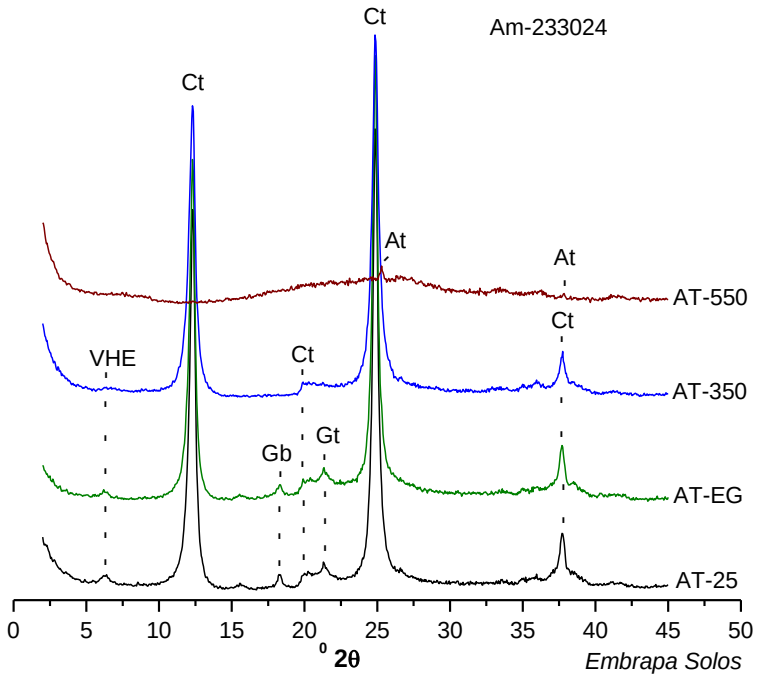


Figura 13.20. Difratogramas de raios-X (montagem orientada; radiação CuKα) da fração argila do horizonte C, perfil PA-06 (XV RCC). VHE - vermiculita com hidróxi-Al entrecamadas, Ct - caulinita, Gb - gibbsita, Gt - goethita, At - anatásio. AT - amostra total na temperatura ambiente (25 ºC), solvatada com etilenoglicol (EG) e aquecida a 350 ºC e 550 ºC.

Perfil PA-07 – Latossolo Amarelo Distrófico húmico, textura muito argilosa, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano. Horizonte Bw, amostra 23.3032.

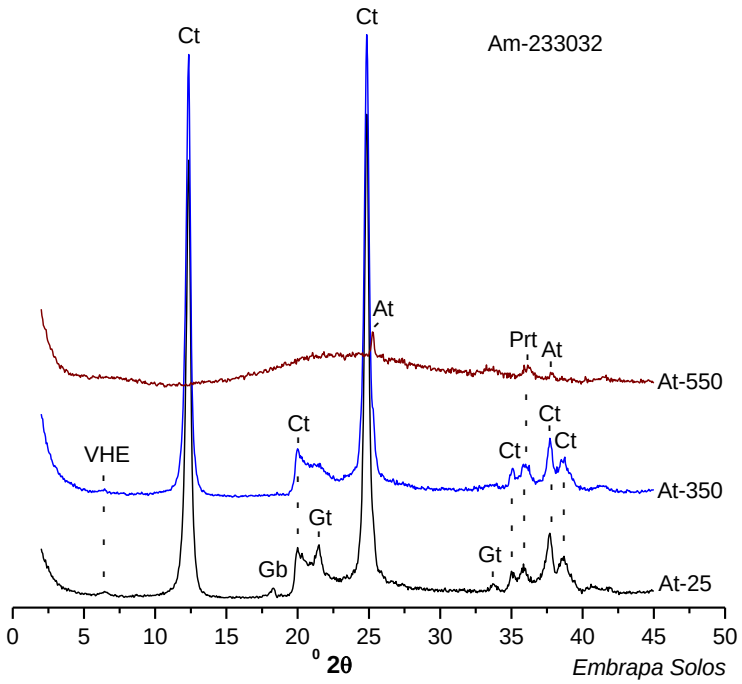


Figura 13.21. Difratogramas de raios-X (montagem orientada; radiação CuKα) da fração argila do horizonte Bw, perfil PA-07 (XV RCC). VHE - vermiculita com hidróxi-Al entrecamadas; Ct - caulinita; Gb - gibbsita; Gt - goethita; At - anatásio; Prt - pseudorrutilo. AT - amostra total na temperatura ambiente (25 ºC) e aquecida a 350 ºC e 550 ºC.

Perfil PA-13 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa/siltosa, A moderado, endossódico, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano. Horizontes 2Cg2 e 3Cgn2, amostras 23.3542 e 23.3544.

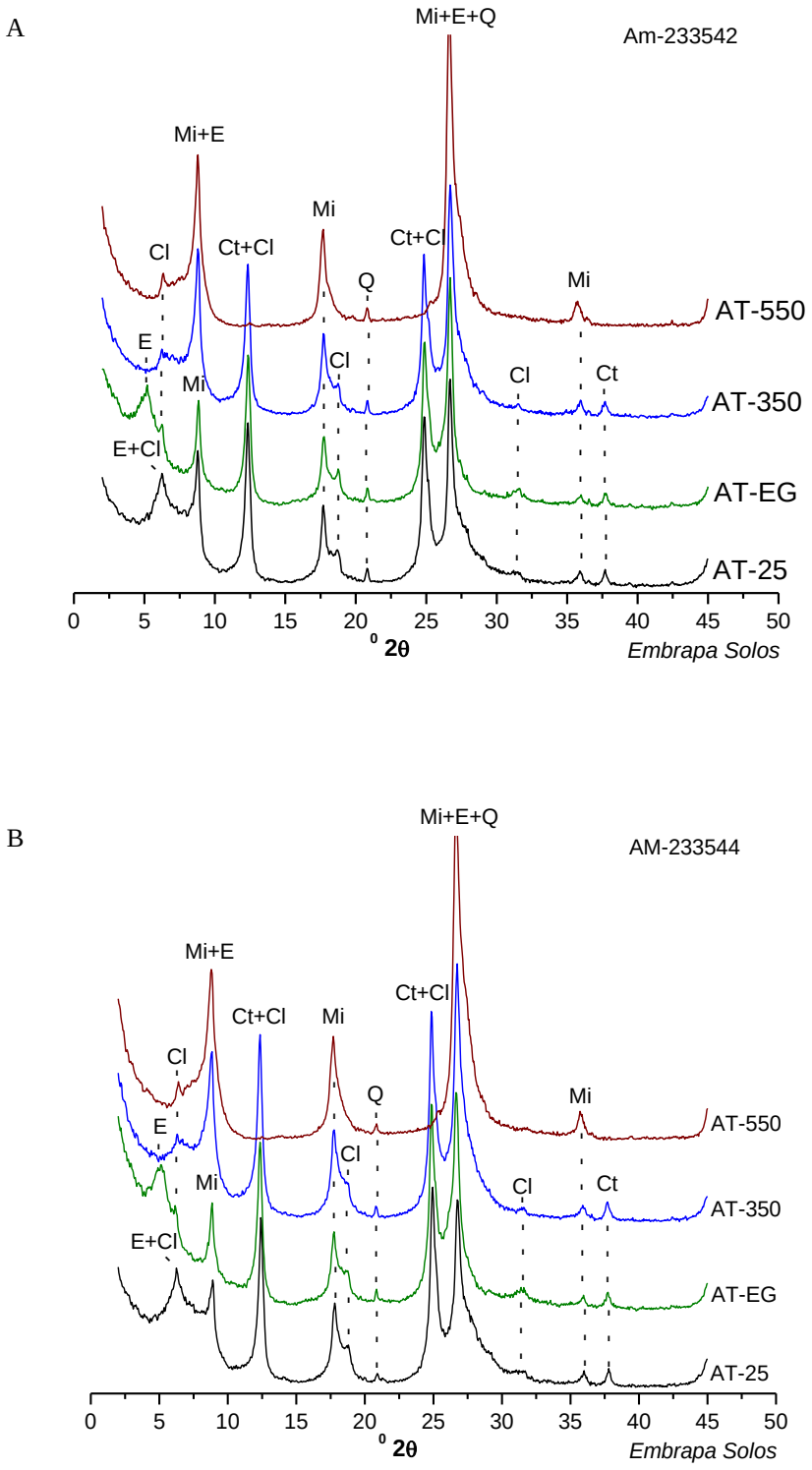


Figura 13.22. Difratogramas de raios-X (montagem orientada; radiação CuKα) da fração argila do horizonte 2Cg2 (A) e 3Cgn2 (B), perfil PA-13 (XV RCC). E - esmectita, Cl - clorita, Mi - mica, Ct - caulinita, Q - quartzo. AT - amostra total na temperatura ambiente (25 ºC), solvatada com etilenoglicol (EG) e aquecida a 350 ºC e 550 ºC.

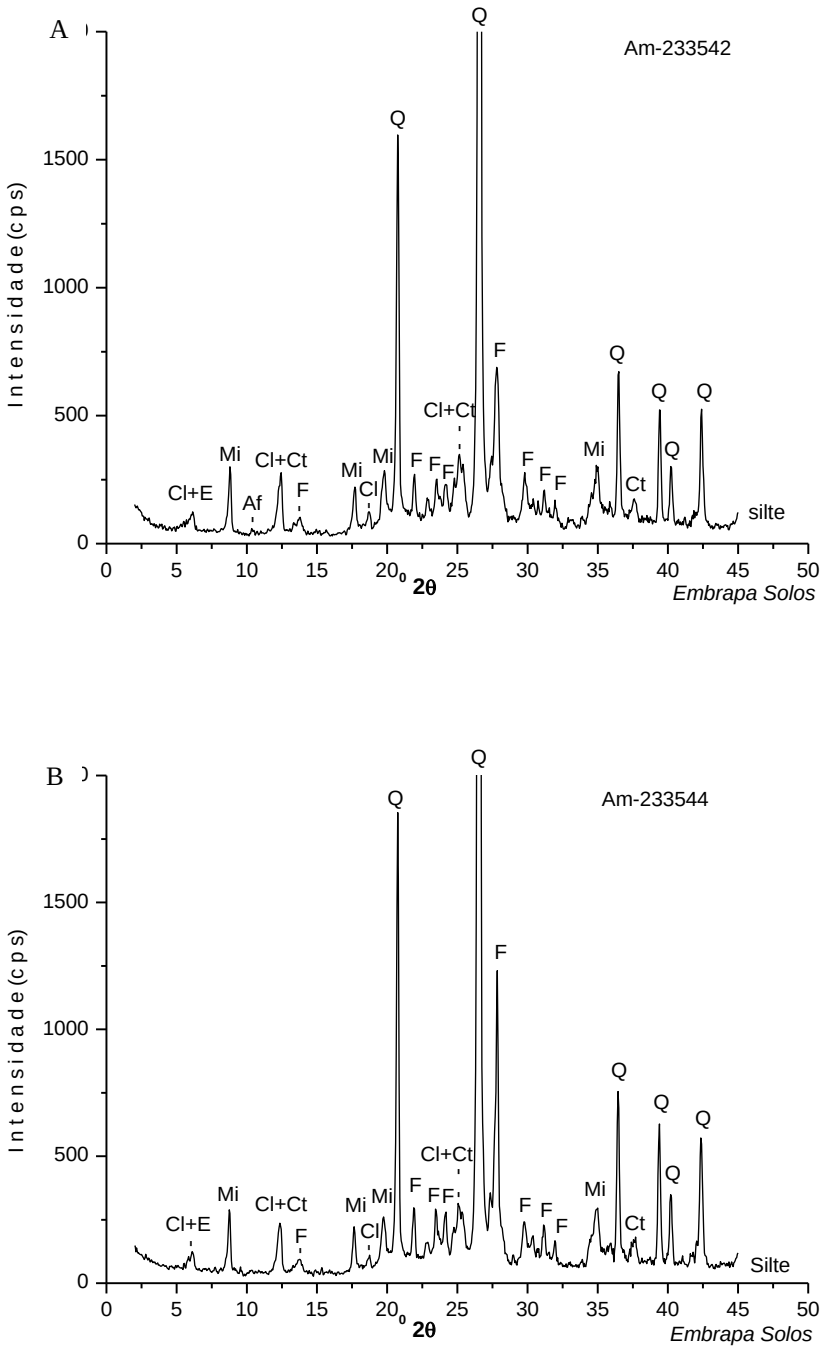


Figura 13.23. Difratogramas de raios-X (montagem não orientada; radiação CuKα) da fração silte dos horizontes 2Cg2 (A) e 3Cgn2 (B), perfil PA-13 (XV RCC). Cl - clorita, E - esmectita, Mi - mica, Af - anfibólio, Ct - caulinita, F - feldspato, Q - quartzo.

Perfil PA-14 – Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico, textura argilosa/siltosa, A fraco, endossolódico, eutrófico, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano. Horizontes 2Cvg1 e 2Cvg3, amostras 23.3548 e 23.3550.

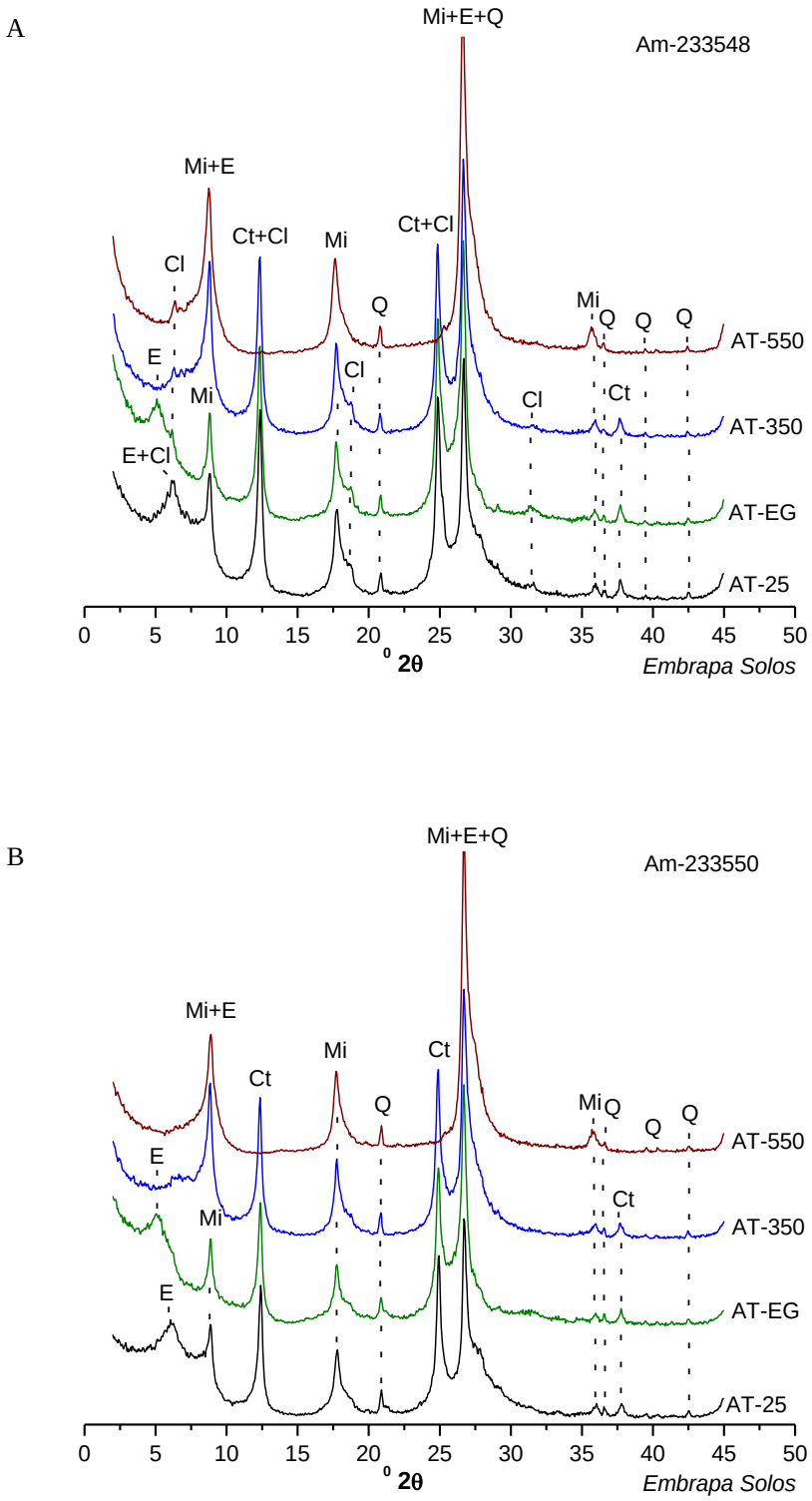


Figura 13.24. Difratogramas de raios-X (montagem orientada; radiação CuKα) da fração argila dos horizontes 2Cvg1 (A) e 2Cvg3 (B), perfil PA-14 (XV RCC). E - esmectita, Cl - clorita, Mi - mica, Ct - caulinita, Q - quartzo. AT - amostra total na temperatura ambiente (25 ºC), solvatada com etilenoglicol (EG) e aquecida a 350 ºC e 550 ºC.

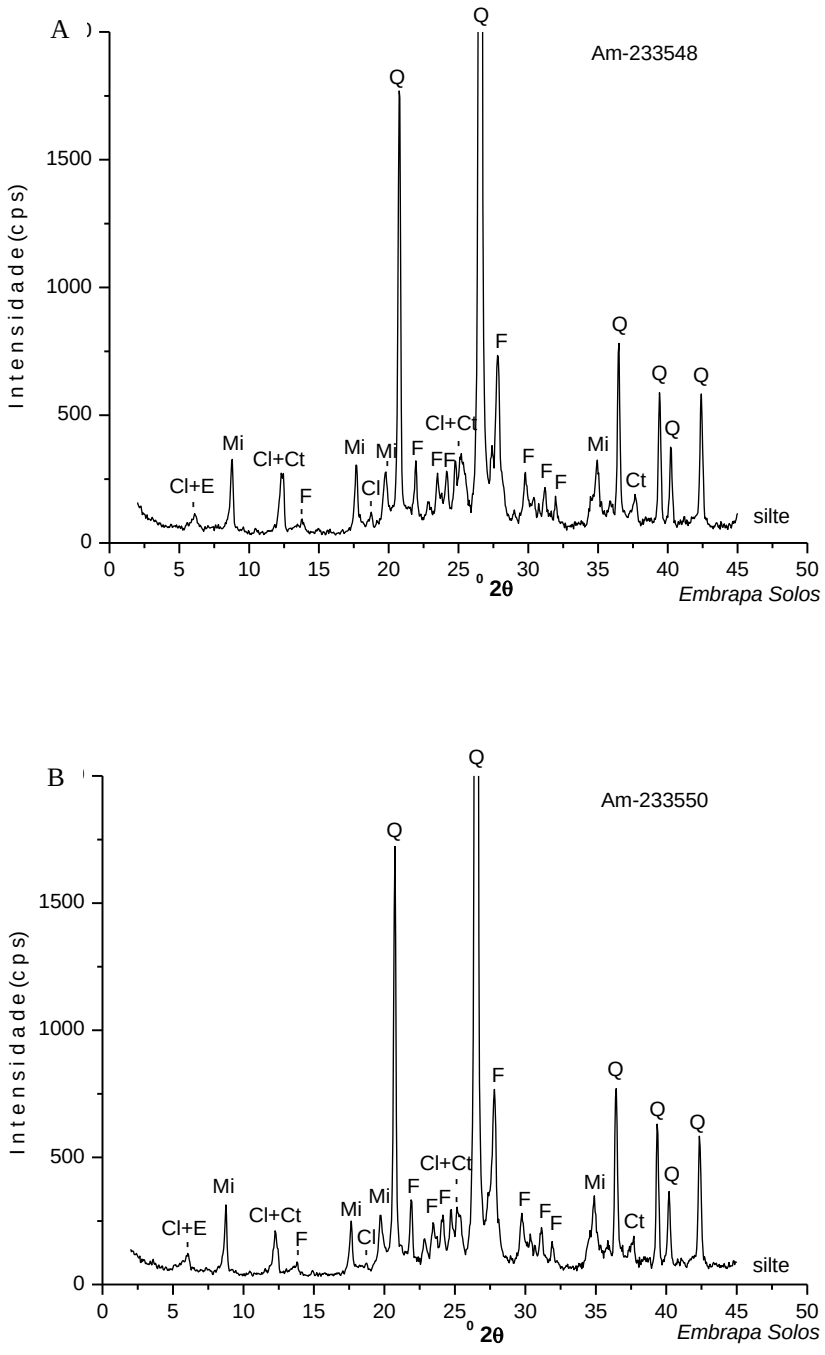


Figura 13.25. Difratogramas de raios-X (montagem não orientada; radiação CuKα) da fração silte dos horizontes 2Cvg1 (A) e 2Cvg3 (B), perfil PA-14 (XV RCC). Cl - clorita, E - esmectita, Mi - mica, Ct - caulinita, F - feldspato, Q - quartzo.

Perfil PA-17 – Organossolo Háplico Hêmico típico, textura argilosa/média/orgânica fíbrica, distrófico, epissáprico e mesoendofíbrico, muito lenhosa, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano. Horizonte Hd3, amostra 23.3572.

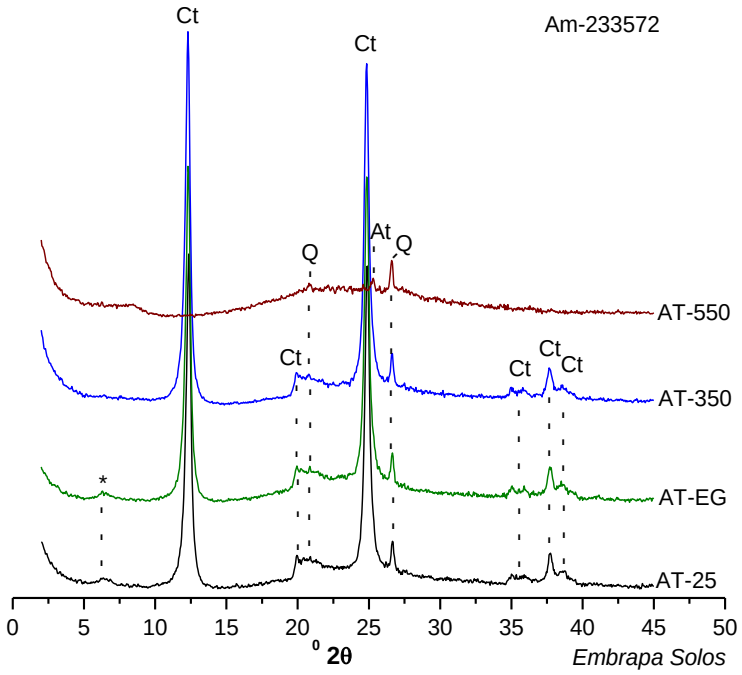
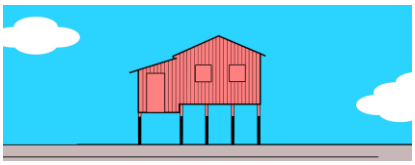


Figura 13.26. Difratogramas de raios-X (montagem orientada; radiação CuKα) da fração argila do horizonte Hd3, perfil PA-17 (XV RCC). Ct - caulinita, Q - quartzo, At - anatásio. (*) - argilomineral 2:1, pode ser vermiculita. AT - amostra total na temperatura ambiente (25 ºC), solvatada com etilenoglicol (EG) e aquecida a 350 ºC e 550 ºC.

Capítulo 14



Óxidos e índice Ki determinados pelo ataque sulfúrico na TFSA e por fluorescência de raios-X em amostras de solos da XV RCC: análise crítica comparativa

Jaime Antonio de Almeida
Lucius Menegotto Cunha
Daniel Alexandre Heberle

1. Introdução

Para a avaliação do grau de intemperismo de solos e de eventual reserva mineral de nutrientes e para inferir a composição mineralógica de solos, além das análises físicas e químicas básicas, são também efetuadas determinações do conteúdo total ou semitotal de seis elementos: silício, alumínio, ferro, titânio, manganês e fósforo, todos expressos na forma de óxidos, pela metodologia denominada “ataque sulfúrico”, que inclui a extração sulfúrica e o ataque alcalino (Santos et al., 2018).

As análises elementares pelo ataque sulfúrico e alcalino realizadas no Brasil para caracterização analítica de solos são demoradas, caras, exigem equipamentos especiais e grande controle de qualidade dos resultados, tornando sua realização pouco viável na maioria dos laboratórios de solos do Brasil, restringindo sua realização para alguns poucos locais do país (Silva et al., 2018). Além disso, geram grandes quantidades de resíduos, cuja destinação nem sempre é feita de modo adequado.

Por outro lado, a técnica da espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX) ou espectrometria de energia dispersiva (EDX) permite a análise dos elementos totais em amostras de solos. A técnica, principalmente por EDX (os equipamentos de bancadas), é de fácil manuseio, tem baixo custo analítico, boa precisão e rapidez na obtenção dos resultados. Essa técnica de análise tem sido bastante utilizada pelos cientistas de solos, e muitos pedólogos têm sugerido a possibilidade de substituição do método do ataque sulfúrico (AS) pelo da FRX ou EDX para análises do conteúdo total dos elementos, tais como Si, Al, Fe, Mn, Ti, P (Almeida et al., 2020). Os valores obtidos, expressos na forma de óxidos elementares, permitem o cálculo dos índices de intemperismo Ki e Kr e de outros parâmetros importantes na interpretação da

gênese de solos, bem como sua classificação pelo *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* (SiBCS).

A determinação dos índices Ki e Kr de solos fornece informações muito importantes para inferências sobre a composição mineralógica da fração argila e do grau de intemperização dos solos (Oliveira, 2005), embora o método tenha sido originalmente proposto para solos mais intemperizados (Kehrig, 1949). No Brasil, os valores dos índices Ki e Kr têm sido tradicionalmente calculados por intermédio da quantificação dos elementos Si, Al e Fe na fração terra fina seca ao ar (TFSA) (Vettori, 1969), sendo a digestão das amostras feita em solução de ácido sulfúrico diluída a 50% e a quantificação podendo ser realizada tanto por colorimetria (Claessen, 1997; Teixeira et al., 2017), quanto por espectrometria de absorção atômica ou por ICP. A quantificação do Si da fração argila exige adicionalmente o tratamento do resíduo da digestão sulfúrica com hidróxido de sódio. Outros elementos são igualmente quantificados no extrato da digestão sulfúrica, tais como o Ti, Mn e P, todos expressos na forma de óxidos (Teixeira et al., 2017), sendo o titânio importante para eventual detecção de descontinuidades litológicas no solo.

Os pressupostos básicos da determinação do índice Ki a partir da quantificação dos elementos Si e Al pelo ataque sulfúrico e alcalino são que essas extrações atacariam apenas os constituintes minerais da fração argila, embora a análise seja realizada com a terra fina seca ao ar (TFSA) (Vettori, 1969). A digestão, em princípio, não promoveria ataque substancial nos cristais de quartzo e em outros minerais mais resistentes ao intemperismo, e, desse modo, as quantidades de silício e de alumínio solubilizadas seriam provenientes principalmente da dissolução dos argilominerais e dos hidróxidos de alumínio eventualmente presentes (Oliveira, 2005).

Para os demais elementos (Fe, Ti, Mn e P), a interpretação dos resultados é mais complexa. A digestão sulfúrica pode solubilizar os minerais-fonte destes elementos na fração argila, mas também aqueles presentes nas frações silte e areia. Em síntese, o Si e o Al do ataque sulfúrico e alcalino representariam o conteúdo desses elementos dos minerais da fração argila, e o Fe, Ti, Mn e P liberados pelo extrato sulfúrico seriam indicativos do seu conteúdo semitotal na fração terra fina seca ao ar (TFSA), ainda que persistam dúvidas a esse respeito.

A substituição das análises do ataque sulfúrico pelas análises por FRX ou EDX na TFSA não é uma alternativa simples, uma vez que o cálculo do Ki (e em parte do Kr) realizado com os dados gerados pelo ataque sulfúrico pressupõe a quantificação do Si e do Al somente da fração argila, enquanto a FRX ou EDX quantifica esses mesmos elementos em todas as frações granulométricas da terra fina, ou seja, são os valores totais dos elementos na amostra de TFSA. Por isso, é esperado que os conteúdos de Si, principalmente, sejam sempre mais altos quando quantificados na terra fina por FRX do que pelo ataque sulfúrico, o que geralmente resulta em valores mais altos para o Ki obtido pela FRX/EDX em relação ao do ataque sulfúrico, exceto

quando ocorrem conteúdos de argila muito elevados, onde os valores entre os métodos podem ser semelhantes.

Portanto, para que se possa substituir as análises do AS pela FRX/EDX para o conjunto dos elementos citados (Si, Al, Fe, Ti, Mn e P), em princípio, ter-se-ia que realizar duas análises pela FRX/EDX: 1) do Si e do Al na fração argila para o cálculo do Ki e 2) do Fe, Ti, Mn e P na fração TFSA, para a obtenção dos demais atributos (Kr, que exige adicionalmente o conteúdo de Fe_2O_3, das descontinuidades litológicas, que exigem o TiO_2, e do P e do Mn). Uma alternativa seria testar a possibilidade de determinar todos esses elementos por FRX/EDX na terra fina para uma população grande e diversificada de amostras, efetuar correlações entre os dois métodos e estabelecer novos intervalos de valores para os índices Ki e Kr pela FRX, já que na maioria dos casos serão mais altos do que os intervalos atuais.

Com base nessas considerações, o objetivo deste trabalho foi testar a possibilidade de substituição das análises por ataque sulfúrico pela análise por FRX/EDX. Foram determinados, por FRX, os teores elementares antes citados em três conjuntos de amostras provenientes de perfis de solos da XV RCC, através de análises realizadas na fração argila, silte e na TFSA, comparando-se esses resultados com os provenientes do ataque sulfúrico na TFSA.

2. Material e métodos

Foram selecionadas amostras de 26 horizontes de 16 perfis de solo integrantes da XV RCC realizada na região amazônica, classificados segundo Santos et al. (2018), correspondentes aos horizontes pedogenéticos B e C de Latossolos, Neossolos, Plintossolo, Espodossolo, Cambissolo, Vertissolo e de Gleissolos. Os principais atributos dos solos estudados estão indicados na Tabela 14.1.

Amostras de 50 g da TFSA de cada horizonte selecionado foram submetidas a tratamentos de dispersão com NaOH 1 mol L^{-1}, agitadas com esferas de acrílico durante 2 ou 4 horas e em seguida passadas em peneira 0,053 mm para separação e quantificação da areia total. O silte e a argila restantes foram transferidos para recipientes plásticos de aproximadamente 1 L, de modo a manter uma altura de 8 cm entre a superfície do líquido e uma distância de 2 cm acima da base do recipiente. Com base na lei de Stokes, calculou-se o tempo necessário para que as partículas de argila ultrapassassem a distância estipulada, a partir do qual retirou-se, por sifonamento, o volume correspondente aos primeiros 8 cm superiores, o qual foi transferido para baldes plásticos de 10 L. O volume dos frascos foi completado com água e agitado novamente, sendo o procedimento anterior repetido de 6 a 8 vezes, até que toda a argila fosse separada do silte, sempre mantendo um pH entre 9 e 10 pela adição de NaOH 0,1 mol L^{-1}. No volume total dos baldes (entre 5 e 6 L), a argila foi floculada pela adição de HCl 1 mol L^{-1} ou NaCl, quando necessário.

Tabela 14.1. Atributos químicos de horizontes selecionados de perfis de solos da XV RCC.

Perfil	Símbolo hor.[1]	Prof.[2]	Composição granulométrica			Valor S[3]	Valor T[4]	Ataque sulfúrico						Ki[5]	Kr[6]
			Areia total	Silte	Argila			SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO_2		
		Cm	---------- g kg^{-1} ----------			--- cmolc kg^{-1} ---		---------- g kg^{-1}----------							
AM-01	Bw1	119 - 153	263	51	686	1,7	5,6	237	189	99	14,1	3,2	0,1	2,13	1,60
AM-02	Bw4	108 - 163	130	59	811	0,1	1,8	246	189	24	12,5	0,2	0,1	2,21	2,05
AM-05	3Cg2	33 - 65	8	659	333	14,0	21,6	236	149	46	5,3	0,7	0,4	2,69	2,25
AM-05	4Cg3	65 - 115	18	717	265	18,4	22,6	197	139	68	5,8	1,0	0,4	2,41	1,84
AM-06	5Cg3	73 -105	177	645	177	14,5	16,7	151	104	65	5,2	1,0	0,7	2,47	1,77
AM-06	6Cg4	105 - 156	220	642	137	14,3	16,4	168	102	55	5,0	1,3	0,6	2,80	2,08
AM-07	2C	86 - 126	242	611	147	14,6	17,2	179	97	55	5,1	1,2	0,7	3,14	2,30
AM-08	Cgf2	73 - 101	127	406	467	0,2	13,4	223	160	86	7,2	0,2	0,1	2,37	1,76
AM-08	C'g1	101 - 151	109	421	470	0,4	14,5	223	172	70	7,5	0,2	0	2,20	1,75
AM-09	3Bh	317 - 332	894	37	69	0,1	6,0	27	22	5	1,2	1,5	0,6	2,09	1,82
AM-09	4Bhsm	332 - 352	857	41	102	0,1	8,1	28	38	3	0,8	0,4	0	1,25	1,19
AM-09	4Bhs	352 - 380	889	30	81	0,1	7,8	26	38	3	0,7	0,4	0	1,16	1,11
AM-11	Cvg2	41 - 61	184	657	160	11,7	17,2	144	104	62	4,7	1,4	0,7	2,35	1,70
AM-11	4Cg2	86 - 115	224	634	143	10,5	14,9	138	97	59	4,4	1,4	0,7	2,42	1,74
AM-12	5C'g2	99 - 150	666	188	146	0,3	2,6	70	55	6	5,1	0,3	0	2,16	2,02
AM-15	5Cg1	23 - 41	191	697	113	10,9	12,9	178	97	53	4,8	1,3	0,6	3,12	2,31
AM-15	6Cg3	60 - 108	193	642	164	9,4	11,8	131	83	48	3,8	1,0	0,4	2,68	1,96
AM-16	2Cg	27 - 51	24	668	307	14,1	17,7	172	120	62	4,7	0,5	0,2	2,44	1,83
AM16	2Cgn2	76 - 119	20	713	267	21,7	22,5	173	143	53	4,9	0,6	0,6	2,06	1,66
PA-05	Bw2	72 - 130	21	154	825	0,1	3,7	246	190	84	14,4	0,3	0	2,20	1,72
PA-06	C	169 - 205	873	61	66	0,1	2,1	39	25	8	2,3	0,2	0	2,65	2,20
PA-07	Bw	137 - 200	40	173	788	0,1	3,5	225	190	59	12,6	0,3	0	2,01	1,68
PA-13	2Cg2	32 - 55	30	716	254	12,8	16,5	203	138	59	4,7	1,0	0,5	2,50	1,97
PA-13	3Cgn2	69 - 101	16	699	285	12,4	16,8	222	142	55	4,9	0,7	0,3	2,66	2,13
PA-14	2Cvg1	20 - 43	6	620	374	14,2	19,0	251	162	54	4,6	0,5	0,2	2,63	2,17
PA-14	2Cvgn1	71 - 113	26	587	388	25,3	26,4	274	173	66	5,2	0,3	0,3	2,69	2,17

[1]Hor.: horizonte; [2]Prof.: profundidades; [3]Valor S: soma de bases; [4]valor T: capacidade de troca de cátions; [5]Ki: índice Ki; [5]Kr: índice Kr.

O excesso do sobrenadante dos baldes foi retirado por sifonamento, e um volume apropriado de argila foi transferido para sacos de diálise, os quais foram mantidos em água destilada, trocada diariamente, até que o excesso de sais fosse eliminado.

A fração argila lavada foi transferida dos sacos de diálise para copos de Becker de 50 mL e seca em estufa a 100 °C, sendo em seguida moída e passada em peneira de 0,053 mm, para uniformização da matriz. A fração silte restante foi lavada várias vezes com água destilada e igualmente seca em estufa a 100 °C, moída e passada em peneira como no procedimento anterior.

A fração TFSA (3 g) foi moída em moinho de esfera, durante três minutos, sendo essa moagem complementada em almofariz de ágata, até todo o material passar em peneira de 0,053 mm.

Cada uma dessas frações foi acondicionada em recipientes de polietileno vazados, onde numa das extremidades foi colocado um filme transparente do tipo Mylar, e em seguida os recipientes foram acondicionados em baterias contendo 10 amostras, uma delas contendo uma amostra-padrão para controle dos resultados.

O equipamento utilizado foi um modelo Epsilon 3 da empresa Panalytical. Trata-se de um espectrômetro compacto de energia dispersiva de raios-X (EDX), com gerador de potência máxima em alta tensão de 9.000 mW, voltagem de 4 a 30 kV e intensidade da corrente de 1 μA a 1.000 μA, com tubos de raios-X de material anodo, ródio (Rh), janela de berílio com 50 μm de espessura e detector de diodo Si-PIN com processamento dos dados por meio de um analisador multicanal (MCA). O sistema é alimentado com gás hélio pressurizado e refrigeração eletrônica a ar termoelétrica (Peltier). Para a quantificação dos elementos, utilizou-se o aplicativo Omnian, desenvolvido pela Panalytical, o qual contém um conjunto de padrões com vários elementos químicos de amostras geológicas.

O ataque sulfúrico, acompanhado da digestão alcalina, foi realizado apenas na TFSA, de acordo com a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017).

Os resultados analíticos obtidos, que correspondem ao teor total de cada elemento químico, foram convertidos para a forma de óxidos. Por fim, realizaram-se as análises de correlações e comparações entre os resultados.

3. Resultados e discussão

3.1. Análises da fração terra fina

Na Tabela 14.2 constam os resultados dos elementos químicos analisados, expressos na forma de óxidos, e o valor do índice Ki, obtidos pelo ataque sulfúrico (AS) e por fluorescência de raios-X (FRX) para as amostras da fração TFSA.

Tabela 14.2. Óxidos e índice Ki obtidos pelo ataque sulfúrico e pela fluorescência de raios-X da fração TFSA de horizontes selecionados de perfis de solos da XV RCC.

Perfil	Ataque sulfúrico						KiAS[(1)]	Fluorescência de raios-X							KiFRX[(2)]
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO_2		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	MnO_2	K_2O	
	---------- g kg^{-1} ----------							---------- g kg^{-1} ----------							
AM-01	237	189	99	14,1	3,2	0,1	2,13	451,33	357,23	147,37	27,12	7,87	0,2	0,32	2,15
AM-02	246	189	24	12,5	0,2	0,1	2,21	500,51	424,68	43,34	20,55	4,62	0,09	0,18	2,00
AM-05	236	149	46	5,3	0,7	0,4	2,69	629,15	229,17	65,59	12,92	4,35	0,55	31,78	4,67
AM-05	197	139	68	5,8	1,0	0,4	2,41	606,78	218,55	98,22	12,97	4,79	0,71	29,23	4,72
AM-06	151	104	65	5,2	1,0	0,7	2,47	633,95	202,02	83,46	12,08	5,13	1,07	29,04	5,33
AM-06	168	102	55	5,0	1,3	0,6	2,8	629,18	199,86	86,62	12,46	5,66	1,16	29,86	5,35
AM-07	179	97	55	5,1	1,2	0,7	3,14	627,72	198,56	87,2	11,87	5,3	1,22	29,42	5,37
AM-08	223	160	86	7,2	0,2	0,1	2,37	609,38	244,55	105,27	16,81	4,04	0,11	13,24	4,24
AM-08	223	172	70	7,5	0,2	0	2,2	593,14	254,48	103,72	15,96	4,31	0,12	20,63	3,96
AM-09	27	22	5	1,2	1,5	0,6	2,09	908,73	78,29	3,84	2,43	3,7	0,06	0,05	19,73
AM-09	28	38	3	0,8	0,4	0	1,25	882,16	106,01	3,23	1,67	4,13	0,06	0,03	14,15
AM-09	26	38	3	0,7	0,4	0	1,16	906,25	82,33	3,36	1,2	4,04	0,05	0,04	18,71
AM-11	144	104	62	4,7	1,4	0,7	2,35	623,25	203,86	90,51	12,09	5,55	1,05	32,69	5,20
AM-11	138	97	59	4,4	1,4	0,7	2,42	637,27	202,46	81,41	11,31	5,33	1,1	32,46	5,35
AM-12	70	55	6	5,1	0,3	0	2,16	851,92	121,84	7,59	9,26	3,96	0,06	1,79	11,89
AM-15	178	97	53	4,8	1,3	0,6	3,12	647,89	194,63	78,45	11,83	5,41	1,02	31,63	5,66
AM-15	131	83	48	3,8	1,0	0,4	2,68	678,8	182,54	65,48	11,21	5,11	0,68	29,53	6,32
AM-16	172	120	62	4,7	0,5	0,2	2,44	626,17	211,71	92,61	12,82	4,65	0,28	30,55	5,03
AM-16	173	143	53	4,9	0,6	0,6	2,06	620,87	222,7	79,37	12,77	4,47	0,61	33,18	4,74
PA-05	246	190	84	14,4	0,3	0	2,2	444,56	406,07	111,88	26,8	3,86	0,11	0,29	1,86
PA-06	39	25	8	2,3	0,2	0	2,65	923,26	59,06	9,13	2,51	3,27	0,06	0,09	26,58
PA-07	225	190	59	12,6	0,3	0	2,01	457,15	421,57	82,28	28,5	4,06	0,08	0,3	1,84
PA-13	203	138	59	4,7	1,0	0,5	2,5	627,15	216,46	79,16	12,38	4,55	0,76	34,21	4,93
PA-13	222	142	55	4,9	0,7	0,3	2,66	641,32	184,87	60,01	6,63	4,63	0,68	27,45	5,90
PA-14	251	162	54	4,6	0,5	0,2	2,63	620,65	228,85	76,86	13,0	4,32	0,25	34,58	4,61
PA-14	274	173	66	5,2	0,3	0,3	2,69	598,09	233,28	92,09	12,8	4,3	0,52	34,42	4,36

[(1)]KiAS: índice Ki do ataque sulfúrico; [(2)]KiFRX: índice Ki da fluorescência de raios-X.

Os teores dos principais elementos analisados por FRX e expressos na forma de óxidos diferem daqueles obtidos pelo AS na fração terra fina (Tabela 14.2). Nesta fração, os teores dos óxidos de Si e de Al do AS são, em geral, inferiores aos obtidos por FRX. Isto se deve, em princípio, ao fato de que o AS dissolve apenas o silício e o alumínio presentes nos argilominerais e nos hidróxidos de alumínio. Ao contrário, os teores de Si e de Al na TFSA determinados pela FRX computam o teor total desses elementos presentes tanto na fração argila como no silte e na areia. Em consequência disso, os valores do índice Ki determinado a partir da análise por FRX foram expressivamente superiores aos valores obtidos pelo AS para a maior parte das amostras, com exceção das amostras de Latossolos mais argilosos (AM-01, AM-02 e PA-05), onde os valores foram mais semelhantes.

Houve, no entanto, uma certa relação de proporcionalidade entre os valores pelos dois métodos estudados para a maioria das amostras, com exceção dos solos de textura essencialmente arenosa. Nestes, representados pelas amostras do horizonte C do Neossolo Quartzarênico (PA-06) e dos três horizontes do Espodossolo, os valores do índice Ki obtidos por FRX foram muito superiores àqueles obtidos pelo AS. Isso ocorreu porque a FRX computa todo o silício contido nos cristais de quartzo, assim os valores de Si são muito elevados, enquanto os valores de Al são muito baixos, devido ao baixo conteúdo de argila nesses solos essencialmente arenosos, cuja fração areia é constituída essencialmente por quartzo.

Esse comportamento é mostrado na Figura 14.1, onde não se observou correlação entre os valores obtidos pelos dois métodos com valores muito altos e discrepantes nas amostras correspondentes aos solos mais arenosos, onde há valores de Ki por FRX superiores a 10. Portanto, constata-se que nesses solos a aplicação da técnica da FRX para determinação do Ki na TFSA é inadequada. É importante registrar, no entanto, que o valor de Ki por AS também pode não corresponder à real natureza da amostra, quando se tratar de solos excessivamente arenosos. Um exemplo é a amostra do PA-06 (Neossolo Quartzarênico), onde o valor de Ki foi igual a 2,65. Embora não seja tão elevado quanto os valores obtidos por FRX, não reflete a natureza mineralógica do solo analisado.

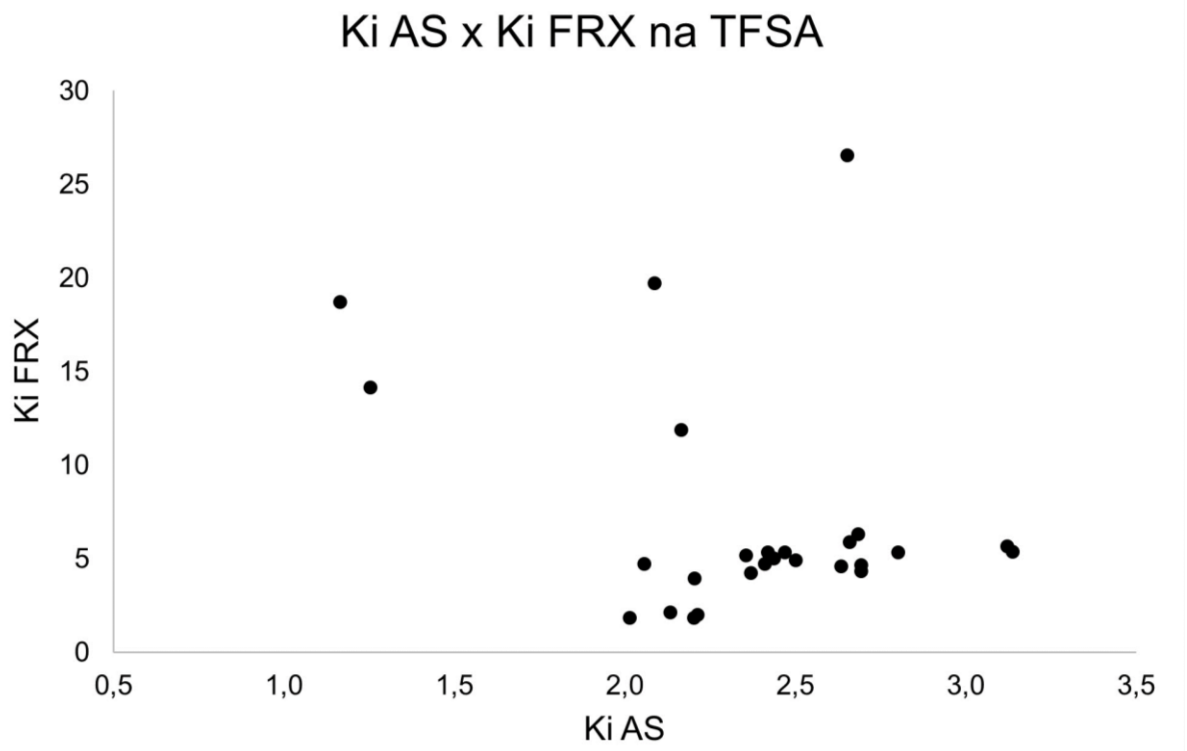


Figura 14.1. Relação entre os valores de Ki pelo AS e pela FRX na fração TFSA.

Quanto aos demais elementos analisados, os teores quantificados e expressos na forma de óxidos pela FRX na TFSA também são mais elevados do que os teores determinados pelo AS (Tabela 14.2). Certamente, isso ocorre porque foram quantificados os elementos totais presentes em outras frações além da argila, e que não são totalmente solubilizados pelo AS.

Para os óxidos de Fe, P, Ti e Mn, não há certeza se o AS solubiliza apenas os elementos contidos na fração argila, uma vez que muitos minerais portadores desses elementos podem estar presentes em outras frações. O mais provável é que o AS também dissolva elementos presentes em minerais nas frações silte e areia, sem que se saiba quais e o quanto dos minerais que contêm esses elementos são dissolvidos. Apesar disso, houve ótima correlação entre valores determinados pelas duas técnicas para os óxidos de ferro (Figura 14.2, r^2=0,97) e de titânio (Figura 14.3, r^2=0,91).

Contudo, é importante ressaltar que valores de Fe mais elevados quando determinados por FRX trazem implicação direta na atual qualificação de solos como hipo-, meso-, férrico e hiperférrico no *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*, levando à necessidade de mudar os atuais intervalos de valores de Fe_2O_3 definidores deles, ou converter os valores obtidos pela FRX para valores equivalentes aos determinados por AS, empregando-se uma equação de regressão.

Para o caso do Ti, mesmo que os teores determinados por FRX sejam mais elevados, as implicações seriam menores, no caso de se utilizá-los apenas para avaliar descontinuidades litológicas.

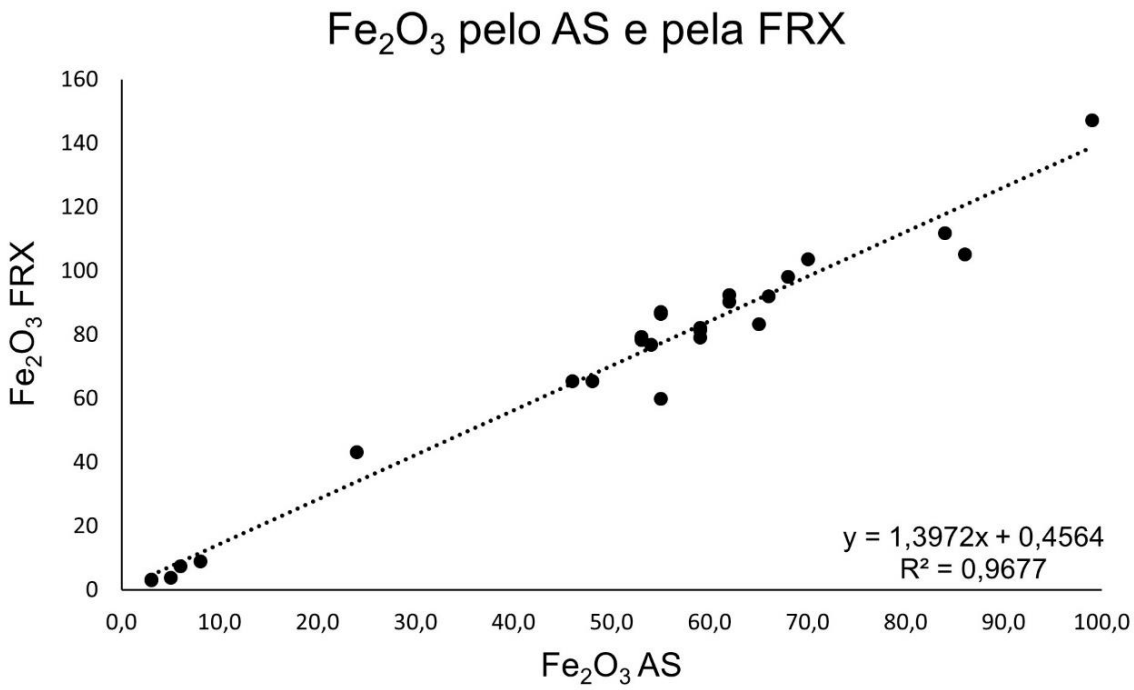


Figura 14.2. Correlação entre os teores de Fe_2O_3 pelo AS e pela FRX na fração TFSA.

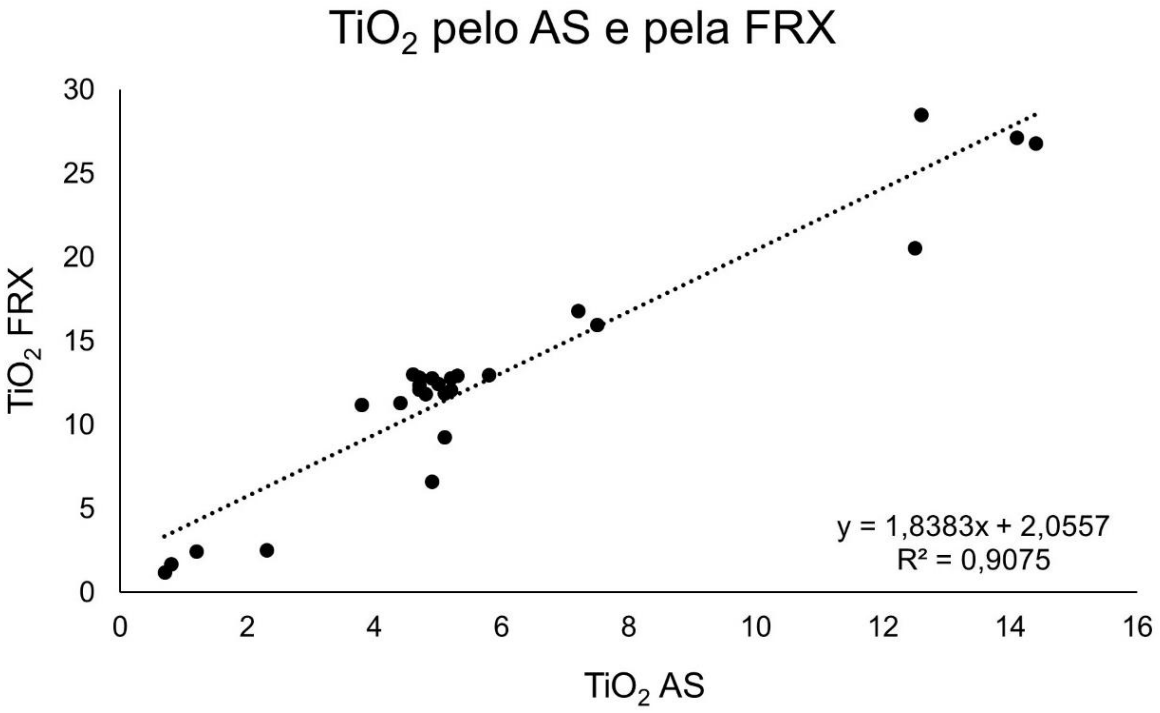


Figura 14.3. Correlação entre os teores de TiO_2 pelo AS e pela FRX na fração TFSA.

Um dado interessante nas análises da TFSA pela FRX é que elas possibilitam a quantificação de vários outros elementos, além daqueles determinados pelo AS. Na Tabela 14.2 são mostrados, por exemplo, os teores de K_2O, que foram baixos nas amostras dos Latossolos, Neossolos, Espodossolo, mas bastante altos para a maior parte dos Gleissolos e do Vertissolo, indicando uma boa reserva mineral de K nesses solos. Esse comportamento está de acordo com os resultados preliminares da composição mineralógica do silte e da argila desses dois solos, uma vez que foram observadas expressivas quantidades de micas e ilitas neles (ver Capítulo 13).

Além do K_2O, também foram determinados pela FRX os óxidos de Ca e de Mg, além de alguns micronutrientes e metais pesados (dados não mostrados). Portanto, a técnica da FRX poderia aumentar substancialmente o quantitativo de dados geoquímicos dos solos e, com isso, permitir interpretações mais completas sobre seus potenciais e limitações.

3.2. Análises das frações silte e argila por FRX

Os teores dos óxidos nas frações silte (dados não mostrados) e argila pela FRX também foram superiores (em valores absolutos) aos teores determinados pelo AS na TFSA, conforme esperado, tendo em vista que o Si e o Al do AS provêm da dissolução dos argilominerais e dos hidróxidos de Al, estando os demais elementos "diluídos" nesta e nas demais frações do solo.

Enquanto na fração silte e argila esses elementos estão mais concentrados em frações mais homogêneas, e como a quantificação é em valores relativos para o conjunto dos elementos em cada fração, os teores dos elementos maiores aumentam substancialmente. Considerando que os dados da FRX na fração silte não trouxeram contribuição relevante para a interpretação dos atributos analisados, não são apresentados, mas serão brevemente comentados adiante.

Os teores de SiO_2 e Al_2O_3 determinados na TFSA pelo AS e determinados na fração argila pela FRX são apresentados na Tabela 14.3. Embora os valores obtidos pelos dois métodos sejam numericamente muito diferentes, houve uma boa correlação entre os teores de SiO_2 e de Al_2O_3 pelos dois métodos, com um valor de r^2 em torno de 0,80, sendo ligeiramente mais alto para os teores de Al_2O_3 (dados não mostrados), mas novamente os valores mais discrepantes ocorreram com os três Latossolos, nos dois casos.

Tabela 14.3. Teores de SiO_2 e Al_2O_3 quantificados pelo AS na TFSA e pela FRX na fração argila (em valores absolutos).

Perfil	Horiz.	Ataque Sulfúrico		Fluorescência RX	
		SiO_2	Al_2O_3	SiO_2	Al_2O_3
		TFSA		Argila	
		---------- g kg^{-1} ----------			
AM-01	Bw1	237	189	392	383
AM-02	Bw4	246	189	486	443
AM-05	3Cg2	236	149	534	284
AM-05	4Cg3	197	139	496	267
AM-06	5Cg3	151	104	499	274
AM-06	6Cg4	168	102	497	275
AM-07	2C	179	97	505	262
AM-08	Cgf2	223	160	505	344
AM-08	C'g1	223	172	592	276
AM-09	3Bh	27	22	512	439
AM-09	4Bhsm	28	38	443	521
AM-09	4Bhs	26	38	455	488
AM-11	Cvg2	144	104	489	275
AM-11	4Cg2	138	97	493	275
AM-12	5C'g2	70	55	487	424
AM-15	5Cg1	178	97	498	271
AM-15	6Cg3	131	83	485	277
AM-16	2Cg	172	120	471	274
AM-16	2Cgn2	173	143	514	285
PA-05	Bw2	246	190	446	416
PA-06	C	39	25	438	418
PA-07	Bw	225	190	462	435
PA-13	2Cg2	203	138	509	286
PA-13	3Cgn2	222	142	511	290
PA-14	2Cvg1	251	162	520	286
PA-14	2Cvgn1	274	173	535	291

3.3. Índice Ki determinado pelo AS na TFSA e na fração argila por FRX

Os valores do índice Ki obtidos pelo AS na terra fina e pela FRX na fração argila estão indicados na Tabela 14.4, observando-se diferenças apreciáveis entre os dois métodos.

A comparação para as diferentes amostras fica mais bem demonstrada no gráfico de colunas (Figura 14.4), onde se pode observar diferenças expressivas para os diferentes grupos de solos.

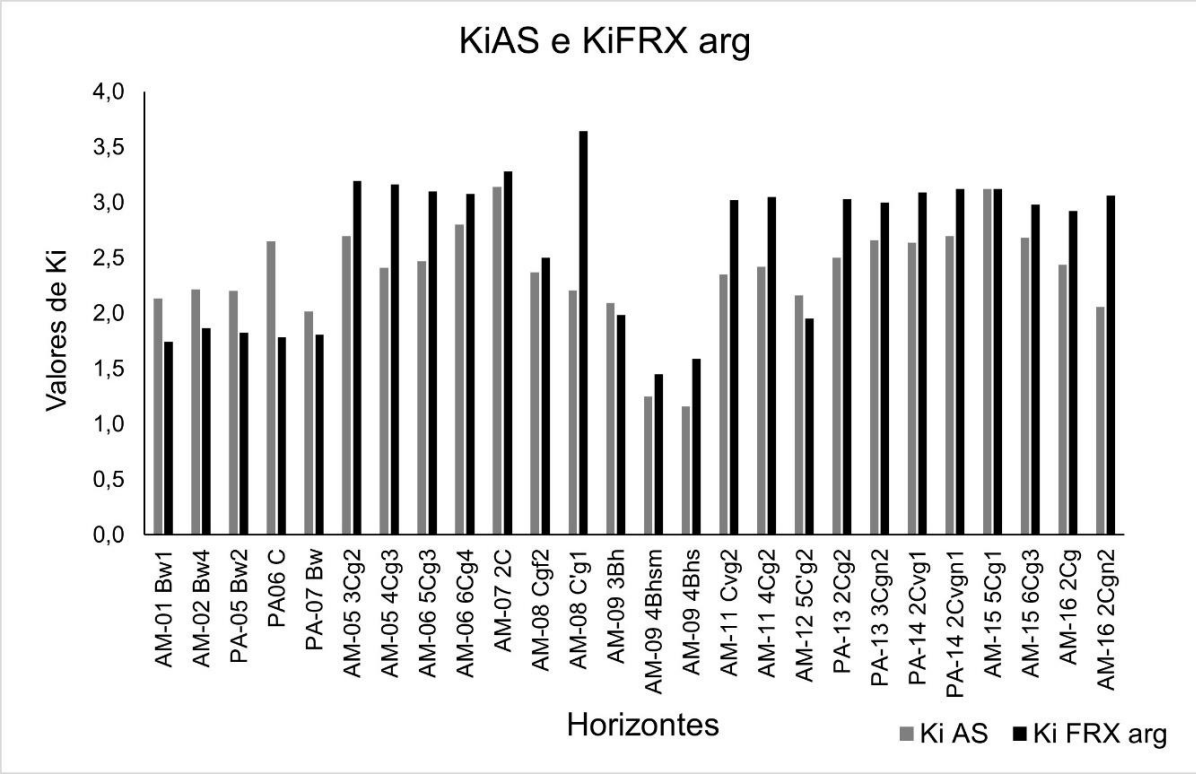


Figura 14.4. Diferenças entre o índice Ki determinado pelo AS na terra fina e por FRX na argila.

Tabela 14.4. Valores do índice Ki determinado na fração TFSA pelo AS e na fração argila por FRX.

Amostra	Horiz	Ki AS TFSA	Ki FRX ARGILA
AM-01	Bw1	2,13	1,74
AM-02	Bw4	2,21	1,87
AM-05	3Cg2	2,69	3,19
AM-05	4Cg3	2,41	3,16
AM-06	5Cg3	2,47	3,10
AM-06	6Cg4	2,80	3,08
AM-07	2C	3,14	3,28
AM-08	Cgf2	2,37	2,50
AM-08	C'g1	2,20	3,64
AM-09	3Bh	2,09	1,98
AM-09	4Bhsm	1,25	1,45
AM-09	4Bhs	1,16	1,59
AM-11	Cvg2	2,35	3,02
AM-11	4Cg2	2,42	3,05
AM-12	5C'g2	2,16	1,95
AM-15	5Cg1	3,12	3,12
AM-15	6Cg3	2,68	2,98
AM-16	2Cg	2,44	2,92
AM-16	2Cgn2	2,06	3,06
PA-05	Bw2	2,20	1,82
PA-06	C	2,65	1,78
PA-07	Bw	2,01	1,81
PA-13	2Cg2	2,50	3,03
PA-13	3Cgn2	2,66	3,00
PA-14	2Cvg1	2,63	3,09
PA-14	2Cvgn1	2,69	3,12

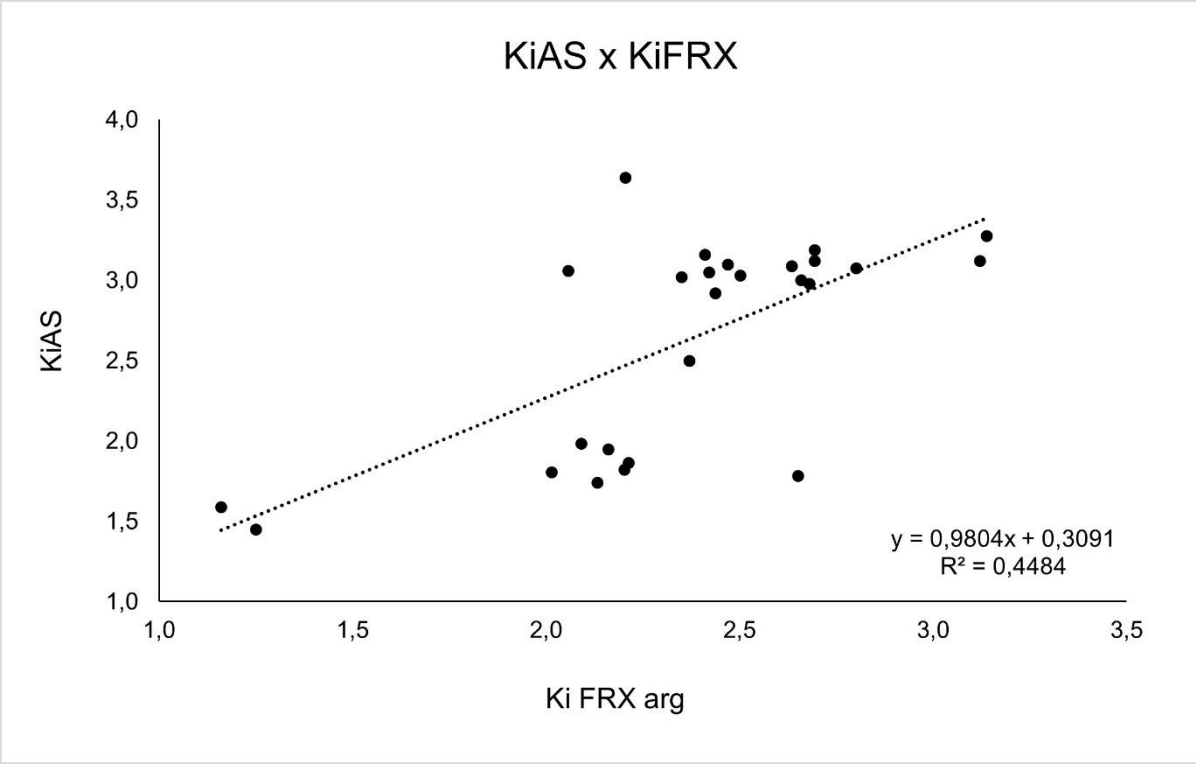


Figura 14.5. Correlação entre os valores do índice Ki AS TFSA e Ki FRX argila.

Tanto nos horizontes dos Latossolos como nos horizontes do Espodossolo e do Neossolo Quartzarênico, os valores do Ki determinado na argila por FRX foram inferiores aos do ataque sulfúrico. Isso pode estar relacionado ao elevado grau de intemperismo dos Latossolos e do material originário do Espodossolo e do Neossolo Quartzarênico.

Para os Gleissolos, Vertissolo e Cambissolo, os valores de Ki foram expressivamente mais altos pela FRX na argila do que pelo AS, com valores mais compatíveis com o menor grau de desenvolvimento pedogenético desses solos, apontando para uma provável participação maior de filossilicatos do tipo 2:1 na fração argila. Num dos horizontes com plintita do Plintossolo (AM-08-Cgf2), os valores foram semelhantes pelos dois métodos, voltando a ser mais altos pela FRX na amostra sem plintita deste mesmo solo (AM8-C'g1).

Essa interpretação é confirmada quando se compara os valores de Ki pelos dois métodos com os valores da atividade da fração argila (T argila) para o conjunto das amostras (Figuras 14.6A e 14.6B). Na Figura 14.6A, observa-se baixa correlação entre o Ki do AS com o valor T argila (r^2=0,46), sendo a correlação bem mais alta com o Ki obtido pela FRX na argila (Figura 14.6B) (r^2=0,76); este último valor aumenta para 0,89 quando a amostra mais discrepante (AM-08-C'g1) é omitida da correlação. Por se tratarem de solos com textura excessivamente arenosa, as amostras do horizonte C do Neossolo Quartzarênico e dos três horizontes do Espodossolo não foram incluídas na correlação, considerando-se que o cálculo do valor T argila não é recomentado nessas situações (Santos et al., 2018).

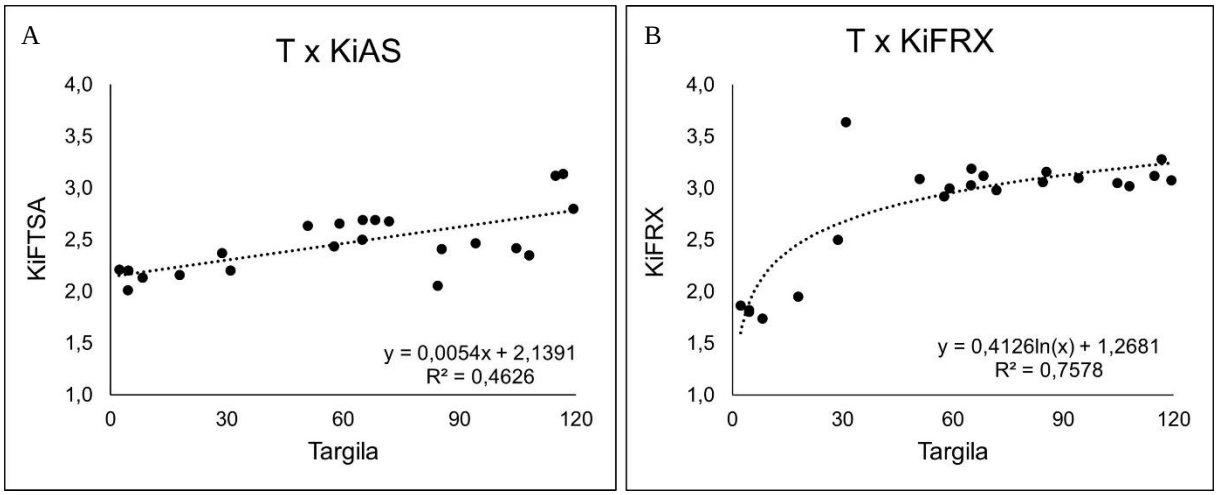


Figura 14.6. Relação entre o Ki determinado na TFSA pelo AS (A) e pela FRX na argila (B).

3.4. Índice Ki determinado por FRX na fração silte

A análise dos valores do Ki da fração silte foi incluída por se considerar que a maior parte dos solos das várzeas estudadas ao longo do Rio Amazonas e seu entorno tem elevado conteúdo de silte na TFSA. Os resultados obtidos, entretanto, devem ser interpretados com cautela, já que alguns deles podem conter elevados conteúdos de quartzo no silte, portanto, podem apresentar valores muito altos de silício em comparação com os valores de alumínio, resultando em valores de Ki muito elevados.

Excluindo-se todos os solos de textura excessivamente arenosa da correlação, antes citados, com inclusão da amostra 12 do Gleissolo Háplico de textura média, com 660 g kg^{-1} de areia no gráfico, observou-se correlação positiva, porém, baixa entre os dois valores (dados não mostrados), com vários pontos bastante discrepantes.

Não há, portanto, como concluir que o Ki da fração silte possa trazer alguma contribuição complementar para a interpretação do grau de evolução e da composição mineralógica para uma população mais ampla de solos similares. Isso porque muitos solos siltosos brasileiros ou com altos conteúdos de silte podem ter uma composição mineralógica muito diferenciada dos solos estudados, com predomínio de quartzo, por exemplo, o que resultaria em valores muito altos do Ki dessa fração.

Conforme já demonstrado em estudos anteriores (Almeida et al., 2020), o índice Ki determinado por FRX na fração argila em geral tem apresentado boa correlação com os valores do Ki determinado pelo AS na terra fina, embora essa relação tenha sido relativamente fraca para o conjunto de solos estudados (r^2=0,44, Figura 14.5), o que talvez possa ser atribuído a uma digestão incompleta da fração argila pelo AS, ou a deficiências na quantificação do silício e/ou do alumínio por esse método. Isso ficou demonstrado pela necessidade de se realizar várias repetições em algumas amostras pelo AS, que apresentavam valores não compatíveis com a atividade da fração argila, envolvendo assim mais tempo de análise e recursos gastos.

Para o conjunto dos Latossolos, o Ki do AS foi expressivamente superior ao esperado, com valores muito próximos ou ligeiramente acima do limite para identificação do B latossólico. Ao contrário, o Ki FRX da argila foi inferior a 1,9 para o conjunto das amostras desses solos (Tabela 14.4). Considerando que a composição mineralógica da fração argila

desses solos é composta essencialmente por caulinita (ver Capítulo 13), o Ki da FRX indica melhor relação com a mineralogia e com a baixa atividade da fração argila, conforme já mencionado.

Para os horizontes avaliados do Espodossolo e para um dos horizontes do Plintossolo, os valores de Ki foram similares, compatíveis com uma mineralogia essencialmente composta por caulinita (ver Capítulo 13), indicando que nesses solos os dois métodos foram igualmente eficientes.

Para o conjunto dos solos menos desenvolvidos, incluindo-se os Gleissolos e o Vertissolo, o índice Ki da FRX da argila foi expressivamente superior ao Ki do AS, com valores em geral superiores a 3,0 (Tabela 14.4). Esses valores são indicativos da presença expressiva de filossilicatos do tipo 2:1, o que foi confirmado pelas análises mineralógicas, onde foi identificada a presença de esmectitas, cloritas e micas, em associação com a caulinita (ver Capítulo 13). Já o Ki do AS para os mesmos solos foi relativamente baixo, na maioria dos casos não apontando de forma adequada a composição mineralógica e a maior atividade da fração argila desses solos.

Quanto à fração silte (não analisada pelo AS), os valores do Ki FRX foram mais altos do que na fração argila (dados não mostrados), provavelmente pelo fato de computarem os teores de Si do quartzo e das micas identificadas nessa fração em grande parte dos solos estudados. Apesar dos valores mais altos, tiveram correlação razoável com o Ki FRX da argila, mas isso não significa que seja uma técnica aplicável para análises em uma população mais diversificada de solos.

Esses resultados trazem uma série de questionamentos em relação à possibilidade de substituição das análises do conteúdo de óxidos e dos índices Ki e Kr realizadas atualmente pelo AS por análises realizadas pela técnica de FRX.

4. Considerações finais

Embora o Ki determinado por FRX na fração argila tenha demonstrado ter sido mais eficaz e preciso do que o obtido pelo ataque sulfúrico para indicar o grau de intemperismo e a composição mineralógica da fração argila dos solos estudados, esse método tem como inconveniente a necessidade de separação da fração argila, processo demorado que exige várias etapas na preparação das amostras, envolvendo dispersão, concentração da argila, eliminação do excesso de sais e posterior moagem das amostras antes da análise. Ademais, permite apenas a determinação do Ki, uma vez que o Kr depende dos resultados do conteúdo de Fe_2O_3, cujos valores na argila pela FRX são mais altos do que os obtidos pelo AS na terra fina, portanto, a determinação do Kr dependeria da análise do seu conteúdo pela FRX na terra fina, envolvendo, consequentemente, duas análises simultâneas.

A determinação do conteúdo dos demais óxidos (Fe_2O_3, TiO_2, P_2O_5 e MnO_2) por FRX, antes mencionada, necessitaria ser realizada na fração terra fina, uma vez que, em princípio, a digestão pelo ataque sulfúrico não é seletiva para a fração argila, computando provavelmente os óxidos desses quatro elementos em toda a fração terra fina. Isso envolveria, portanto, a necessidade de duas análises por FRX, na argila e na terra fina.

Os teores dos óxidos de ferro, titânio, fósforo e manganês pela FRX na terra fina foram mais altos do que os pelo AS, embora os conteúdos para os óxidos de ferro e de titânio tenham sido altamente correlacionados pelas duas técnicas. Isso implicaria, no primeiro caso, modificar o atual intervalo de teores de Fe_2O_3 para indicação das classes hipo-, meso-, férrico ou hiperférrico, ou converter os teores de ferro pela FRX para os do AS por meio de uma equação de regressão, trabalhando-se com população maior de solos.

As análises da fração silte por FRX não se mostraram adequadas para os solos estudados, pois são de interpretação complexa e pouco confiável, não trazendo contribuição relevante para a interpretação da composição mineralógica ou do grau de evolução dos solos.

A necessidade de realização de duas análises por FRX, uma na fração argila para determinação do Ki, computando-se somente os óxidos de Si e de Al, e outra na terra fina para a determinação dos demais óxidos, mostra-se adequada, com algumas restrições, para substituição das análises atuais dos óxidos pelo AS, porém, tem como principal inconveniente a demorada e trabalhosa separação/preparação da argila.

Acredita-se que mais estudos ainda são necessários antes de se decidir sobre a substituição das análises do AS pela FRX. Sugere-se o incentivo e apoio financeiro para a elaboração e execução de um projeto em nível nacional, com população ampla e diversificada de solos coletados em distintas regiões brasileiras, em parceria com várias instituições, no sentido de estabelecer comparações e correlações entre os dois métodos de quantificação dos óxidos, dos atributos deles derivados (Ki, Kr e outros), para a partir disso decidir-se sobre o(s) caminho(s) mais conveniente(s). Mas, certamente, a análise elementar da TFSA por FRX pode trazer muitos benefícios para aumentar o conhecimento dos solos do país, uma vez que, além dos óxidos atuais quantificados pelo AS, pode agregar um conjunto muito maior de elementos totais, ou semitotais, do solo, que atualmente são desconhecidos.

Referências

ALMEIDA, J. A. de; LONGO, A. E. D. V.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R. Fluorescência de raios-X versus ataque sulfúrico para quantificação de óxidos elementares e do índice Ki em solos do Maranhão: problemas e perspectivas. In: SILVA, M. B. e; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de (ed.). **Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC do Maranhão. Brasília, DF: Embrapa, 2020. E-book. cap. 10.
Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1127220. Acesso em: 23 jun. 2025.

CLAESSEN, M. E. C. (org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).
Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330804. Acesso em: 23 jun. 2025.

KEHRIG, A. G. **As relações Ki e Kr no solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas, 1949. 67 p. (Boletim do Instituto de Química Agrícola, n. 13).

OLIVEIRA, J. B. de. **Pedologia aplicada**. 2. ed. Piracicaba: FEALQ, 2005. 574 p.

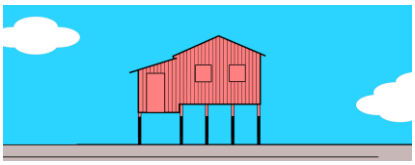
SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003. Acesso em: 23 jun. 2025.

SILVA, S. H. G.; SILVA, E. A.; POGGERE, G. C.; GUILHERME, L. R. G.; CURI, N. Tropical soils characterization at low cost and time using portable X-ray fluorescence spectrometer (pXRF): effects of different sample preparation methods. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 1, p. 80-92, 2018.
DOI: https://doi.org/10.1590/1413-70542018421009117.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.
Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085209. Acesso em: 23 jun. 2025.

VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24 p. (Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Boletim técnico, 7).
Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330739. Acesso em: 23 jun. 2025.

Capítulo 15



Avaliação da susceptibilidade magnética e da condutividade elétrica aparente dos solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos

Lillyane Gomes de França Valle
Jonatan Alves Pereira
Geraldo Roberto Carvalho Cernicchiaro
José Francisco Lumbreras
Edgar Shinzato
Wenceslau Geraldes Teixeira

1. Introdução

A susceptibilidade magnética (SM) e a condutividade elétrica aparente (CEa) são propriedades dos minerais, da matéria orgânica e de solutos do solo, cujos dados têm sido cada vez mais utilizados na ciência do solo, especialmente na agricultura de precisão. Diversas características do solo de interesse agronômico são estimadas indiretamente, incluindo teores de argila, teores de ferro e produtividade de cultivos (Resende et al., 1988; Silva et al., 2010; Marques Júnior et al., 2014; Ramos et al., 2017; Filla et al., 2021; Silva Júnior et al., 2021). A SM também tem sido aplicada em estudos de geoarqueologia no Brasil (Sousa et al., 2015, 2018, 2022; Teixeira et al., 2015, 2018, 2023; Söderström et al., 2016). Por ser uma medida rápida, não destrutiva e realizável in situ ou em laboratório, a avaliação da SM apresenta grande potencial como parâmetro auxiliar no mapeamento de classes de solos tropicais (Silvero et al., 2019), além de contribuir para a identificação do material de origem do solo. Já a CEa é útil no monitoramento da salinidade, na identificação de zonas com diferentes texturas ou teores de umidade e na detecção de áreas com déficit hídrico (Friedman, 2005).

1.1. A Susceptibilidade Magnética

A SM é caracterizada como a capacidade de um material ser magnetizado ao ser submetido a um campo magnetizante, representando a relação entre a soma dos momentos magnéticos (M em A m^{-1}, onde A representa ångström) e o campo magnético (H em A m^{-1}) (Equação 1). No sistema internacional (SI), a SM é adimensional (Weast; Astle, 1983; Teixeira et al., 2019).

$$SM\ (\kappa) = \frac{M}{H} \quad (1)$$

Para realizar a conversão dos valores de SM no SI, em uma base gravimétrica, expressa em $m^3\ kg^{-1}$, é necessário multiplicar a SM pela densidade do material, que é medida em $kg\ m^{-3}$. Isso implica que variações na densidade do solo coletado em campo, em comparação com a densidade obtida em condições laboratoriais (densidade da terra fina seca ao ar - TFSA), bem como a heterogeneidade dos solos, podem impactar significativamente os valores de SM. Para essa conversão, estimativas da densidade do solo destorroado e peneirado em malha de 2 mm, que normalmente são referidas como TFSA, podem ser empregadas. Bases de dados, como o WoSIS-ISRIC (Batjes et al., 2020), disponibilizam informações sobre a densidade da TFSA.

Além disso, os minerais presentes no solo podem ser categorizados em três classes com base em suas propriedades magnéticas. A primeira classe, os minerais ferrimagnéticos, é caracterizada por apresentar propriedades magnéticas naturais e elevados valores de SM, como é o caso da magnetita (Mt), maghemita (Mh), titanomagnetita e pirrotita, cujos valores variam entre 1000 e $50 \times [10^{-3}]\ m^3\ kg^{-1}$. A segunda classe é composta de minerais paramagnéticos, como hematita, goethita, olivina, biotita, vermiculita e dolomita, com valores de SM que variam entre 1 e $0{,}01 \times [10^{-3}]\ m^3\ kg^{-1}$. Por fim, a terceira classe abrange os minerais diamagnéticos, que apresentam valores de SM muito baixos ou negativos, como a calcita, quartzo, caulinita e matéria orgânica, com variações de -0,0048 a $0{,}019 \times [10^{-3}]\ m^3\ kg^{-1}$ (Weast; Astle, 1983; Teixeira et al., 2019).

Muitos solos tropicais são caracterizados por altos valores de SM, resultado não apenas da abundância de ferro, mas também da presença de minerais de ferro específicos, como a Mt e a Mh. A Mt, geralmente encontrada na fração arenosa, e a Mh, mais comumente na fração argilosa, são minerais ferrimagnéticos típicos em solos derivados de rochas máficas, como basaltos, diabásios, anfibolitos e tufitos (Resende et al., 1986; Fabris et al., 1998). Além desses, muitos solos brasileiros contêm altos teores de ferro na forma de oxi-hidróxidos, como a hematita (Hm) e a goethita (Gt). Apesar de seus elevados teores de ferro, esses minerais paramagnéticos apresentam valores relativamente baixos de SM (Teixeira et al., 2018, 2019; Fontes et al., 2000).

A análise de minerais-traço, como vanádio (Vn), zircônio (Zr) e tório (Th), pode indicar que os minerais ferrimagnéticos presentes em um solo derivam dos minerais da rocha matriz, especialmente em solos provenientes de rochas basálticas. Esses minerais raramente estão associados à formação da Mt e da Mh por processos pedogenéticos (Curi; Franzmeier, 1987). A origem da Mh, em particular, gera controvérsias: pode ser um legado da rocha original (Resende et al., 1986), resultante da alteração de Mt e Hm (Mullins, 1977; Resende et al., 1986), ou ainda ser formada por neoformação (Singer et al., 1996) ou processos biológicos (Fassbinder et al., 1990). Além disso, a formação de minerais ferrimagnéticos também pode ocorrer por aquecimento, especialmente na presença de material orgânico (Resende et al., 1986; Anand; Gilkes, 1987). Esse fenômeno tem sido explorado para a utilização de dados de SM na avaliação e mapeamento de horizontes de solos antrópicos, como observado nas Terras Pretas de Índio (Oliveira et al., 2015; Söderström et al., 2016; Teixeira et al., 2018, 2019), sambaquis (Mansur et al., 2015; Bandeira et al., 2020), geoglifos (Teixeira et al., 2015) e abrigos (Sousa et al., 2015, 2018).

A utilização da SM na geoarqueologia é fundamentada na propriedade conhecida como magnetismo remanente. Essa propriedade manifesta-se pelo aumento ou diminuição da SM original em minerais ferrimagnéticos e ferromagnéticos quando expostos ao calor (Sternberg, 2001). A transformação de Hm e Mt em Mh em altas temperaturas e a degradação ou fragmentação dos grãos de Mt e Mh são os principais processos responsáveis por essa alteração. No estudo da composição mineralógica de horizontes antrópicos, Macedo (2014) encontrou a presença de Mt e Mh em horizontes antrópicos (Terra Preta de Índio) e em cerâmicas arqueológicas, enquanto solos subjacentes e adjacentes não mostraram a ocorrência desses minerais.

O emprego de valores de SM como critério para a classificação de solos antrópicos pode ser uma abordagem promissora, funcionando como um índice relativo. Por exemplo, a razão entre a média ponderada da SM nos horizontes antrópicos e a média ponderada da SM nos horizontes não antrópicos pode ajudar a minimizar o impacto dos valores elevados de SM que resultam da presença de minerais ferri e paramagnéticos na rocha de origem, bem como de processos pedogenéticos anteriores. Solos formados a partir de rochas ígneas ou metamórficas, especialmente aqueles originários de rochas máficas, como as da Bacia do Paraná (São Paulo e Paraná) (Silvero et al., 2019) e da Serra dos Carajás (Pará) (Lima et al., 2014), exibem altos teores de Mt, resultando em valores elevados de SM mesmo na ausência de aquecimento.

1.2. A Condutividade Elétrica Aparente

A resistência elétrica (R) é uma medida que define a relação entre a diferença de potencial elétrico (V) aplicada a um material e a corrente elétrica (I) que o atravessa. Essa relação é expressa pela primeira Lei de Ohm (Equação 2):

$$V = R\,I \tag{2}$$

A segunda Lei de Ohm descreve a relação entre a resistência elétrica (R) de um material e suas características geométricas e físicas, incluindo o comprimento (L), a área da seção transversal (A) e uma constante intrínseca ao material, conhecida como resistividade elétrica (ρ) (Equação 3):

$$R = \rho\frac{L}{A} \tag{3}$$

A resistividade elétrica (ρ) está relacionada a um fator de proporcionalidade conhecido como condutividade elétrica (σ), que vincula o vetor da densidade de corrente elétrica (J) ao campo elétrico (E). Essa relação é o inverso da resistividade elétrica, expressa pela equação $\sigma = 1/\rho$ (Equação 4):

$$J = \sigma\,E \tag{4}$$

Uma maneira de se determinar a CEa do solo é pela aplicação de uma corrente elétrica e pela medição da diferença de potencial nas ponteiras de contato. Esse método, conhecido como método por contato direto (Molin; Rabello, 2011), apesar de ser simples, apresenta

limitações quando aplicado em medições em larga escala, uma vez que exige a inserção repetida das ponteiras no solo. Como alternativa, a condutividade pode ser avaliada utilizando-se o método de indução eletromagnética (IEM), conforme demonstrado na Figura 15.1. Nesse método, uma bobina de indução primária (Lp) cria um campo magnético oscilante (Bp), que se insere perpendicularmente no solo, induzindo correntes elétricas de Foucault. Essas correntes, por sua vez, geram um campo magnético secundário (Bs), que, ao interagir com uma bobina secundária de captação (Ls), produz um sinal elétrico que é medido pelo equipamento, refletindo as correntes induzidas no solo.

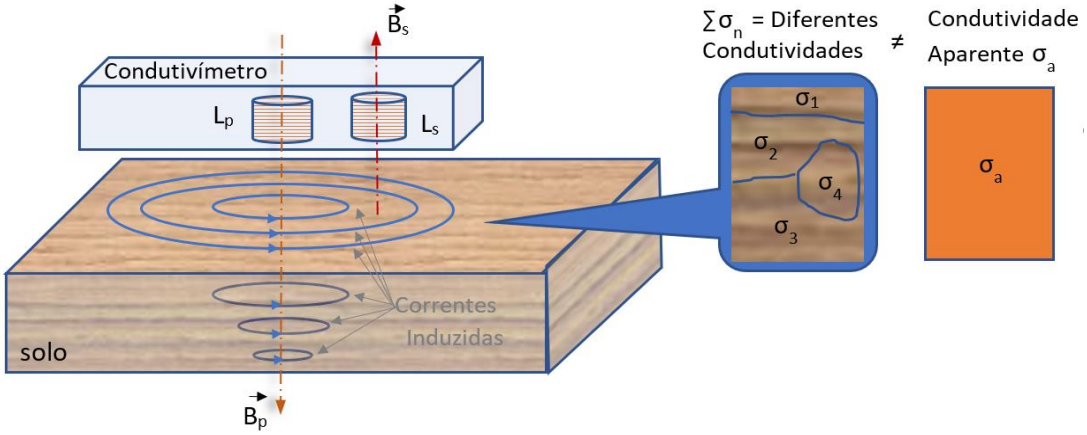


Figura 15.1. Diagrama esquemático da medição da condutividade elétrica aparente (CEa) utilizando o método de indução eletromagnética.

Fonte: Geraldo Roberto Carvalho Cernicchiaro (2020).

A heterogeneidade do solo resulta de variações na composição granulométrica, no teor de carbono orgânico e na presença de minerais como quartzo e mica, que podem atuar como isolantes elétricos. Além disso, diferentes distribuições de poros e variações no contato entre as partículas, assim como a concentração de eletrólitos na solução do solo, que mudam ao longo do tempo e do espaço, influenciam significativamente as medições da CEa (Corwin; Lesch, 2005). É fundamental considerar essa complexidade ao se interpretar os dados de CEa, pois ela reflete a variabilidade intrínseca do solo. A medição espacial da CEa oferece uma ferramenta valiosa para caracterizar essa heterogeneidade, permitindo a identificação de áreas com comportamentos semelhantes em relação a diversas propriedades físico-químicas.

Atualmente, ainda não existe uma base de dados robusta de SM e CEa no SI no Brasil que permita a criação de uma tabela de classificação para esses valores. Por essa razão, as discussões sobre a classificação de SM e CEa neste trabalho são realizadas comparativamente, utilizando-se os dados obtidos neste estudo e aqueles de pesquisas anteriores (Teixeira et al., 2018, 2019). Essa abordagem possibilita uma análise crítica dos resultados, contribuindo para uma melhor compreensão da dinâmica do solo em diferentes contextos.

O objetivo deste trabalho é demonstrar o potencial da avaliação da SM e da CEa na diferenciação de substratos geológicos, bem como na identificação de descontinuidades litológicas e na presença de minerais com variadas susceptibilidades ao campo magnético nos perfis de solo estudados durante a XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos - várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno (XV RCC). Ao integrar essas medições,

espera-se contribuir para uma melhor caracterização e compreensão da heterogeneidade dos solos na região.

2. Material e métodos

As amostras estudadas são provenientes de 89 horizontes dos 17 perfis de solo selecionados para a XV RCC, classificados segundo Santos et al. (2018) (vide Capítulo 9). As análises de SM e CEa foram realizadas no Laboratório de Avaliação e Modelagem da Água no Solo (LAMAS) da Embrapa Solos, localizado no Rio de Janeiro, RJ. Foram utilizados dois susceptibilímetros – condutivímetros.

Primeiramente, foi utilizado o KT-10 v2 (Terraplus, Canadá), com frequência de operação de 10 Hz (Figura 15.2). As avaliações da SM são realizadas na faixa de 0,001 x 10^{-3} SI até 1999,99 x 10^{-3} SI.



Figura 15.2. Susceptibilímetro magnético e condutivímetro - Modelo KT-10 v2.

Fonte: Terraplus (2021).

Posteriormente, empregou-se o susceptibilímetro-condutivímetro KT 20 S/C (Terraplus, Canadá), operando a uma frequência de 10 kHz (Figura 15.3). As medições de SM também foram feitas na faixa de 0,001 x 10^{-3} a 1999,99 x 10^{-3} SI. Quanto à CEa, foi avaliada entre 1 S m^{-1} e 100.000 S m^{-1}.



Figura 15.3. Susceptibilímetro magnético e condutivímetro - Modelo KT 20 S/C.

Fonte: Terraplus (2018).

Para estimativa de SM e CEa, amostras de TFSA foram depositadas e avaliadas numa placa de Petri de 7 cm de diâmetro e 1,0 cm de altura. Os aparelhos KT-10 v2 e KT 20 S/C

foram utilizados na função *sample measure* com a geometria ajustada para o diâmetro da placa (7 cm). As determinações foram feitas em triplicata, sobre uma caixa de isopor e sem a proximidade de equipamentos com campos eletromagnéticos (p. ex., celulares, relógios e balanças eletrônicas). Os dados apresentados são as médias aritméticas e os desvios-padrão.

Os valores medidos da SM são adimensionais (SI), e os dados da CEa são expressos em uS m^{-1}, apresentados na forma de tabelas e de gráficos *box plot* (onde o valor obtido para o perfil corresponde à média aritmética das SM dos seus horizontes). Foram feitas correlações lineares de Pearson com dados da SM, CEa e teores de argila, areia, SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, P_2O_5 (determinados pelo ataque sulfúrico) e cátions trocáveis (valor T), que é apresentado na forma de correlograma. Os parâmetros da descrição geológica, da morfologia e de características dos solos utilizados neste estudo, assim como detalhes dos métodos da coleta e análise das amostras que originaram estes dados, são apresentados no Capítulo 9 desta publicação, que descreve os perfis de solo da XV RCC.

Foi estimada a densidade das amostras de TFSA (DE_{TFSA}) pela pesagem da massa da amostra contida num cachimbo de 9,21 cm^3 de volume. DE_{TFSA} foi quantificada em triplicata usando-se balança semianalítica (± 0,001 g). O volume do cachimbo foi aferido por pesagem com água destilada (considerando-se que 1,00 cm^3 tem uma massa de 1,00 g de água). O excesso de solo na parte superior do cachimbo foi nivelado e retirado com uma espátula para manter o volume constante. Com os valores de massa e de volume, foi calculada a DE_{TFSA}, a qual possibilitou transformar a unidade dos dados de SM por unidade de massa (m^3 kg^{-1}). Segundo Thompson e Oldfield (1986), a SM por unidade de massa pode ser determinada dividindo-se a SM (adimensional) pela densidade em kg m^{-3}. Desse modo é possível a comparação dos resultados aqui obtidos com os de outros trabalhos, que apresentam os dados de SM nessa unidade (Arroyo-Kalin, 2010; Santos et al., 2023).

3. Resultados e discussão

3.1. Análises de SM e CEa nos solos da XV RCC

Os dados avaliados da SM e da CEa, bem como de alguns atributos físico-químicos dos 17 perfis de solos da XV RCC, estão apresentados na Tabela 15.1. Os dados de SM e CEa são descritos por horizontes assim como as principais propriedades do solo que podem influenciar nesses valores (Tabela 15.1). Para facilitar a discussão e a comparação desses resultados, foram confeccionados gráficos de *box plot*, representados pelas cores correspondentes a cada classe de solo (Figura 15.4).

Tabela 15.1. Atributos físicos e químicos, susceptibilidade magnética (SM), condutividade elétrica aparente (CEa) e respectivos desvios-padrão (DP), avaliados em amostras de solos da XV RCC.

Perfil	Horizonte	Prof.	Areia	Argila	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	Valor T	Ds TFSA	SM*	SM KT 20 S/C	SM KT-10 Plus v2	CEa
-	Símb.	cm	---------- g kg^{-1} ----------							cmolc kg^{-1}	kg m^{-3}	m^3 kg^{-1}	$.10^{-3}$	$.10^{-3}$	uS m^{-1}
Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico, textura média/argilosa/muito argilosa, epieutrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.															
AM-01	Au1	0 – 8	553	304	111	72	47	8,3	3,4	15,8	1310 ± 0,004	$1,6800.10^{-6}$	2,205 ± 0,021	1,553 ± 0,006	4,214 ± 0,224
AM-01	Au2	8 – 18	537	328	110	83	49	9,6	3,4	13,8	1290 ± 0,007	$1,7700.10^{-6}$	2,283 ± 0,086	1,680 ± 0,010	5,246 ± 0,402
AM-01	Au3	18 – 37	514	371	128	103	56	11,3	3,7	13,5	1330 ± 0,004	$1,8700.10^{-6}$	2,487 ± 0,048	1,863 ± 0,006	6,090 ± 1,467
AM-01	Au4	37 – 54	398	499	170	123	74	9,9	6,3	13,5	1220 ± 0,001	$1,9300.10^{-6}$	2,364 ± 0,054	1,817 ± 0,015	4,713 ± 0,545
AM-01	Au5	54 – 73	398	495	178	128	75	10,4	6,7	13,3	1230 ± 0,005	$1,5200.10^{-6}$	2,199 ± 0,063	1,657 ± 0,006	3,556 ± 0,464
AM-01	ABu	73 – 95	403	495	160	153	79	12,4	5,8	11,8	1220 ± 0,001	$1,6100.10^{-6}$	1,962 ± 0,003	1,533 ± 0,015	2,909 ± 0,343
AM-01	BAu1	37 – 78	346	579	162	157	97	13,4	3,5	7,2	1200 ± 0,008	$0,5940.10^{-6}$	0,071 ± 0,012	0,566 ± 0,009	3,370 ± 1,598
AM-01	BAu2	78 – 119	276	656	220	188	95	13,2	3,3	5,9	1180 ± 0,007	$0,3400.10^{-6}$	0,402 ± 0,003	0,335 ± 0,002	1,728 ± 0,033
AM-01	Bt	119 – 153	263	686	237	189	99	14,1	3,2	5,6	1130 ± 0,008	$0,1610.10^{-6}$	0,182 ± 0,004	0,179 ± 0,005	1,556 ± 0,231
AM-01	Bw	153 - 200	263	678	238	187	95	13,8	2,7	4,6	1140 ± 0,003	$0,1160.10^{-6}$	0,132 ± 0,005	0,133 ± 0,000	1,215 ± 0,086
Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico, textura muito argilosa, A moderado, endoconcrecionário, álico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.															
AM-02	A	0-7	235	586	261	168	32	12,8	0,2	11,8	1010 ± 0,002	$0,1230.10^{-6}$	0,125 ± 0,004	0,125 ± 0,001	1,424 ± 0,313
AM-02	BA1	7-15	173	646	230	172	31	12,8	0,2	4,8	1090 ± 0,004	$0,0265.10^{-6}$	0,029 ± 0,003	0,054 ± 0,002	1,104 ± 0,032
AM-02	BA2	15-26	163	709	202	173	33	12,7	0,2	3,7	1080 ± 0,002	$0,0464.10^{-6}$	0,050 ± 0,003	0,077 ± 0,001	1,199 ± 0,171
AM-02	Bw1	26-42	118	758	249	190	33	13,4	0,2	2,9	1060 ± 0,003	$0,0368.10^{-6}$	0,039 ± 0,001	0,064 ± 0,004	1,013 ± 0,000
AM-02	Bw2	42-80	131	786	243	189	25	13,1	0,2	2,6	1040 ± 0,002	$0,0048.10^{-6}$	0,005 ± 0,004	0,039 ± 0,003	1,388 ± 0,345
AM-02	Bw3	80-108	133	771	249	189	23	13,5	0,2	2,2	1050 ± 0,005	$0,0153.10^{-6}$	0,016 ± 0,001	0,052 ± 0,001	1,198 ± 0,181
AM-02	Bw4	108-163	130	811	246	189	24	12,5	0,2	1,8	1050 ± 0,008	$0,0163.10^{-6}$	0,017 ± 0,003	0,056 ± 0,002	1,236 ± 0,246
AM-02	Bwc1	163-177	138	781	232	190	28	12,4	0,2	1,8	1030 ± 0,004	$0,0203.10^{-6}$	0,021 ± 0,002	0,053 ± 0,002	1,423 ± 0,033
AM-02	Bwc2	177-200	151	762	249	191	30	11,6	0,1	1,1	1070 ± 0,012	$0,0215.10^{-6}$	0,023 ± 0,001	0,061 ± 0,003	1,429 ± 0,531
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura siltosa, A moderado, Tma, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano.															
AM-05	Ag	0-5	42	214	196	112	59	5,6	1,1	22,0	960 ± 0,002	$0,8010.10^{-6}$	0,770 ± 0,012	0,602 ± 0,002	<1
AM-05	2CAg	5-13	36	214	197	118	58	5,6	1,6	21,4	940 ± 0,005	$0,5550.10^{-6}$	0,521 ± 0,007	0,605 ± 0,004	<1
AM-05	3Cg1	13-33	38	212	201	120	50	5,9	1,0	18,0	990 ± 0,007	$0,3150.10^{-6}$	0,310 ± 0,015	0,281 ± 0,007	<1
AM-05	3Cg2	33-65	8	333	236	149	46	5,3	0,7	21,6	1080 ± 0,002	$0,0936.10^{-6}$	0,101 ± 0,004	0,131 ± 0,004	<1
AM-05	3Cg3	65-115	18	265	197	139	68	5,8	1,0	22,6	1180 ± 0,004	$0,0958.10^{-6}$	0,113 ± 0,006	0,144 ± 0,004	<1
AM-05	3Cg4	115-150	14	260	245	147	67	7,0	1,3	23,5	1170 ± 0,002	$0,1270.10^{-6}$	0,149 ± 0,005	0,166 ± 0,006	<1

Continua...

Tabela 15.1. Continuação.

Perfil	Horizonte	Prof.	Areia	Argila	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	Valor T	Ds TFSA	SM*	SM KT 20 S/C	SM KT-10 Plus v2	CEa
-	Símb.	cm	---------- g kg^{-1} ----------							cmolc kg^{-1}	kg m^{-3}	m^3 kg^{-1}	$.10^{-3}$	$.10^{-3}$	uS m^{-1}
Gleissolos Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/siltosa/média, A moderado, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.															
AM-06	Apg	0-5	240	131	159	93	52	6,2	1,6	17,1	1030 ± 0,003	$0{,}9940.10^{-6}$	1,02 ± 0,029	0,766 ± 0,007	<1
AM-06	2ACg	5-17	148	160	265	103	55	5,3	1,5	16,4	1070 ± 0,004	$0{,}7660.10^{-6}$	0,821 ± 0,008	0,625 ± 0,003	<1
AM-06	3Cg1	17-42	210	137	185	107	56	6,4	1,4	15,4	1090 ± 0,006	$0{,}8480.10^{-6}$	0,928 ± 0,003	0,711 ± 0,001	<1
AM-06	4Cg2	42-73	109	203	195	110	54	5,9	1,0	16,8	1150 ± 0,003	$0{,}4440.10^{-6}$	0,521 ± 0,008	0,413 ± 0,005	<1
AM-06	5Cg3	73-105	177	177	151	104	65	5,2	1,0	16,7	1160 ± 0,008	$0{,}4290.10^{-6}$	0,498 ± 0,004	0,385 ± 0,003	<1
AM-06	6Cg4	105-156	220	137	168	102	55	5,0	1,3	16,4	1170 ± 0,004	$0{,}5100.10^{-6}$	0,596 ± 0,002	0,469 ± 0,002	<1
AM-06	7Cg5	156-192	84	172	223	122	59	6,3	1,3	18,3	1160 ± 0,007	$0{,}4120.10^{-6}$	0,480 ± 0,025	0,405 ± 0,001	<1
Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, textura média/siltosa, A moderado, Tma, hipoférrico, fase floresta tropical higrófila de várzea, relevo plano.															
AM-07	A1	0-4	401	121	165	94	55	5,9	1,7	17,1	1080 ± 0,003	$1{,}0200.10^{-6}$	1,102 ± 0,012	0,825 ± 0,003	<1
AM-07	A2	4-15	434	93	160	91	54	5,7	1,8	16,9	1030 ± 0,004	$1{,}0400.10^{-6}$	1,070 ± 0,038	0,848 ± 0,006	<1
AM-07	BA	15-35	382	107	170	96	56	6,0	1,6	17,0	1110 ± 0,006	$1{,}0400.10^{-6}$	1,159 ± 0,005	0,876 ± 0,005	<1
AM-07	Bi	35-87	397	111	161	89	55	5,2	1,5	16,1	1060 ± 0,004	$1{,}0100.10^{-6}$	1,073 ± 0,005	0,813 ± 0,001	<1
AM-07	2C	87-126	242	147	179	97	55	5,1	1,2	17,2	1150 ± 0,004	$0{,}7170.10^{-6}$	0,823 ± 0,001	0,626 ± 0,002	<1
AM-07	2Cg	126-200	127	153	181	109	55	6,1	1,6	18,6	1140 ± 0,005	$0{,}7020.10^{-6}$	0,080 ± 0,001	0,618 ± 0,003	<1
Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico, textura média/argilosa/muito argilosa, A moderado, epiálico, Tmoa, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.															
AM-08	A	0-6	244	131	68	38	14	5,2	0,2	7,2	1120 ± 0,010	$0{,}0445.10^{-6}$	0,050 ± 0,004	0,063 ± 0,003	1,122 ± 0,078
AM-08	Btg1	6-30	178	160	82	62	20	5,9	0,2	5,5	1220 ± 0,009	$0{,}0477.10^{-6}$	0,058 ± 0,006	0,083 ± 0,000	1,084 ± 0,032
AM-08	2Btg2	30-49	105	365	154	112	37	8,7	0,2	8,8	1250 ± 0,009	$0{,}0296.10^{-6}$	0,037 ± 0,002	0,067 ± 0,003	1,177 ± 0,096
AM-08	2Btgf1	49-67	131	461	200	152	95	8,3	0,3	11,3	1210 ± 0,008	$0{,}0560.10^{-6}$	0,068 ± 0,003	0,087 ± 0,001	1,065 ± 0,000
AM-08	2Btgf2	67-101	127	467	223	160	86	7,2	0,2	13,4	1240 ± 0,009	$0{,}0461.10^{-6}$	0,057 ± 0,001	0,088 ± 0,001	<1
AM-08	2Cg1	101-151	109	470	223	172	70	7,5	0,2	14,5	1200 ± 0,007	$0{,}0531.10^{-6}$	0,064 ± 0,003	0,094 ± 0,001	1,176 ± 0,112
AM-08	3Cg2	151-175	49	789	274	205	72	9,1	-	28,5	1190 ± 0,006	$0{,}0973.10^{-6}$	0,116 ± 0,004	0,138 ± 0,003	<1

Continua...

Tabela 15.1. Continuação.

Perfil	Horizonte	Prof.	Areia	Argila	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	Valor T	Ds TFSA	SM*	SM KT 20 S/C	SM KT-10 Plus v2	CEa
-	Símb.	cm	---------- g kg^{-1} ----------							cmolc kg^{-1}	kg m^{-3}	m^3 kg^{-1}	$.10^{-3}$	$.10^{-3}$	uS m^{-1}
Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa, A fraco, endodúrico, fase campinarana equatorial arbórea, relevo plano.															
AM-09	A1	0-8	974	16	16	2	2	0,5	0,1	2,5	1500 ± 0,010	$0,0000.10^{-6}$	0,000 ± 0,000	0,008 ± 0,001	<1
AM-09	A2	8-23	982	3	10	1	1	0,4	0,1	1,1	1580 ± 0,011	$0,0000.10^{-6}$	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	1,237 ± 0,317
AM-09	AE	23-50	977	1	10	1	1	0,4	0,1	2,2	1590 ± 0,008	$0,0000.10^{-6}$	0,000 ± 0,000	0,004 ± 0,001	<1
AM-09	E1	50-130	977	1	9	1	1	0,3	0,1	0,1	1680 ± 0,005	$0,0000.10^{-6}$	0,000 ± 0,000	0,001 ± 0,002	<1
AM-09	E2	130-250	980	1	13	0	1	0,3	0	0,1	1700 ± 0,004	$0,0000.10^{-6}$	0,000 ± 0,000	0,001 ± 0,001	<1
AM-09	2 E3	250-321	981	0	16	0	1	0,4	0,1	0,1	1720 ± 0,009	$0,0000.10^{-6}$	0,000 ± 0,000	0,022 ± 0,002	<1
AM-09	3Bh	321-326	894	69	27	22	5	1,2	1.5	6,0	1380 ± 0,006	$0,0036.10^{-6}$	0,005 ± 0,002	0,025 ± 0,002	<1
AM-09	4Bhsm	326-366	857	102	28	38	3	0,8	0,4	8,1	1390 ± 0,010	$0,0000.10^{-6}$	0,000 ± 0,000	0,006 ± 0,001	1,436 ± 0,281
AM-09	4Bhs	366-380	889	81	26	38	3	0,7	0,4	7,8	1460 ± 0,009	$0,0000.10^{-6}$	0,000 ± 0,000	0,006 ± 0,001	<1
AM-09	4Bs	380-396	876	96	35	30	2	1,4	0,2	4,1	1430 ± 0,007	$0,0000.10^{-6}$	0,000 ± 0,000	0,007 ± 0,001	<1
AM-09	5C	396-410	705	188	83	91	1	2,2	0,1	2,9	1120 ± 0,007	$0,0000.10^{-6}$	0,000 ± 0,000	0,001 ± 0,002	<1
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico, textura siltosa-média/média-siltosa, A moderado, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano.															
AM-11	A1	0-5	145	187	170	103	60	5,4	1,5	17,6	1160 ± 0,005	$0,4490.10^{-6}$	0,519 ± 0,006	0,393 ± 0,001	<1
AM-11	A2	5-17	84	177	184	115	61	5,4	1,6	17,2	1300 ± 0,004	$0,3730.10^{-6}$	0,486 ± 0,003	0,453 ± 0,001	<1
AM-11	Cg1	17-41	165	174	174	109	60	6,2	1,5	16,8	1110 ± 0,009	$0,5120.10^{-6}$	0,569 ± 0,006	0,448 ± 0,003	<1
AM-11	Cg2	41-61	184	160	144	104	62	4,7	1,4	17,2	1080 ± 0,004	$0,5180.10^{-6}$	0,560 ± 0,004	0,440 ± 0,003	<1
AM-11	2Cg3	61-70	240	162	168	104	58	6,0	1,5	16,0	1150 ± 0,005	$0,4820.10^{-6}$	0,555 ± 0,003	0,442 ± 0,001	<1
AM-11	3Cg4	70-86	296	123	150	86	52	5,1	1,3	13,7	1120 ± 0,006	$0,7110.10^{-6}$	0,799 ± 0,003	0,597 ± 0,003	<1
AM-11	4Cg5	86-115	224	143	138	97	59	4,4	1,4	14,9	1250 ± 0,001	$0,4830.10^{-6}$	0,603 ± 0,007	0,486 ± 0,004	<1
AM-11	4Cg6	115-160	282	127	135	84	52	6,2	1,4	13,3	1160 ± 0,005	$0,7070.10^{-6}$	0,824 ± 0,004	0,630 ± 0,004	<1
Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico, textura média, A moderado, álico, epialumínico, Tmoa, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano.															
AM-12	Apg1	0-5	293	336	188	103	32	4,8	1,0	18,1	1260 ± 0,001	$0,0700.10^{-6}$	0,088 ± 0,002	0,102 ± 0,002	<1
AM-12	2Apg2	5-11	483	248	124	75	18	4,2	0,6	11,0	1320 ± 0,005	$0,0234.10^{-6}$	0,031 ± 0,000	0,056 ± 0,001	<1
AM-12	3Cg	11-38	648	136	68	47	6	3,9	0,3	4,5	1460 ± 0,003	$0,0014.10^{-6}$	0,002 ± 0,002	0,035 ± 0,000	<1
AM-12	4Abg	38-63	689	138	60	45	4	4,3	0,4	3,2	1680 ± 0,009	$0,0000.10^{-6}$	0,000 ± 0,000	0,026 ± 0,001	<1
AM-12	4C'g1	63-99	664	98	67	52	4	5,0	0,3	2,6	1450 ± 0,002	$0,0034.10^{-6}$	0,005 ± 0,004	0,042 ± 0,001	<1
AM-12	5C'g2	99-150	666	146	70	55	6	5,1	0,3	2,6	1710 ± 0,010	$0,0041.10^{-6}$	0,007 ± 0,001	0,049 ± 0,001	1,084 ± 0,032

Continua...

Tabela 15.1. Continuação.

Perfil	Horizonte	Prof.	Areia	Argila	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	Valor T	Ds TFSA	SM*	SM KT 20 S/C	SM KT-10 Plus v2	CEa
-	Símb.	cm	---------- g kg^{-1} ----------							cmolc kg^{-1}	kg m^{-3}	m^3 kg^{-1}	$.10^{-3}$	$.10^{-3}$	uS m^{-1}
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/arenosa/siltosa, A fraco, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.															
AM-15	Ag	0-4	631	40	92	53	36	4,5	1,1	9,7	1300 ± 0,000	$0,7150.10^{-6}$	0,930 ± 0,009	0,687 ± 0,004	<1
AM-15	2C	4-11	781	19	77	44	32	4,6	1,1	5,6	1400 ± 0,006	$0,8860.10^{-6}$	1,244 ± 0,027	0,984 ± 0,005	<1
AM-15	3Cg	11-15	264	107	156	94	51	5,0	1,3	14,7	1140 ± 0,002	$0,4850.10^{-6}$	0,553 ± 0,003	0,439 ± 0,004	<1
AM-15	4C	15-19	250	112	88	49	39	4,9	1,2	8,2	1350 ± 0,004	$0,9600.10^{-6}$	1,292 ± 0,018	1,003 ± 0,006	<1
AM-15	5Abg	19-23	57	186	179	103	54	5,0	2,0	21,3	1130 ± 0,007	$0,3220.10^{-6}$	0,363 ± 0,004	0,311 ± 0,002	<1
AM-15	5Cg1	23-41	191	113	178	97	53	4,8	1,3	12,9	1200 ± 0,008	$0,3960.10^{-6}$	0,476 ± 0,005	0,383 ± 0,003	<1
AM-15	6Cg2	41-60	71	181	180	108	54	5,1	1,3	14,8	1170 ± 0,008	$0,2790.10^{-6}$	0,327 ± 0,008	0,289 ± 0,002	<1
AM-15	6Cg3	60-108	193	164	131	83	48	3,8	1,0	11,8	1220 ± 0,002	$0,3010.10^{-6}$	0,367 ± 0,004	0,310 ± 0,003	<1
AM-15	7Cg4	108-145	299	121	143	89	48	4,5	1,4	12,2	1260 ± 0,004	$0,3160.10^{-6}$	0,397 ± 0,002	0,324 ± 0,004	<1
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa, A moderado, mesoendosolódico, Tma, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.															
AM-16	Ag	0-4	37	210	158	119	55	4,9	1,4	19,1	1030 ± 0,003	$0,3310.10^{-6}$	0,342 ± 0,002	0,284 ± 0,002	<1
AM-16	CAg	4-14	37	212	198	126	56	4,8	1,3	18,9	1040 ± 0,010	$0,3390.10^{-6}$	0,353 ± 0,001	0,290 ± 0,002	<1
AM-16	2Abg	14-27	23	364	178	141	46	4,8	0,8	25,5	1100 ± 0,004	$0,0761.10^{-6}$	0,084 ± 0,000	0,106 ± 0,001	<1
AM-16	2Cg	27-51	24	307	172	120	62	4,7	0,5	17,7	1270 ± 0,006	$0,0669.10^{-6}$	0,085 ± 0,003	0,106 ± 0,002	<1
AM-16	2Cgn1	51-76	100	195	169	113	58	4,9	0,8	17,8	1330 ± 0,003	$0,0973.10^{-6}$	0,129 ± 0,001	1,159 ± 0,001	<1
AM-16	2Cgn2	76-119	20	267	173	143	53	4,9	0,6	22,1	1300 ± 0,004	$0,0815.10^{-6}$	0,106 ± 0,005	0,139 ± 0,001	<1
AM-16	2Cgn3	119-155	63	195	179	130	59	5,0	1,1	20,6	1270 ± 0,006	$0,0947.10^{-6}$	0,120 ± 0,003	0,142 ± 0,002	<1
Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.															
PA-05	A1	0-8	50	753	131	191	75	8,9	0,6	13,2	970 ± 0,010	$0,5150.10^{-6}$	0,499 ± 0,001	0,397 ± 0,001	2,215 ± 0,000
PA-05	A2	8-27	20	825	194	189	75	11,5	0,4	7,4	1030 ± 0,010	$0,4060.10^{-6}$	0,419 ± 0,007	0,317 ± 0,002	2,651 ± 0,407
PA-05	BA	27-47	15	889	230	188	83	12,9	0,3	5,0	1020 ± 0,009	$0,2940.10^{-6}$	0,299 ± 0,003	0,239 ± 0,002	1,217 ± 0,172
PA-05	Bw1	47-72	16	915	251	191	81	13,2	0,3	4,4	1060 ± 0,005	$0,2230.10^{-6}$	0,236 ± 0,005	0,202 ± 0,005	1,367 ± 0,198
PA-05	Bw2	72-130	21	825	246	190	84	14,4	0,3	3,7	1060 ± 0,005	$0,1550.10^{-6}$	0,164 ± 0,004	0,153 ± 0,007	1,518 ± 0,205
PA-05	Bw3	130-190	41	745	242	192	83	11,9	0,3	2,9	1060 ± 0,004	$0,1120.10^{-6}$	0,118 ± 0,004	0,128 ± 0,003	2,582 ± 0,882

Continua...

Tabela 15.1. Continuação.

Perfil	Horizonte	Prof.	Areia	Argila	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	Valor T	Ds TFSA	SM*	SM KT 20 S/C	SM KT-10 Plus v2	CEa
-	Símb.	cm	---------- g kg^{-1} ----------							cmolc kg^{-1}	kg m^{-3}	m^3 kg^{-1}	$.10^{-3}$	$.10^{-3}$	uS m^{-1}
Neossolo Quartzarênico Órtico húmico, textura arenosa-média, álico, fase cerrado equatorial subcaducifólio, relevo plano.															
PA-06	A1	0-6	857	95	26	25	7	1,4	0,4	14,4	1450 ± 0,002	$0{,}0318.10^{-6}$	0,046 ± 0,001	0,057 ± 0,002	2,294 ± 1,294
PA-06	A2	6-22	873	81	31	26	7	1,5	0,4	9,7	1490 ± 0,008	$0{,}0330.10^{-6}$	0,049 ± 0,003	0,049 ± 0,002	1,888 ± 1,323
PA-06	A3	22-52	873	80	32	28	8	1,9	0,3	7,1	1600 ± 0,003	$0{,}0380.10^{-6}$	0,061 ± 0,000	0,068 ± 0,002	2,535 ± 1,554
PA-06	A4	52-89	891	83	29	21	12	1,9	0,2	4,7	1690 ± 0,003	$0{,}0302.10^{-6}$	0,051 ± 0,009	0,056 ± 0,002	2,740 ± 1,831
PA-06	A5	89-125	878	87	28	20	13	1,7	0,2	4,4	1680 ± 0,002	$0{,}0262.10^{-6}$	0,044 ± 0,004	0,055 ± 0,002	1,217 ± 0,197
PA-06	AC	125-169	884	81	31	27	8	1,9	0,2	3,4	1620 ± 0,004	$0{,}0234.10^{-6}$	0,038 ± 0,007	0,059 ± 0,002	1,810 ± 0,589
PA-06	C	169-205	879	95	39	25	8	2,3	0,2	2,1	1580 ± 0,009	$0{,}0159.10^{-6}$	0,025 ± 0,001	0,048 ± 0,001	1,443 ± 0,256
Latossolo Amarelo Distrófico húmico, textura muito argilosa, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.															
PA-07	A1	0-15	57	675	235	191	48	9,9	0,7	24,9	980 ± 0,001	$0{,}6240.10^{-6}$	0,609 ± 0,008	0,484 ± 0,002	2,688 ± 0,104
PA-07	A2	15-27	43	608	196	197	55	10,1	0,6	17,6	890 ± 0,001	$0{,}5940.10^{-6}$	0,527 ± 0,004	0,420 ± 0,002	2,649 ± 0,241
PA-07	A3	27-40	45	735	196	193	54	10,2	0,5	15,6	890 ± 0,003	$0{,}6460.10^{-6}$	0,576 ± 0,004	0,450 ± 0,005	2,040 ± 0,454
PA-07	A4	40-58	33	827	231	191	61	11,4	0,5	11,4	870 ± 0,004	$0{,}5830.10^{-6}$	0,504 ± 0,005	0,394 ± 0,005	2,609 ± 0,125
PA-07	A5	58-78	32	849	191	190	55	14,9	0,4	9,3	960 ± 0,003	$0{,}6000.10^{-6}$	0,574 ± 0,004	0,434 ± 0,005	2,158 ± 0,294
PA-07	AB	78-97	27	874	241	189	55	13,3	0,4	6,5	960 ± 0,002	$0{,}4720.10^{-6}$	0,452 ± 0,003	0,358 ± 0,003	2,139 ± 0,474
PA-07	BA	97-137	25	816	279	189	56	13,4	0,4	5,2	980 ± 0,004	$0{,}3020.10^{-6}$	0,297 ± 0,014	0,244 ± 0,015	1,636 ± 0,556
PA-07	Bw	137-200	40	788	225	190	59	12,6	0,3	3,5	1010 ± 0,004	$0{,}1880.10^{-6}$	0,190 ± 0,001	0,165 ± 0,001	1,518 ± 0,392
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa/siltosa, A moderado, endossódico, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.															
PA-13	Apg	0-5	13	413	242	143	54	5,3	1,6	23,7	1060 ± 0,002	$0{,}1400.10^{6}$	0,149 ± 0,004	0,159 ± 0,002	1,03 ± 0,161
PA-13	2CAg	5-15	28	262	205	130	55	7,8	1,3	17,8	1140 ± 0,009	$0{,}1910.10^{-6}$	0,278 ± 0,001	0,205 ± 0,001	<1
PA-13	2Cg1	15-32	24	226	208	127	56	5,7	1,2	16,5	1230 ± 0,009	$0{,}1890.10^{-6}$	0,232 ± 0,001	0,218 ± 0,000	<1
PA-13	2Cg2	32-55	30	254	203	138	59	4,7	1,0	16,5	1340 ± 0,003	$0{,}1150.10^{-6}$	0,154 ± 0,008	0,167 ± 0,001	<1
PA-13	3Cgn1	55-69	42	313	240	149	54	6,5	0,8	19,3	1260 ± 0,007	$0{,}9690.10^{-6}$	0,122 ± 0,002	0,149 ± 0,002	1,207 ± 0,197
PA-13	3Cgn2	69-101	16	285	222	142	55	4,9	0,7	16,8	1260 ± 0,008	$0{,}8240.10^{-6}$	0,104 ± 0,001	0,134 ± 0,001	<1
PA-13	3Cgn3	101-145	24	302	246	158	56	8,0	0,8	21,0	1300 ± 0,011	$0{,}6240.10^{-6}$	0,081 ± 0,005	0,115 ± 0,000	1,121 ± 0,056

Continua...

Tabela 15.1. Continuação.

Perfil	Horizonte	Prof.	Areia	Argila	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	Valor T	Ds TFSA	SM*	SM KT 20 S/C	SM KT-10 Plus v2	CEa
-	Símb.	cm	---------- g kg^{-1} ----------							cmolc kg^{-1}	kg m^{-3}	m^3 kg^{-1}	$.10^{-3}$	$.10^{-3}$	uS m^{-1}
Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico, textura argilosa/siltosa, A fraco, endossolódico, eutrófico, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano.															
PA-14	A	0-3	40	534	269	158	51	5,4	1,6	36,8	840 ± 0,008	$0,0704.10^{-6}$	0,059 ± 0,002	0,097 ± 0,002	1,01 ± 0,000
PA-14	2CAvg	3-20	21	495	278	176	47	5,6	0,8	23,9	1260 ± 0,004	$0,0701.10^{-6}$	0,088 ± 0,000	0,122 ± 0,001	<1
PA-14	2Cvg1	20-43	6	374	251	162	54	4,6	0,5	19,0	1300 ± 0,005	$0,0561.10^{-6}$	0,073 ± 0,002	0,105 ± 0,002	<1
PA-14	2Cvg2	43-71	18	418	264	175	57	6,1	0,6	20,1	1330 ± 0,001	$0,0676.10^{-6}$	0,090 ± 0,002	0,127 ± 0,001	<1
PA-14	2Cvgn	113-150	24	414	292	186	61	5,4	0,4	28,4	1390 ± 0,005	$0,0635.10^{-6}$	0,088 ± 0,001	0,120 ± 0,002	<1
PA-14	2C'vg1	150-170	30	299	242	161	66	5,5	0,5	21,6	1330 ± 0,010	$0,0586.10^{-6}$	0,078 ± 0,002	0,113 ± 0,001	<1
PA-14	2C'vg2	170-205	42	306	241	163	65	5,2	0,7	23,7	1300 ± 0,007	$0,0926.10^{-6}$	0,120 ± 0,002	0,143 ± 0,001	<1
Organossolo Háplico Hêmico típico, textura argilosa/média/orgânica fíbrica, distrófico, epissáprico e mesoendofíbrico, muito lenhosa, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.															
PA-17	Hd1	0-4	206	386	188	132	19	3,7	1,8	40,1	690 ± 0,001	$0,0000.10^{-6}$	0,000 ± 0,001	0,032 ± 0,001	1,12 ± 0,056
PA-17	Hd2	4-12	140	420	190	143	14	4,1	1,4	40,9	700 ± 0,008	$0,0000.10^{-6}$	0,000 ± 0,000	0,020 ± 0,002	1,12 ± 0,147
PA-17	Hd3	12-29	308	281	165	116	12	2,4	0,9	68,6	590 ± 0,005	$0,0000.10^{-6}$	0,000 ± 0,000	0,020 ± 0,002	1,092 ± 0,117
PA-17	2Ho1	29-65	67	130	-	-	-	-	-	9,7	440 ± 0,002	$0,0000.10^{-6}$	0,000 ± 0,000	0,013 ± 0,004	<1
PA-17	2Ho2	65-90+	282	116	-	-	-	-	-	10,2	280 ± 0,001	$0,0000.10^{-6}$	0,000 ± 0,000	0,003 ± 0,003	<1

Valor T corresponde à capacidade de troca catiônica; DP corresponde aos desvios-padrão da susceptibilidade magnética (SM) e da condutividade elétrica aparente (CEa), respectivamente.
*Os dados de SM transformados para unidade de kg m^{-3} serão apresentados na versão final, após avaliação em conjunto com um material de referência (carbonato de manganês).

O Argissolo Amarelo (AM-01) apresentou uma grande amplitude de valores de SM (Figura 15.4), com os quatro primeiros horizontes exibindo números muito distintos dos demais. Esse perfil possui horizontes antrópicos, denominados de Terra Preta de Índio (Teixeira et al., 2010; Macedo et al., 2017; Lombardo et al., 2022; Souza et al., 2025).

Nos solos antrópicos há processos de aquecimento dos minerais, em especial embaixo das fogueiras de cozimento e fornos de cerâmicas, onde ocorre o aquecimento do solo com baixa disponibilidade de oxigênio. Esse aquecimento causa um fenômeno denominado de termoremanência, que é o aumento da SM causado pelo aquecimento quando o solo atinge temperaturas por volta de 400 a 500 °C num ambiente hipóxico (Sternberg, 2001). Normalmente essas temperaturas no solo só são atingidas em locais específicos em sítios de habitação, ou no solo abaixo de fogueiras de aceiros de limpeza de roçados ou de queima de tocos de árvore que apresentam um processo de aquecimento prolongado. O magnetismo remanente, portanto, é uma ferramenta eficaz para identificar transformações antrópicas, pois reflete a capacidade dos minerais de manter uma assinatura magnética resultante de processos de queima, enriquecendo os minerais magnéticos presentes e indicando um passado de intensas intervenções humanas.

Um exemplo de solo antrópico foi estudado na RCC do Maranhão, no sambaqui de Panaquatira, onde o perfil MA-14 revelou a presença desse tipo de solo, evidenciada não apenas por traços de magnetismo remanente, mas também pelo acúmulo de materiais com altos teores de carbonato (como conchas) e de fósforo (espinhas de peixe, ossos, cinzas e resíduos vegetais) (Bandeira et al., 2020). Esses vestígios indicam um longo processo de intervenção humana no local, que modificou significativamente a composição do solo ao longo do tempo.

No perfil AM-01, é possível identificar amostras com maiores valores de SM por unidade de massa, como no horizonte Au1 (com 1,68 x 10^{-6} m^3 kg^{-1}), que apresenta teores mais elevados de Fe_2O_3 (cerca de 47 g kg^{-1}), e um teor de argila de 304 g kg^{-1}. Esses solos exibem minerais magnéticos, como Mt ou Mh (Macedo et al., 2017). As características mineralógicas de alguns desses horizontes são apresentadas no Capítulo 13 desse Guia de Campo.

O perfil AM-01, classificado como solo antrópico no 4º nível categórico, destacou-se por apresentar a maior SM entre todos os perfis analisados (Figura 15.4), especialmente no horizonte Au3 (Tabela 15.1), que também mostrou a maior CEa (Figura 15.5). Isso sugere uma intensa atividade humana, particularmente ligada ao uso frequente do fogo. A alta SM observada é um indicativo claro dessas atividades de queima, que alteraram os minerais magnéticos do solo, deixando uma assinatura duradoura e corroborando a hipótese de ocupação e manejo humano no local (Marmet et al., 1999).

Os perfis AM-02 (Latossolo Amarelo), PA-06 (Neossolo Quartzarênico), AM-08 (Plintossolo Argilúvico) e AM-12 (Gleissolo Háplico) apresentaram valores reduzidos de SM quando comparados aos demais perfis. Provavelmente, isso seja um reflexo de suas assembleias mineralógicas mostrarem, em maior parte, baixa presença de minerais ferri e paramagnéticos.

Os perfis AM-02, PA-05 e PA-07, classificados como Latossolos Amarelos com fração argila composta principalmente de caulinita, seguida de goethita (vide Capítulos 9 e 13), apresentam baixos teores de Fe_2O_3. Apenas os quatro últimos horizontes do perfil PA-05 são

classificados como mesoférricos, com teores de Fe_2O_3 entre 80 g kg^{-1} e <180 g kg^{-1} (Tabela 15.1).

Os perfis AM-09 (Espodossolo Humilúvico) e PA-17 (Organossolo Háplico) apresentaram valor zero para a análise de SM, o que indica a ausência ou baixa quantidade de minerais ferri e paramagnéticos. O AM-09 possui o predomínio, na sua composição mineral, de grãos de quartzo, que é um mineral diamagnético. Nesse perfil os teores de areia variaram entre 705 e 981 g kg^{-1}. O perfil PA-17 apresentou valores de SM iguais a zero em todos os horizontes. Isso é devido à sua composição mineral ser basicamente de minerais diamagnéticos e materiais orgânicos (vide Capítulo 13) e provavelmente de baixos teores de minerais ferri e paramagnéticos, típicos de ambientes desferrificados (Maher, 1986).

No perfil AM-11 foram encontrados valores de SM significativamente mais elevados em seus horizontes do que no AM-12, o que pode estar associado a variações no material de origem e na composição mineralógica dos perfis. A alta SM do AM-11 pode ser explicada pela maior presença de minerais como esmectita e mica (vide Capítulo 13), que contêm ferro em sua estrutura e contribuem para o magnetismo, enquanto a baixa SM do AM-12 está relacionada à predominância de caulinita, um mineral pobre em ferro e com baixa contribuição magnética (Maher, 1986). Essa variação na composição mineralógica indica que é necessária uma análise mais profunda para se entender a origem e a evolução dos solos, bem como para se identificar características específicas relacionadas à SM. Essas diferenças, abordadas no Capítulo 13, reforçam a importância da caracterização mineralógica para a interpretação das propriedades magnéticas dos solos (Dearing et al., 1996).

A Figura 15.5 expõe os resultados da CEa para os 17 perfis avaliados, utilizando-se gráficos *box plot* que destacam as variações entre as diferentes classes de solo e a variação entre os horizontes (tamanho do *box*). Observa-se que os perfis AM-02, PA-05, PA-06 e PA-07, classificados como Latossolos Amarelos e Neossolo Quartzarênico (PA-06), apresentam valores medianos de CEa, com variabilidade moderada entre os horizontes.

O perfil AM-01 (Argissolo Amarelo) exibe uma amplitude maior nos valores de CEa e apresenta os valores mais elevados, alcançando até 6 S m^{-1}. Esse comportamento sugere uma heterogeneidade na composição mineralógica e mineral ao longo dos horizontes, o que está associado a diferentes composições mineralógicas (ver discussão acima da SM) e variações granulométricas (Tabela 15.1).

Os perfis AM-07 (Cambissolo Flúvico), AM-06, AM-11, AM-15 e AM-16 (Gleissolos Háplicos) mostram uma distribuição mais estreita dos valores de CEa, refletindo a predominância de minerais como o quartzo, o qual influencia na baixa condutividade. Perfis como AM-05, PA-13 (Gleissolos Háplicos), AM-08 (Plintossolo Argilúvico), PA-14 (Vertissolo Hidromórfico) e PA-17 (Organossolo Háplico) também exibem variações restritas, indicando uma composição mais homogênea ao longo dos horizontes.

Esses resultados demonstram que a CEa pode variar significativamente entre as diferentes classes de solos, sendo fortemente influenciada pela mineralogia e textura. Isso evidencia a importância de tais características na interpretação das propriedades físicas e químicas dos solos avaliados.

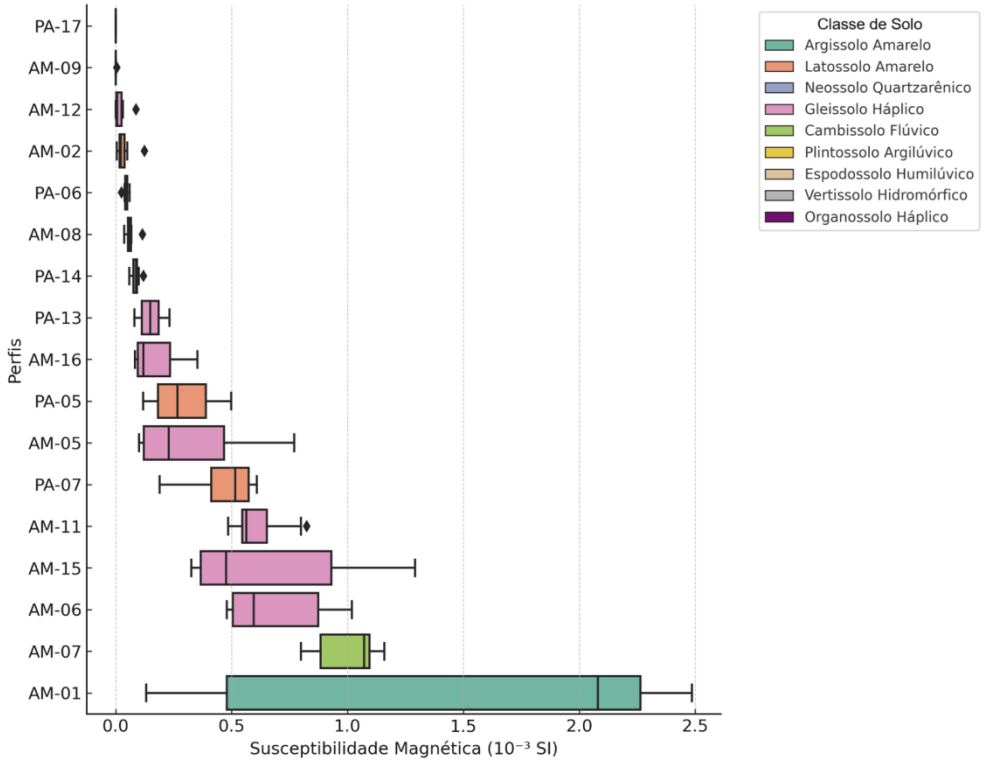


Figura 15.4. Gráficos *box plot* com dados médios dos valores de susceptibilidade magnética (SM), com o KT 20 S/C de amostras de solos da XV RCC. Perfis AM-01: Argissolo Amarelo; AM-07: Cambissolo Flúvico; AM-09: Espodossolo Humilúvico; AM-05, AM-06, AM-11, AM-12, AM-15, AM-16 e PA-13: Gleissolos Háplicos; AM-02, PA-05 e PA-07: Latossolos Amarelos; PA-06: Neossolo Quartzarênico; PA-17: Organossolo Háplico; AM-08: Plintossolo Argilúvico; PA-14: Vertissolo Hidromórfico.

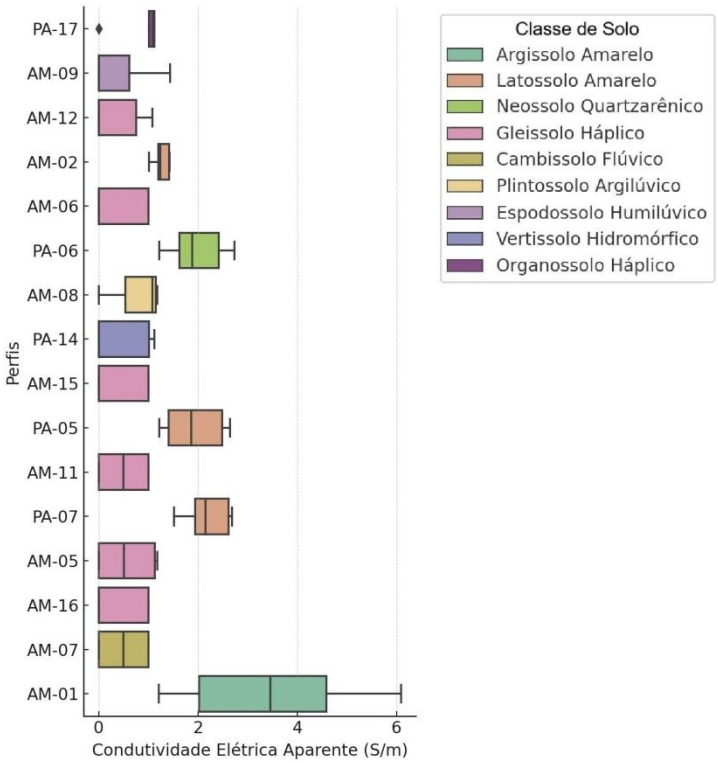


Figura 15.5. Gráficos *box plot* com dados médios dos valores de condutividade elétrica aparente (CEa) de amostras de solos da XV RCC. Perfis AM-01: Argissolo Amarelo; AM-07: Cambissolo Flúvico; AM-09: Espodossolo Humilúvico; AM-05, AM-06, AM-11, AM-12, AM-15, AM-16 e PA-13: Gleissolos Háplicos; AM-02, PA-05 e PA-07: Latossolos Amarelos; PA-06: Neossolo Quartzarênico; PA-17: Organossolo Háplico; AM-08: Plintossolo Argilúvico; PA-14: Vertissolo Hidromórfico.

O correlograma entre os valores da SM e da CEa com os teores de argila, areia, SiO_2, $Al2O_3$, Fe_2O_3, TiO_2, P_2O_5, além do valor T das amostras analisadas, é apresentado na Figura 15.6. Ao contrário do que se observa em alguns estudos (Teixeira et al., 2020, 2023), a correlação linear de Pearson entre a SM e a CEa neste estudo foi de apenas 0,10, indicando uma relação muito fraca entre esses parâmetros.

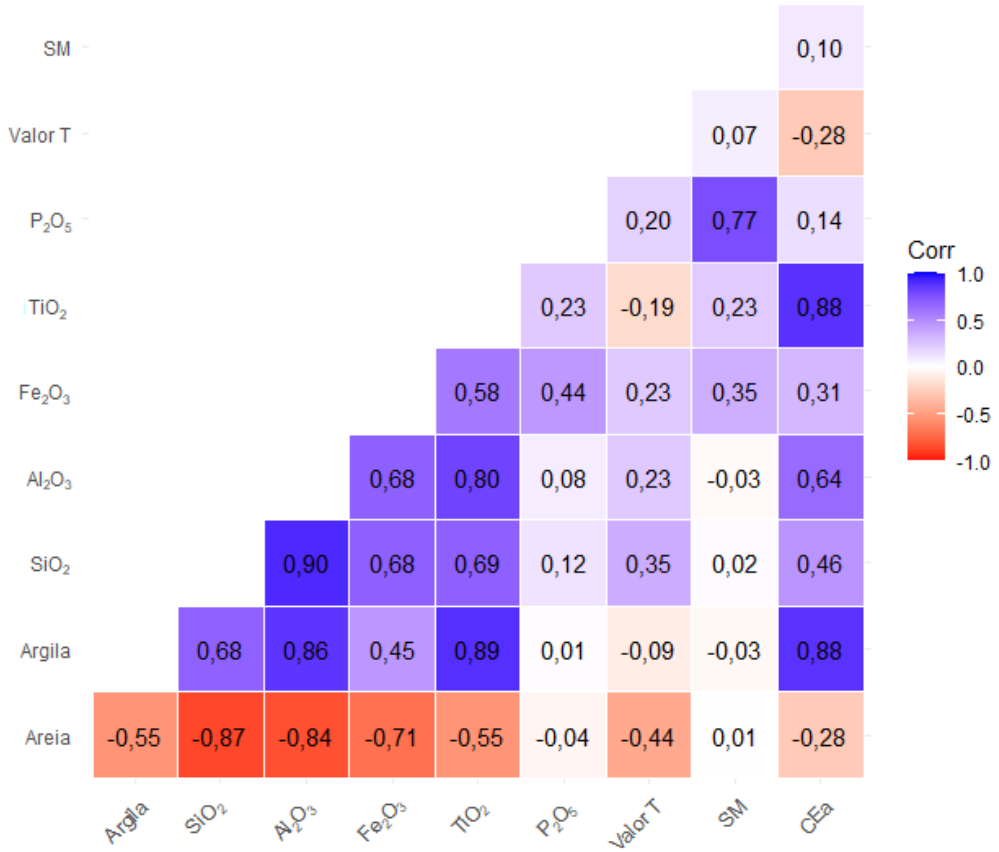


Figura 15.6. Matriz de correlação entre a susceptibilidade magnética (SM), condutividade elétrica aparente (CEa) e alguns atributos físicos e químicos dos solos da XV RCC.

A correlação da CEa com os teores de Fe_2O_3 foi de 0,31, denotando uma associação moderada, enquanto a correlação com os teores de TiO_2 e com a argila foi de 0,88, o que sugere uma alta associação. Ademais, a SM apresentou correlações de 0,35 com Fe_2O_3, de 0,23 com TiO_2 e de -0,03 com argila, evidenciando uma relação moderada com os teores de Fe_2O_3, moderada com teores de TiO2 e muito baixa com os teores de argila.

Embora exista uma correlação entre os valores da SM e os teores de Fe_2O_3, essa relação é relativamente fraca quando comparada a outras localidades. Por exemplo, os solos estudados por Silva et al. (2010) no Paraná apresentaram uma alta correlação entre o teor de Fe_2O_3 e a SM (0,92), o que refletiu a influência de minerais paramagnéticos, como hematita e goethita. Em contraste, na XV RCC, a correlação entre SM e Fe_2O_3 foi mais baixa (0,35), sugerindo que outros fatores, como a presença de minerais ferrimagnéticos e a ação de atividades humanas, podem ter um papel mais relevante na magnetização dos solos.

Os teores de areia denotaram uma correlação praticamente nula com a SM (0,01) e negativa com a CEa (-0,28), sugerindo que a fração areia, composta principalmente de quartzo, não contribui significativamente para esses parâmetros. Isso reforça a ideia de que o quartzo é diamagnético e, portanto, não influencia a susceptibilidade magnética nem a condutividade elétrica aparente de forma significativa.

A análise também revelou que a correlação entre os teores de Fe_2O_3 e a SM não é linear e direta, uma vez que outros fatores, como a mineralogia e os compostos químicos presentes, afetam os valores de SM. Por exemplo, a maior correlação da SM foi com os teores de P_2O_5 (0,77). Isso se deve à presença de minerais que contêm fósforo e também possuem propriedades magnéticas, como a apatita. Essa alta correlação pode indicar atividades antrópicas na região estudada, uma vez que o fósforo é frequentemente encontrado em ossos e conchas, que são restos de atividades humanas e animais. Assim, os dados sugerem não apenas uma relação mineralógica, mas também a influência de práticas humanas na composição do solo e na sedimentação local.

No sul do Amazonas, no município de Canutama, em áreas com Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (ou Argissolo Vermelho-Amarelo alumínico) sob diferentes cultivos (guaraná, cupuaçu e urucum), foi observado que, embora os valores de SM permanecessem baixos tanto em solos naturais quanto cultivados, os perfis de solos cultivados apresentaram redução da SM com a profundidade, enquanto nos solos sob floresta essa propriedade aumentava. Essa variação sugere a influência das atividades antrópicas na alteração das propriedades magnéticas do solo, além do aporte de carbono orgânico nas áreas cultivadas (Brito et al., 2024). Foi observado também nos resultados obtidos nos perfis de solo da XV RCC, principalmente nos solos com horizonte A antrópico, padrões diferenciados de SM em profundidade e relacionados com atributos químicos e mineralógicos.

Essas correlações indicam que, embora haja uma certa relação entre SM, CEa e os teores de alguns óxidos metálicos, essa relação é complexa e influenciada por múltiplos fatores, como a composição mineralógica e a granulometria dos solos estudados.

4. Conclusões

A SM e a CEa, quando avaliadas em amostras de TFSA, são técnicas não destrutivas que podem indicar a presença de minerais ferri e paramagnéticos. A SM, em particular, mostrou-se sensível à presença de minerais magnéticos, como magnetita e maghemita, além de refletir alterações antrópicas, provavelmente causadas pelo fenômeno da termoremanência.

Não foi observada uma correlação linear direta entre os teores de ferro total no solo e os valores de SM e CEa, o que evidencia a complexidade dos fatores que influenciam essas medições, como a composição mineralógica, a granulometria e a presença de minerais ferrimagnéticos e paramagnéticos. Ainda assim, a SM apresenta grande potencial como ferramenta de caracterização expedita de solos, pois demonstrou ser sensível às alterações provocadas por atividades antrópicas, como o cultivo e o uso do fogo, refletindo modificações tanto nas camadas superficiais quanto em profundidade do solo.

As diferenças nos valores de SM permitem rapidamente detectar alterações na assembleia, nos teores ou no tamanho dos grãos minerais. Essas diferenças ressaltam a importância de se padronizar as medições de SM e CEa e de se expandir a base de dados nacionais para permitir melhores comparações e aplicações práticas e o uso da SM no mapeamento de solos e na identificação de sítios arqueológicos com horizontes antrópicos.

Dessa forma, a aplicação conjunta de SM e CEa não apenas contribui para a identificação de horizontes antrópicos, mas também para o monitoramento da qualidade do solo em áreas de uso agrícola contínuo, ampliando sua aplicabilidade em estratégias de manejo e conservação.

5. Recomendações

Esses resultados reforçam a necessidade de se considerar a espacialidade dos dados na interpretação de medições de SM e CEa. O mapeamento da SM e da CEa, aliado a técnicas de geoestatística, pode ser uma ferramenta eficaz para delimitação de horizontes antrópicos e para o planejamento de zonas de manejo específico, sobretudo em áreas tropicais com histórico de uso agrícola.

É importante padronizar a forma de avaliar e medir a SM e CEa dos solos do Brasil. Nas avaliações realizadas com amostras deformadas (TFSA), deve-se incluir as estimativas da densidade da TFSA onde foram feitas as análises ou os valores de densidade do solo quando as avaliações são feitas em in situ.

Para isso, é fundamental que pesquisadores e instituições em todo o País trabalhem em conjunto na padronização desse parâmetro. Um banco de dados de valores de susceptibilidade magnética dos solos do Brasil está disponível para repositório de novas avaliações e para consultas na plataforma Redape (Base de Dados - Susceptibilidade Magnética dos Solos do Brasil (BD_SM_BR) - https://doi.org/10.48432/KHSFO9).

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Finep/CT-Agro/FNDCT (Convênio 01.22.0081.00, Ref. 1218/21) para o projeto PronaSolos: Rede para o avanço científico e tecnológico aplicado às múltiplas funcionalidades do solo para o desenvolvimento agroambiental do Brasil.

O pesquisador Wenceslau Geraldes Teixeira agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) a bolsa de Produtividade em Pesquisa - nível 2.

Agradecemos ao bolsista Cauêt da Silva dos Santos, aluno do curso de graduação em Engenharia Eletrônica no Cefet/RJ, que colaborou com a realização das análises da SM e da CEa, durante seu período de treinamento no Laboratório de Avaliação e Modelagem da Água no Solo (LAMAS – Embrapa Solos).

Referências

ANAND, R. R.; GILKES, R. J. Iron oxides in lateritic soils from Western Australia. **Journal of Soil Science**, v. 38, n. 4, p. 607-622, Dec. 1987. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1987.tb02158.x.

ARROYO-KALIN, M. The Amazonian formative: crop domestication and anthropogenic soils. **Diversity**, v. 2, n. 4, p. 473-504, 2010. DOI: https://doi.org/10.3390/d2040473.

BANDEIRA, A. M.; IKEOKA, R. A.; APPOLINI, C. R.; TEIXEIRA, W. G. Caracterização de um perfil de solo e de cerâmicas arqueológicas do Sambaqui de Panaquatira, município de São José de Ribamar, MA. In: SILVA, M. B. e; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de (ed.). **Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC do Maranhão. Brasília, DF: Embrapa, 2020. E-book. cap. 5.

BATJES, N. H.; RIBEIRO, E.; VAN OOSTRUM, A. Standardised soil profile data to support global mapping and modelling (WoSIS snapshot 2019). **Earth System Science Data**, v. 12, n. 1, p. 299-320, 2020. DOI: https://doi.org/10.5194/essd-12-299-2020.

BRITO, W. B. M.; CAMPOS, M. C. C.; M.; SOUZA, F. G. de; SILVA, L. S.; LIMA, H. N.; LIMA, A. F. L. de; CUNHA, J. M. da. Magnetic susceptibility and properties of Alisols under forest and crops in south Amazonas. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 144, art. 105023, Sept. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jsames.2024.105023.

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1/3, p. 11-43, Mar. 2005. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.10.005.

CURI, N.; FRANZMEIER, D. P. Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some Oxisols in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, n. 1, p. 153-158, Jan./Feb. 1987. DOI: https://doi.org/10.2136/sssaj1987.03615995005100010033x.

DEARING, J. A.; HAY, K. L.; BABAN, S. M.; HUDDLESTON, A. S.; WELLINGTON, E. M.; LOVELAND, P. Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of conflicting theories using a national data set. **Geophysical Journal International**, v. 127, n. 3, p. 728-734, 1996. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1996.tb04051.x.

FABRIS, J. D.; COEY, J. M. D.; MUSSEL, W. da N. Magnetic soils from mafic lithodomains in Brazil. **Hyperfine Interactions**, v. 113, n. 1/4, p. 249-258, Aug. 1998. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1012679801308.

FASSBINDER, J. W. E.; STANJEKT, H.; VALI, H. Occurrence of magnetic bacteria in soil. **Nature**, v. 343, n. 6254, p. 161-163, 1990. DOI: https://doi.org/10.1038/343161a0.

FILLA, V. A.; COELHO, A. P.; FERRONI, A. D.; BAHIA, A. S. R. de S.; MARQUES JÚNIOR, J. Estimation of clay content by magnetic susceptibility in tropical soils using linear and nonlinear models. **Geoderma**, v. 403, art. 115371, 2021. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115371.

FONTES, M. P. F.; OLIVEIRA, T. S. de; COSTA, L. M. da; CAMPOS, A. A. G. Magnetic separation and evaluation of magnetization of Brazilian soils from different parent materials. **Geoderma**, v. 96, n. 1/2, p. 81-99, May 2000. DOI: https://doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00005-7.

FRIEDMAN, S. P. Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1-3, p. 45-70, Mar. 2005. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.11.001.

LIMA, P. H. A.; LAMARÃO, C. N.; SANTOS, M. J. P. Petrográfica, geoquímica e susceptibilidade magnética do Granito Paleoproterozoico São João, sudeste do Cráton Amazônico, Província Carajás. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, Belém, DF, v. 9, n. 1, p. 47-72, jan./abr. 2014. DOI: https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i1.537.

LOMBARDO, U.; ARROYO-KALIN, M.; SCHMIDT, M.; HUISMAN, H.; LIMA, H. P.; MORAES, M. de P.; NEVES, E. G.; CLEMENT, C. R.; FONSECA, J. A. da; ALMEIDA, F. O. de; ALHO, C. F. B. V.; RAMSEY, C. B.; BROWN, G. G.; CAVALLINI, M. S.; COSTA, M. L. da; CUNHA, L.; ANJOS, L. H. C. dos; DENEVAN, W. M.; FAUSTO, C.; CAROMANO, C. F.; FONTANA, A.; FRANCHETTO, B.; GLASER, B.; HECKENBERGER, M. J.; HECHT, S.; HONORATO, V.; JAROSCH, K. A.; JUNQUEIRA, A. B.; KATER, T.; TAMANAHA, E. K.; KUYPER, T. W.; LEHMANN, J.; MADELLA, M.; MAEZUMI, S. Y.; CASCON, L. M.; MAYLE, F. E.; MCKEY, D.; MORAES, B.; MORCOTE-RÍOS, G.; BARBOSA, C. A. P.; MAGALHÃES, M. P.; PRESTES-CARNEIRO, G.; PUGLIESE, F.; PUPIM, F. N.; RACZKA, M. F.; PY-DANIEL, A. R.; ROCHA, B. C. da; RODRIGUES, L.; ROSTAIN, S.; MACEDO, R. S.; SHOCK, M. P.; SPRAFKE, T.; BASSI, F. S.; VALLE, R.; VIDAL-TORRADO, P.; VILLAGRÁN, X. S.; WATLING, J.; WEBER, S. L.; TEIXEIRA, W. G. Evidence confirms an anthropic origin of Amazonian Dark Earths. **Nature Communications**, v. 13, n. 3444, 2022. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1144138/1/NatureCommunications-2022-EvidenceConfirmAmazonDarkEarths.pdf. Acesso em: 28 fev. 2025.

MACEDO, R. S. **Pedogênese e indicadores pedoarqueológicos em terra preta de índio no município de Iranduba - AM**. 2014. 184 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
DOI: https://doi.org/10.11606/T.11.2014.tde-14042014-164952.

MACEDO, R. S.; TEIXEIRA, W. G.; CORRÊA, M. M.; MARTINS, G. C.; VIDAL-TORRADO, P. Pedogenetic processes in anthrosols with pretic Horizon (Amazonian Dark Earth) in Central Amazon, Brazil. **Plos One**, v. 12, n. 5, e0178038, May 2017. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1070480/1/2017008.pdf. Acesso em: 28 fev. 2025.

MAHER, B. A. Characterisation of soils by mineral magnetic measurements. **Physics of the Earth and Planetary Interiors**, v. 42, n. 1/2, p. 76-92, 1986. DOI: https://doi.org/10.1016/S0031-9201(86)80010-3.

MANSUR, K. L.; TEIXEIRA, W. G.; GONÇALVES, A. O.; SHINZATO, E. Avaliação da susceptibilidade magnética no sambaqui Fazenda Campos Novos - Cabo Frio - RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PATRIMÔNIO GEOLÓGICO, 3., 2015, Lençóis. **Anais** [...]. Lençóis: UEFS, 2015. p. 571-574. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/131267/1/2015-053.pdf. Acesso em: 19 jun. 2023.

MARMET, E.; BINA, M.; FEDOROFF, N.; TABBAGH, A. Relationships between human activity and the magnetic properties of soils: a case study in the medieval site of Roissyen France. **Archaeological Prospection**, v. 6, n. 3, p. 161-170, Sept. 1999.
DOI: https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0763(199909)6:3%3C161::AID-ARP118%3E3.0.CO;2-H.

MARQUES JÚNIOR, J.; SIQUEIRA, D. S.; CAMARGO, L. A.; TEIXEIRA, D. D. B.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. Magnetic susceptibility, and diffuse reflectance spectroscopy to characterize the spatial variability of soil properties in a Brazilian Haplustalf. **Geoderma**, v. 219/220, p. 63-71, May 2014.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.12.007.

MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 90-101, jan./fev. 2011. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000100009.

MULLINS, C. E. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science: a review. **Journal of Soil Science**, v. 28, n. 2, p. 223-246, June 1977. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1977.tb02232.x.

OLIVEIRA, I. A. de; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; AQUINO, R. E. de; FREITAS, L. de; SIQUEIRA, D. S.; CUNHA, J. M. da. Variabilidade espacial e densidade amostral da suscetibilidade magnética e dos atributos de Argissolos da Região de Manicoré, AM. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 668-381, 2015. DOI: https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140496.

RAMOS, P. V.; DALMOLIN, R. S. D.; MARQUES JÚNIOR, J.; SIQUEIRA, D. S.; ALMEIDA, J. A. de; MOURA-BUENO, J. M. Magnetic susceptibility of soil to differentiate soil environments in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, e0160189, 2017.
DOI: https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160189.

RESENDE, M.; ALLAN, J.; COEY, J. M. D. The magnetic soils of Brazil. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 78, n. 2/3, p. 322-326, June 1986. DOI: https://doi.org/10.1016/0012-821X(86)90071-3.

RESENDE, M.; SANTANA, D. P.; FRANZMEIER, D. P.; COEY, J. M. D. Magnetic properties of Brazilian Oxisols. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 8., 1986, Rio de Janeiro. **Classification, characterization and utilization of oxisols**: proceedings. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS: USDA-SMSS: University of Puerto Rico, 1988. p. 78-108. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/217556/1/Eight-International-Soil-Classification-Workshop-1986-pt-1.pdf. Acesso em: 19 jun. 2023.

SANTOS, L. A. C. dos; PEDRON, F. de A.; SOUZA JÚNIOR, V. S. de; SILVA, L. S.; CAMPOS, M. C. C.; ARAUJO, J. K. S. Magnetic and spectral signature of anthropogenic and non-anthropogenic soils to identify pedogenetic processes in Amazonia, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 32, e00622, 2023.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf. Acesso em: 16 fev. 2024.

SILVA, A. R. da; SOUZA JUNIOR, I. G. de; COSTA, A. C. S. da. Suscetibilidade magnética do horizonte B de solos do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 329-337, abr. 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200006.

SILVA JUNIOR, J. F. da; SIQUEIRA, D. S.; TEIXEIRA, D. D. B.; PANOSSO, A. R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Multivariate split moving windows and magnetic susceptibility for locating soil boundaries of São Paulo, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 26, e00418. Sept. 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00418.

SILVERO, N. E. Q.; SIQUEIRA, D. S.; COELHO, R. M.; FERREIRA JÚNIOR, D. da C.; MARQUES JÚNIOR, J. Protocol for the use of legacy data and magnetic signature on soil mapping of São Paulo Central West, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 693, 133463, Nov. 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.269.

SINGER, M. J.; VEROSUB, K. L.; FINE, P.; TENPAS, J. A conceptual model for the enhancement of magnetic susceptibility in soils. **Quaternary International**, v. 34/36, p. 243-248, 1996. DOI: https://doi.org/10.1016/1040-3182(95)00089-5.

SÖDERSTRÖM, M.; ERIKSSON, J.; ISENDAHL, C.; SCHAAN, D. P.; STENBORG, P.; REBELLATO, L.; PIIKKI, K. Sensor mapping of Amazonian Dark Earths in deforested croplands. **Geoderma**, v. 281, p. 58-38, Nov. 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.06.024.

SOUSA, D.V. de; RODET, M. J.; DUARTE-TALIM, D.; TEIXEIRA, W. G.; PROUS, A.; VASCONCELOS, B. N.; PEREIRA, E. Linking anthropogenic burning activities to magnetic susceptibility: studies at Brazilian archaeological sites. **Geoarchaeology**, v. 38, n. 1, p. 89-108, Jan./Feb. 2022. DOI: https://doi.org/10.1002/gea.21941.

SOUSA, D. V. de; KER, J. C.; SCHAEFER, C. E. R.; RODET, M. J.; GUIMARÃES, L. M.; FELIX, J. F. Magnetite originating from bonfires in a Brazilian prehistoric Anthrosol: a micro-Raman approach. **Catena**, v. 171, p. 552-564, Dec. 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.07.036.

SOUSA, D. V.; KER, J. C.; RODET, M. J.; SCHAEFER, C. E. G. R.; TEIXEIRA, W. G. Pedoarqueologia em abrigo quartizítico, Sítio Bibocas II, Jequitaí, ocupação humana no Holoceno inicial na bacia do São Francisco. **Revista Teoria & Sociedade**, n. 23.1, p. 167-197, jan./jun. 2015. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1034890/1/2015147.pdf. Acesso em: 19 jun. 2023.

SOUZA, J. G.; ALCAINA-MATEOS, J.; LANCELOTTI, C.; VIDAL-TORRADO, P.; CALEGARI, M. R.; TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G.; MACEDO, R. S.; MADELLA, M. Spatial analysis of Amazonian Dark Earth formation supports an anthropic origin at the Caldeirão site, Brazil. **Journal of Archaeological Science**, v. 176, 106169, 2025. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1172924/1/Spatial-analysis-of-Amazonian-Dark-Earth-formation-2025.pdf. Acesso em: 19 jun. 2025.

STERNBERG, R. Magnetic properties and archaeomagnetism. In: BROTHWELL, D. R.; POLLARD, A. M. (ed.). **Handbook of archaeological sciences**. Chichester: Willey, 2001. p. 73-80.

TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia**: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas: Embrapa Amazônia Ocidental, 2010. 420 p.

TEIXEIRA, W. G.; LUMBRERAS, J. F.; CORDEIRO, F. R.; MAESTÁ, B. C.; CERNICCHIARO, G.; SHINZATO, E. Avaliação da susceptibilidade magnética e da condutividade elétrica aparente dos perfis da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC do Maranhão. In: SILVA, M. B. e; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de (ed.). **Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC do Maranhão. Brasília, DF: Embrapa, 2020. E-book. cap. 11. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1127220. Acesso em: 12 ago. 2025.

TEIXEIRA, W. G.; LUMBRERAS, J. F.; NOGUEIRA, J. do N. P.; SHINZATO, E. A susceptibilidade magnética e a condutividade elétrica aparente em amostras de solos da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos - RCC de Rondônia. In: LUMBRERAS, J. F.; SILVA, L. M. da; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; WADT, P. G. S.; PEREIRA, M. G.; DELARMELINDA-HONORÉ, E. A.; BURITY, K. T. (ed.). **Guia de campo da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Rondônia. Brasília, DF: Embrapa, 2019. E-book. cap. 9. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/203098/1/Guia-de-campo-da-XII-RCC-Rondonia.epub. Acesso em: 19 jun. 2023.

TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M. H. dos; PIMENTEL, L. G.; VALLE, L. G. de F.; LUMBRERAS, J. F.; CERNICCHIARO, G. R. C.; SHINZATO, E. Avaliação da susceptibilidade magnética e da condutividade elétrica aparente dos perfis da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos - RCC de Goiás e Tocantins. In: SANTOS, G. G.; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, R. E. M. de; MADARI, B. E. (ed.). **Guia de campo da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Goiás e Tocantins. Brasília, DF: Embrapa, 2023. E-book. cap. 13.

TEIXEIRA, W. G.; SCHAAN, D. P.; SHINZATO, E.; BARBOSA, A. D.; REBELLATO, L.; WOODS, W. Feições geomorfológicas e solos nos locais em que foram construídos os geoglifos no estado do Acre - Brasil. In: ADAMY, A. (org.). **Geodiversidade do estado do Acre**. Porto Velho: CPRM, 2015. cap 13, p. 201-216. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/135134/1/2015-082.pdf. Acesso em: 4 nov. 2020.

TEIXEIRA, W. G.; SHINZATO, E.; LUMBRERAS, J. F.; NOGUEIRA, J. do N. P. A susceptibilidade magnética e a condutividade elétrica aparente de amostras dos solos da XI Reunião de Classificação e Correlação de Solos (RCC de Roraima). In: BATISTA, K. D.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de; VALE JÚNIOR, J. F. do. (ed.). **Guia de campo da XI Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Roraima. Brasília, DF: Embrapa, 2018. E-book. cap. 8. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195311/1/RCC-Z-12-032.epub. Acesso em: 19 jun. 2023.

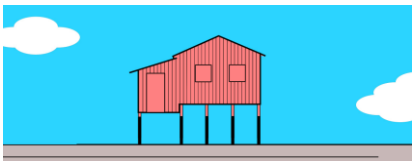
TERRAPLUS INC.; GEORADIS S.R.O. KT-10 v2: Magnetic susceptibility, conductivity and combined magnetic susceptibility / Conductivity meter: user's guide. Ver. 2.1. Richmond Hill: Terraplus Inc., 2021.

TERRAPLUS INC.; GEORADIS S.R.O. KT-20 Magnetic susceptibility & conductivity meter: user's guide. Versão 1.5. Canadá: Terraplus Inc., 2018. 150 p.

THOMPSON, R.; OLDFIELD, F. **Environmental magnetism**. London: Allen & Unwin Ltd, 1986.

WEAST, R. C.; ASTLE, M. J. (ed.). **CRC handbook of chemistry and physics**. 63rd ed. Boca Raton: CRC Press, 1983. 2381 p.

Capítulo 16



Análise de solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos via espectroscopia e computação em nuvem

Jean Jesus Macedo Novais
Borges Marfrann Dias Melo
Fernando Yutaro Makino
Jorge Tadeu Fim Rosas
Nicolas Augusto Rosin
Letícia Guadagnin Vogel
Luiz Eduardo Vicente
José Alexandre Melo Demattê

1. Introdução

A pedodiversidade da região amazônica, moldada por condições específicas que favorecem a formação dos diferentes tipos de solo, é composta predominantemente por Latossolos, Argissolos, Gleissolos, Neossolos e Plintossolos (Segovia et al., 2020). Essas classes variam em atributos, por exemplo, em textura, tipo e profundidade de horizontes, fertilidade, teor de matéria orgânica (MO) e pH. Associados às condições climáticas específicas da Amazônia, esses atributos conferem características diferenciais quando comparados aos de solos de mesma classe taxonômica em relação às demais regiões do Brasil (Schaefer et al., 2023).

Os levantamentos de solos convencionais de grandes áreas, como o da bacia do Rio Amazonas, por exemplo, são onerosos, demandam tempo e recursos humanos especializados, além de gerarem resíduos potencialmente contaminantes com as análises laboratoriais a que são submetidas as amostras de solo deles advindas (Sousa Junior et al., 2011). Dessa forma, tecnologias que confiram eficiência ao processo de levantamento de solos, como o sensoriamento remoto e os sistemas de informação geográfica, são imprescindíveis a fim de viabilizá-lo. Além disso, o uso dessas tecnologias para o estudo dos solos justifica-se pela crescente necessidade de entendimento das relações entre as intervenções antrópicas e esse recurso natural não renovável (Novais et al., 2023). É nesse contexto que as geotecnologias, como a espectroscopia de reflectância (ER), surgem como suporte aos métodos laboratoriais clássicos de análise de solo. Diversos autores afirmam que as geotecnologias propiciam levantamentos e mapeamentos mais rápidos, menos onerosos e com impacto ambiental reduzido em comparação aos métodos tradicionais (Sousa Junior et al., 2011; Araújo et al., 2015; Pinheiro et al., 2017; Santos et al., 2023).

O comportamento espectral dos solos possibilita a modelagem de atributos do solo que podem ser validados com poucas análises de rotina (Novais et al., 2023). A computação em nuvem surge como uma eficiente técnica que potencializa a predição de atributos dos solos em larga escala via ER (Poppiel et al., 2022). Um exemplo pioneiro desses sistemas é o Serviço Brasileiro de Espectros de Solo (BraSpecS)[1]. Consiste em uma plataforma em que o usuário insere espectros nas regiões visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas (Vis-NIR-SWIR) ou infravermelho médio (MIR), retornando teores de atributos do solo, com as métricas da predição (Demattê et al., 2022). Essa aplicação pode auxiliar a retomada dos trabalhos de levantamentos e mapeamentos de solos no país, como preconiza o Programa Nacional de Levantamento e Interpretação de Solos do Brasil – PronaSolos (Polidoro et al., 2021).

O objetivo deste capítulo foi verificar o potencial da ER associada à computação em nuvem para modelar atributos dos solos da *XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (XV RCC)*, realizada nos estados do Amazonas e Pará. Diante dos resultados encontrados, discutiu-se o potencial dessa técnica para auxiliar os futuros trabalhos de levantamentos de solos no Brasil no contexto do PronaSolos.

2. Material e métodos

2.1. Localização dos perfis estudados

Os solos estudados correspondem aos descritos e amostrados para a XV RCC e compreendem 17 perfis de solos (AM-01, AM-02, AM-05 ao AM-09, AM-11, AM-12, AM-15, AM-16, PA-05 ao PA-07, PA-13, PA-14 e PA-17), cujas localizações encontram-se na Figura 16.1. A descrição detalhada dos perfis pode ser encontrada no Capítulo 9.

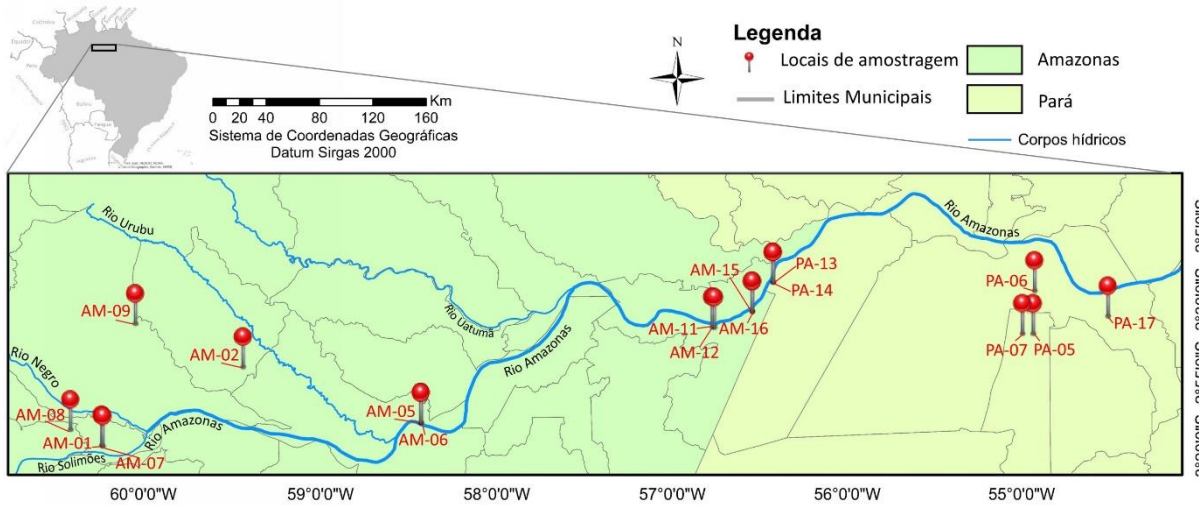


Figura 16.1. Localização dos perfis da XV RCC.

[1] Mais informações disponíveis em: http://143.107.213.227/layout/apresenta_temp.php.

2.2. Procedimentos

2.2.1. Amostras e espectroscopia de reflectância Vis-NIR-SWIR

A comissão organizadora da XV RCC enviou 30 g de amostras de solos de 27 horizontes subsuperficiais selecionados referentes a 17 perfis de solos representativos de região de estudo, tanto dos ambientes de várzeas como de terra firme da bacia do Médio curso do Rio Amazonas. Também recebemos os dados morfológicos observados em campo e os resultados analíticos dos referidos 27 horizontes subsuperficiais, cujos solos foram classificados segundo Santos et al. (2018) (vide Capítulo 9). A Tabela 16.1 lista a classificação e os horizontes dos perfis estudados.

As amostras foram recebidas na fração terra fina seca ao ar (TFSA), destorroadas e passadas em peneira de malha de 2 mm. Para a análise espectral, as amostras foram dispostas em placas de Petri e submetidas às leituras espectrais em ambiente controlado de laboratório com luz artificial, conforme descrito por Poppiel et al. (2022). O equipamento utilizado para as leituras espectrais das amostras, o espectrorradiômetro FieldSpec 3 Pro© (ASD, 2023), abrange uma ampla faixa de comprimentos de onda, de 350 nm a 2500 nm, segmentada em 2150 bandas e interpolada de 1 nm em 1 nm. O sensor foi posicionado verticalmente a 9 cm da plataforma onde a amostra estava disposta, com um campo de visão de 18°. Duas lâmpadas halógenas de 50 W, com feixe não colimado, foram instaladas a 35 cm da plataforma, com ângulo zenital de 30°. Para a calibração do equipamento, foi utilizada uma placa de padrão espectral de 100% de reflectância, com leituras de referência realizadas a cada 20 minutos ou após a medição de 20 amostras. As curvas espectrais dos horizontes diagnósticos serviram como base para as interpretações morfológicas da ER do solo (Demattê et al., 2014). Além disso, os dados de reflectância obtidos serviram para compilar uma Biblioteca Espectral de Solos (BES) de horizontes selecionados dos perfis da XV RCC, o que possibilitou a modelagem dos atributos por meio do processamento em nuvem.

Tabela 16.1. Horizonte estudado e classificação dos perfis da XV RCC.

ID[(1)]	Classificação[(2)]	Hor.[(3)]	Prof.[(4)] (cm)
AM-01	Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico, textura média/argilosa/muito argilosa, epieutrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.	Bt	119-153
AM-02	Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico, textura muito argilosa, A moderado, endoconcrecionário, álico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.	Bw4	108-163
AM-05	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura siltosa, A moderado, Tma, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano.	3Cg2 4Cg3	33-65 65-115
AM-06	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média e siltosa, A moderado, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.	5Cg3 6Cg4	73-105 105-156
AM-07	Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, textura média/siltosa, A moderado, Tma, hipoférrico, fase floresta tropical higrófila de várzea, relevo plano.	2C	87-126
AM-08	Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico, textura média/argilosa/muito argilosa, A moderado, epiálico, Tmoa, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.	2Btgf2 2Cg1	67-101 101-151
AM-09	Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa, A fraco, endodúrico, fase campinarana equatorial arbórea, relevo plano.	3Bh 4Bhsm 4Bhs	321-326 326-366 366-380
AM-11	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico, textura siltosa-média/média-siltosa, A moderado, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano.	Cg2 4Cg5	41-61 86-115
AM-12	Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico, textura média, A moderado, álico, epialumínico, Tmoa, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano.	5C'g2	99-150
AM-15	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/arenosa/siltosa, A fraco, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.	5Cg1 6Cg3	23-41 60-108
AM-16	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa, A moderado, mesoendossolódico, Tma, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.	2Cg 2Cgn2	27-51 76-119
PA-05	Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.	Bw2	72-130
PA-06	Neossolo Quartzarênico Órtico húmico, textura arenosa-média, álico, fase cerrado equatorial subcaducifólio, relevo plano.	C	169-205
PA-07	Latossolo Amarelo Distrófico húmico, textura muito argilosa, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.	Bw	137-200
PA-13	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa/siltosa, A moderado, endossódico, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.	2Cg2 3Cgn2	32-55 69-101
PA-14	Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico, textura argilosa/siltosa, A fraco, endossolódico, eutrófico, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano.	2Cvg1 2Cvg3	20-43 71-113
PA-17	Organossolo Háplico Hêmico típico, textura argilosa/média/orgânica fíbrica, distrófico, epissáprico e mesoendofíbrico, muito lenhosa, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.	Hd3	12-29

[(1)]ID: Identificador do perfil; [(2)]Classificação segundo Santos et al. (2018); [(3)]Hor.: horizonte; [(4)]Prof.: profundidade superior e inferior em centímetros.

2.2.2. Processamento em nuvem via BraSpecS

O sistema BraSpecS (Brazilian Soil Spectral Service, Demattê et al., 2022) foi utilizado para modelar os dados espectrais em estudo. A predição em nuvem utiliza o modelo Cubist, algoritmo de machine learning, que possibilita a análise eficiente do conjunto de dados de modo a reduzir o tempo de processamento (Poppiel et al., 2022). Os atributos do solo modelados por meio do sistema BraSpecS, a partir da inserção de dados espectrais, incluíram propriedades físicas, químicas e mineralógicas. Entre eles, destacam-se o teor de areia, silte e argila, carbono orgânico, pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), alumínio (Al), hidrogênio (H), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (v%) e por alumínio (m%), fósforo (P), além dos óxidos de ferro (Fe_2O_3), alumínio (Al_2O_3), silício (SiO_2), titânio (TiO_2) e manganês (MnO). Também foram estimados o índice de intemperismo do solo (Ki) e os atributos de cor do solo: matiz, valor e croma. Os resultados possibilitaram comparações com os atributos dos solos medidos para validação por meio dos coeficientes de determinação (R^2) e de correlação de Pearson (r2), bem como da métrica raiz quadrada do erro médio (RMSE). Assim, avaliou-se os resultados com base nos diferentes padrões espectrais de solo e nos resultados da modelagem. Por fim, utilizou-se, como critério de viabilidade do uso desta técnica em suporte ao PronaSolos (Polidoro et al., 2021), o R^2 mínimo de 0,7 entre os valores dos atributos do solo de horizontes diagnósticos observados em laboratório e os modelados via BraSpecS.

3. Resultados e discussão

3.1. Caracterização espectral

As assinaturas espectrais reveladas pela ER difusa exibiram feições contrastantes, desde baixos níveis de reflectância relacionados ao Organossolo estudado (PA-17), até solos com albedo elevado, a exemplo do Neossolo Quartzarênico (PA-06) (Figura 16.2A). Essas assinaturas espectrais são uma expressão da composição do solo em relação à absorção ou reflectância da luz e permitiram estudar e compreender os atributos dos horizontes selecionados dos solos estudados. Destaca-se no horizonte Bt do perfil AM-01, referente ao Argissolo Amarelo com horizonte antrópico, a presença de caulinita, caracterizada pela feição de absorção em 1380 nm e 2150 nm, além de traços típicos da presença de gibbsita em 2260 nm (Mathian et al., 2018; Mendes et al., 2021). Nos três horizontes analisados (3Bh, 4Bhsm e 4Bhs) do Espodossolo Humilúvico (perfil AM-09), por sua vez, observou-se o padrão de reflectância ascendente e abrupto na região do visível, seguido pela tendência descendente até o infravermelho de ondas curtas, particularmente entre 2200 nm e 2500 nm, como causa do quartzo (Demattê et al., 2014), que é o constituinte mineral predominante nesse solo.

Como observado por Pinheiro et al. (2017), a ER é uma técnica que possibilita identificar diversas características dos solos. Para Santos et al. (2023), ao caracterizar os solos da Amazônia via ER, detectaram-se processos pedogenéticos específicos, como melanização (escurecimento do perfil por MO), xantização (amarelecimento do perfil por óxidos de ferro) e lessivagem (transição da argila do horizonte superficial para o subsuperficial). Nessa linha, Novais et al. (2023) identificaram os processos de ferralitização e plintização em solos tropicais, que envolvem o acúmulo de oxi-hidróxidos de ferro no perfil.

Entre os solos bem drenados com menor grau de evolução pedogenética, como o Neossolo Quartzarênico (PA-06), a presença de minerais de quartzo, os mais comuns na fração TFSA desses solos, elevou o albedo das curvas entre 350 nm e 900 nm, enquanto os padrões espectrais dos solos hidromórficos, como o Organossolo (PA-17), o Plintossolo (AM-08) e os Gleissolos estudados (AM-05, AM-06, AM-11, AM-12, AM-15, AM-16 e PA-13), posicionaram-se no terço médio do gráfico (Figura 16.2A). Esse comportamento decorre da ação de absorção causada ora por minerais de argila ora pela presença de material orgânico ou, ainda, pelo acúmulo de oxi-hidróxidos de ferro e alumínio que rebaixam a reflectância (Novais et al., 2024). A Figura 16.2B exibe as imagens das amostras com destaque para a diferença entre as cores dos horizontes. A título de exemplo e para fins de demonstração, descrevemos, conjuntamente, o padrão espectral dos horizontes estudados do Argissolo Amarelo (AM-01) e do Gleissolo Háplico (AM-12). O comportamento espectral dessas curvas são consequência da ação mútua de atributos característicos dessas classes de solo, a saber: tamanho de partículas (textura média) e presença de carbono orgânico no solo (COS), bem como de oxi-hidróxidos de Fe e de Al sobre as curvas espectrais dos respectivos horizontes Bt e 5C'g2 (Figura 16.2C).

Em relação aos padrões espectrais da Figura 16.2B, também destacamos o horizonte 4Bhsm do Espodossolo Humilúvico (AM-09) e o Hd3 do Organossolo Háplico (PA-17). Características diferenciais moldam a curva espectral do primeiro de modo a apresentar feições típicas, como o alto albedo e altos picos de absorção em 1400 nm, 1950 nm e 2200 nm causados pela água residual e higroscópica. A textura arenosa do horizonte do Espodossolo, dominada por quartzo nas frações areia e silte, é a responsável pelo alto albedo na curva, o que o posiciona em uma média de 0,65 (Figura 16.2D). Em contraste, o comportamento espectral do horizonte estudado do Organossolo Háplico (Hd3) evidencia a forte relação inversamente proporcional do COS sobre a reflectância. Esse atributo do solo rebaixa o albedo para fatores de reflectância inferiores a 0,3 e oblitera a maior parte das feições de minerais do solo, além de causar o formato convexo nas regiões Vis-NIR (Novais et al., 2023).

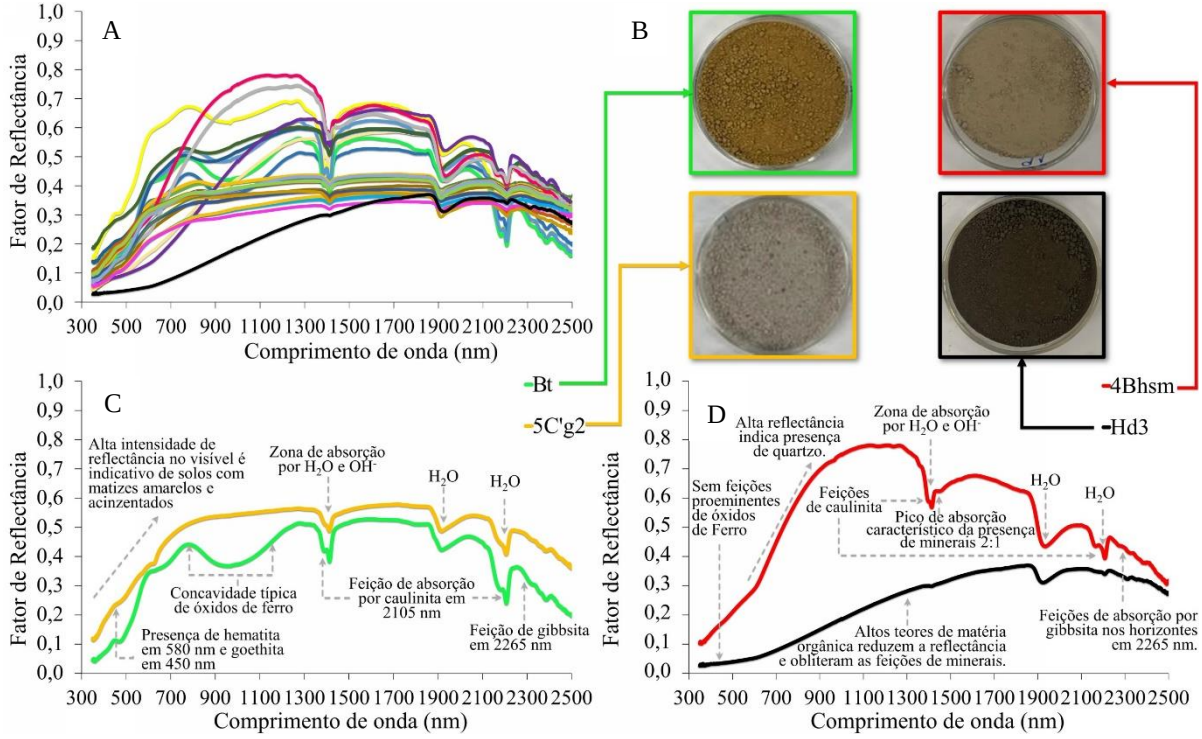


Figura 16.2. Interpretação morfológica do espectro de reflectância dos solos: biblioteca espectral de solos (A); amostras de solos referentes dos horizontes em análise (B); curvas espectrais dos horizontes Bt do Argissolo Amarelo (perfil AM-01) e 5C'g2 do Gleissolo Háplico (perfil AM-12) (C) e curvas espectrais do horizonte Bhsm do Espodossolo Humilúvico (perfil AM-09) e do Hd3 referente ao Organossolo Háplico (perfil PA-17) (D).

3.2. Modelagem

A plataforma BraSpecS modelou com sucesso os quinze atributos dos solos estudados com base nas curvas espectrais inseridas no sistema. Os resultados alcançados revelaram solos de classes texturais variadas com valor médio de pH em torno de 5,5 e, em geral, fertilidade natural de baixa a alta. Esses são atributos típicos de solos de várzeas do Médio curso do Rio Amazonas (Schaefer et al., 2023). As Figuras 16.3A a 16.3G ilustram a distribuição dos atributos do solo observados e preditos.

As Figuras 16.3H e 16.3I apresentam os correlogramas com as variações nos resultados de correlação de Pearson (r) entre teores de atributos dos solos observados e preditos, respectivamente. Os dois gráficos apresentam certa similaridade, o que indica consistência nos dados modelados. Destaca-se a correlação, de moderada a forte, entre as classes de granulometria com os teores de COS (0,61), com a capacidade de troca de cátions (CTC, 0,68) e com a saturação por bases (V%, 0,72) em ambos os gráficos. Contudo, valores de pH modelados não alcançaram correlações significativas com a maioria dos atributos observados. Uma alternativa para melhorar essas correlações pode ser a otimização cuidadosa na construção de um modelo de *machine learning* mais robusto, com a integração de algoritmos para fornecer um método mais preciso de predição do pH e também do fósforo com a ER (Santos et al., 2023).

Os resultados foram consistentes com a maioria dos estudos consultados que se propuseram a analisar os atributos dos solos da região amazônica. Por exemplo, Pinheiro et al.

(2017) modelaram solos da Amazônia ocidental por meio de ER e encontraram teores médios de argila de 257 g kg^{-1} com 0,8 de R^2 e 62 g kg^{-1} de erro nas modelagens. No entanto, divergem em relação aos números alcançados na presente análise, em que obtivemos valores médios de argila de 400 g kg^{-1}, com R^2 de 0,7 e 155,5 g kg^{-1} de RMSE. Diferenças podem ser interpretadas como efeito das particularidades regionais e metodológicas, incluindo a variabilidade natural dos solos na paisagem, o número reduzido de amostras empregadas e a diferença de eficácia entre as técnicas de modelagem utilizadas.

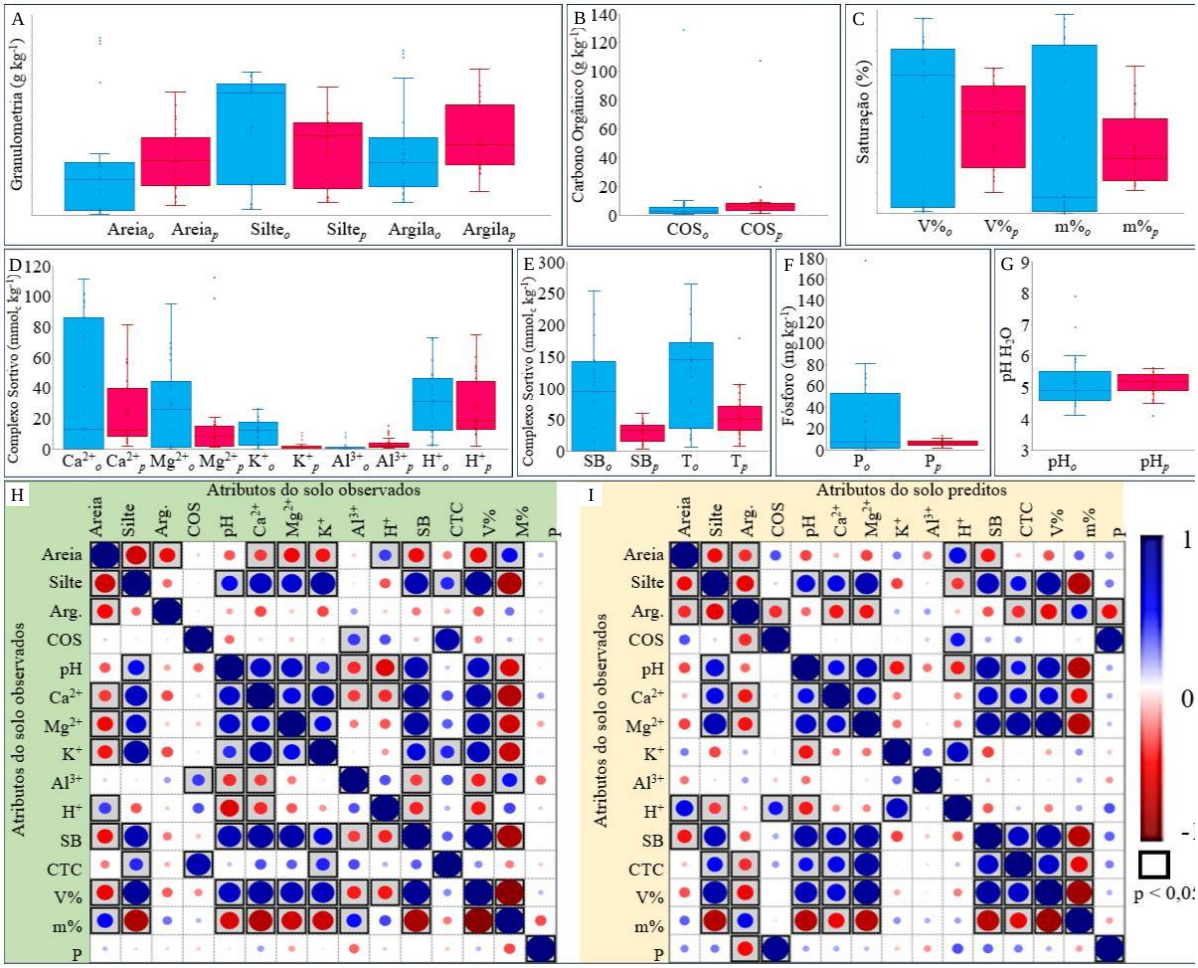


Figura 16.3. Resultados dos atributos dos solos observados em laboratório e modelados via BraSpecS: gráficos de caixa com a estatística descritiva dos dados observados, identificados pelo subscrito "*o*" e preditos, indicados pelo subscrito "*p*" (A – G); correlograma dos dados observados (H); correlograma dos dados preditos (I).

Arg. = argila; COS = carbono orgânico no solo; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions; V% = saturação por bases; m% = saturação por alumínio.

A análise conjunta da Figura 16.3 com a Tabela 16.2 possibilita a observação do desempenho da predição com base nos parâmetros e métricas resultantes dos processamentos. Desse modo, a modelagem on-line alcançou um R^2 médio de 0,7 e valores relativamente baixos de RSME ao confrontá-los com os atributos medidos. Esses resultados sugerem alta capacidade de predição para a maioria dos atributos estudados, especificamente para silte, COS, SB, CTC

e v% que alcançaram valores de R^2 superiores a 0,8. No entanto, os valores de R^2 para potássio (K) e fósforo (P) foram baixos (0,2 e 0,4, respectivamente), o que sugere a necessidade de calibração do modelo e amostragem mais representativa, tal como sugerido por Novais et al. (2024) para situações similares. A grande variabilidade espacial e temporal desses nutrientes no solo dificulta a predição precisa por meio das técnicas utilizadas. Portanto, recomenda-se a inclusão de covariáveis ambientais auxiliares, como clima e outras faixas do espectro eletromagnético, para que possam melhorar a capacidade de modelagem para esses nutrientes específicos.

Tabela 16.2. Coeficientes de determinação entre os dados observados versus preditos e valores da raiz quadrada do erro médio (RMSE) obtidos na modelagem on-line de cada atributo.

Atributo	Areia	Silte	Arg	COS	pH H_2O	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Al^{3+}	H^+	SB	CTC	v%	m%	P
	----- g kg^{-1} -----					----- $mmol_c$ kg^{-1} -----							%		mg kg^{-1}
R^2	0,7	0,9	0,7	0,9	0,4	0,5	0,7	0,2	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,4
RMSE	194,8	162,5	155,5	6,0	0,7	38,6	24,7	46,9	2,9	11,6	81,2	93,0	22,4	27,4	30,2

Arg = Argila; COS = carbono orgânico no solo; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions; v% = saturação por bases; m% = saturação por alumínio.

3.4. Perspectivas para utilização dos dados para o PronaSolos

O Programa Nacional de Levantamento e Interpretação de Solos do Brasil (PronaSolos) é uma iniciativa multi-institucional e governamental que visa fornecer informações sobre solos no Brasil por meio de levantamentos de solos e interpretações de uso em escalas iguais ou mais detalhadas que 1:100.000 (Polidoro et al., 2021). Diante dos resultados alcançados neste estudo, o programa pode beneficiar-se do uso da ER para análise de solo. Anteriormente à década de 2000, esse conceito era considerado como não convencional e amplamente questionado quanto à acurácia dos resultados (Poppiel et al., 2022). No entanto, duas décadas mais tarde, isso se tornou uma realidade graças à compilação da Biblioteca Espectral de Solos do Brasil (Demattê et al., 2022; Novais et al., 2024), que desempenhou um papel fundamental na introdução dessa tecnologia. Em geral, os estudos que se propuseram a modelar solos via ER reafirmam o potencial dessa técnica para suporte às metodologias existentes.

Em termos de custos, segundo a tabela de preços de análises de solos da ESALQ-USP (2016), o valor médio da análise de solo para fins de classificação via método tradicional, que inclui complexo sortivo, granulometria e COS, é de US$ 30,00 (trinta dólares americanos em cotação atual) por amostra, com um tempo médio de 10 dias para entrega dos resultados. Ao considerar os dados deste estudo, seriam necessárias 27 amostras, o que somaria US$ 810,00 para analisar, no máximo, dois horizontes de cada um dos 17 perfis estudados. Além dos custos relativamente altos, deve-se também considerar o tempo requerido para entrega dos resultados (Sousa Junior et al., 2011). Diante do exposto, deve-se avaliar a viabilidade econômica de um levantamento de solo, sobretudo de grandes extensões territoriais e de elevada escala de trabalho que demandam intensiva amostragem de solos.

Assim, a ER oferece uma alternativa mais econômica e rápida ao método tradicional, pois o mesmo número de amostras pode ser analisado em questão de horas ou até minutos, ainda que utilizemos 10% das análises tradicionais para validar o modelo. Essa técnica resulta, portanto, em economia significativa de tempo, recursos humanos e financeiros. Se, por um lado, essa tecnologia ainda está restrita a instituições de pesquisa e empresas devido ao elevado custo de aquisição do equipamento, por outro, algumas iniciativas já se propõem a desenvolver dispositivos de baixo custo para fins de coleta de dados espectrais que podem contornar essas limitações, com resultados promissores (Karyotis et al., 2023).

4. Considerações finais

A ER permitiu avaliar os solos quanto à composição pela interpretação das curvas espectrais coletadas pelo sensor. Dessa forma, identificamos as principais feições das curvas espectrais dos solos, que propiciam a modelagem dos atributos. A inserção da BES no sistema BraSpecS resultou na rápida análise das amostras de terra da Amazônia. Isso mostra a possibilidade de se obter estimativas de diversos atributos do solo via ER e processamento em nuvem, o que prescinde de analisar por métodos tradicionais todas as amostras de um levantamento. Vale ressaltar dois pontos fundamentais para que a espectroscopia difusa funcione de maneira adequada, quais sejam: a) que o usuário tenha acesso a um espectrorradiômetro para leitura da curva espectral em campo ou laboratório e b) que o servidor onde estão alojados os dados primários abranja os padrões de amostras diferentes daqueles inseridos nos algoritmos internos e sejam suficientemente diversificados. No caso, o BraSpecS já possui uma BES interna com resultados analíticos de 49.000 amostras de terra de todos os estados da federação, das quais 16.084 resultados encontram-se disponibilizados gratuitamente (Novais et al., 2024).

Os resultados mostraram-se promissores, sobretudo para predição de granulometria, COS e bases trocáveis (exceto para Ca^{2+} e K^{+}). A chave do sucesso dessa iniciativa está na população de resultados de análise de solo carregada na nuvem (BraSpecS). Nesse sentido, o uso da ER pode contribuir significativamente para o PronaSolos ao conferir eficiência ao processo de análise de solos, pois fornece informações de forma rápida e, praticamente, sem impacto ambiental. As perspectivas são de que o usuário possa obter as leituras espectrais em campo, enviar via internet para o BraSpecS (devidamente atualizado para receber espectros de campo) e receber o resultado em tempo real. Para isso, há a necessidade de investimentos contínuos em pesquisa para otimização da plataforma com a implementação de modelos adaptativos às diversas características de sensores e condições de campo, por exemplo.

Agradecimentos

Os coautores agradecem ao apoio da comissão da XV RCC, ao grupo de pesquisa em Geotecnologias em Ciência do Solo (GeoCiS) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte financeiro (22260-2, 2022/14935-0 e 2021/05129-8).

Referências

ARAÚJO, S. R.; SÖDERSTRÖM, M.; ERIKSSON, J.; ISENDAHL, C.; STENBORG, P.; DEMATTÊ, J. A. M. Determining soil properties in Amazonian Dark Earths by reflectance spectroscopy. **Geoderma**, v. 237/238, p. 308-317, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.09.014.

DEMATTÊ, J. A. M.; BELLINASO, H.; ROMERO, D. J.; FONGARO, C. T. Morphological Interpretation of Reflectance Spectrum (MIRS) using libraries looking towards soil classification. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 6, p. 509-520, 2014. DOI: https://doi.org/10.1590/0103-9016-2013-0365.

DEMATTÊ, J. A. M.; PAIVA, A. F. da S.; POPPIEL, R. R.; ROSIN, N. A.; RUIZ, L. F. C.; MELLO, F. A. de O.; MINASNY, B.; GRUNWALD, S.; GE, Y.; BEN DOR, E.; GHOLIZADEH, A.; GOMEZ, C.; CHABRILLAT, S.; FRANCOS, N.; AYOUBI, S.; FIANTIS, D.; BINEY, J. K. M.; WANG, C.; BELAL, A.; NAIMI, S.; HAFSHEJANI, N. A.; BELLINASO, H.; MOURA-BUENO, J. M.; SILVERO, N. E. Q. Brazilian Soil Spectral Service (BraSpecS): a user-friendly system for global soil spectra communication. **Remote Sensing**, v. 14, n. 3, 740, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/rs14030740.

KARYOTIS, K.; TSAKIRIDIS, N. L.; TZIOLAS, N.; SAMARINAS, N.; KALOPESA, E.; CHATZIMISIOS, P.; ZALIDIS, G. On-site soil monitoring using photonics-based sensors and historical soil spectral libraries. **Remote Sensing**, v. 15, n. 6, 1624, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/rs15061624.

MATHIAN, M.; HEBERT, B.; BARON, F.; PETIT, S.; LESCUYER, J. L.; FURIC, R.; BEAUFORT, D. Identifying the phyllosilicate minerals of hypogene ore deposits in lateritic saprolites using the near-IR spectroscopy second derivative methodology. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 186, p. 298-314, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.11.019.

MENDES, W. de S.; DEMATTÊ, J. A. M.; BONFATTI, B. R.; RESENDE, M. E. B.; CAMPOS, L. R.; COSTA, A. C. S. da. A novel framework to estimate soil mineralogy using soil spectroscopy. **Applied Geochemistry**, v. 127, 104909, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2021.104909.

NOVAIS, J. J. M.; ROSIN, N. A.; ROSAS, J. T. F.; POPPIEL, R. R.; DOTTO, A. C.; PAIVA, A. F. S.; BELLINASO, H.; ALBARRACÍN, H. S. R.; AMORIM, M. T. A.; BARTSCH, B. dos A.; VOGEL, L. G.; MELLO, D. C.; FRANCELINO, M. R.; ALVES, M. R.; FALCIONI, R.; DEMATTÊ, J. A. M. The Brazilian Soil Spectral Library data opening. **Dokuchaev Soil Bulletin**, v. 119, p. 261-305, 2024. DOI: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2024-119-261-305.

NOVAIS, J. J.; POPPIEL, R. R.; LACERDA, M. P. C.; DEMATTÊ, J. A. M. VNIR-SWIR spectroscopy, XRD and traditional analyses for pedomorphogeological assessment in a tropical toposequence. **AgriEngineering**, v. 5, n. 3, p. 1581-1598, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/agriengineering5030098.

PINHEIRO, E. F. M.; CEDDIA, M. B.; CLINGENSMITH, C. M.; GRUNWALD, S.; VASQUES, G. M. Prediction of soil physical and chemical properties by visible and near-infrared diffuse reflectance spectroscopy in the Central Amazon. **Remote Sensing**, v. 9, n. 4, 293, 2017. DOI: https://doi.org/10.3390/rs9040293.

POLIDORO, J. C.; COELHO, M. R.; CARVALHO FILHO, A. de; LUMBRERAS, J. F.; OLIVEIRA, A. P. de; VASQUES, G. de M.; MACARIO, C. G. do N.; VICTORIA, D. de C.; BHERING, S. B.; FREITAS, P. L. de; QUARTAROLI, C. F.; MENDONÇA-SANTOS, M. de L. (ed.). **Programa Nacional de Levantamento e Interpretação de Solos do Brasil (PronaSolos)**: diretrizes para implementação. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2021. E-book. (Embrapa Solos. Documentos, 225). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1135056. Acesso em: 23 jun. 2025.

POPPIEL, R. R.; PAIVA, A. F. da S.; DEMATTÊ, J. A. M. Bridging the gap between soil spectroscopy and traditional laboratory: insights for routine implementation. **Geoderma**, v. 425, 116029, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116029.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003. Acesso em: 23 jun. 2025.

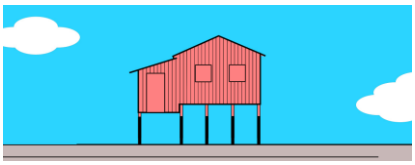
SANTOS, L. A. C. dos; PEDRON, F. de A.; SOUZA JUNIOR, V. S. de; SILVA, L. S.; CAMPOS, M. C. C.; ARAUJO, J. K. S. Magnetic and spectral signature of anthropogenic and non-anthropogenic soils to identify pedogenetic processes in Amazonia, Brazil, **Geoderma Regional**, v. 32, e00622, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00622.

SCHAEFER, C. E. G. R.; LIMA, H. N.; TEIXEIRA, W. G.; VALE, J. F. do; CORRÊA, G. R.; MENDONÇA, B. A. F. de; MELO, V. F.; AMARAL, E. F. do; CAMPOS, M. C. C.; RUIVO, M. de L. P. Soils from Brazilian Amazonia. In: SCHAEFER, C. E. G. R. (ed.). **The soils of Brazil**. Cham: Springer, 2023. cap. 4, p. 85-128. (World soils book series). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-19949-3_4.

SEGOVIA, J. F. O.; ORELLANA, J. B. P.; KANZAKI, L. I. B. Características físico-químicas dos principais solos na Amazônia. In: SEGOVIA, J. F. O. (ed.). **Floricultura tropical**: técnicas e inovações para negócios sustentáveis na Amazônia. Brasília, DF: Embrapa, 2020. cap. 3, p. 43-66. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1129378. Acesso em: 19 abr. 2024.

SOUSA JUNIOR, J. G.; DEMATTÊ, J. A. M.; ARAÚJO, S. R. Modelos espectrais terrestres e orbitais na determinação de teores de atributos dos solos: potencial e custos. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 610-621, 2011. DOI: https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000300017.

Capítulo 17



Avaliação da ocorrência de descontinuidades em perfis da XV RCC

João Herbert Moreira Viana
Eliane de Paula Clemente
José João Lelis Leal de Souza

1. Introdução

A compreensão das características e propriedades do solo é fundamental para o desenvolvimento de práticas agrícolas eficientes e sustentáveis. Dentro desse contexto, as descontinuidades verticais no material constituinte representam heterogeneidade de atributos as quais, quando observadas nos perfis, podem desempenhar um papel relevante no comportamento e funcionamento do solo. Essa heterogeneidade, muitas vezes resultante de processos geológicos/geomorfológicos complexos, pode influenciar diretamente diversos aspectos do solo, como sua capacidade de retenção de água, a disponibilidade de nutrientes e a suscetibilidade à erosão. Buol et al. (2011) destacam que essas descontinuidades podem influenciar significativamente a capacidade de retenção de água e nutrientes, além de afetar a fertilidade do solo. No manejo de solos, reconhecer e entender essas descontinuidades é essencial para otimizar o uso dos recursos naturais, melhorar a produtividade agrícola e mitigar impactos ambientais.

As descontinuidades podem ter um impacto significativo na gênese, na morfologia, na classificação e no comportamento dos solos. Ao longo do perfil, são, portanto, importantes na identificação e na caracterização de solos com horizontes distintos, refletindo diferentes fases de deposição ou de intemperismo de materiais parentais. Diferentes sistemas de classificação de solos ao redor do mundo incorporam o conceito de descontinuidades de maneiras diversas. De acordo com o *World reference base for soil resources* (WRB) (IUSS Working Group WRB, 2022), *lithic discontinuity* é uma propriedade diagnóstica definida como descontinuidade de material parental entre dois horizontes/camadas, expressa por diferenças na textura e/ou na mineralogia. Pode ou não resultar de idades cronológicas diferentes. Os critérios diagnósticos para identificação de descontinuidades são associados a evidências de alúvio, de colúvio, de verve ou de *till* glacial. No caso do *Soil Taxonomy* (Estados Unidos, 2022), a descontinuidade é definida como mudanças significativas na textura e na mineralogia do solo, que representam diferenças na litologia dentro de um solo.

O *Soil Taxonomy* reconhece explicitamente as descontinuidades litológicas, referindo-se a elas como *lithologic discontinuities* (Estados Unidos, 2022), que são utilizadas como critério diagnóstico na classificação de vários grupos de solos, como nas ordens dos *Alfisols*, *Ultisols* e *Mollisols.* São identificadas quando há mudanças distintas na textura, na estrutura ou na mineralogia do solo em profundidade, indicando a presença de diferentes materiais parentais.

O WRB também considera as descontinuidades como um fator importante na classificação de solos, pois são utilizadas para definir atributos diagnósticos que afetam a categorização dos solos em diferentes Grupos de Solos de Referência (IUSS Working Group WRB, 2022).

No Sistema Canadense de Classificação de Solos (Soil Classification Working Group, 1998), as descontinuidades litológicas são consideradas na definição dos horizontes diagnósticos e na caracterização dos perfis de solo. Esse sistema enfatiza a importância de se identificar horizontes de solo com diferentes atributos físicos e químicos que são resultantes de descontinuidades litológicas. Solos como os *Podzols* e os *Luvisols* são frequentemente classificados com base em mudanças nos materiais parentais, que influenciam a formação e a estrutura dos horizontes do solo.

Solos brasileiros frequentemente apresentam variabilidade no material parental, especialmente em regiões de relevo declivoso, com o transporte de materiais para áreas receptoras de sedimentos, como as planícies de inundação. A presença de descontinuidades pode ser identificada por mudanças abruptas na cor, textura e composição mineralógica dos horizontes do solo. Em muitos casos, essas descontinuidades estão associadas a diferenças na origem geológica dos materiais parentais, como na transição entre solos derivados de basaltos e aqueles derivados de granitos (Santos et al., 2018). Segundo alguns autores, a característica morfológica mais marcante que indica a configuração de descontinuidade de materiais de origem é a presença de linha de pedras entre horizontes (Birkeland, 1984; Taylor; Eggleton, 2001), não sendo, entretanto, um critério seguro para sua identificação.

As descontinuidades são usadas no *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* (SiBCS) nas definições do horizonte B textural e da classe dos Cambissolos, mas não são definidas explicitamente nesse sistema. Um esforço tem sido feito no decorrer das últimas reuniões de classificação e correlação de solos para defini-las e traçar métodos práticos para sua identificação e interpretação (Viana et al., 2020, 2023). O esforço de pesquisa nesse campo tem sido conduzido por meio de projetos de pesquisa e revisões de literatura no tema. Entre esses projetos, inclui-se aquele intitulado “Taxonomia de solo movida a ciência em rede”, do Sistema Embrapa de Gestão, que possibilitou a realização da *XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solo*s (XV RCC) em uma região entre os estados do Amazonas e Pará, onde os solos da planície aluvionar do Rio Amazonas oferecem uma oportunidade de se avaliar alguns métodos propostos até o momento para a identificação de descontinuidade litológica.

A XV RCC ocorreu em áreas dos estados do Amazonas e Pará abrangendo tanto solos de várzea como de terra firme do Médio Rio Amazonas e seu entorno, sob vegetação original de floresta, campos, campinaranas e cerrado[1]. Nesses ambientes, depósitos sedimentares predominam como material de origem dos solos, e as descontinuidades são esperadas por estarem associadas aos processos de transporte e deposição nas várzeas (Schaetzl, 1996, 1998; Phillips; Lorz, 2008; Ahr et al., 2017).

Estudos específicos sobre a existência de solos com descontinuidades litológicas na região amazônica ainda são escassos. Destaca-se o trabalho de Novaes Filho et al. (2012) sobre indicativos de descontinuidade litológica, realizado em uma microbacia na região de Juruena, MT. No entanto, estudos sobre a gênese de linhas de pedra (um dos mais evidentes indicadores de descontinuidade litológica) são mais frequentes naquela região (Aleva, 1989; Moura; Kroonenberg, 1989).

Neste trabalho, métodos já propostos nas últimas RCCs (como as razões entre as frações "areia grossa", "areia média" e "silte", e índices compostos por estas frações, como o "valor de uniformidade"), usando os quantitativos das frações granulométricas, são testados em associação com critérios baseados em informações de campo, segundo aqueles do IUSS Working Group WRB (2022) e do Soil Survey Staff (Estados Unidos, 2022). Um método adicional, proposto neste trabalho, é testado, com base em modelagem da curva granulométrica, para averiguar a presença de descontinuidades nos perfis da XV RCC-AM/PA. Essas avaliações representam mais um passo para aprimorar o SiBCS, visando o estabelecimento de ferramentas para a definição, identificação e uso da descontinuidade litológica na classificação dos solos pelo Sistema Brasileiro de Classificação.

2. Material e métodos

2.1. Perfis estudados

Foram selecionados 17 perfis, descritos e coletados conforme Santos et al. (2015) para a XV RCC a fim de se avaliar a presença de descontinuidades (Tabela 1). Foram incluídos perfis que apresentam indícios de presença de descontinuidades, conforme indicado nas descrições morfológicas, bem como perfis para os quais não há indicação ou expectativa daquela, como forma de testar os métodos, em ambos os casos.

[1] Mais informações disponíveis em: https://www.embrapa.br/solos/sibcs/rcc?link=sibcs.

Tabela 17.1. Perfis selecionados para este estudo entre os visitados na XV RCC.

Perfil	Município	Classificação[(1)]
AM-01	Iranduba	Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico
AM-02	Rio Preto da Eva	Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico
AM-05	Itacoatiara	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico
AM-06	Itacoatiara	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico
AM-07	Iranduba	Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico
AM-08	Manacapuru	Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico
AM-09	Manaus	Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico
AM-11	Parintins	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico
AM-12	Parintins	Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico
AM-15	Parintins	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico
AM-16	Parintins	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico
PA-05	Belterra	Latossolo Amarelo Distrófico típico
PA-06	Santarém	Neossolo Quartzarênico Órtico húmico
PA-07	Belterra	Latossolo Amarelo Distrófico húmico
PA-13	Juriti	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico
PA-14	Juriti	Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico
PA-17	Santarém	Organossolo Háplico Hêmico típico

[(1)] Classificação segundo o SiBCS.

Fonte: Santos et al. (2018).

2.2. Análises laboratoriais

As análises granulométricas foram efetuadas segundo o *Manual de métodos de análise de solo* (Teixeira et al., 2017), pelo método da pipeta. Essas análises foram executadas com 25 gramas de terra fina seca ao ar. A umidade foi determinada em estufa a 105 °C, por 24 horas. Utilizou-se o dispersante NaOH 1 mol L^{-1} e 100 ml de água deionizada. Os frascos foram agitados por 16 horas em agitador do tipo Wagner (50 ciclos/minuto). A separação da fração areia deu-se em peneira com abertura de 0,053 mm, pela lavagem com água. A suspensão separada foi colocada em cilindro de sedimentação e o volume, completado para um litro. Posteriormente foi agitada por meio de agitador magnético. Após a homogeneização, foram coletados 25 mL da suspensão contendo as frações "silte + argila", que foi levada para secar em estufa a 105 ºC. A suspensão foi deixada em repouso pelo tempo calculado conforme a Lei de Stokes, ajustada para a temperatura do laboratório. Após esse tempo, foram coletados 25 mL da suspensão para quantificação da argila e levados para secar em estufa a 105 ºC por 48 h. As amostras secas foram pesadas em balança analítica e os resultados, calculados por meio de planilha eletrônica. Os teores de areia e argila foram considerados em escala percentual e o teor de silte foi calculado por diferença ("silte + argila" *menos* "argila").

Para a separação das frações grossas e da areia, procedeu-se ao peneiramento a seco. Para as frações areia, foram utilizadas as peneiras da escala da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e do USDA (Ferreira, 2010): areia muito grossa (2,00 – 1,00 mm), areia média (0,50 – 0,21 mm), areia fina (0,21 – 0,10 mm) e areia muito fina (0,10 – 0,05 mm). Fez-se a determinação da umidade e a correção do valor da massa inicial pelo fator f. Os resultados

foram corrigidos para 100% pela divisão do valor obtido pela soma das frações, com a redistribuição proporcional dos valores.

As análises foram realizadas pelos programas LibreOffice 24.2.3.2 e R (R Core Team, 2019).

2.3. Critérios de avaliação de descontinuidade

A 'descontinuidade' foi considerada presente quando um ou mais dos critérios da IUSS Working Group WRB (2022) foram identificados em horizontes adjacentes, a saber:

a) diferenças texturais não produzidas por processos pedogenéticos:

i. ≥ 10% areia grossa e ≥ 10% areia média, e uma diferença ≥ 25% na razão entre areia grossa e areia média, e uma diferença ≥ 5% (absoluta) no teor de areia grossa e areia média ou
ii. ≥ 10% areia grossa e ≥ 10% areia fina, e uma diferença ≥ 25% na razão entre areia grossa e areia fina, e a diferença ≥ 5% (absoluta) no teor de areia grossa e areia fina ou
iii. ≥ 10% areia média e ≥ 10% areia fina, e uma diferença ≥ 25% na razão entre areia média e areia fina, e diferença ≥ 5% (absoluta) no teor de areia média e areia fina ou
iv. ≥ 10% areia e ≥ 10% silte, e uma diferença ≥ 25% na razão entre areia e silte, e uma diferença ≥ 5% (absoluta) no teor de areia e silte e

b) as diferenças acima não resultam de variações do material parental ou

c) diferenças de mineralogia do material grosso ou

d) diferença abrupta de cor não resultante de processo genético ou

e) diferença na CTC a pH 7,0 por kg de argila ≥ 2.

Foi também utilizado o caráter errático da distribuição de frações grossas (Estados Unidos, 2022) para avaliar a descontinuidade litológica. Neste trabalho não se fez a análise mineralógica das frações grossas.

Foi usado o critério sugerido por Medeiros et al. (2013), baseado em Schaetzl (1998), que utilizam o valor de uniformidade. Esse se baseia na variação das relações de silte, de areia fina e de areia total, conforme descrito em Viana et al. (2023). Deve ser feita a ressalva de que os limites de tamanho das frações granulométricas diferem entre o sistema da WRB e os sistemas brasileiro e americano (por exemplo, os limites de silte são 63 a 2 μm na WRB, e 50 a 2 μm nos outros). Os critérios da WRB foram aplicados conforme os tamanhos das frações granulométricas utilizados no sistema brasileiro. Da mesma forma, para o cálculo da diferença entre os valores de CTC entre horizontes, utilizou-se aqueles obtidos pelo método utilizado no SiBCS (Teixeira et al., 2017), e não pelo extrator NH_4OAc 1 M a pH 7, que é o padrão da WRB.

É proposto neste trabalho um teste de ajuste de modelos que compara os horizontes aos pares a fim de se avaliar se as suas distribuições granulométricas acumuladas são estatisticamente idênticas. Nesse teste, um modelo contínuo da distribuição granulométrica acumulada é ajustado aos dados de todas as frações medidas da análise granulométrica (da

argila ao calhau) para cada horizonte individualmente. Em seguida, o modelo é ajustado aos dados conjuntos de cada par de horizontes (por exemplo, Au1 e Au2, Au2 e Au3 etc.). A soma dos erros quadrados médios do modelo ajustado aos dois horizontes individualmente é comparada ao erro do modelo ajustado aos dados dos dois horizontes em conjunto por meio do teste F. Se o erro somado dos ajustes individuais for maior que o erro do modelo conjunto, os modelos são considerados diferentes e interpretados como pertencentes a duas distribuições diferentes, indicando uma possível descontinuidade. Para este trabalho foi utilizado um modelo de distribuição de Gompertz (1825), uma função sigmoide com três parâmetros ajustáveis (Equação 1).

$$Pr(x) = ae^{(-be^{(-cx)})} \quad (1)$$

onde:

Pr(x): proporção da fração x (%)

a b e c: parâmetros ajustáveis da equação

3. Resultados e discussão

Na Tabela 17.3 são apresentadas as relações de frações (razões entre frações e diferenças absolutas) utilizadas nos cálculos da Tabela 17.4, com base nos resultados da Tabela 2. Nesta, são apresentados os resultados consolidados dos cálculos para verificar a presença de descontinuidade, segundo os critérios da WRB, o critério do valor de uniformidade (Medeiros et al., 2013) e o do teste de comparação de modelos (teste F).

Os perfis que apresentaram descontinuidade entre pelo menos um par de horizontes, por algum dos critérios acima, são AM-01, AM-02, AM-05, AM-07, AM-08, AM-09, AM-11, AM-12, AM-15, AM-16, PA-13, PA-14 e PA-17.

Na Tabela 17.5, estão os atributos de interesse para atendimento dos critérios da WRB e os da *Soil Taxonomy*, extraídos das descrições dos perfis (vide Capítulo 9). Na Tabela 17.4, são apresentados, de forma resumida, os valores principais de cores extraídos das descrições dos perfis, para avaliação do critério de mudança de cor da Tabela 17.4.

Os resultados devem ser vistos como preliminares, uma vez que a avaliação das descontinuidades exige que uma abordagem sistêmica seja efetuada, incorporando uma série de procedimentos em paralelo, de forma a subsidiar com mais robustez as interpretações dos dados. Análises complementares, incluindo as biogeoquímicas e as geomorfológicas, podem ser necessárias para dirimir dúvidas e reduzir as incertezas. No entanto, é importante ter em mente a necessidade do desenvolvimento de um conjunto mínimo de indicadores, que sejam de fácil aplicação nas situações usuais de trabalho de campo e que não impliquem custos extras ou mudanças operacionais nas análises de rotina, para viabilizar o uso dos métodos propostos pelo seu público.

Tabela 17.2. Dados granulométricos dos perfis da XV RCC.

Perfil	Horizonte	Profundidade	AMG[1]	AG	AM	AF	AMF	Silte	Argila
		cm	---------- dag kg^{-1} ----------						
AM-01a		Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico							
	Au1	0-8	3,4	30,4	13,7	7,6	2,5	8,5	33,9
	Au2	8-18	3,4	30,3	13,7	7,6	2,5	7,9	34,6
	Au3	18-37	2,9	26,4	13,1	6,9	2,3	8,0	40,4
	Au4	37-54	2,5	22,5	9,9	5,6	1,9	5,6	52,1
	Au5	54-73	2,4	21,4	9,5	5,3	1,8	5,6	54,0
	ABu	73-95	2,3	20,6	10,1	5,3	1,8	4,3	55,6
	BAu2	78-119	1,7	15,7	6,9	3,9	1,3	2,3	68,1
	Bt	119-153	1,7	14,9	6,0	3,6	1,2	2,1	70,5
	Bw	153-200+	1,7	15,4	6,5	3,8	1,3	2,3	69,1
AM-01b[2]	Au1	0-8	3,4	30,4	13,7	7,6	2,5	8,5	33,9
	Au2	8-18	3,4	30,3	13,7	7,6	2,5	7,9	34,6
	Au3	18-37	2,9	26,4	13,1	6,9	2,3	8,0	40,4
	BAu1	37-78	2,0	18,1	8,1	4,5	1,5	2,9	62,8
	BAu2	78-119	1,7	15,7	6,9	3,9	1,3	2,3	68,1
	Bt	119-153	1,7	14,9	6,0	3,6	1,2	2,1	70,5
	Bw	153-200+	1,7	15,4	6,5	3,8	1,3	2,3	69,1
AM-02		Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico							
	A	0-7	1,3	11,8	3,8	2,7	0,9	6,5	72,9
	BA1	7-15	1,2	10,9	3,1	2,4	0,8	9,3	72,3
	BA2	15-26	1,0	9,4	3,0	2,1	0,7	7,6	76,1
	Bw1	26-42	0,8	6,8	2,3	1,6	0,5	6,0	82,0
	Bw2	42-80	0,9	7,7	2,4	1,7	0,6	4,4	82,4
	Bw3	80-108	0,8	7,5	2,4	1,7	0,6	4,9	82,1
	Bw4	108-163	0,9	8,1	2,4	1,8	0,6	7,4	78,8
	Bwc1	163-177	1,0	8,8	2,6	2,0	0,7	8,7	76,2
	Bwc2	177-200+	1,0	8,8	2,7	2,0	0,7	9,5	75,4
AM-05		Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico							
	Ag	0-5	0,1	0,6	3,6	0,8	0,3	73,2	21,6
	2CAg	5-13	0,1	0,7	1,7	0,4	0,1	76,1	20,9
	3Cg1	13-33	0,0	0,4	2,3	0,5	0,2	77,2	19,3
	3Cg2	33-65	0,0	0,2	0,5	0,1	0,0	67,2	32,1
	4Cg3	65-115	0,0	0,3	0,8	0,2	0,1	71,9	26,7
	4Cg4	115-150	0,0	0,3	0,8	0,2	0,1	77,5	21,1

Continua...

Tabela 17.2. Continuação.

Perfil	Horizonte	Profundidade	AMG[(1)]	AG	AM	AF	AMF	Silte	Argila
		cm	---------- dag kg^{-1} ----------						
AM-06			Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico						
	Apg	0-5	0,0	0,4	14,3	2,7	0,9	67,2	14,4
	2ACg	5-17	0,0	0,4	9,4	1,8	0,6	70,8	16,8
	3Cg1	17-42	0,1	0,5	14,1	2,7	0,9	66,6	15,0
	4Cg2	42-73	0,1	1,0	9,3	1,9	0,6	67,3	19,8
	5Cg3	73-105	0,1	0,6	11,8	2,3	0,8	67,7	16,7
	6Cg4	105-156	0,1	0,7	17,8	3,5	1,2	69,0	7,8
	7Cg5	156-192+	0,0	0,2	8,3	1,6	0,5	72,8	16,7
AM-07			Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico						
	A1	0-4	0,1	0,9	22,3	4,3	1,4	56,0	14,9
	A2	4-15	0,1	1,2	21,9	4,3	1,4	57,6	13,4
	BA	15-35	0,1	0,7	21,7	4,2	1,4	58,2	13,6
	Bi	35-87	0,1	0,6	22,9	4,4	1,5	56,9	13,7
	2C	87-126	0,1	0,7	17,3	3,4	1,1	61,7	15,7
	2Cg	126-200+	0,1	0,5	8,2	1,6	0,5	73,2	15,8
AM-08			Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico						
	A	0-6	0,2	2,1	13,9	3,0	1,0	66,1	13,6
	Btg1	6-30	0,1	0,5	11,2	2,2	0,7	66,2	19,0
	2Btg2	30-49	0,9	8,3	0,0	1,4	0,5	51,2	37,8
	2Btgf1	49-73	0,2	2,1	6,7	1,6	0,5	41,4	47,5
	2Btgf2	73-101	0,3	2,9	9,5	2,3	0,8	36,8	47,4
	2Cg1	101-151	0,2	2,2	5,9	1,5	0,5	41,8	47,9
	3Cg2	151-175	0,3	2,5	1,2	0,7	0,2	8,7	86,4
AM-09			Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico						
	A1	0-8	7,3	65,3	9,1	12,6	4,2	0,5	1,1
	A2	8-23-	7,1	64,0	10,7	12,7	4,2	0,4	0,9
	AE	23-57	6,8	61,5	13,2	12,7	4,2	0,8	0,8
	E1	57-130	6,8	61,4	13,3	12,7	4,2	1,3	0,3
	E2	130-250	6,9	61,7	13,2	12,8	4,3	0,8	0,3
	2 E3	250-317	7,0	63,0	11,6	12,7	4,2	1,2	0,3
	3Bh	317-332	7,0	63,1	4,5	11,4	3,8	1,5	8,7
	4Bhsm	332-352	6,4	58,0	7,4	11,0	3,7	2,3	11,2
	4Bhs	352-380	7,2	65,1	2,9	11,4	3,8	0,9	8,7
	4Bs	380-396	7,0	63,4	3,7	11,3	3,8	1,0	9,8
	5C	396-410	3,3	30,1	25,2	9,7	3,2	9,4	19,0

Continua...

Tabela 17.2. Continuação.

Perfil	Horizonte	Profundidade	AMG[(1)]	AG	AM	AF	AMF	Silte	Argila
		cm	---------- dag kg^{-1} ----------						
AM-11		Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico							
	A1	0-5	0,0	0,3	10,0	1,9	0,6	68,0	19,2
	A2	5-17-	0,0	0,4	7,4	1,4	0,5	71,2	19,2
	Cg1	17-41	0,1	0,5	13,0	2,5	0,8	64,6	18,4
	Cg2	41-61	0,0	0,3	19,8	3,8	1,3	58,1	16,8
	2Cg3	61-70	0,1	0,5	16,3	3,1	1,0	61,5	17,3
	3Cg4	70-86	0,0	0,0	26,0	4,9	1,6	53,2	14,4
	4Cg5	86-115	0,0	0,4	19,0	3,6	1,2	59,5	16,2
	4Cg6	115-160+	0,0	0,4	24,6	4,7	1,6	55,6	13,0
AM-12		Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico							
	Apg1	0-5	2,5	22,7	0,0	3,8	1,3	33,7	36,1
	2Apg2	5-11	1,4	12,4	25,0	6,7	2,2	26,3	26,0
	3Cg	11-38	1,6	14,3	36,8	9,3	3,1	20,6	14,3
	4Abg	38-63	1,7	15,0	39,4	9,9	3,3	16,6	14,0
	4C'g1	63-99	1,5	13,5	39,3	9,6	3,2	18,3	14,6
	5C'g2	99-150	1,7	15,1	37,9	9,6	3,2	17,0	15,5
AM-15		Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico							
	Ag	0-4	0,2	1,5	48,2	9,3	3,1	31,7	6,1
	2C	4-11-	0,1	1,1	63,0	12,0	4,0	16,7	3,2
	3Cg	11-15-	0,1	0,9	15,8	3,1	1,0	66,2	13,0
	4C	15-19	0,1	0,6	57,7	10,9	3,6	21,7	5,3
	5Abg	19-23	0,1	1,0	5,0	1,1	0,4	73,5	19,1
	5Cg1	23-41	0,0	0,3	11,6	2,2	0,7	72,1	13,1
	6Cg2	41-60	0,0	0,3	5,5	1,1	0,4	75,2	17,6
	6Cg3	60-108	0,1	0,6	16,4	3,2	1,1	61,0	17,7
	7Cg4	108-145+	0,0	0,4	28,2	5,3	1,8	49,4	14,9
AM-16		Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico							
	Ag	0-4	0,0	0,4	3,2	0,7	0,2	73,7	21,7
	CAg	4-14-	0,1	0,5	2,6	0,6	0,2	73,4	22,6
	2Abg	14-27	0,2	1,6	0,0	0,3	0,1	61,1	36,8
	2Cg	27-51	0,0	0,1	2,9	0,6	0,2	66,7	29,6
	2Cgn1	51-76	0,8	7,5	0,0	1,3	0,4	75,7	14,3
	2Cgn2	76-119	0,0	0,3	1,9	0,4	0,1	70,0	27,2
	2Cgn3	119-155+	0,1	0,9	3,7	0,8	0,3	72,4	21,8

Continua...

Tabela 17.2. Continuação.

Perfil	Horizonte	Profundidade	AMG[(1)]	AG	AM	AF	AMF	Silte	Argila
		cm	---------- dag kg^{-1} ----------						
PA-05			Latossolo Amarelo Distrófico típico						
	A1	0-8	0,3	2,7	1,2	0,7	0,2	11,4	83,5
	A2	8-27 -	0,1	1,3	0,4	0,3	0,1	10,1	87,6
	BA	27-47	0,1	1,0	0,4	0,2	0,1	6,6	91,6
	Bw1	47-72	0,1	1,0	0,6	0,3	0,1	9,9	88,0
	Bw2	72-130	0,1	0,9	0,4	0,2	0,1	15,2	83,1
	Bw3	130-190+	0,1	0,9	2,4	0,6	0,2	19,1	76,6
PA-06			Neossolo Quartzarênico Órtico húmico						
	A1	0-6	6,5	58,6	7,4	11,2	3,7	2,6	10,0
	A2	6-22 -	6,3	56,9	9,4	11,3	3,8	2,7	9,6
	A3	22-52	6,3	57,0	9,2	11,2	3,7	2,8	9,7
	A4	52-89	6,6	59,7	7,9	11,4	3,8	2,5	7,9
	A5	89-125	6,3	56,5	10,4	11,4	3,8	2,9	8,8
	AC	125-169	6,4	57,3	9,9	11,4	3,8	2,7	8,5
	C	169-205+	6,3	56,6	11,4	11,6	3,9	1,5	8,8
PA-07			Latossolo Amarelo Distrófico húmico						
	A1	0-15	0,3	2,5	1,3	0,7	0,2	6,0	89,1
	A2	15-27	0,2	1,8	1,2	0,5	0,2	7,5	88,7
	A3	27-40	0,2	1,6	1,4	0,5	0,2	7,2	88,9
	A4	40-58	0,2	1,5	1,2	0,5	0,2	7,6	88,9
	A5	58-78	0,2	1,5	1,1	0,4	0,1	6,7	89,9
	AB	78-97	0,2	1,4	1,0	0,4	0,1	7,5	89,4
	BA	97-137	0,1	1,2	1,1	0,4	0,1	11,4	85,7
	Bw	137-200+	0,1	1,1	2,5	0,7	0,2	16,7	78,7
PA-13			Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico						
	Apg	0-5	0,1	0,7	0,8	0,3	0,1	55,4	42,7
	2CAg	5-15-	0,0	0,3	2,0	0,4	0,1	70,7	26,5
	2Cg1	15-32	0,0	0,4	2,6	0,5	0,2	71,4	24,9
	2Cg2	32-55	0,1	0,6	1,3	0,3	0,1	73,0	24,6
	3Cgn1	55-69	0,1	1,0	1,6	0,5	0,2	62,0	34,7
	3Cgn2	69-101	0,0	0,3	0,6	0,2	0,1	70,5	28,2
	3Cgn3	101-145+	0,2	1,7	0,0	0,3	0,1	69,0	28,8

Continua...

Tabela 17.2. Continuação.

Perfil	Horizonte	Profundidade	AMG[(1)]	AG	AM	AF	AMF	Silte	Argila
		cm	---------- dag kg^{-1} ----------						
PA-14			Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico						
	A	0-3	0,5	4,1	0,0	0,7	0,2	32,4	62,1
	2CAvg	3-20-	0,0	0,3	1,5	0,3	0,1	47,5	50,1
	2Cvg1	20-43	0,0	0,3	0,8	0,2	0,1	64,4	34,1
	2Cvg2	43-71	0,0	0,2	0,4	0,1	0,0	59,1	40,2
	2Cvg3	71-113	0,1	0,8	1,1	0,3	0,1	56,9	40,6
	2Cvgn	113-150	0,1	0,7	0,7	0,2	0,1	84,3	13,9
	2C'vg1	150-170	0,1	1,0	1,0	0,4	0,1	95,0	2,4
	2C'vg2	170-205	0,1	1,3	1,2	0,5	0,2	94,7	2,0
PA-17			Organossolo Háplico Hêmico típico						
	Hd1	0-4	0,9	8,0	0,0	1,3	0,4	31,6	57,7
	Hd2	4-12	0,5	4,8	0,0	0,8	0,3	35,5	58,1
	Hd3	12-29	1,6	14,5	2,4	2,9	1,0	30,5	47,3

(1) AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina.

(2) Foram consideradas duas sequências de horizontes para o perfil AM-01, conforme descrito no texto.

Tabela 17.3. Razões e diferenças absolutas entre as frações granulométricas dos perfis da XV RCC, mostradas na Tabela 17.2.

Perfil	Hori.	Prof.	Raz. AG/AM[(1)]	Raz. AG/AF	Raz. AM/AF	Raz. AT/Silte	Dif. Abs/AG	Dif. Abs/AM	Dif. Abs/AF	Dif. Abs/AT	Dif. Abs/Silte
AM-01a					Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico						
	Au1	0-8	0,30	0,30	0,00	6,90	0,1	0,0	0,0	0,1	0,6
	Au2	8-18	9,07	4,55	4,74	11,38	4,4	0,6	0,9	5,9	0,1
	Au3	18-37	11,43	4,46	7,30	14,81	4,3	3,2	1,7	9,2	2,4
	Au4	37-54	0,79	0,56	1,35	4,72	1,2	0,4	0,4	2,0	0,0
	Au5	54-73	9,50	3,78	5,94	22,64	0,9	0,6	0,0	0,3	1,3
	ABu	73-95	10,09	3,61	6,72	27,29	5,5	3,2	1,9	10,6	2,0
	BAu2	78-119	8,85	3,24	5,80	1,70	0,8	0,9	0,4	2,1	0,2
	Bt	119-153	4,91	3,05	1,92	4,36	0,5	0,5	0,3	1,3	0,2
	Bw	153-200+									
AM-01b					Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico						
	Au1	0-8	0,30	0,30	0,00	6,90	0,1	0,0	0,0	0,1	0,6
	Au2	8-18	9,07	4,55	4,74	11,38	4,4	0,6	0,9	5,9	0,1
	Au3	18-37	9,87	4,93	5,19	45,31	9,2	5,0	3,2	17,4	5,1
	BAu1	37-78	1,60	0,12	1,71	8,05	2,7	1,2	0,8	4,7	0,6
	BAu2	78-119	8,85	3,24	5,80	1,70	0,8	0,9	0,4	2,1	0,2
	Bt	119-153	4,91	3,05	1,92	4,36	0,5	0,5	0,3	1,3	0,2
	Bw	153-200+									
AM-02					Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico						
	A	0-7	11,68	3,77	8,22	37,27	1,0	0,7	0,4	2,1	2,8
	BA1	7-15	11,19	1,77	9,58	7,18	1,7	0,1	0,4	2,2	1,7
	BA2	15-26	4,68	2,56	2,17	6,17	2,8	0,7	0,7	4,2	1,6
	Bw1	26-42	7,79	3,21	4,73	33,84	1,0	0,1	0,2	1,3	1,6
	Bw2	42-80	3,49	3,49	0,00	12,23	0,3	0,0	0,0	0,3	0,5
	Bw3	80-108	7,78	3,77	4,17	29,71	0,7	0,0	0,1	0,8	2,5
	Bw4	108-163	0,51	3,21	3,70	6,93	0,8	0,2	0,3	1,3	1,3
	Bwc1	163-177	3,70	0,00	3,70	7,82	0,0	0,1	0,0	0,1	0,8
	Bwc2	177-200+									
AM-05					Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico						
	Ag	0-5	58,68	60,23	3,74	46,56	0,1	1,9	0,6	2,4	2,9
	2CAg	5-13	63,04	64,29	3,36	10,49	0,4	0,6	0,2	0,4	1,1
	3Cg1	13-33	56,52	71,43	34,29	72,97	0,2	1,8	0,6	2,6	10,0
	3Cg2	33-65	6,25	50,00	46,67	38,86	0,1	0,3	0,2	0,6	4,7
	4Cg3	65-115	0,00	0,00	0,00	7,23	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6
	4Cg4	115-150									

Continua...

Tabela 17.3. Continuação.

Perfil	Hori.	Prof.	Raz. AG/AM[(1)]	Raz. AG/AF	Raz. AM/AF	Raz. AT/Silte	Dif. Abs/AG	Dif. Abs/AM	Dif. Abs/AF	Dif. Abs/AT	Dif. Abs/Silte
AM-06					Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico						
	Apg	0-5	34,27	33,33	1,40	36,72	0,0	4,9	1,2	6,1	3,6
	2ACg	5-17	0,00	0,00	0,00	37,29	0,2	4,7	1,2	6,1	4,2
	3Cg1	17-42	64,02	62,12	5,02	30,24	0,5	4,8	1,1	5,4	0,7
	4Cg2	42-73	49,85	48,68	2,27	16,82	0,4	2,5	0,6	2,7	0,4
	5Cg3	73-105	24,24	24,62	0,51	31,76	0,1	6,0	1,6	7,7	1,3
	6Cg4	105-156	46,39	44,05	4,18	56,88	0,6	9,5	2,6	12,7	3,8
	7Cg5	156-192+									
AM-07					Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico						
	A1	0-4	24,46	23,08	1,79	3,11	0,3	0,4	0,0	0,1	1,6
	A2	4-15	37,89	37,36	0,85	3,77	0,5	0,2	0,1	0,8	0,6
	BA	15-35	17,09	16,95	0,16	6,87	0,1	1,2	0,3	1,4	1,3
	Bi	35-87	33,90	33,26	0,95	29,35	0,1	5,6	1,4	6,9	4,8
	2C	87-126	36,80	37,78	1,55	59,35	0,2	9,1	2,4	11,7	11,5
	2Cg	126-200+									
AM-08					Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico						
	A	0-6	67,62	64,02	10,02	27,34	1,7	2,7	1,1	5,5	0,1
	Btg1	6-30	99,99	95,73	99,86	2,28	8,6	11,2	1,0	3,6	15,0
	2Btg2	30-49	99,96	77,38	99,84	19,07	6,9	6,7	0,2	0,0	9,8
	2Btgf1	49-73	1,88	5,75	3,95	37,55	0,9	2,8	1,0	4,7	4,6
	2Btgf2	73-101	17,19	13,98	3,74	42,61	0,8	3,6	1,1	5,5	5,0
	2Cg1	101-151	82,57	61,43	54,80	56,25	0,4	4,7	1,1	5,4	33,1
	3Cg2	151-175									
AM-09					Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico						
	A1	0-8	16,71	2,65	14,45	20,16	1,5	1,6	0,1	0,2	0,1
	A2	8-23-	22,13	3,94	18,94	50,15	2,8	2,5	0,0	0,3	0,4
	AE	23-57	0,90	0,15	0,75	38,46	0,1	0,1	0,0	0,0	0,5
	E1	57-130	1,33	0,59	1,91	38,77	0,4	0,1	0,2	0,5	0,5
	E2	130-250	13,88	3,15	11,08	33,60	1,4	1,6	0,2	0,4	0,4
	2E3	250-317	61,26	10,19	56,87	27,07	0,1	7,1	1,7	8,7	0,3
	3Bh	317-332	44,13	5,01	41,19	37,18	5,7	2,9	0,5	3,3	0,8
	4Bhsm	332-352	65,09	7,90	62,10	62,56	7,9	4,5	0,5	3,9	1,4
	4Bhs	352-380	23,68	1,98	22,14	11,20	1,9	0,8	0,1	1,2	0,1
	4Bs	380-396	93,03	44,47	87,46	91,47	37,0	21,5	2,2	17,7	8,4
	5C	396-410									

Continua...

Tabela 17.3. Continuação.

Perfil	Hori.	Prof.	Raz. AG/AM[(1)]	Raz. AG/AF	Raz. AM/AF	Raz. AT/Silte	Dif. Abs/AG	Dif. Abs/AM	Dif. Abs/AF	Dif. Abs/AT	Dif. Abs/Silte
AM-11					Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico						
	A1	0-5	44,05	42,54	2,63	27,61	0,1	2,6	0,6	3,1	3,2
	A2	5-17-	16,70	15,74	1,13	47,87	0,2	5,6	1,4	7,2	6,6
	Cg1	17-41	66,08	66,57	1,45	39,71	0,3	6,8	1,8	8,3	6,5
	Cg2	41-61	57,47	58,46	2,35	21,31	0,3	3,5	1,0	4,2	3,4
	2Cg3	61-70	98,96	98,95	0,61	44,14	0,6	9,7	2,4	11,5	8,3
	3Cg4	70-86	98,22	98,20	1,04	33,44	0,4	7,0	1,7	8,3	6,3
	4Cg5	86-115	22,76	23,81	1,35	27,75	0,0	5,6	1,5	7,1	3,9
	4Cg6	115-160+									
AM-12					Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico						
	Apg1	0-5	99,98	68,62	99,93	50,41	11,4	25,0	3,8	17,4	7,4
	2Apg2	5-11	21,73	17,30	5,35	42,61	2,1	11,8	3,5	17,4	5,7
	3Cg	11-38	1,90	1,33	0,57	24,30	0,8	2,6	0,8	4,2	4,0
	4Abg	38-63	9,95	7,37	2,78	12,17	1,7	0,1	0,4	2,2	1,7
	4C'g1	63-99	13,90	10,71	3,56	7,65	1,8	1,4	0,0	0,4	1,3
	5C'g2	99-150									
AM-15					Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico						
	Ag	0-4	45,99	45,29	1,28	59,08	0,5	14,8	3,6	17,9	15,0
	2C	4-11-	69,91	69,25	2,13	93,43	0,2	47,2	11,9	59,3	49,5
	3Cg	11-15-	80,83	80,21	3,16	90,60	0,3	41,9	10,4	52,0	44,5
	4C	15-19	94,49	93,42	16,23	96,92	0,4	52,7	13,0	65,3	51,8
	5Abg	19-23	87,85	85,42	16,67	49,66	0,8	6,6	1,4	7,2	1,4
	5Cg1	23-41	52,59	48,28	8,33	52,68	0,0	6,1	1,4	7,5	3,1
	6Cg2	41-60	24,27	21,23	3,86	72,29	0,4	10,9	2,8	14,1	14,2
	6Cg3	60-108	66,77	65,39	3,98	51,46	0,3	11,8	2,8	14,3	11,6
	7Cg4	108-145+									
AM-16					Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico						
	Ag	0-4	45,83	40,74	8,59	10,75	0,2	0,6	0,1	0,5	0,3
	CAg	4-14-	99,87	83,33	99,23	33,63	1,2	2,6	0,4	1,8	12,3
	2Abg	14-27	99,98	96,94	99,31	36,68	1,7	2,9	0,4	1,6	5,6
	2Cg	27-51	100,00	97,18	99,84	56,80	8,2	2,9	0,9	6,2	9,0
	2Cgn1	51-76	99,98	87,30	99,85	70,72	8,0	1,9	1,2	7,3	5,7
	2Cgn2	76-119	39,63	31,80	11,48	51,67	0,7	1,8	0,6	3,1	2,4
	2Cgn3	119-155+									

Continua...

Tabela 17.3. Continuação.

Perfil	Hori.	Prof.	Raz. AG/AM[(1)]	Raz. AG/AF	Raz. AM/AF	Raz. AT/Silte	Dif. Abs/AG	Dif. Abs/AM	Dif. Abs/AF	Dif. Abs/AT	Dif. Abs/Silte
PA-05					Latossolo Amarelo Distrófico típico						
	A1	0-8	28,57	4,76	25,00	51,31	1,6	0,8	0,5	2,9	1,3
	A2	8-27 -	21,43	4,55	25,00	20,13	0,3	0,0	0,1	0,4	3,5
	BA	27-47	33,33	25,00	11,11	22,22	0,0	0,2	0,1	0,3	3,3
	Bw1	47-72	26,67	17,50	11,11	47,27	0,1	0,2	0,1	0,4	5,3
	Bw2	72-130	83,33	62,50	55,56	49,14	0,0	2,0	0,5	2,5	3,9
	Bw3	130-190+									
PA-06					Neossolo Quartzarênico Órtico húmico						
	A1	0-6	23,57	4,20	20,22	3,37	1,9	2,0	0,2	0,3	0,1
	A2	6-22 -	2,28	1,48	0,81	3,90	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1
	A3	22-52	18,02	2,60	15,83	12,71	3,0	1,3	0,3	2,0	0,3
	A4	52-89	28,05	5,28	24,04	14,76	3,5	2,5	0,0	1,0	0,4
	A5	89-125	6,15	1,41	4,81	7,32	0,9	0,5	0,0	0,4	0,2
	AC	125-169	14,25	3,17	11,44	45,06	0,8	1,5	0,3	1,0	1,2
	C	169-205+									
PA-07					Latossolo Amarelo Distrófico húmico						
	A1	0-15	22,62	8,16	15,74	37,60	0,8	0,1	0,2	1,1	1,5
	A2	15-27	22,86	10,00	14,29	4,00	0,2	0,2	0,0	0,0	0,3
	A3	27-40	9,24	5,56	14,29	12,55	0,1	0,2	0,0	0,3	0,4
	A4	40-58	8,33	28,57	22,08	3,83	0,0	0,1	0,2	0,3	0,9
	A5	58-78	3,41	5,88	9,09	16,08	0,1	0,1	0,0	0,2	0,8
	AB	78-97	26,14	18,75	9,09	38,46	0,3	0,1	0,0	0,2	3,9
	BA	97-137	59,39	48,72	20,80	7,65	0,1	1,4	0,4	1,7	5,3
	Bw	137-200+									
PA-13					Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico						
	Apg	0-5	84,50	69,00	50,00	9,17	0,5	1,2	0,1	0,8	15,3
	2CAg	5-15-	1,71	5,53	7,14	23,51	0,1	0,6	0,2	0,9	0,7
	2Cg1	15-32	70,71	66,53	12,50	36,73	0,3	1,3	0,3	1,3	1,6
	2Cg2	32-55	21,68	10,20	29,67	40,05	0,4	0,3	0,3	1,0	11,0
	3Cgn1	55-69	24,85	34,24	12,50	68,70	0,8	1,0	0,4	2,2	8,5
	3Cgn2	69-101	99,73	78,25	98,75	48,73	1,6	0,6	0,1	1,1	1,5
	3Cgn3	101-145+									

Continua...

Tabela 17.3. Continuação.

Perfil	Hori.	Prof.	Raz. AG/AM[(1)]	Raz. AG/AF	Raz. AM/AF	Raz. AT/Silte	Dif. Abs/AG	Dif. Abs/AM	Dif. Abs/AF	Dif. Abs/AT	Dif. Abs/Silte
PA-14					Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico						
	A	0-3	99,96	84,84	99,70	72,64	4,3	1,5	0,5	3,3	15,1
	2CAvg	3-20-	46,67	25,00	28,89	52,94	0,0	0,7	0,1	0,8	16,9
	2Cvg1	20-43	26,19	45,87	26,67	44,36	0,1	0,4	0,2	0,7	5,3
	2Cvg2	43-71	35,83	15,15	24,38	71,12	0,7	0,7	0,3	1,7	2,2
	2Cvg3	71-113	28,41	15,63	15,15	49,38	0,1	0,4	0,1	0,6	27,4
	2Cvgn	113-150	3,75	17,50	14,29	21,98	0,3	0,3	0,2	0,8	10,7
	2C'vg1	150-170	5,71	9,09	14,29	21,46	0,3	0,2	0,2	0,7	0,3
	2C'vg2	170-205									
PA-17					Organossolo Háplico Hêmico típico						
	Hd1	0-4	40.45	7.97	35.29	46.22	3.6	0.0	0.6	4.2	3.9
	Hd2	4-12	98.73	14.32	98.52	75.41	10.8	2.4	2.8	16.0	5.0
	Hd3	12-29									

[(1)] Raz. AG/AM: razão areia grossa/areia média entre os horizontes. Raz. AG/AF: razão areia grossa/areia fina entre os horizontes. Raz. AM/AF: razão areia média/areia fina entre os horizontes. Raz. AT/Silte: razão areia total/silte entre os horizontes. Dif. abs. AG: diferença absoluta da areia grossa entre os horizontes. Dif. abs. AM: diferença absoluta da areia média entre os horizontes. Dif. abs. AF: diferença absoluta da areia fina entre os horizontes. Dif. abs. AT: diferença absoluta da areia total entre os horizontes. Dif. abs. Silte: diferença absoluta do silte entre os horizontes.

Tabela 17.4. Critérios quantitativos para identificação de descontinuidades baseados nos valores mínimos, diferenças e razões entre as frações granulométricas para a avaliação de descontinuidades

Perfil	Hori.	Prof.	Cor Munsell	Critério 2a.i[(1)]	Critério 2aii	Critério 2a.iii	Critério 2a.iv	Dif. at. Arg.	Val.Unif.	Teste F	Descont.[(2)]
AM-01a			Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico								
	Au1	0-8	10YR 2/1	0	0	0	0	1,2	0,03	1,000	
	Au2	8-18	10YR 2/1	0	0	0	0	1,2	0,06	0,400	
	Au3	18-37	10YR 2/1	0	0	0	0	1,3	0,08	0,051	
	Au4	37-54	10YR 2/2	0	0	0	0	1,0	0,02	0,050	*
	Au5	54-73	10YR 2/2	0	0	0	0	1,1	0,10	0,098	
	ABu	73-95	10YR 3/2	0	0	0	0	2,7	0,12	0,010	*
	BAu2	78-119	9YR 6/6	0	0	0	0	1,1	0,01	0,662	
	Bt	119-153	7,5YR 6/6	0	0	0	0	1,1	0,03	0,957	
	Bw	153-200+	7,5YR 5/6								
AM-01b			Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico								
	Au1	0-8	10YR 2/1	0	0	0	0	1,2	0,03	1,000	
	Au2	8-18	10YR 2/1	0	0	0	0	1,2	0,06	0,400	
	Au3	18-37	10YR 2/1	1	0	0	1	3,0	0,29	0,007	*
	BAu1	37-78	9YR 6/6	0	0	0	0	1,3	0,02	0,198	
	BAu2	78-119	9YR 6/6	0	0	0	0	1,1	0,01	0,662	
	Bt	119-153	7,5YR 6/6	0	0	0	0	1,1	0,03	0,957	
	Bw	153-200+	7,5YR 5/6								
AM-02			Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico								
	A	0-7	10YR 4/3	0	0	0	0	2,9	0,27	0,986	*
	BA1	7-15	10YR 5/5	0	0	0	0	1,4	0,06	0,775	
	BA2	15-26	8YR 6/6	0	0	0	0	1,3	0,05	0,176	
	Bw1	26-42	7,5YR 6,5/6	0	0	0	0	1,3	0,34	0,983	
	Bw2	42-80	7,5YR 7/7	0	0	0	0	1,0	0,10	1,000	
	Bw3	80-108	7,5YR 7/7	0	0	0	0	1,5	0,22	0,833	
	Bw4	108-163	7,5YR 7/7	0	0	0	0	1,0	0,07	0,000	*
	Bwc1	163-177	7,5YR 7,5/6	0	0	0	0	2,0	0,06	0,001	*
	Bwc2	177-200+	7,5YR 7,5/6								
AM-05			Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico								
	Ag	0-5	10YR 4/2	0	0	0	0	1,0	0,44	0,918	
	2CAg	5-13	10YR 5/1,5	0	0	0	0	1,2	0,06	0,956	
	3Cg1	13-33	10YR 5/1,5	0	0	0	0	1,3	0,70	0,012	*
	3Cg2	33-65	10GY 6/1	0	0	0	0	0,8	0,47	1,000	
	4Cg3	65-115	10GY 6/1	0	0	0	0	0,9	0,07	0,069	
	4Cg4	115-150	N 6/								

Continua...

Tabela 17.4. Continuação.

Perfil	Hori.	Prof.	Cor Munsell	Critério 2a.i[(1)]	Critério 2aii	Critério 2a.iii	Critério 2a.iv	Dif. at. Arg.	Val.Unif.	Teste F	Descont.[(2)]
AM-06				Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico							
	Apg	0-5	10YR 5/1,5	0	0	0	0	1,3	0,36	0,980	
	2ACg	5-17	10YR 5/1	0	0	0	0	0,9	0,56	0,979	
	3Cg1	17-42	7,5YR 5,5/4	0	0	0	0	1,4	0,29	0,968	
	4Cg2	42-73	10YR 5/1	0	0	0	0	0,9	0,19	0,999	
	5Cg3	73-105	7,5YR 4/4	0	0	0	0	0,8	0,43	0,900	
	6Cg4	105-156	10YR 5/1	0	0	0	0	1,1	0,55	0,617	
	7Cg5	156-192+	10YR 5/1,5								
AM-07				Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico							
	A1	0-4	10YR 4/4	0	0	0	0	0,8	0,03	1,000	
	A2	4-15	10YR 5/4	0	0	0	0	1,1	0,04	1,000	
	BA	15-35	10YR 5/3	0	0	0	0	1,1	0,07	1,000	
	Bi	35-87	10YR 4/3	0	0	0	0	1,2	0,27	0,999	
	2C	87-126	7,5YR 4/3	0	0	0	1	1,0	0,57	1,000	*
	2Cg	126-200+	10YR 4/2								
AM-08				Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico							
	A	0-6	10YR 5/3	0	0	0	0	1,6	0,26	0,969	
	Btg1	6-30	2,5Y 7/1	1	0	0	0	1,4	0,02	0,328	*
	2Btg2	30-49	2,5Y 7/1	0	0	0	0	1,0	0,19	0,765	
	2Btgf1	49-73	5YR 7/1	0	0	0	0	0,8	0,54	1,000	
	2Btgf2	73-101	5PB 7/1	0	0	0	0	0,9	0,41	1,000	
	2Cg1	101-151	5PB 7,5/1	0	0	0	1	0,9	1,20	0,011	*
	3Cg2	151-175	10B 8/1								
AM-09				Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico							
	A1	0-8	7,5YR 5/2	0	0	0	0		0,00	1,000	
	A2	8-23	10YR 5/2	0	0	0	0		0,03	1,000	
	AE	23-57	2,5Y 7/1	0	0	0	0		0,03	1,000	
	E1	57-130	2,5Y 6/2	0	0	0	0		0,02	1,000	
	E2	130-250	2,5Y 8/1	0	0	0	0		0,01	0,987	
	2E3	250-317	2,5Y 7/1	1	0	0	0		0,01	0,549	*
	3Bh	317-332	10YR 2/1	0	0	0	0		0,06	0,989	
	4Bhsm	332-352	10YR 6/6	0	0	0	0		0,11	0,964	
	4Bhs	352-380	7,5YR 3/3	0	0	0	0		0,02	1,000	
	4Bs	380-396	2,5Y 7/6	1	0	0	1		0,43	0,045	*
	5C	396-410+	2,5Y 8/2								

Continua...

Tabela 17.4. Continuação.

Perfil	Hori.	Prof.	Cor Munsell	Critério 2a.i[(1)]	Critério 2aii	Critério 2a.iii	Critério 2a.iv		Dif. at. Arg.	Val. Unif.	Teste F	Descont.[(2)]
AM-11			Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico									
	A1	0-5	10YR 4/2,5	0	0	0	0	1,0	0,27		0,998	
	A2	5-17	10YR 4/2,5	0	0	0	0	1,0	0,88		0,893	*
	Cg1	17-41	5Y 6/1	0	0	0	0	0,9	0,59		1,000	
	Cg2	41-61	N 5/	0	0	0	0	1,1	0,19		0,261	
	2Cg3	61-70	N 4/	0	0	0	1	0,9	0,69		0,200	*
	3Cg4	70-86	10YR 4/3	0	0	0	0	1,1	0,31		0,997	
	4Cg5	86-115	N 4/	0	0	0	0	1,0	0,34		0,999	
	4Cg6	115-160+	10YR 4/1									
AM-12			Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico									
	Apg1	0-5	10YR 4/1,5	1	0	0	1	1,2	0,70		0,417	*
	2Apg2	5-11	N 5/	0	0	0	1	1,3	0,45		0,183	*
	3Cg	11-38	10YR 5/2,5	0	0	0	0	1,4	0,18		0,986	
	4Abg	38-63	7,5YR 4/2	0	0	0	0	0,9	0,07		0,999	
	4C'g1	63-99	10YR 7/1	0	0	0	0	1,5	0,05		1,000	
	5C'g2	99-150	2,5Y 7/1,5									
AM-15			Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico									
	Ag	0-4	10YR 4/2	0	0	1	1	0,8	0,74		0,446	*
	2C	4-11	10YR 5/2,5	0	0	1	1	2,2	0,88		0,013	*
	3Cg	11-15	10YR 4/2,5	0	0	1	1	1,9	5,75		0,018	*
	4C	15-19	10YR 4/4	0	0	1	1	0,6	0,95		0,004	*
	5Abg	19-23	10YR 3/2	0	0	0	0	1,0	0,95		0,696	*
	5Cg1	23-41	10YR 6/2,5	0	0	0	0	1,4	0,52		0,730	
	6Cg2	41-60	2,5Y 6/1,5	0	0	0	1	1,1	2,46		0,552	*
	6Cg3	60-108	2,5Y 5,5/1	0	0	0	1	0,7	0,93		0,169	*
	7Cg4	108-145+	7,5YR 6/1									

Continua...

Tabela 17.4. Continuação.

Perfil	Hori.	Prof.	Cor Munsell	Critério 2a.i[(1)]	Critério 2aii	Critério 2a.iii	Critério 2a.iv	Dif. at. Arg.	Val.Unif.	Teste F	Descont.[(2)]
AM-16			Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico								
	Ag	0-4	7,5YR 4/2	0	0	0	0	1,0	0,11	1,000	
	CAg	4-14	7,5YR 4,5/2	0	0	0	0	1,3	0,32	1,000	
	2Abg	14-27	N 4/	0	0	0	0	1,2	0,52	1,000	
	2Cg	27-51	N 7/	0	0	0	0	0,6	1,41	0,114	*
	2Cgn1	51-76	N 7/	0	0	0	0	1,1	0,71	0,132	
	2Cgn2	76-119	N 6/	0	0	0	0	0,8	1,04	0,317	*
	2Cgn3	119-155+	7,5YR 5/5								
PA-05			Latossolo Amarelo Distrófico típico								
	A1	0-8	10YR 4/2	0	0	0	0	2,0	0,50	0,457	*
	A2	8-27	10YR 4/3	0	0	0	0	1,5	0,27	0,954	
	BA	27-47	10YR 6/5	0	0	0	0	1,2	0,24	0,972	
	Bw1	47-72	9YR 6/6	0	0	0	0	1,3	0,45	1,000	
	Bw2	72-130	9YR 6/8	0	0	0	0	1,0	0,89	0,509	*
	Bw3	130-190+	9YR 6/8								
PA-06			Neossolo Quartzarênico Órtico húmico								
	A1	0-6	10YR 3/1	0	0	0	0		0,02	1,000	
	A2	6-22	10YR 2/1	0	0	0	0		0,00	1,000	
	A3	22-52	10YR 2/1	0	0	0	0		0,02	0,999	
	A4	52-89	10YR 2,5/1	0	0	0	0		0,04	1,000	
	A5	89-125	10YR 3/1,5	0	0	0	0		0,02	1,000	
	AC	125-169	7,5YR 4/2	0	0	0	0		0,06	1,000	
	C	169-205+	7,5YR 5/5								
PA-07			Latossolo Amarelo Distrófico húmico								
	A1	0-15	10YR 2/1	0	0	0	0	1,3	0,34	1,000	
	A2	15-27	10YR 2/1	0	0	0	0	1,4	0,04	1,000	
	A3	27-40	10YR 2,5/1	0	0	0	0	1,5	0,14	1,000	
	A4	40-58	10YR 3/2	0	0	0	0	1,3	0,11	1,000	
	A5	58-78	10YR 4/2,5	0	0	0	0	1,6	0,16	1,000	
	AB	78-97	10YR 5/4	0	0	0	0	1,2	0,38	1,000	
	BA	97-137	9YR 6/6	0	0	0	0	1,5	0,04	0,694	
	Bw	137-200+	9YR 6/8								

Continua...

Tabela 17.4. Continuação.

Perfil	Hori.	Prof.	Cor Munsell	Critério 2a.i[(1)]	Critério 2aii	Critério 2a.iii	Critério 2a.iv	Dif. at. Arg.	Val.Unif.	Teste F	Descont.[(2)]
PA-13					Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico						
	Apg	0-5	10YR 4/2	0	0	0	0	0,8	0,13	0,037	*
	2CAg	5-15-	10YR 5,5/2	0	0	0	0	0,9	0,29	0,938	
	2Cg1	15-32	10YR 5/2	0	0	0	0	1,1	0,35	0,981	
	2Cg2	32-55	10YR 6/1,5	0	0	0	0	1,0	0,58	1,000	
	3Cgn1	55-69	N 5/	0	0	0	0	1,1	0,70	0,151	*
	3Cgn2	69-101	N 6,5/	0	0	0	0	0,8	1,14	0,004	*
	3Cgn3	101-145+	N 6,5/								
PA-14					Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico						
	A	0-3	10YR 3/2	0	0	0	0	1,4	0,73	0,278	*
	2CAvg	3-20-	10YR 5/1	0	0	0	0	0,9	0,55	1,000	
	2Cvg1	20-43	N 6,5/	0	0	0	0	1,0	0,40	0,145	
	2Cvg2	43-71	N 6/	0	0	0	0	0,7	2,39	1,000	*
	2Cvg3	71-113	N 5,5/	0	0	0	0	1,0	0,49	1,000	
	2Cvgn	113-150	N 6/	0	0	0	0	1,0	0,24	0,023	*
	2C'vg1	150	N 6/	0	0	0	0	0,9	0,24	1,000	
	2C'vg2	170	5BG 7/1								
PA-17					Organossolo Háplico Hêmico típico						
	Hd1	0-4	10YR 2/1	0	0	0	0	1,1	0,46	1,000	
	Hd2	4-12	10YR 2/1	0	0	0	1	0,4	2,71	0,188	*
	Hd3	12-29	10YR 2/1								

[(1)] Critério 2a.i: critério diagnóstico 2a item i (valores mínimos, diferenças e razão das frações areia grossa/areia média). Critério 2a.ii: critério diagnóstico 2a item ii (valores mínimos, diferenças e razão das frações areia grossa/areia fina). Critério 2a.iii: critério diagnóstico 2a item iii (valores mínimos, diferenças e razão das frações areia média/areia fina). Critério 2a.iv: critério diagnóstico 2a item iv (valores mínimos, diferenças e razão das frações areia total/silte). Dif. at. Arg.: diferença da atividade da fração argila. Descont.: descontinuidade possivelmente presente.

(2) Descont.: Descontinuidade. Os pares de horizontes que atendem aos requisitos descritos na WRB - Soil Taxonomy, Medeiros et al. (2013) e/ou comparação de modelos, para, pelo menos, uma das relações, estão assinalados na última coluna com um asterisco. O valor 0 em um critério (2a.i a 2a.iv) indica que este não é atendido.

Tabela 17.5. Critérios de campo e de laboratório (WRB e *Soil Taxonomy*) sugeridos para caracterização de descontinuidade pelos perfis. Os itens assinalados com X foram atendidos em, pelo menos, um horizonte dos perfis.

Perfil	Linhas de pedra	Frag. Roc. Lit. [(1)]	Frag. Roc. int.	Frag. Roc. Form.	Dec. frac. Gros.	Mud. Cor	Mud. Text.	Car. Errat.	Evid. Arqueol.	Descont.
AM-01a									X	X
AM-01b									X	X
AM-02	X									X
AM-05		X				X	X			X
AM-06										
AM-07										
AM-08						X	X			X
AM-09				X	X			X		X
AM-11		X				X	X			X
AM-12						X	X			X
AM-15		X						X		X
AM-16						X	X	X		X
PA-05										
PA-06										
PA-07									X	X
PA-13						X	X	X		X
PA-14		X								X
PA-17										

[(1)] Frag. Roc. Lit. = fragmentos de rocha com diferenças de litologia. Frag. Roc. int. = fragmentos de rocha com diferentes graus de intemperismo. Frag. Roc. Form. = fragmentos de rocha com diferentes formatos e graus de arredondamento. Dec. frac. Gros. = decréscimo do teor da fração grossa com o aumento da profundidade. Mud. Cor = mudanças de cor não atribuíveis aos processos pedogenéticos. Mud. Text. = mudanças texturais abruptas. Car. Errat. = caráter errático da textura do solo. Evid. Arqueol. = evidências arqueológicas. Descont. WRB = Descontinuidade presente segundo os critérios da WRB e *Soil Taxonomy* em, pelo menos, um horizonte.

Perfil AM-01

O perfil AM-01 foi classificado como Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico e apresenta horizontes descontínuos na descrição do perfil (Figura 17.1). Assim, para as análises, foram consideradas duas sequências de horizontes, tendo em conta seus lados esquerdo (a' → b') e direito (c'→ d'), respectivamente identificados como perfis AM-01a e AM-01b. Para os dois casos foram aplicados os mesmos procedimentos.

O solo deste perfil apresenta um incremento da fração argila e um decréscimo das demais frações em profundidade de forma regular (Figuras 17.2 e 17.3), passando de textura média para muito argilosa em ambas as sequências (Figuras 17.4 e 17.5). Em ambas as sequências, são atendidos os critérios para a indicação positiva de descontinuidade da WRB-*Soil Taxonomy* de *diferença de atividade da fração argila* (Tabela 17.4), da presença de *evidências arqueológicas* (*fragmentos de cerâmica em comum quantidade nos horizontes Au*) (Tabela 17.5) e do critério do *teste F* entre horizontes (Tabela 17.4). Na sequência (a' → b'), os indícios de descontinuidade estão entre os horizontes ABu e BAu2, enquanto na sequência (c'→ d') estão entre os horizontes Au3 e BAu1. Em ambos os casos, há um incremento no teor da fração grossa (*fragmentos de cerâmica)* acima desse contato (Figuras 17.2 e 17.3), o que também aponta para uma possível descontinuidade. A comparação de modelos para a sequência (a' → b') pode ser observada na Figura 17.6, em que se vê a distinção das curvas granulométricas entre os horizontes ABu e BAu2. A indicação de descontinuidade não tem implicações taxonômicas, mas pode indicar possível efeito da atividade humana na área.

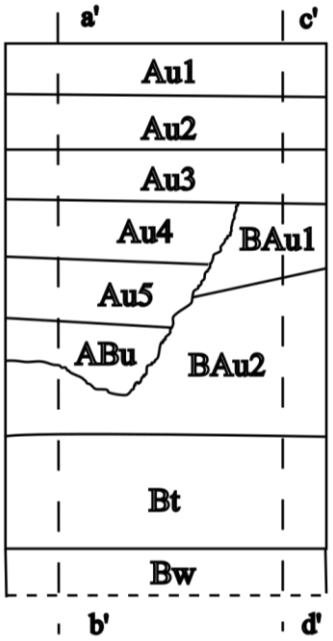


Figura 17.1. Representação esquemática da distribuição de horizontes do perfil AM-01, com a indicação das duas sequências utilizadas para interpretação dos dados (a' → b', AM-01a, e c'→ d', AM-01b).

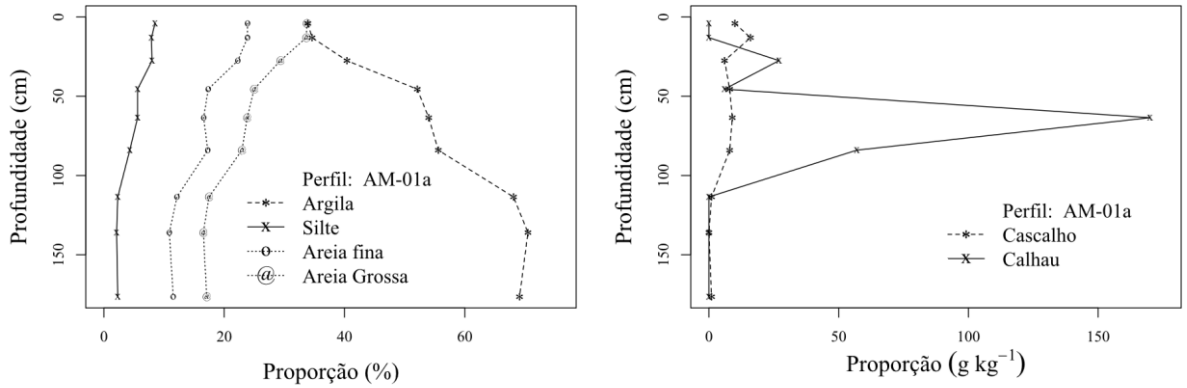


Figura 17.2. Distribuição granulométrica das frações da terra fina e das frações grossas (cascalhos e calhaus) do perfil AM-01a (Iranduba, AM).

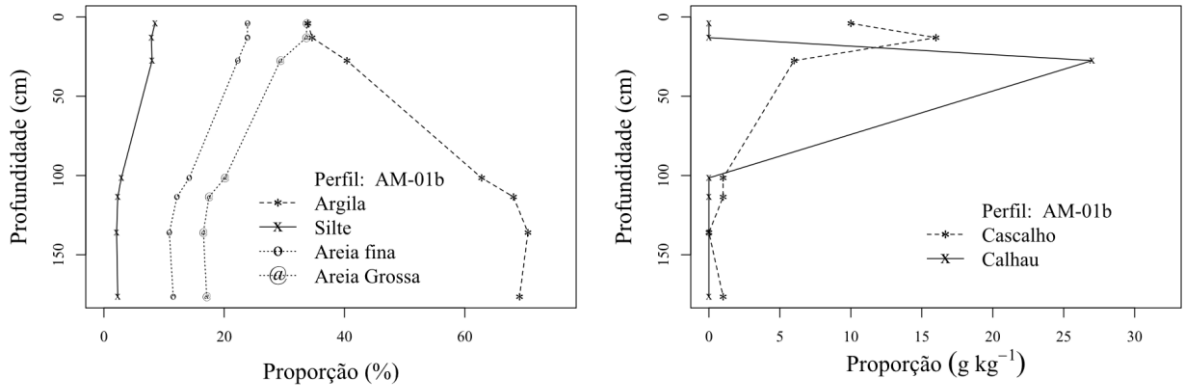


Figura 17.3. Distribuição granulométrica das frações da terra fina e das frações grossas (cascalhos e calhaus) do perfil AM-01b (Iranduba, AM).

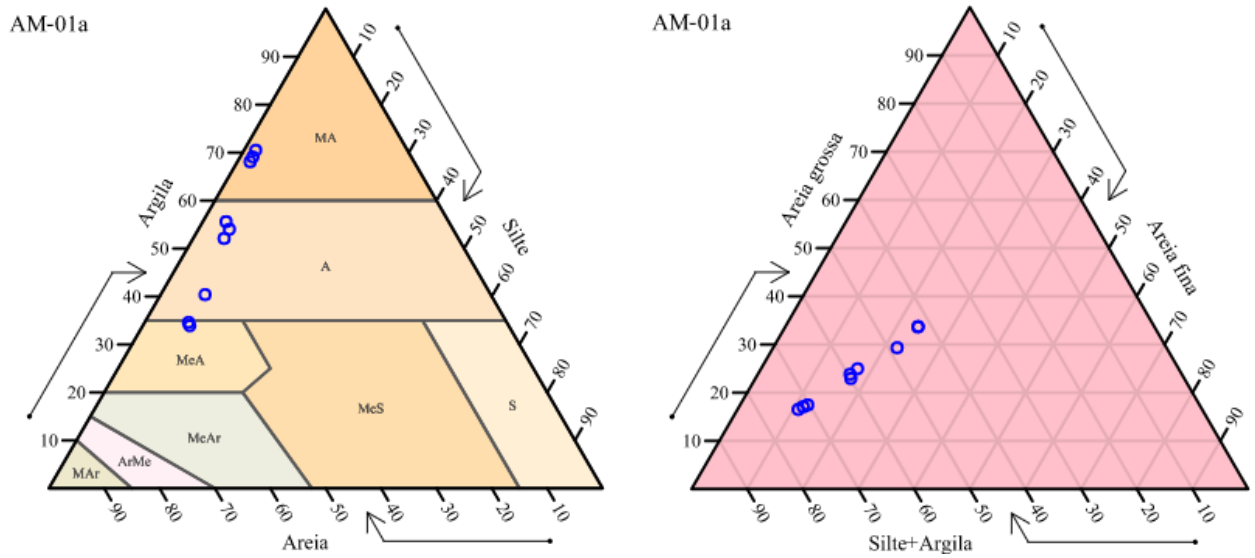


Figura 17.4. Triângulo textural das frações da terra fina e de areias dos horizontes do perfil AM-01a. As setas indicam a direção de aumento do valor da fração textural indicada.

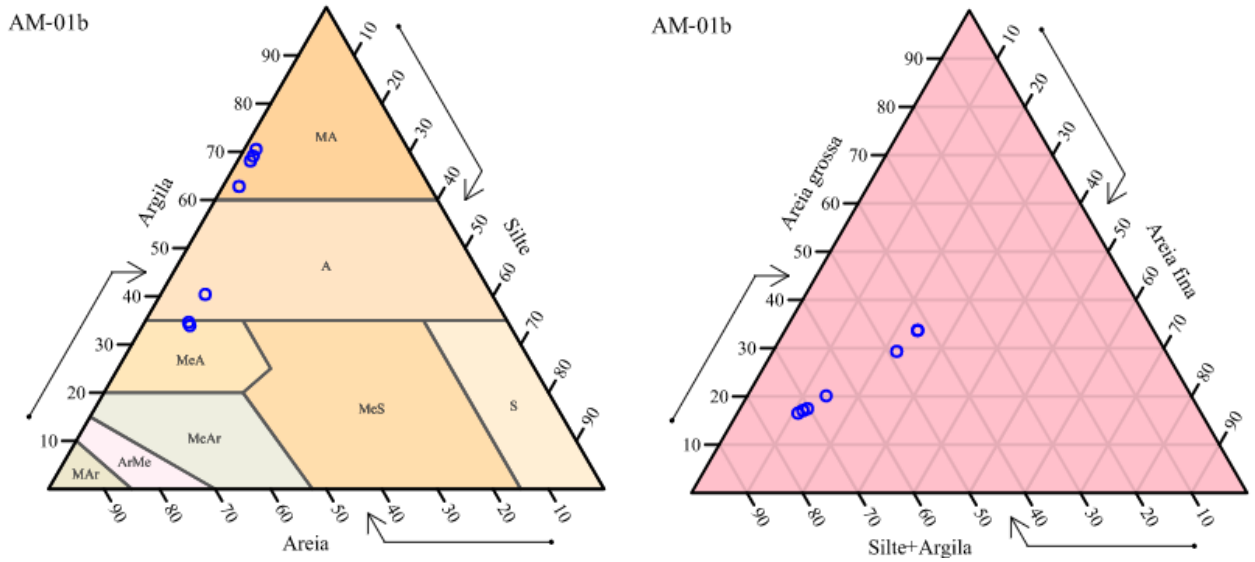


Figura 17.5. Triângulo textural das frações da terra fina e de areias dos horizontes do perfil AM-01b. As setas indicam a direção de aumento do valor da fração textural indicada.

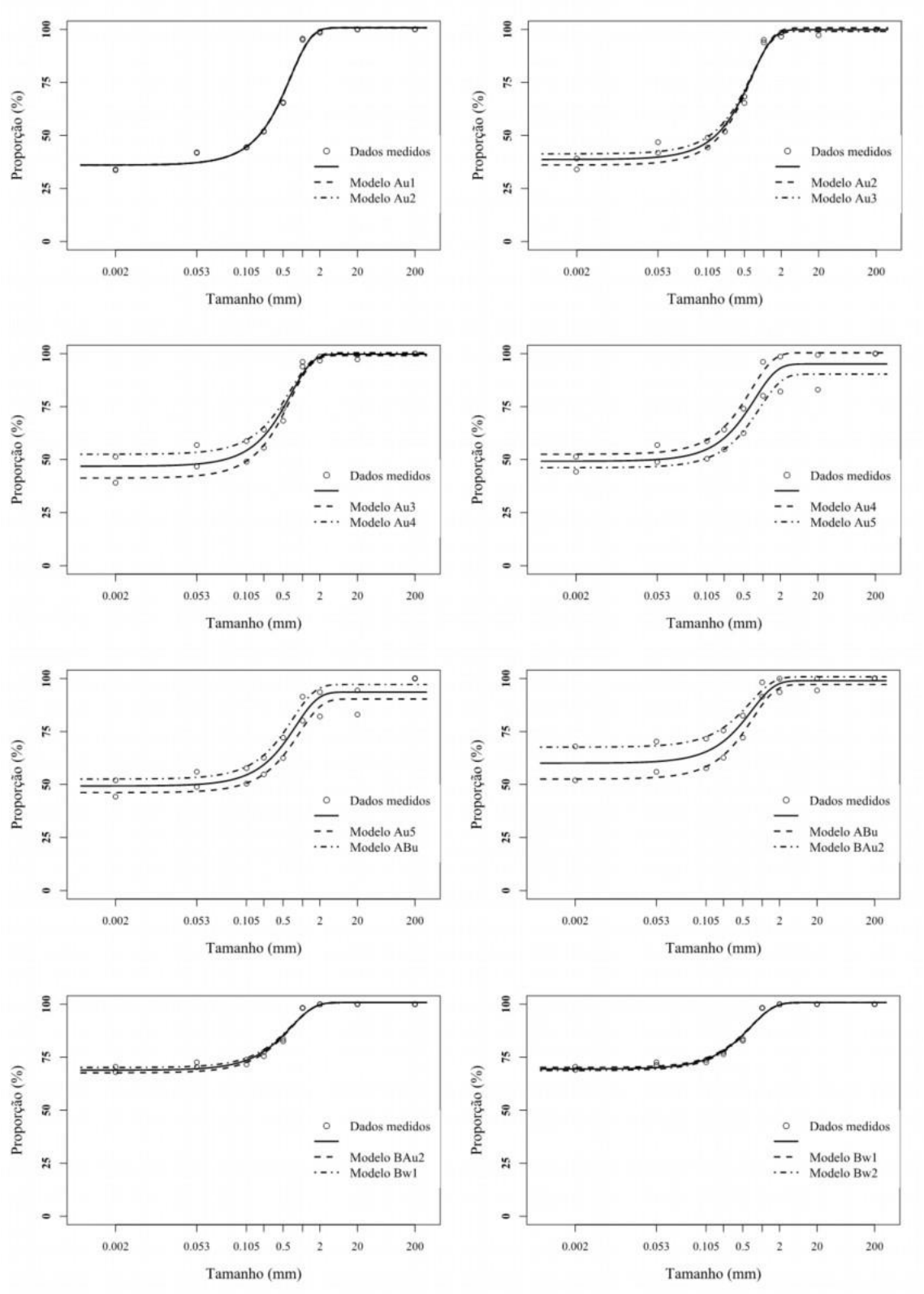


Figura 17.6. Comparação de ajustes dos modelos pareados dos horizontes do perfil AM-01a.

Perfil AM-02

O perfil AM-02, descrito em Rio Preto da Eva, AM, foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico. O perfil não apresenta variação significativa de teores das frações da terra fina (Figura 17.7), permanecendo na faixa muito argilosa (Figura 17.8), mas aparece um incremento das frações grossas em profundidade, no equivalente ao horizonte Bwc1, constituído de linha de pedra até seu topo com o Bw4. As indicações de descontinuidade atendem aos critérios de presença de *linha de pedra* e da *diferença da atividade da fração argila* da FAO/WRB-*Soil Taxonomy* e ao critério do *teste F* entre os contatos dos horizontes Bw4/Bwc1 e Bwc1/Bwc2 (Tabela 17.4). Há uma indicação entre o horizonte A e o BA1, em função da variação de atividade da fração argila, mas isso pode ser associado à diferença de conteúdo de matéria orgânica no primeiro horizonte. A indicação de descontinuidade não tem implicações taxonômicas para esse perfil.

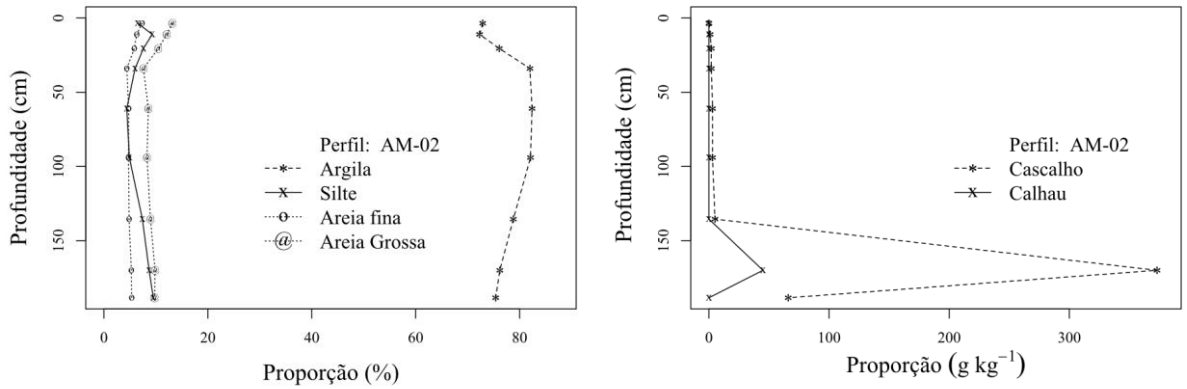


Figura 17.7. Distribuição granulométrica das frações da terra fina e das frações grossas (cascalhos e calhaus) do perfil AM-02.

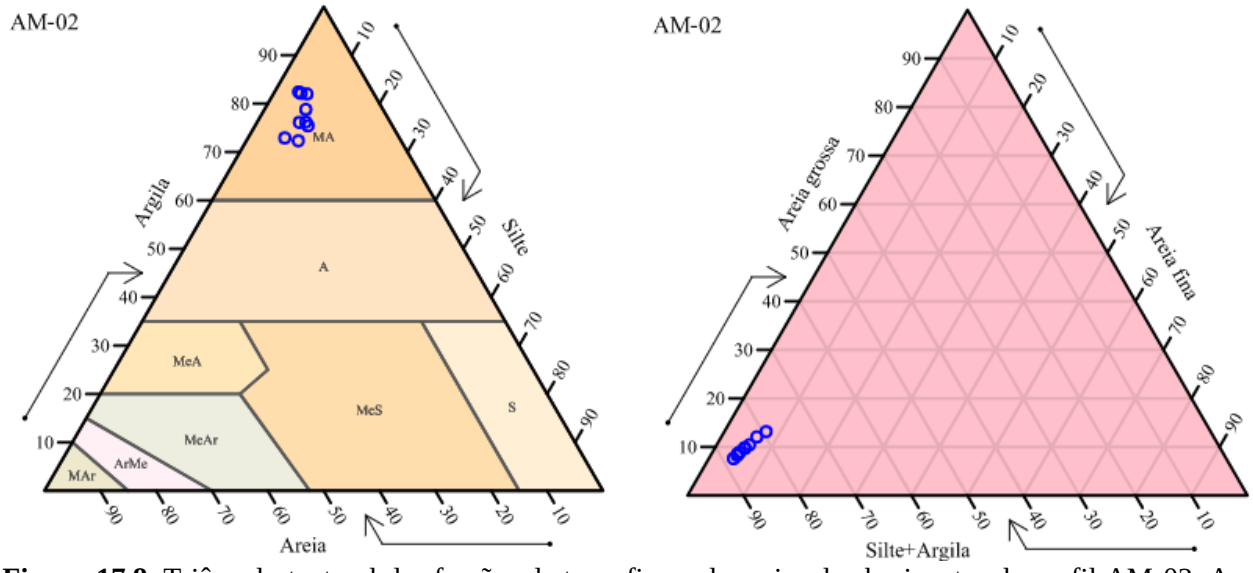


Figura 17.8. Triângulo textural das frações da terra fina e de areias dos horizontes do perfil AM-02. As setas indicam a direção de aumento do valor da fração textural indicada.

Perfil AM-05

O perfil AM-05 (Itacoatiara, AM) foi classificado como Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico. O perfil tem elevado teor de silte (Figura 17.9), concentrado no grupamento de textura siltosa (Figura 17.10), pouca variação vertical das frações da terra fina, e não tem frações grossas. O perfil foi descrito como formado por várias camadas de sedimentação, e, embora não atenda estritamente ao critério da WRB-*Soil Taxonomy* para presença de *fragmentos de rocha com diferentes graus de intemperismo* (Tabela 17.5), a presença de camadas com muitos fragmentos de folhas e raízes, muitas não decompostas, entre os horizontes Ag e 2ACg, indica as sucessivas deposições, e isso é considerado aqui equivalente àquele critério. A descontinuidade no par de horizontes 3Cg1/3Cg2 é indicada pelos critérios do *valor de uniformidade* e do *teste F* (Tabela 17.4) e pela *mudança de cor* (Tabelas 4 e 5), de cinzento para coloração variegada (cinzento-esverdeado e vermelho). A indicação de descontinuidade pode justificar o caráter neofluvissólico, ainda que para apenas um único par de horizontes, em função das evidências morfológicas.

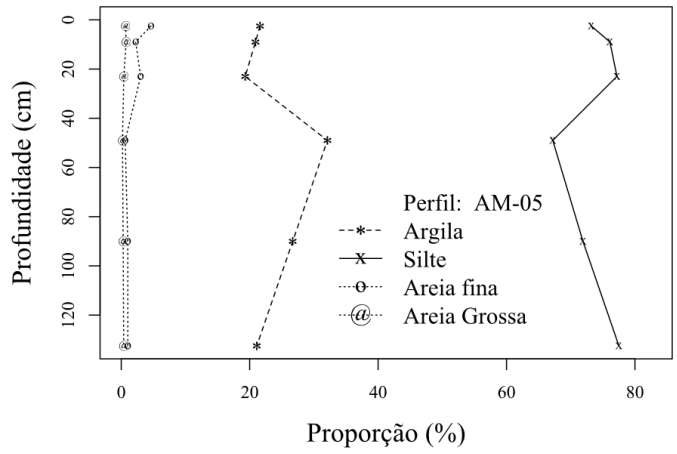


Figura 17.9. Distribuição granulométrica das frações da terra fina do perfil AM-05.

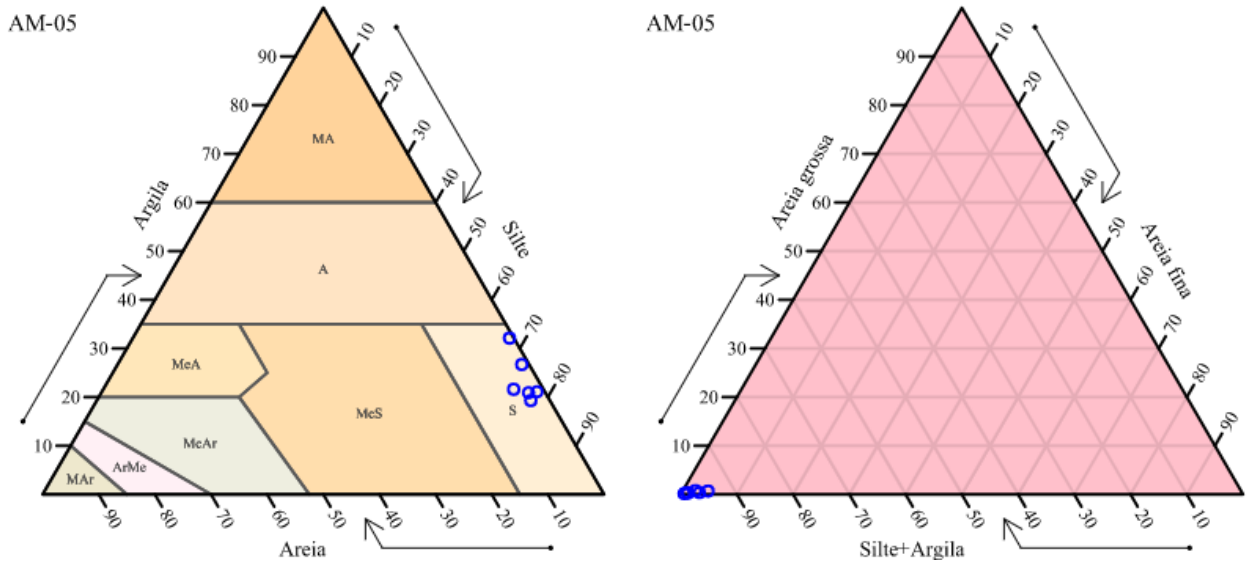


Figura 17.10. Triângulo textural das frações da terra fina e de areias dos horizontes do perfil AM-05. As setas indicam a direção de aumento do valor da fração textural indicada.

Perfil AM-06

O perfil AM-06 (Itacoatiara, AM) foi classificado como Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico. O perfil tem elevado teor de silte (Figura 17.11), com os horizontes distribuídos nas classes texturais franco-siltosa e silte (Figura 17.12), muito pouca variação vertical das frações da terra fina, com muito pouca areia e ausência de frações grossas. O perfil foi descrito como formado por camadas com descontinuidades por sedimentação. Não atende aos critérios da WRB-*Soil Taxonomy* para presença de descontinuidades, conforme os dados dos critérios de campo e de laboratório apresentados na Tabela 17.5, nem aos critérios quantitativos apresentados na Tabela 17.4.

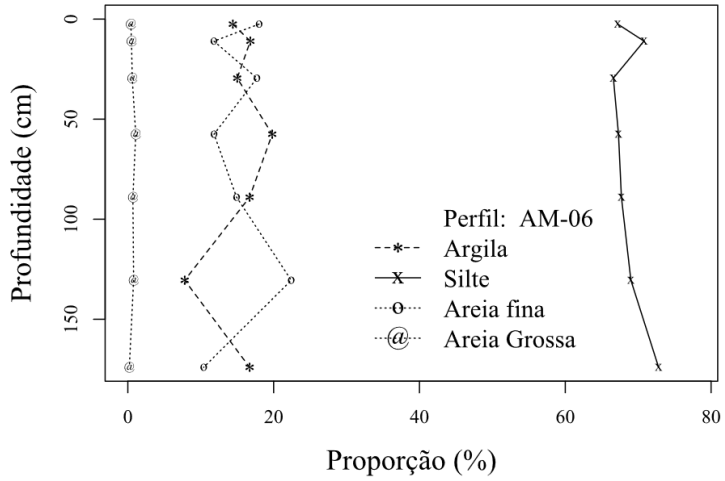


Figura 17.11. Distribuição granulométrica das frações da terra fina do perfil AM-06.

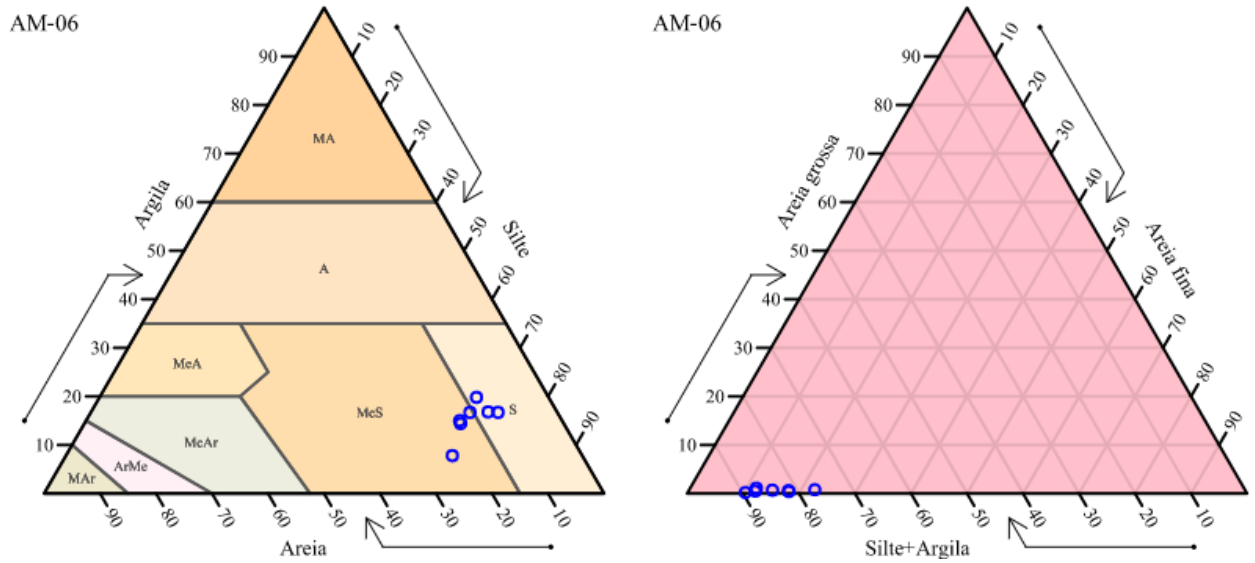


Figura 17.12. Triângulo textural das frações da terra fina e de areias dos horizontes do perfil AM-06. As setas indicam a direção de aumento do valor da fração textural indicada.

Perfil AM-07

O perfil AM-07 (Iranduba, AM) foi classificado como Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico. O solo apresenta elevado teor de silte, que aumenta em profundidade, e valor de areia fina mais elevado que das outras frações, diminuindo em profundidade (Figura 17.13). Os horizontes estão distribuídos nas classes texturais francossiltosa e silte (Figura 17.14) e não apresentam frações grossas. O perfil não atende aos critérios da WRB-*Soil Taxonomy* para presença de descontinuidades da Tabela 17.5, mas atende ao critério 2a.iv da Tabela 17.4 (*relações areia total/silte)* para o par 2C/2Cg. Segundo os descritores do perfil, não foram observadas evidências irrefutáveis de descontinuidade litológica em campo e, portanto, de caráter flúvico.

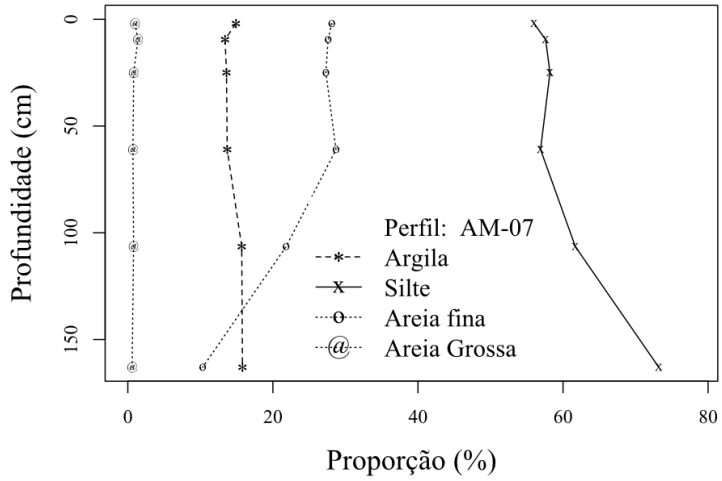


Figura 17.13. Distribuição granulométrica das frações da terra fina do perfil AM-07.

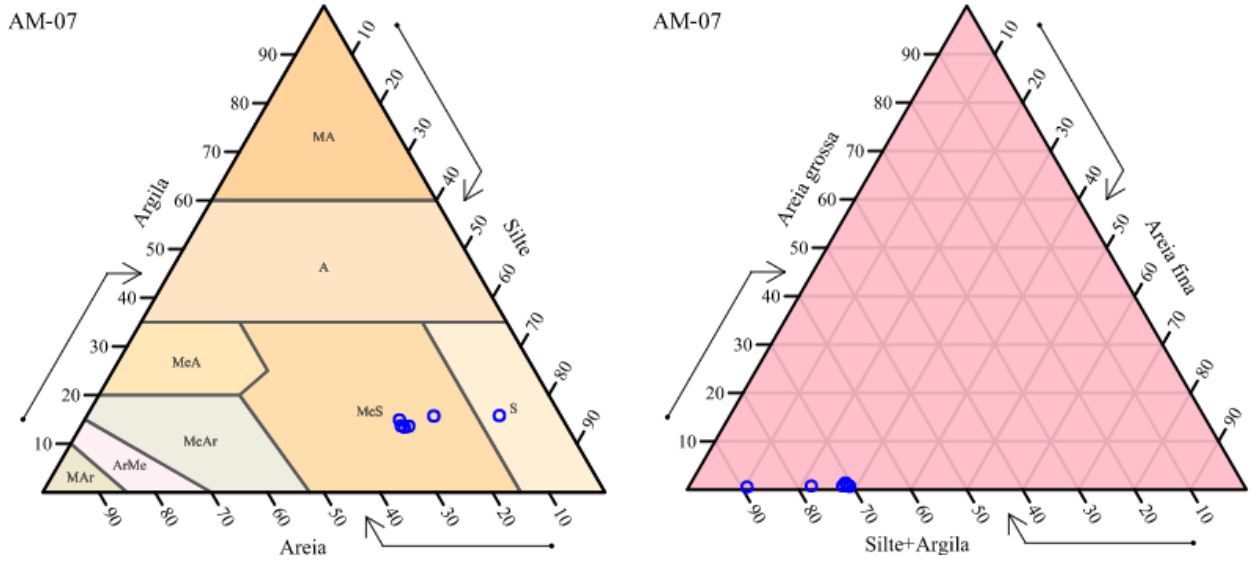


Figura 17.14. Triângulo textural das frações da terra fina e de areias dos horizontes do perfil AM-07. As setas indicam a direção de aumento do valor da fração textural indicada.

Perfil AM-08

O perfil AM-08 (Manacapuru, AM) foi classificado como Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico. Este perfil apresenta uma grande variação na granulometria entre os horizontes, com um grande incremento do teor de argila e equivalente decréscimo no de silte (Figura 17.15), e seus horizontes distribuem-se pelas classes textuais de silte a muito argilosa (Figura 17.16), com muito pouca areia. O perfil atende ao critério de *mudança de cor* da WRB-*Soil Taxonomy* para presença de descontinuidades conforme dados da Tabela 17.5. A cor passa de cinzento-claro e amarelo no 2Btg2 para cinzento-claro, no 2Btgf1, cinzento-azulado-claro no 2Btgf2, cinzento-esverdeado-claro no 2Cg1 e, finalmente, para cinzento-esverdeado-claro no 2Cg1 e cinzento-azulado-claro no 3Cg2. Dois pares de horizontes atendem a algum critério da Tabela 17.4, o critério 2a.i (*relações areia grossa/areia fina)* para o par Btg1/2Btg2 e o critério 2a.iv (*relações areia total/silte)* para o par 2Cg1/3Cg2.

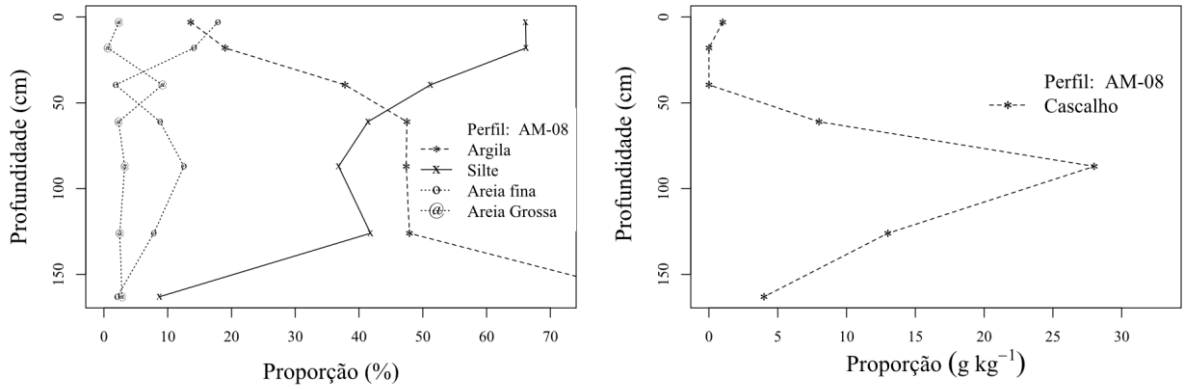


Figura 17.15. Distribuição granulométrica das frações grossas (cascalhos e calhaus) e da terra fina do perfil AM-08.

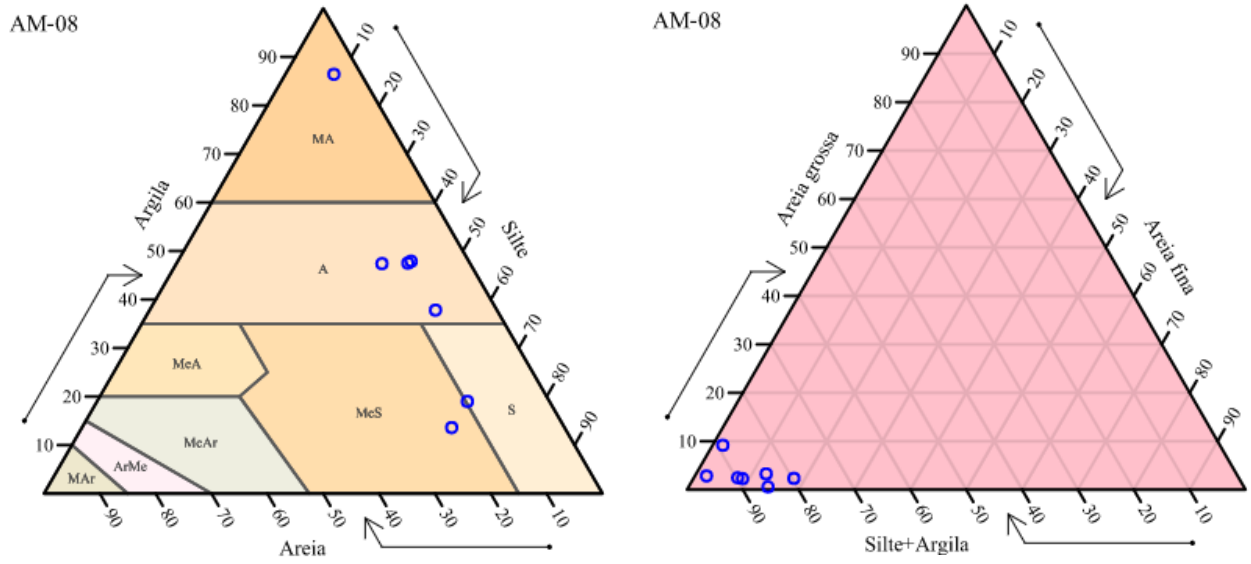


Figura 17.16. Triângulo textural das frações da terra fina e de areias dos horizontes do perfil AM-08. As setas indicam a direção de aumento do valor da fração textural indicada.

Perfil AM-09

O perfil AM-09 (Manaus, AM) foi classificado como Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico. Apresenta textura muito arenosa com incremento da fração mais fina em profundidade (Figura 17.17), variando da classe textural areia até a francoarenosa (Figura 17.18). O perfil atende aos critérios da WRB-*Soil Taxonomy* para a presença de descontinuidades da Tabela 17.5, a saber: *fragmentos de rocha com diferentes formatos* e *graus de arredondamento* (...Aparentemente, são originalmente arredondados, perdendo atualmente esse formato para bordas arestadas devido à fragmentação natural. Os grãos de quartzo dos horizontes subjacentes [ao horizonte 2E3] são de menor tamanho e arestados, vide Capítulo 9), *decréscimo do teor da fração grossa com o aumento da profundidade* e *caráter errático da textura do solo* (...no horizonte 4Bhsm os grãos de cascalho estão concentrados em algumas faixas paralelas à superfície do terreno…vide Capítulo 9). Os critérios quantitativos da Tabela 17.4 são atendidos por dois pares de horizontes, incluindo o critério 2a.i *(relações areia grossa/areia fina)* (2E3/Bh, 4Bs/5C) e critério 2a.iv (*relações areia total/silte)* (4Bs/5C).

A indicação de descontinuidade não tem implicações taxonômicas segundo o SiBCS (Santos et al., 2018). É interessante ressaltar, no entanto, que os resultados dos índices dos horizontes espódicos podem ser afetados pelos processos pedogenéticos de cimentação desses horizontes. A cimentação pode afetar o resultado das análises granulométricas usadas para compor os índices, uma vez que não são conhecidas evidências que garantam que esta cimentação possa ser rompida pelos dispersantes e pela agitação mecânica, usados no processo.

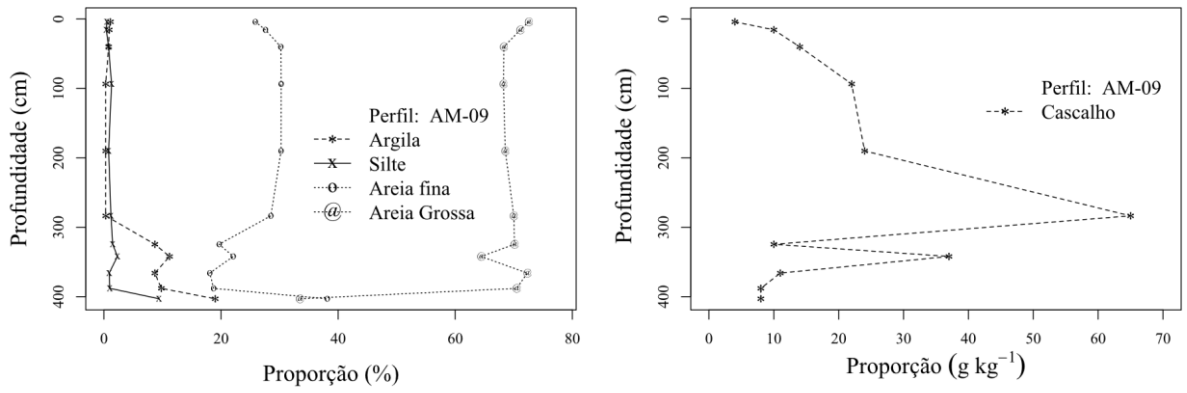


Figura 17.17. Distribuição granulométrica das frações grossas (cascalhos e calhaus) e das frações da terra fina do perfil AM-09.

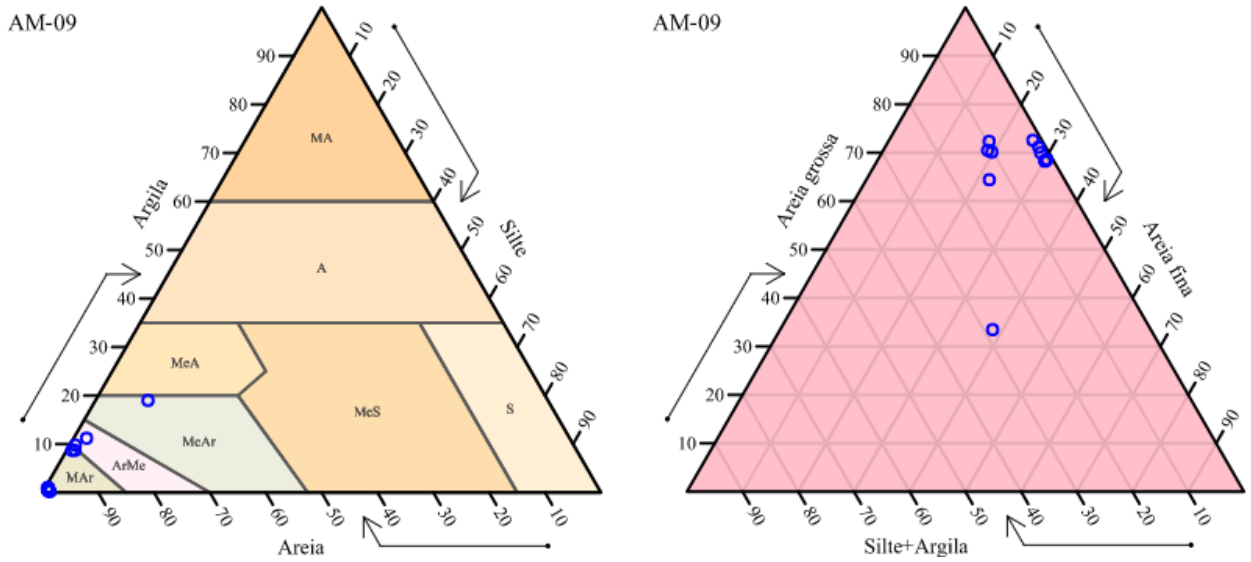


Figura 17.18 – Triângulo textural das frações da terra fina e de areias dos horizontes do perfil AM-09. As setas indicam a direção de aumento do valor da fração textural indicada.

Perfil AM-11

O perfil AM-11 (Parintins, AM) foi classificado como Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico. O solo apresenta elevado teor de silte, que se reduz em profundidade (Figura 17.19), e um teor de argila que varia pouco, posicionando os horizontes na faixa das classes texturais francossiltosa e silte (Figura 17.20). Exibe muito pouca areia grossa e teor crescente de areia fina em profundidade, sem frações grossas (cascalho ou calhau). O perfil atende aos seguintes critérios da WRB-*Soil Taxonomy* para presença de descontinuidades (Tabela 17.5): a) *fragmentos de rocha com diferenças de litologia* (...topo do 4Cg6 ocorrem bolsões de material distinto contendo marcas da deposição de sedimentos… vide Capítulo 9) e b) *mudança de cor* (a cor passa de cinzento-escuro no 2Cg3 para bruno no 3Cg4 e, de novo, para cinzento-escuro no 4Cg5). Os critérios da Tabela 17.4 são atendidos para dois pares de horizontes, o critério *valor de uniformidade* (A2/Cg1) e o critério 2a.iv (*relações areia total/silte)* (2Cg3/3Cg4). A interpretação dos resultados indica que os horizontes podem ter atributos herdados do material de origem (sedimentos aluvionares argilossiltosos), e isso pode ser incluído na classificação, em um nível taxonômica mais baixo (neofluvissólico).

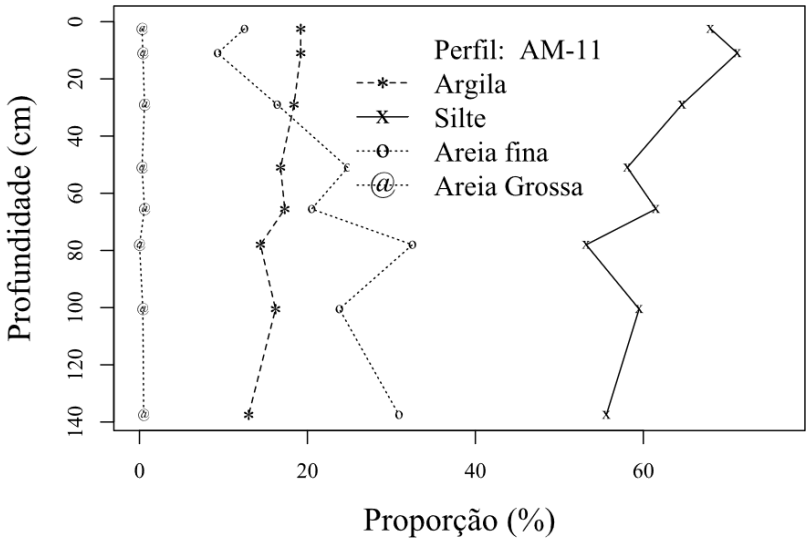


Figura 17.19. Distribuição granulométrica das frações da terra fina do perfil AM-11.

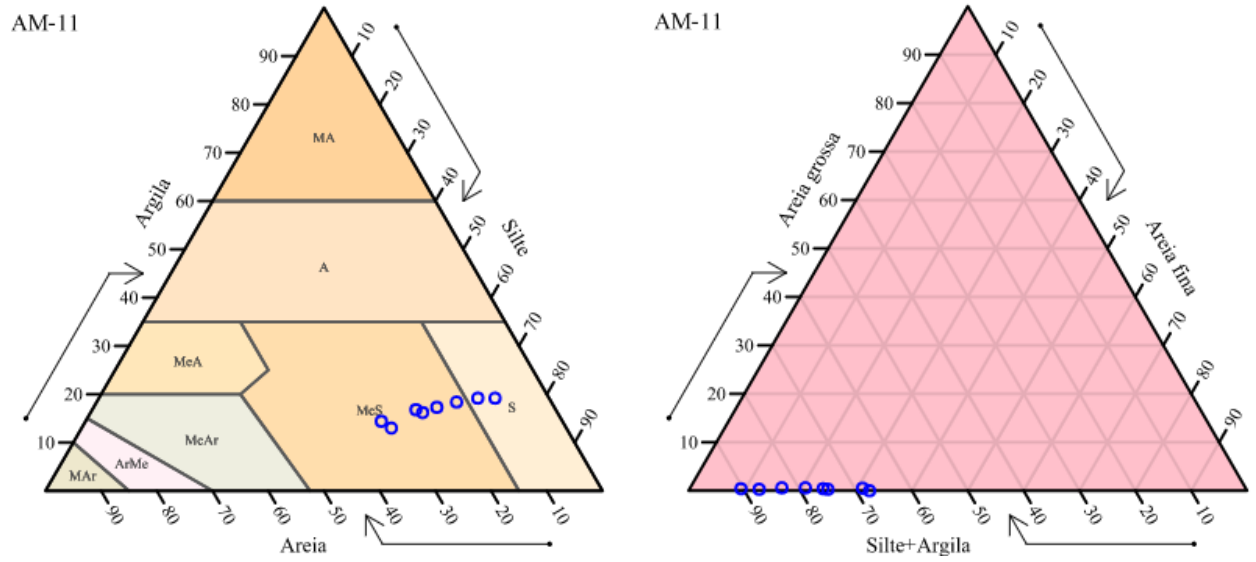


Figura 17.20. Triângulo textural das frações da terra fina e de areias dos horizontes do perfil AM-11. As setas indicam a direção de aumento do valor da fração textural indicada.

Perfil AM-12

O perfil AM-12 (Parintins, AM) foi classificado como Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico. Apresenta uma concentração de frações finas em superfície e um incremento da areia fina em profundidade (Figura 17.21), distribuindo-se desde a textura argilosa até a média (Figura 17.22), sem frações grossas. O perfil atende ao critério de *mudança de cor* da WRB-*Soil Taxonomy* para presença de descontinuidades, conforme dados da Tabela 17.5, passando de cinzento, no 2Apg2, para bruno-acinzentado a bruno, no 3Cg. Os critérios quantitativos da Tabela 17.4 são atendidos nos dois pares de horizontes superficiais (Apg1/2Apg2 e 2Apg2/3Cg). O primeiro par apresenta indícios pelos critérios 2a.i *(relações areia grossa/areia fina)*, critério 2a.iv (*relações areia total/silte)* e *valor de uniformidade*, o segundo, no critério 2a.i *(relações areia grossa/areia fina)*. Os indícios de descontinuidade superficial apoiam o uso do caráter 'neofluvissólico' na classificação deste solo.

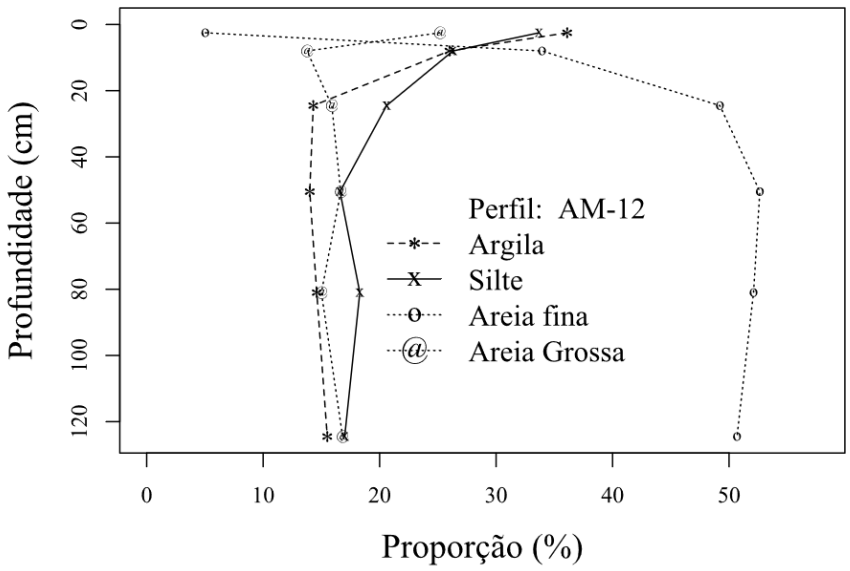


Figura 17.21. Distribuição granulométrica das frações da terra fina do perfil AM-12.

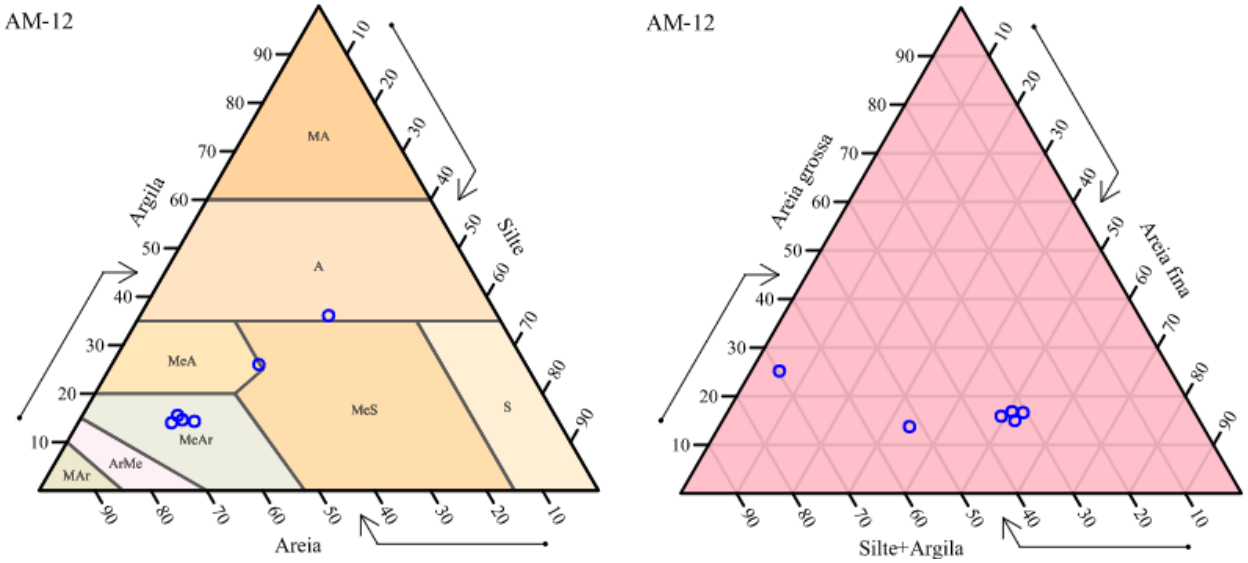


Figura 17.22. Triângulo textural das frações da terra fina e de areias dos horizontes do perfil AM-12. As setas indicam a direção de aumento do valor da fração textural indicada.

Perfil AM-15

O perfil AM-15 (Parintins, AM) foi classificado como Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico. Apresenta variação ampla e irregular das frações da terra fina em profundidade (Figura 17.23), com exceção da areia grossa, que tem teor muito baixo, e das frações grossas, não reportadas. As classes texturais variam de siltosa a arenosa (Figura 17.24). O perfil atende aos critérios da WRB-*Soil Taxonomy* para presença de descontinuidades (Tabela 17.5): *fragmentos de rocha com diferenças de litologia* (...até 41 cm de profundidade foram verificadas 5 camadas de sedimentação recente com espessura variável… vide Capítulo 9) e *caráter errático da textura do solo* (Figura 17.23). Alguns dos critérios da Tabela 17.4 são atendidos por quase todos os horizontes, exceto o par 5Cg1/6Cg2. Os critérios 2a.iii e 2a.iv (*relações areia média/areia fina e areia total/silte)* são atendidos simultaneamente pelos pares Ag/2C, 2C/3Cg, 3Cg/4C, 4C/5Abg, 6Cg2/6Cg3 e 6Cg3/7Cg4; o critério 2a.iv isoladamente (*areia total/silte),* pelos pares 6Cg2/6Cg3 e 6Cg3/7Cg4; o *valor de uniformidade*, pelos pares Ag/2C, 2C/3Cg, 3Cg/4C, 4C/5Abg, 6Cg2/6Cg3 e 6Cg3/7Cg4 e o *teste F*, pelos pares 2C/3Cg, 3Cg/4C e 4C/5Abg. O critério *diferença de atividade da fração argila* é atendido pelo par 2C/3Cg. No caso do *teste F*, as diferenças evidentes e estatisticamente significativas podem ser observadas nos pares de horizontes 2C/3Cg, 3Cg/4C e 4C/5Abg (Figura 17.25). O par 6Cg3/7Cg4 também é aparentemente diferente, mas o valor do teste foi de 0,17, indicando uma menor probabilidade de diferença significativa. Os indicadores de descontinuidade são condizentes com a classificação do solo e corroboram as indicações feitas na descrição dos perfis (...camadas 2C e 4C mostram as linhas (planas e onduladas) indicativas das deposições sedimentares… vide Capítulo 9), relativas à natureza do material de origem (sedimentos aluvionares argilossiltosos).

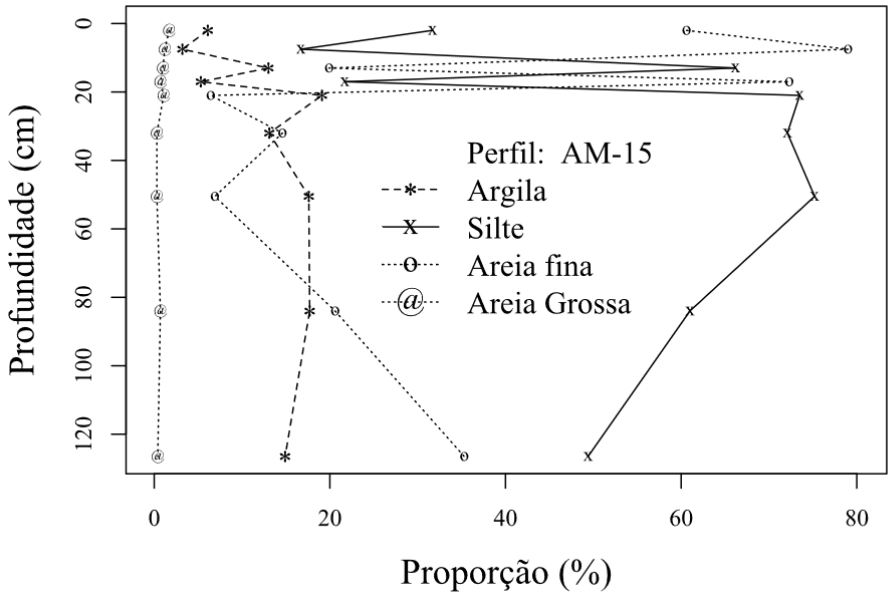


Figura 17.23. Distribuição granulométrica das frações da terra fina do perfil AM-15.

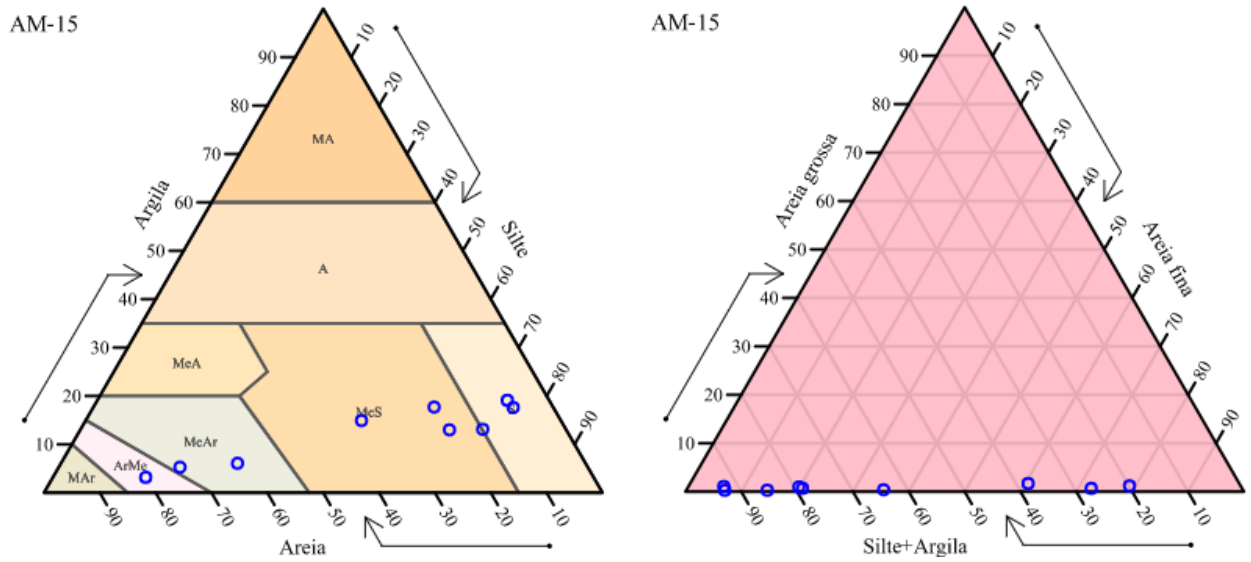


Figura 17.24. Triângulo textural das frações da terra fina e de areias dos horizontes do perfil AM-15. As setas indicam a direção de aumento do valor da fração textural indicada.

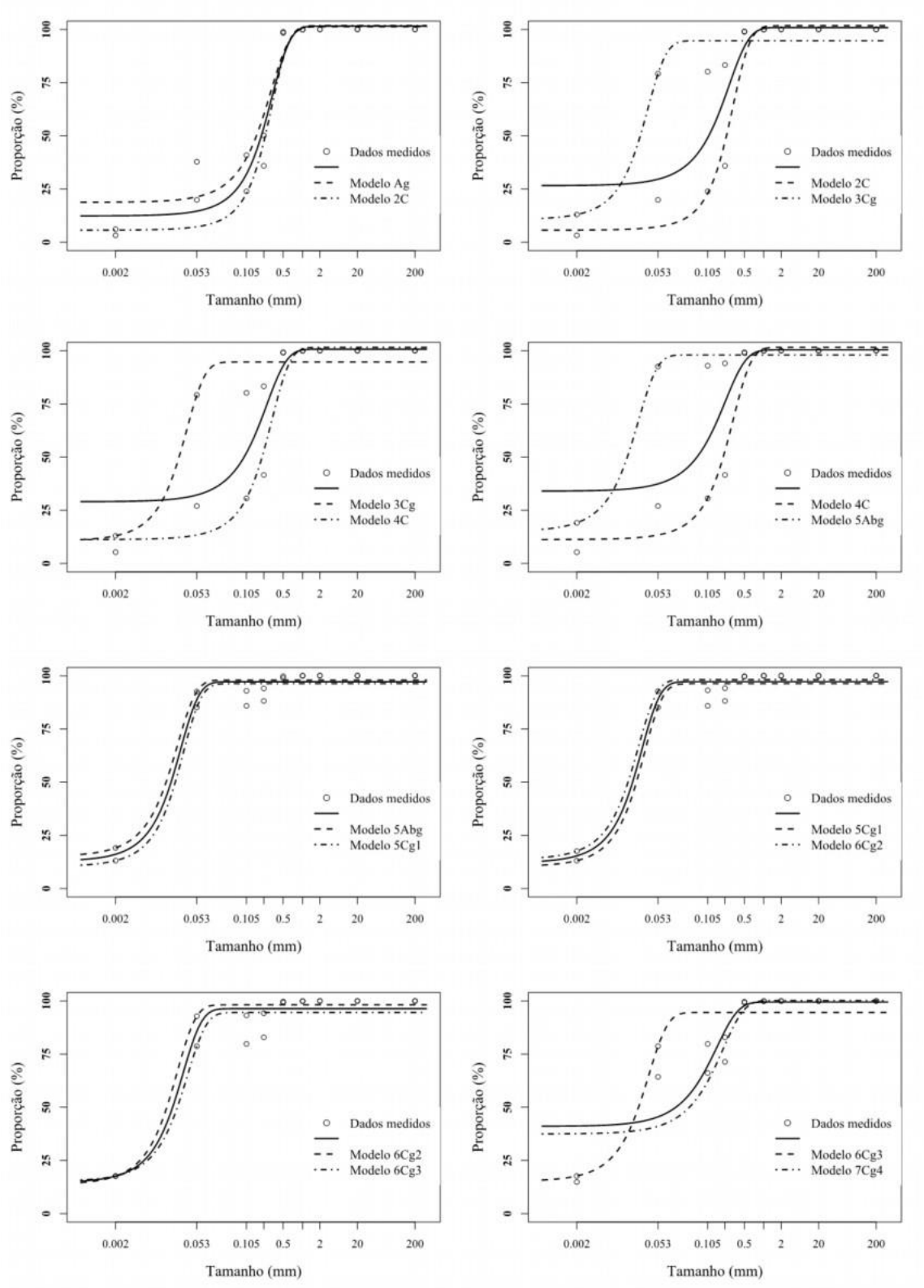


Figura 17.25. Comparação de ajustes dos modelos pareados dos horizontes do perfil AM-15.

Perfil AM-16

O perfil AM-16 (Parintins, AM) foi classificado como Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico. O solo apresenta uma distribuição irregular das frações da terra fina em profundidade (Figura 17.26), sem apresentar frações grossas, concentrando-se na textura siltosa (Figura 17.27) e com muito pouca areia. O perfil atende aos critérios da WRB-*Soil Taxonomy* para presença de descontinuidades (Tabela 17.4), *caráter errático da textura do solo* (Figura 17.26) e *mudança de cor*, passando de bruno no CAg para cinzento-escuro no 2Abg. Os pares de horizontes 2Cg/2Cgn1 e 2Cgn2/2Cgn3 atendem ao critério do *valor de uniformidade*.

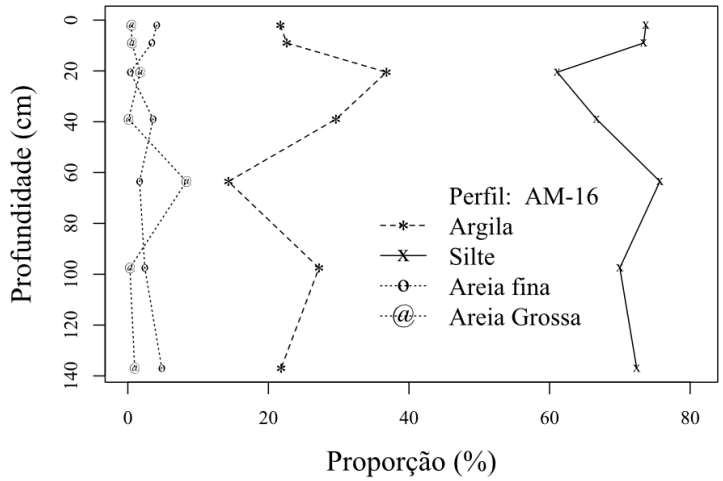


Figura 17.26. Distribuição granulométrica das frações da terra fina do perfil AM-16.

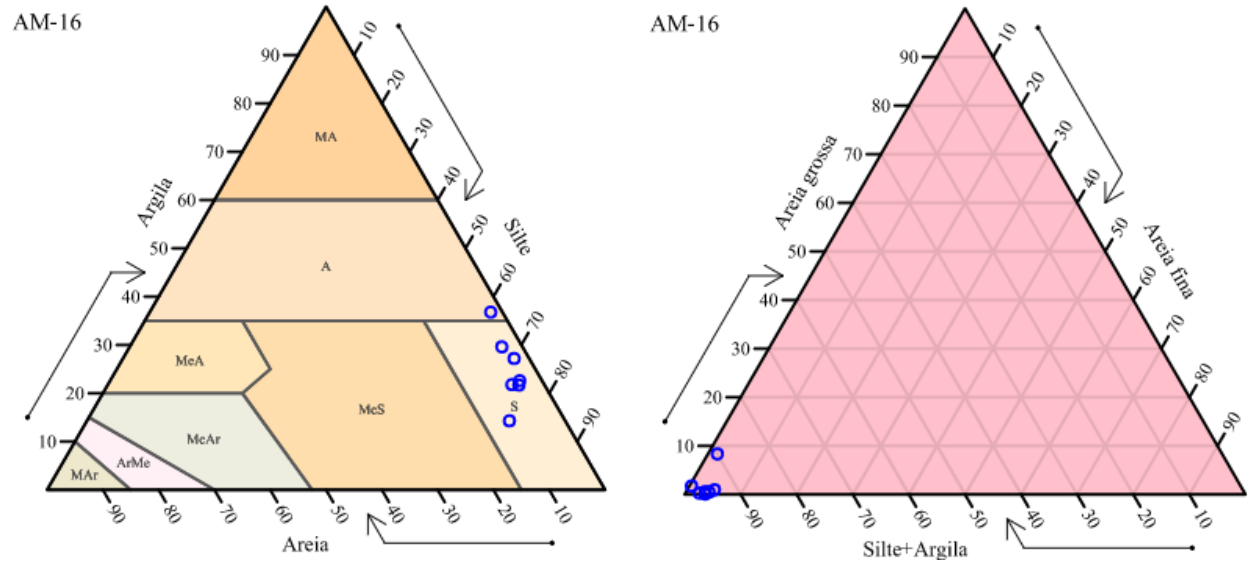


Figura 17.27. Triângulo textural das frações da terra fina e de areias dos horizontes do perfil AM-16. As setas indicam a direção de aumento do valor da fração textural indicada.

Perfil PA-05

O perfil PA-05 (Belterra, PA) foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico típico. Este solo apresenta distribuição vertical das frações da terra fina muito regulares e com pouca variação vertical (Figura 17.28), é muito argiloso (Figura 17.29) e não contém frações grossas. O perfil não atende aos critérios da WRB-*Soil Taxonomy* para presença de descontinuidades (Tabela 17.5). Entretanto, dois pares de horizontes atendem a, pelo menos, um dos critérios da Tabela 17.4, *diferença de atividade da fração argila* (A1/A2) e *valor de uniformidade* (Bw2/Bw3). No primeiro caso, o resultado deve estar relacionado à matéria orgânica do horizonte, já que o cálculo de atividade da fração argila é feito sem o desconto da matéria orgânica, responsável pela maior parte desta atividade. Isso aponta para duas questões relevantes. Primeiro, mesmo em um perfil de solo que não apresenta evidências claras de descontinuidades, os índices apontam alguma diferença entre o material dos horizontes, que pode estar relacionada a vários fatores, como a variabilidade do material de origem, os processos de transporte relacionados ao rastejamento e à formação de colúvios e à bioturbação. Segundo, a interpretação dos resultados não pode ser feita fora do contexto geral da análise do perfil e dos múltiplos fatores relacionados à formação dos horizontes.

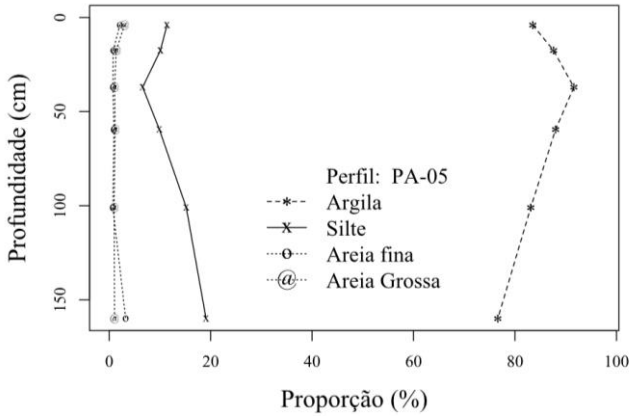


Figura 17.28. Distribuição granulométrica das frações da terra fina do perfil PA-05.

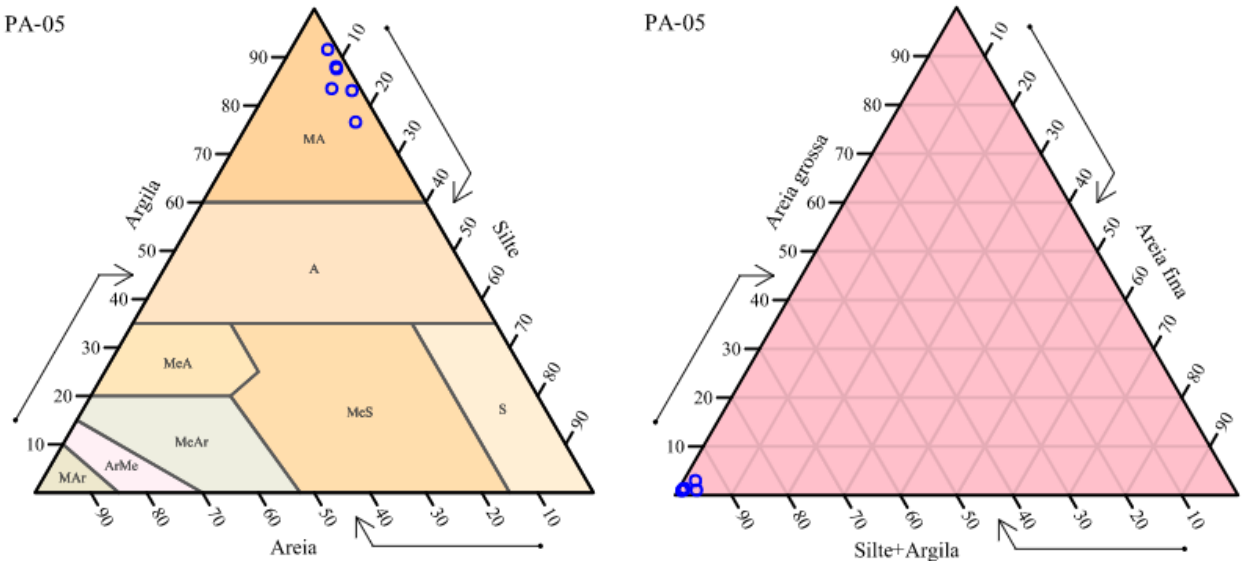


Figura 17.29. Triângulo textural das frações da terra fina e de areias dos horizontes do perfil PA-05. As setas indicam a direção de aumento do valor da fração textural indicada.

Perfil PA-06

O perfil PA-06 (Santarém, PA) foi classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico húmico. O solo apresenta notável uniformidade da distribuição vertical dos teores das frações da terra fina, com aumento regular do teor de cascalhos em profundidade (Figura 17.30). O solo apresenta-se todo concentrado na classe de textura arenosa (Figura 17.31), com pouca dispersão dos valores relativos das frações de areia. O perfil não atende aos critérios da WRB-*Soil Taxonomy* para presença de descontinuidades (Tabela 17.5) e tampouco aos critérios quantitativos (Tabela 17.4). O incremento do teor de cascalhos pode ser herança do material de origem (sedimentos colúvio-aluvionares arenosos que recobrem o arenito da Formação Alter do Chão).

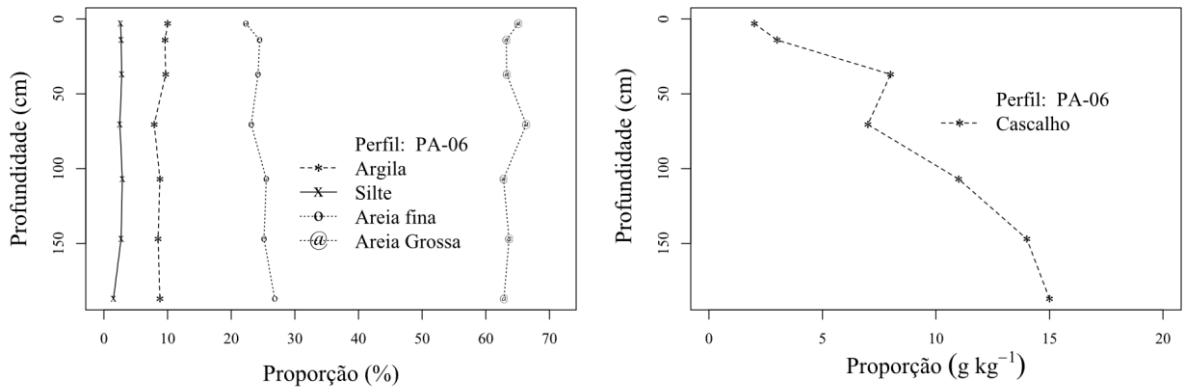


Figura 17.30. Distribuição granulométrica das frações da terra fina e das frações grossas (cascalhos e calhaus) do perfil PA-06.

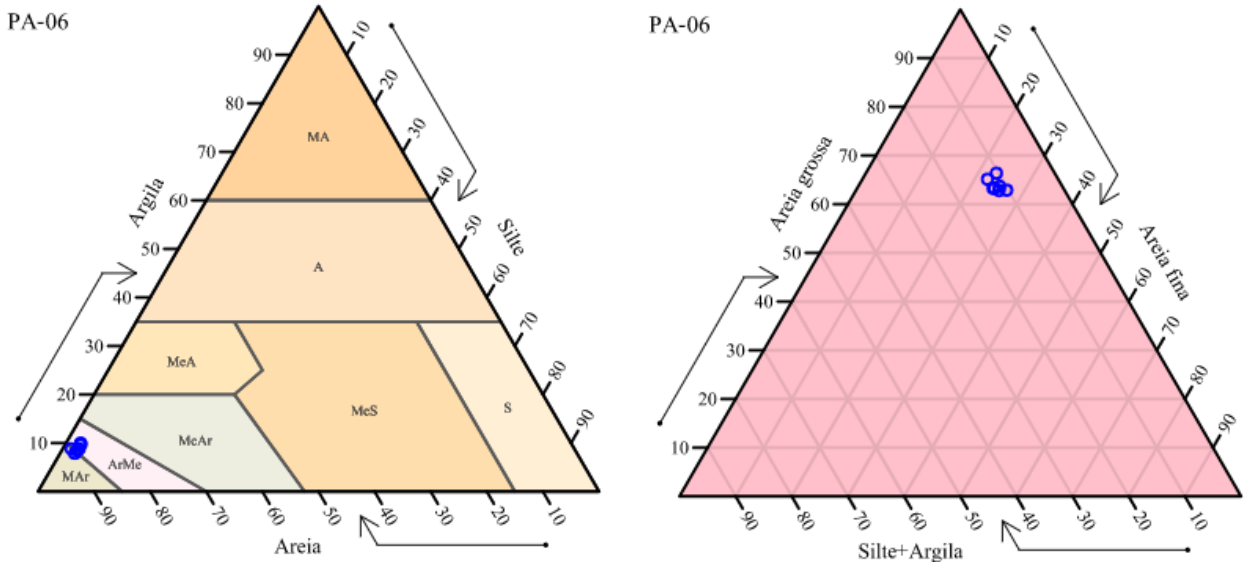


Figura 17.31. Triângulo textural das frações da terra fina e de areias dos horizontes do perfil PA-06. As setas indicam a direção de aumento do valor da fração textural indicada.

Perfil PA-07

O perfil PA-07 (Belterra, PA) foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico húmico. O solo apresenta-se com pequena variação vertical das frações da terra fina, com um decréscimo do teor de argila e correspondente acréscimo do teor de silte em profundidade (Figura 17.32), mas com a presença de algum cascalho em dois horizontes (A1 e A4). Todos os horizontes são muito argilosos (Figura 17.33), com muito pouca fração areia. O critério para a indicação de descontinuidade da WRB-*Soil Taxonomy* quanto à presença de *evidências arqueológicas* (...Poucos fragmentos de cerâmica na parte superficial do solo e nas proximidades do perfil e raros no horizonte A1...vide Capítulo 9) é atendido (Tabela 17.5), mas apenas no horizonte A1, o que pode ser questionável como indicativo de descontinuidade, em função da posição muito superficial. Os critérios quantitativos de descontinuidade não são atendidos (Tabela 17.4).

Neste caso, não há evidências para se alterar a classificação com base nos dados de descontinuidade. É necessário, no entanto, verificar a natureza do cascalho do horizonte A4, para se verificar se se trata de material arqueológico, ainda que em tamanho pequeno.

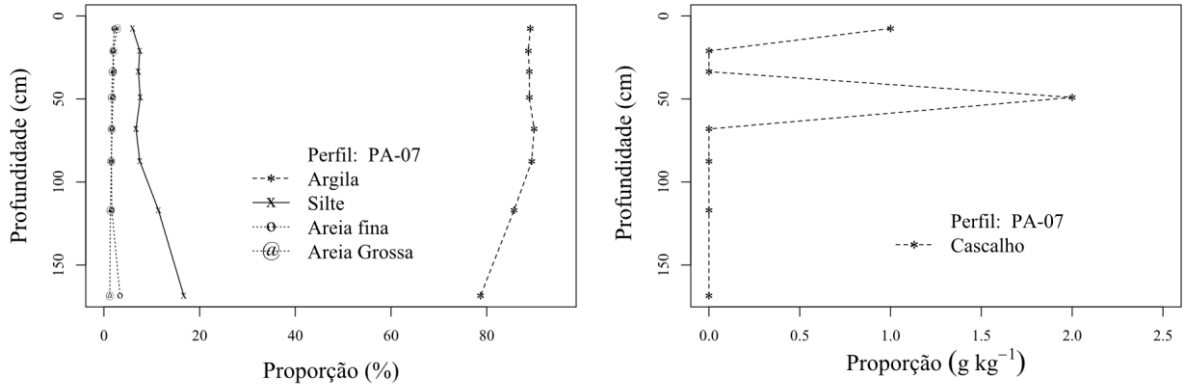


Figura 17.32. Distribuição granulométrica das frações da terra fina e das frações grossas (cascalhos e calhaus) do perfil PA-07.

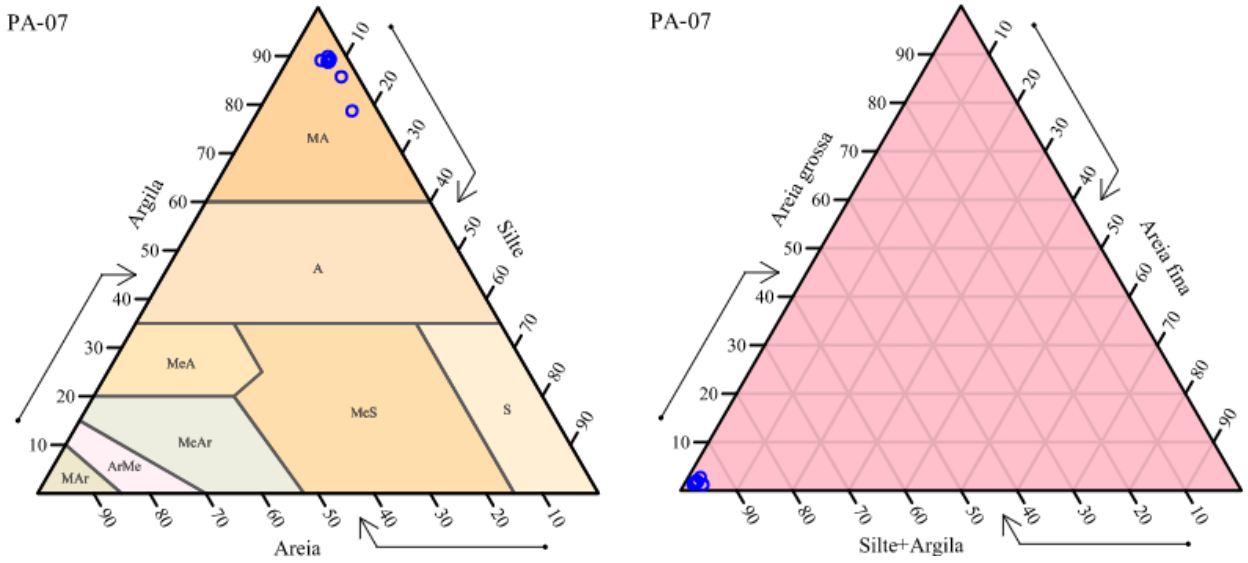


Figura 17.33. Triângulo textural das frações da terra fina e de areias dos horizontes do perfil PA-07. As setas indicam a direção de aumento do valor da fração textural indicada.

Perfil PA-13

O perfil PA-13 (Juriti, PA) foi classificado como Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico. Este solo é caracterizado por uma distribuição errática das frações argila e silte. As diferentes classes da fração areia apresentam teores baixos, e a fração grossa (cascalho ou calhau) está ausente (Figura 17.34). As classes texturais distribuem-se da argilosa à siltosa (Figura 17.35). O perfil atende aos critérios da WRB-*Soil Taxonomy* relativos ao *caráter errático* (Tabela 17.5), sugerido pela distribuição vertical das frações finas, e *mudança de cor*, passando de cinzento a cinzento-brunado-claro no 2Cg2 para cinzento no 3Cgn1. Os critérios quantitativos (Tabela 17.4) são atendidos por três pares de horizontes, sendo o *valor de uniformidade* pelos pares 3Cgn1/3Cgn2 e 3Cgn2/3Cgn3 e o *teste F* é atendido por Apg/CAg e 3Cgn2/3Cgn3.

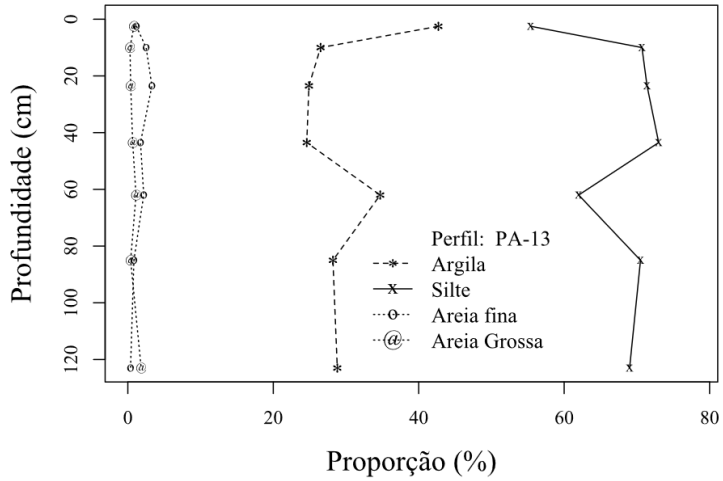


Figura 17.34. Distribuição granulométrica das frações da terra fina do perfil PA-13.

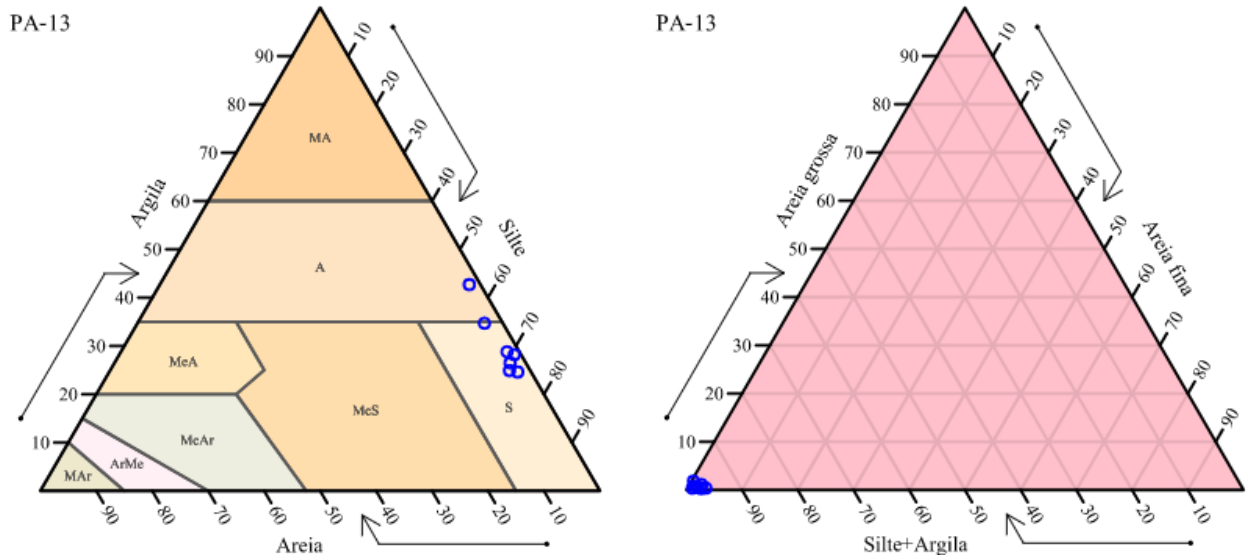


Figura 17.35. Triângulo textural das frações da terra fina e de areias dos horizontes do perfil PA-13. As setas indicam a direção de aumento do valor da fração textural indicada.

Perfil PA-14

O perfil PA-14 (Juriti, PA) foi classificado como Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico. As classes texturais distribuem-se de muito argilosa a siltosa (Figura 17.37). O perfil atende ao critério da WRB-*Soil Taxonomy*: *fragmentos de rocha com diferenças de litologia* para presença de descontinuidades (Tabela 17.5) (...Horizonte A supostamente oriundo de sedimentação mais recente… Capítulo 9). Os critérios quantitativos (Tabela 17.4) são atendidos por três pares de horizontes. O critério *valor de uniformidade é* atendido pelos pares A/2CAvg, 2Cvg2/2Cvg3 e 2C'vg1/2C'vg2. O critério do *teste F* é atendido por 2Cvg3/2Cvgn. Em função das indicações de descontinuidades, pode-se avaliar a pertinência do uso do termo 'neofluvissólico' para este perfil.

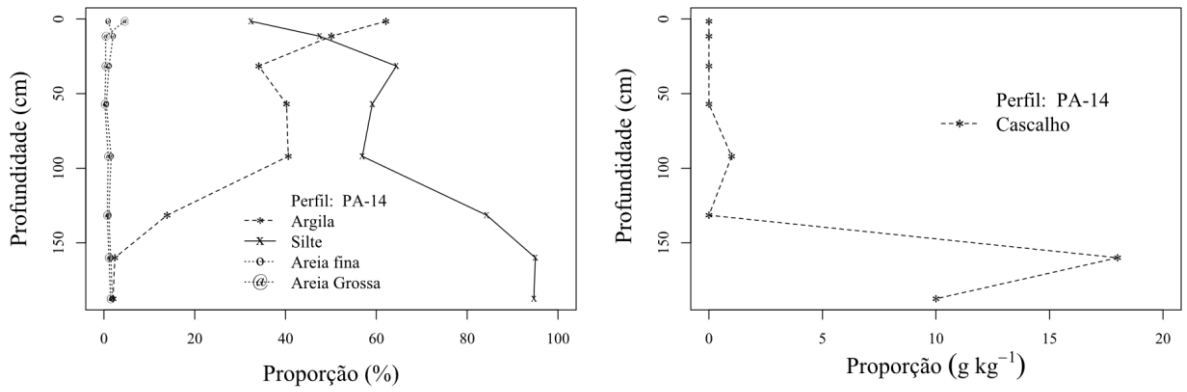


Figura 17.36. Distribuição granulométrica das frações da terra fina e das frações grossas (cascalhos e calhaus) do perfil PA-14.

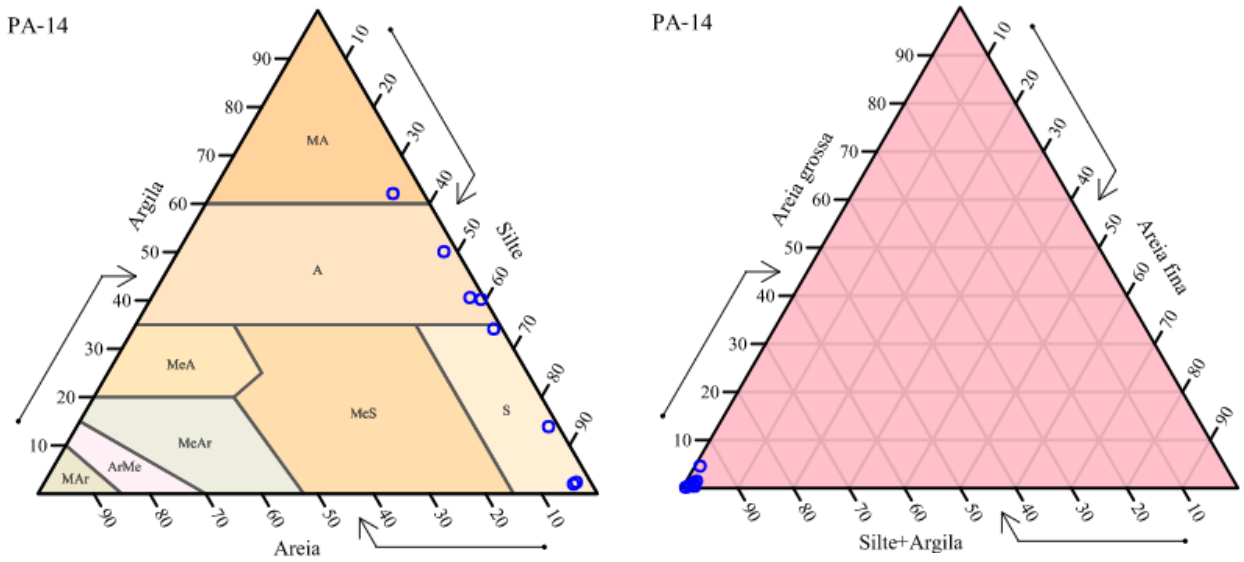


Figura 17.37. Triângulo textural das frações da terra fina e de areias dos horizontes do perfil PA-14. As setas indicam a direção de aumento do valor da fração textural indicada.

Perfil PA-17

O perfil PA-17 (Santarém, PA) foi classificado como Organossolo Háplico Hêmico típico. Este é um Organossolo típico, e os resultados de análises granulométricas devem ser analisados com cautela em função dos problemas metodológicos nas análises granulométricas relacionados a esta classe de solos. Os métodos de rotina da análise granulométrica foram desenvolvidos para solos predominantemente minerais, e, na prática, não é possível eliminar a matéria orgânica, seu componente dominante, sem afetar as frações minerais. Assim, o resultado da análise de rotina de solos orgânicos não pode ser interpretado como sendo representativo das frações minerais. Foram feitas as análises apenas de três horizontes (Hd1, Hd2 e Hd3), dos quais se observa uma redução dos teores da fração argila e um aumento das frações areia em profundidade, sem presença de frações grossas (Figura 17.38). Os três horizontes estão na classe argilosa (Figura 17.39). O perfil não atende aos critérios da WRB-*Soil Taxonomy* para presença de descontinuidades (Tabela 17.5). Dois critérios da Tabela 17.4 são atendidos pelo par Hd2/Hd3, critério 2a.iv (*relações areia total/silte)* e *valor de uniformidade*.

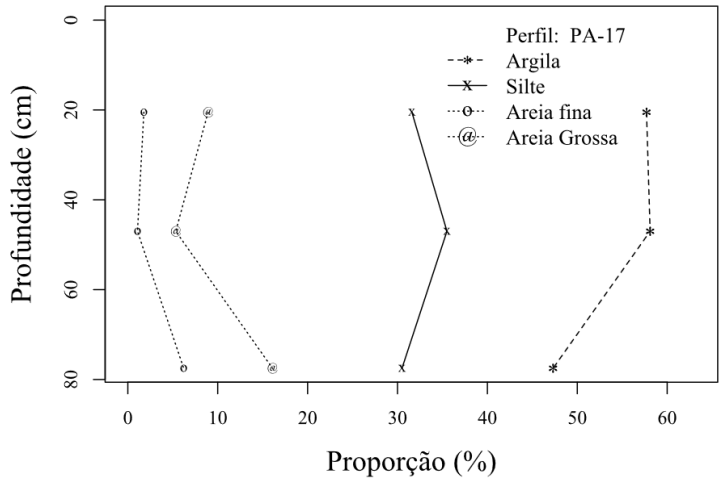


Figura 17.38. Distribuição granulométrica das frações da terra fina do perfil PA-17.

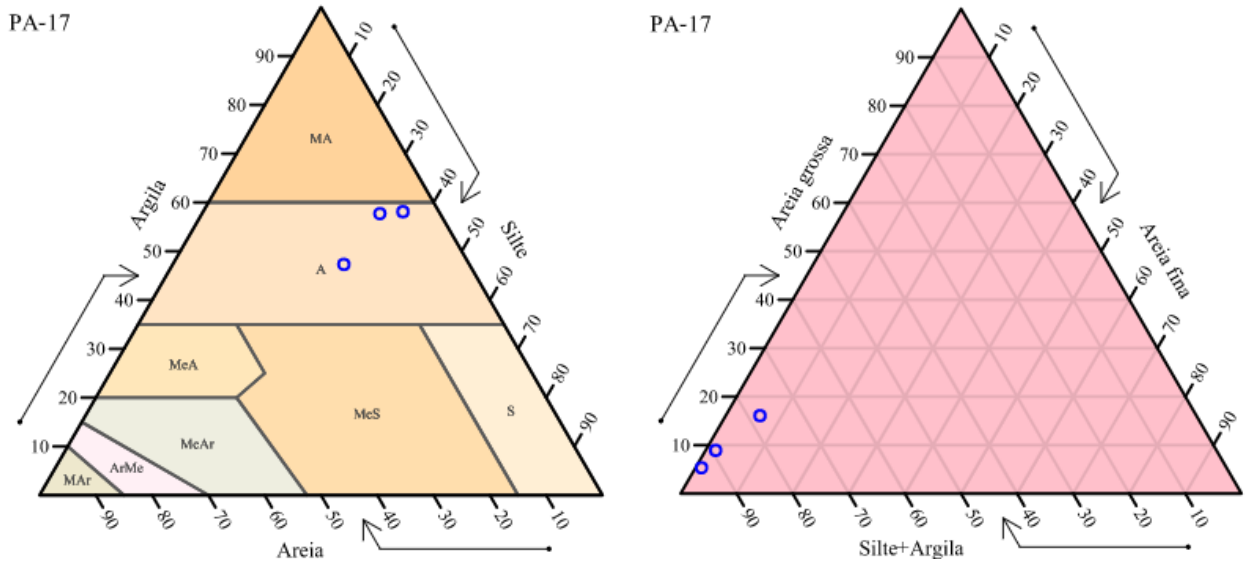


Figura 17.39. Triângulo textural das frações da terra fina e de areias dos horizontes do perfil PA-17. As setas indicam a direção de aumento do valor da fração textural indicada.

4. Considerações finais

Dos 17 perfis estudados, 14 apresentaram pelo menos um par de horizontes no qual algum dos critérios quantitativos estudados atende aos valores estipulados para identificação de descontinuidades. Seguindo exclusivamente os critérios da WRB-*Soil Taxonomy*, apenas sete não atendem aos critérios de campo e de laboratório para identificação de descontinuidades. A aplicação dos critérios propostos para identificação de descontinuidades litológicas não afeta ou sugere alteração na classificação taxonômica ou na nomenclatura de horizontes em sete perfis.

A análise de coerência dos resultados, na qual as indicações de descontinuidade dos métodos são pareadas às classificações dos perfis, indica que os critérios necessitam ser ajustados ou calibrados para o seu uso, conforme o contexto do perfil. Por exemplo, um perfil de Latossolo (PA-05) apresentou descontinuidades indicadas pelos métodos granulométricos. Para o Argissolo referente ao perfil AM-01 existe evidência arqueológica que indica algum grau de interferência antrópica. Para o perfil PA-05, não há evidência que corrobore a interpretação de descontinuidade. Os perfis AM-02 e AM-09 apresentam indicações de descontinuidade (linha de pedra e variações de forma de grãos), além daquelas indicadas pelos métodos granulométricos, mas estes últimos devem ser avaliados com reservas nesses casos em função da potencial interferência dos processos pedogenéticos específicos na mudança da composição das frações granulométricas (processos de cimentação por plintização ou podzolização). O perfil AM-06, por outro lado, não mostrou indicações de descontinuidade pelos métodos empregados, apesar da evidência geomorfológica de campo de processos de sedimentação fluvial. Como outros métodos de validação geoquímicos, mineralógicos ou palinológicos não foram aplicados nesse trabalho, a análise aqui apresentada é preliminar.

A análise dos resultados indica que os métodos testados são úteis, porém insuficientes individualmente para inferências seguras da presença de descontinuidade litológica, sendo necessária a análise conjunta com as demais evidências morfológicas dos perfis e geomorfológicas da paisagem.

Referências

AHR, S. W.; NORDT, L. C.; SCHAETZL, R. J. Lithologic discontinuities in soils. In: RICHARDSON, D.; CASTREE, N.; GOODCHILD, M. F.; KOBAYASHI, A.; LIU, W.; MARSTON, R. A. (ed.). The international encyclopedia of geography. Chichester: John Wiley & Sons, 2017. DOI: https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0816.

ALEVA, G. J. J. Occurrence of stone-lines in tin-bearing areas in Belitung, Indonesia, and Rondônia, Brazil. Geo-Eco-Trop, v. 11, n. 1/4, p. 197-203, 1989. Disponível em: https://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_111_16.pdf. Acesso em: 28 jul. 2025.

BIRKELAND, P. W. Soils and geomorphology. New York: Oxford University Press, 1984. 372 p.

BUOL, S. W.; SOUTHARD, R. J.; GRAHAM, R. C.; MCDANIEL, P. A. Soil genesis and classification. 6th ed. Chichester: Wiley-Blackwell, 2011. 543 p. DOI: https://doi.org/10.1002/9780470960622.

ESTADOS UNIDOS. Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Staff. Keys to soil taxonomy. 13th ed. Washington, DC, 2022. 401 p. Disponível em: https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/Keys-to-Soil-Taxonomy.pdf. Acesso em: 28 jul. 2025.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: LIER, Q. de J. van (ed.). Física do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. cap. 1, p. 1-27.

GOMPERTZ, B. XXIV. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. In a letter to Francis Baily, Esq. F. R. S. &c. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, v. 115, p. 513-585, 1825. DOI: https://doi.org/10.1098/rstl.1825.0026.

IUSS WORKING GROUP WRB. World reference base for soil resources: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th ed. Vienna: International Union of Soil Sciences, 2022. 236 p. Disponível em: https://www.isric.org/sites/default/files/WRB_fourth_edition_2022-12-18.pdf. Acesso em: 28 jul. 2025.

MEDEIROS, P. S. C. de; NASCIMENTO, P. C. do; INDA, A. V.; SILVA, D. S. da. Caracterização e classificação de solos graníticos em topossequência na região Sul do Brasil. Ciência Rural, v. 43, n. 7, p. 1210-1217, 2013. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000700011.

MOURA, M. L.; KROONENBERG, S. B. Geochemical and mineralogical discontinuities in a stone-line containing soil profile in Araracuara, Colombian Amazones. Geo-Eco-Trop, v. 11, n. 1/4, p. 93-95, 1989. Disponível em: https://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_111_08.pdf. Acesso em: 28 jul. 2025.

NOVAES FILHO, J. P.; COUTO, E. G.; RODRIGUES, L. C. M.; CHIG, L. A.; JOHNSON, M. S. Indicativos de descontinuidade litológica de regolitos derivados de granitos em uma microbacia sob floresta amazônica, em Juruena-MT. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, n. 2, p. 317-324, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000200001.

PHILLIPS, J. D.; LORZ, C. Origins and implications of soil layering. Earth Science Reviews, v. 89, n. 3/4, p. 144-155, 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.04.003.

R CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2019. Disponível em: https://www.R-project.org/. Acesso em: 28 jul. 2025.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003. Acesso em: 28 jul. 2025.

SANTOS, R. D. dos; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101 p.

SCHAETZL, R. J. Lithologic discontinuities in some soils on drumlins: theory, detection, and application. Soil Science, v. 163, n. 7, p. 570-590, 1998.

SCHAETZL, R. J. Spodosol-Alfisol intergrades: bisequal soils in NE Michigan, USA. Geoderma, v. 74, n. 1/2, p. 23-47, 1996. DOI: https://doi.org/10.1016/S0016-7061(96)00060-2.

SOIL CLASSIFICATION WORKING GROUP. The Canadian System of Soil Classification. 3rd ed. Ottawa: NRC Research Press, 1998. 187 p.

TAYLOR, G.; EGGLETON, R. A. Regolith geology and geomorphology. Chichester: John Wiley & Sons, 2001. 375 p.

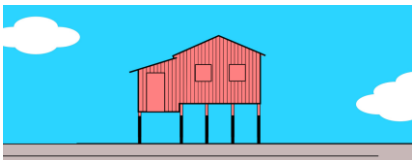
TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085209. Acesso em: 28 jul. 2025.

VIANA, J. H. M.; DONAGEMMA, G. K.; CLEMENTE, E. de P. Análise granulométrica de solos: subsídios para avaliação de ocorrência de descontinuidades litológicas em perfis selecionados da XIII RCC. In: SILVA, M. B. e; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de (ed.). Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC do Maranhão. Brasília, DF: Embrapa, 2020. E-book.

cap. 13. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/218466/1/Guia-de-campo-da-XIII-RCC-Maranhao.epub. Acesso em: 28 jul. 2025.

VIANA, J. H. M.; SOUZA, J. J. L. L. de; CLEMENTE, E. de P. Avaliação de ocorrência de descontinuidades litológicas em perfis da XIV RCC: proposta de métodos para o SiBCS. In: SANTOS, G. G.; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, R. E. M. de; MADARI, B. E. (ed.). Guia de campo da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de Goiás e Tocantins. Brasília, DF: Embrapa, 2023. E-book. cap. 15. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1159076. Acesso em: 28 jul. 2025.

Capítulo 18



Avaliação da infiltração e da condutividade hidráulica saturada dos perfis da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos

Alba Leonor da Silva Martins
Wenceslau Geraldes Teixeira
Jean Dalmo Marques
Jeferson Luís Vasconcelos de Macedo
Maria do Rosário Lobato Rodrigues

1. Introdução

Uma parte da água proveniente de eventos de precipitação em um local infiltra e percola o solo, sendo parcialmente retida e formando o reservatório de água para as plantas. Outra parte dessa água que percola é responsável pela recarga do(s) aquífero(s), uma das fontes reguladoras essenciais dos mananciais superficiais. Em um balanço hídrico ideal, a variação do armazenamento de água no solo é resultado das diferenças entre os volumes de água que entram no sistema, pela precipitação e/ou irrigação, e as saídas pela evapotranspiração, escoamento superficial (enxurradas) e recarga dos aquíferos (Teixeira et al., 2020).

A condutividade hidráulica saturada do solo (Ks) é uma propriedade hidráulica intrínseca que expressa a máxima permeabilidade do solo para a condução de água (Prevedello; Armindo, 2015). A infiltração de água no solo é descrita pela penetração da água através da superfície do solo. A taxa ou velocidade de infiltração da água decresce de valores mais elevados até um valor onde o comportamento torna-se assintótico em longos períodos - esse valor é denominado taxa de infiltração básica (TIB).

Quando a intensidade de precipitação (IP) da chuva ou irrigação é igual ou menor que a TIB, não há o empoçamento da água nem a formação de enxurradas. Entretanto, se a IP for maior que a TIB, quando o solo já estiver saturado, podem ocorrer o empoçamento da água e a formação de enxurradas, que carreiam partículas do solo em suspensão, causando erosão e degradação da qualidade da água nos mananciais.

Mesmo que Ks e TIB sejam variáveis fisicamente distintas, podem assumir valores numericamente iguais quando o solo encontra-se saturado, isto é, em condições de gradiente hidráulico unitário e fluxo descendente, com o potencial matricial da água no solo tornando-se nulo.

A condutividade hidráulica saturada no campo (Kfs) é uma propriedade física do solo importante para o entendimento da dinâmica da água, incluindo a retenção e a absorção pelas plantas (Fabian; Ottoni Filho, 1997). Dados de Kfs têm sido utilizados para a parametrização do software *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT), que é um dos modelos para estudos da produtividade de culturas (Jones et al., 2003).

A caracterização de Ks tem sido utilizada tanto no cálculo da recarga de aquíferos por meio da equação de balanço hídrico (Martins et al., 2022), onde variáveis de entrada e de saída são conhecidas por determinação direta ou empírica, como em estudos de modelagem hidrológica e projetos de irrigação. Associadamente a esses estudos, faz-se uso também das medições da TIB, para se estimar os valores da taxa de irrigação, das estimativas de escoamento superficial e de infiltração em estudos de modelagem hidrológica (Teixeira et al., 2020; Ottoni et al., 2025).

As propriedades hidráulicas do solo (Ks e TIB) variam no tempo e no espaço (Bagarello; Sgroi, 2007; Pachepsky et al., 2008; Vieira et al., 2014) e sua avaliação deve ser realizada, prioritariamente, no campo, o que torna essas pesquisas custosas e laboriosas. Isso justifica, em parte, a escassez de determinações dessas propriedades em trabalhos de levantamento e caracterização do solo. Os trabalhos encontrados com essas avaliações no campo em solos do Amazonas e do Pará foram os de Rodrigues et al. (1991), Tomasella e Hodnett (1996), Oliveira Júnior et al. (1997, 1998, 1999), Teixeira (2001), Marques et al. (2004, 2010), Souza et al. (2004), Coelho et al. (2005), Teixeira et al. (2014, 2020) e Borkowski (2021).

Entre os métodos de avaliação de TIB, o infiltrômetro de anel simples ou concêntrico é dos mais utilizados e populares no Brasil (Corrêa, 1985; Medina; Leite, 1985; Abreu et al., 2004). Os permeâmetros de poço de carga constante, em especial o permeâmetro de Guelph (*Soil Moisture*, 2008), têm sido bastante utilizados para as determinações da condutividade hidráulica do solo saturado no campo (Kfs) (Abreu et al., 2004; Assis; Lanças, 2005; Oliva et al., 2005; Correia et al., 2007). Um levantamento dos dados de Ks e TIB para os solos do Brasil foi feito num esforço dos associados da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS). O estudo organizou e disponibilizou mais de 2500 dados de avaliações de Ks e TIB realizadas no Brasil (Ottoni et al., 2025). Os dados desse levantamento estão disponibilizados num banco de dados público disponível nos repositórios do Serviço Geológico do Brasil (SGB) (https://www.sgb.gov.br/ksat-ssir-db-base-de-dados-de-condutividade-hidraulica-saturada-e-de-taxa-de-infiltracao-basica-em-solos-brasileiros).

1.1. Instrumentos de medição da taxa de infiltração básica (TIB) e da condutividade hidráulica saturada (Ks).

O permeâmetro de Guelph (Figura 18.1) é um equipamento usado para medição da Ks no campo. As avaliações feitas no campo são comumente denominadas de Kfs, sendo o fs uma abreviação de saturada no campo – *field saturated*. O permeâmetro de Guelph é composto, basicamente, de um frasco de Mariotte, que controla a carga constante de água no poço, ligado a um reservatório de água, formado por um tubo acrílico com régua graduada, acoplado a um tripé regulável de forma a adaptar o aparelho a terrenos irregulares (Reynolds et al., 1985). A anotação do decaimento do nível da água no reservatório como função do tempo é feita manualmente. Segundo Teixeira et al. (2020), à medida que a água infiltra-se no solo, o nível

do reservatório decresce, sendo possível estimar o fluxo de água no poço (Q). Na utilização do permeâmetro de Guelph, é imprescindível controlar e anotar se as medidas da variação do nível da água estão sendo feitas no reservatório interno (*in* – fator 2,16 cm^2) ou externo (*out* – fator 35,22 cm^2). A variação do volume entre eles é de ~ 150%.

Com os valores determinados de Q (normalmente avaliados em $cm^3\ min^{-1}$), juntamente com os valores da geometria do poço (raio - cm), da altura da coluna de água mantida no poço, denominada de carga hidráulica (H - cm), e do parâmetro denominado α, que depende da estrutura do solo (Tabela 18.1), é possível obter os valores de Kfs. Detalhes da solução matemática da estimativa da condutividade hidráulica no bulbo (3D) ao redor de um poço saturado de água foram apresentados por Wooding (1968). A empresa que comercializa o permeâmetro de Guelph (*Soil Moisture* – EUA) disponibiliza uma planilha para a realização dos cálculos de Kfs com base nos parâmetros mencionados.

O infiltrômetro de anel simples – *single ring* (Figura 18.2) – é um instrumento simples e prático para avaliação da TIB, bastante utilizado devido à facilidade de uso em campo (Fabian; Ottoni Filho, 1997). Ele consiste em um cilindro metálico, de fundo aberto, que é inserido no solo. Na face interna do cilindro, são observadas e registradas as variações de nível da água no decorrer do tempo, referente ao volume de água infiltrada no solo (Reynolds et al., 2002). Com esses dados e a área circunscrita no anel, é possível estimar o fluxo de água que se infiltra no solo em determinado tempo (Teixeira et al., 2020).

As medições da TIB são utilizadas no cálculo da lâmina de água a ser aplicada em projetos de irrigação, do escoamento superficial ou de infiltração na modelagem hidrológica. De acordo com Leal (2011), em estudos hidrológicos, o processo de infiltração, associado aos processos de retenção e percolação, é imprescindível, pois atua na manutenção da bacia hidrográfica como um reservatório dinâmico, permitindo o armazenamento e a movimentação subterrânea da água. Adicionalmente, o Kfs e a TIB, em conjunto com outros parâmetros, permitem estimativas sobre as classes de drenagem e da formação de enxurradas (*runoff potential*).

Este trabalho tem por objetivo apresentar os dados da avaliação da condutividade hidráulica saturada (Kfs) e da taxa de infiltração básica (TIB) da água em perfis de solos estudados na XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (XV RCC).

2. Material e métodos

2.1. Seleção dos locais de avaliação

Os estudos foram realizados em sete locais, próximos aos perfis da XV RCC. A descrição dos perfis de solo bem como suas características físicas, químicas e mineralógicas e a classificação segundo o *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* (Santos et al., 2018) são apresentadas no Capítulo 9. Nesses locais foram avaliadas a condutividade hidráulica saturada no campo (Kfs), utilizando o permeâmetro de Guelph (Figura 18.1), e a taxa de infiltração básica (TIB), com a utilização de um infiltrômetro de anel simples (*single ring*) (Figura 18.2).

Fotos: Wenceslau Geraldes Teixeira.



Figura 18.1. Permeâmetro de Guelph com o frasco de Mariotte, instalado no campo para a determinação da Kfs a 20 cm (horizonte A) e a 60 cm (horizonte B).

Fotos: Wenceslau Geraldes Teixeira.



Figura 18.2. Determinação da taxa de infiltração básica (TIB) realizada com o infiltrômetro de anel simples (*single ring*) no Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico (AM-01).

No infiltrômetro de anel, o cilindro metálico utilizado no presente estudo tinha 19,5 cm de diâmetro e 20 cm de altura, sendo inserido a cerca de 5 cm de profundidade (Figura 18.2). As avaliações foram realizadas com carga hidráulica variável entre 1 e 10 cm de altura, com a estimativa do volume de água infiltrado pela variação do nível da água dentro do cilindro feita por leitura numa régua adaptada numa boia, por um tempo mínimo de 30 minutos por cada ponto, dependendo da permeabilidade da água no solo. Nos perfis AM-01, AM-02 e AM-08, o frasco de Mariotte do permeâmetro de Guelph foi utilizado para manter uma carga constante de água no cilindro entre 2 e 5 cm (Figura 18.1), e a leitura foi feita nos reservatórios do equipamento. As estimativas da TIB (cm h^{-1}) foram feitas dividindo-se o fluxo de água (Q) em cm^3 h^{-1} pela área do cilindro (283 cm^2).

Os dados apresentados são médias das três repetições, com o respectivo desvio-padrão. Os cálculos da velocidade de infiltração básica (TIB, em cm h^{-1}) foram feitos utilizando-se a Equação 1:

$$TIB = volume\ infiltrado\ (cm^3)\ /área\ interna\ do\ anel\ (cm^2)\ x\ tempo\ (h) \quad (1)$$

Para a avaliação da condutividade hidráulica saturada no campo (Kfs), foi empregado o permeâmetro de Guelph (Soil Moisture, 2008). Os poços foram escavados utilizando-se um trado de caneco com seis centímetros de diâmetro, nas profundidades de 0 a 20 e 0 a 60 cm, sendo mantida durante a avaliação uma carga hidráulica constante de 10 cm (Teixeira et al., 2020).

O fluxo de água no permeâmetro foi avaliado pelo monitoramento do nível da água no reservatório de Mariotte, registrado em planilha em intervalos de tempo variando entre 15 segundos (para o Espodossolo, perfil AM-09) e três minutos (para os Gleissolos Háplicos). O tempo de avaliação foi feito até uma variação constante no fluxo e oscilou entre 2 e 60 minutos, dependendo da permeabilidade da água no solo. As avaliações com o permeâmetro de Guelph foram feitas em triplicata, nas duas profundidades, totalizando 6 avaliações em cada local escolhido. Os dados apresentados são médias das repetições, com o respectivo desvio-padrão.

As equações para as estimativas da Kfs com base nas determinações dos fluxos no permeâmetro de Guelph são descritas por Reynolds et al. (1985). O método considera o solo como um meio poroso rígido, homogêneo e isotrópico, e o fluxo, como em regime constante.

Para estimativa da Kfs, foi utilizada a Equação 2:

$$Kfs = Qs/[(2rH2 + Cra2\ )\ \alpha + 2rH] \quad (2)$$

Em que:

Kfs é a condutividade hidráulica saturada no campo (cm3 min-1);

Qs é o fluxo de água no regime estacionário (cm3 s-1);

H é a carga hidráulica selecionada (cm);

r é o raio do poço de avaliação e

C e α (Tabela 18.1) são fatores adimensionais dependentes da textura e da estrutura do solo (Reynolds et al., 1985).

Os cálculos da Kfs foram feitos para mais de um valor *a* e as consequências dessa escolha são discutidas a seguir.

Tabela 18.1. Categoria de textura e estrutura do solo e o alpha (α) estimado nas avaliações da condutividade hidráulica saturada com o permeâmetro de Guelph (Soil Moisture, 2008).

Categoria de textura e estrutura do Solo	***α* (cm^{-1})**
1 - Materiais compactados, sem estrutura, argilosos ou siltosos, como revestimentos de aterros sanitários, sedimentos marinhos lacustres etc.	0,01
2 - Solos de textura fina (argilosos ou siltosos) e não estruturados; também podem incluir algumas areias finas.	0,04
3 - Solos mais estruturados, desde argilosos a francos, também incluem areias médias finas não estruturadas. É a categoria mais frequentemente aplicável para solos agrícolas.	0,12
4 - Areias grossas e pedregosas; também podem incluir alguns solos altamente estruturados com rachaduras grandes e/ou numerosas, macroporos etc.	0,36

Os dados de Kfs e TIB foram classificados nas categorias em função dos valores e faixas definidos na Tabela 18.2.

Tabela 18.2. Classificação dos valores da taxa de infiltração (TIB) ou condutividade hidráulica saturada (Ks) (Soil Survey Division Staff, 2017).

Classificação	**Muito baixa**	**Baixa**	**Moderada-mente baixa**	**Moderada-mente alta**	**Alta**	**Muito alta**
Velocidade de infiltração / transmissão (cm hora^{-1})	< 0,0036	≥0,0036 a ≤ 0,036	> 0,036 a ≤ 0,36	> 0,36 a ≤ 3,6	> 3,6 a ≤ 36	> 36

3. Resultados e discussão

Análises de condutividade hidráulica saturada (Kfs) e da infiltração da água (TIB) nos perfis da XV RCC

A elevada variabilidade da Kfs e da TIB é demonstrada pelos elevados valores dos desvios-padrão (Tabela 18.3). Entretanto, a elevada variabilidade da Kfs e da TIB é considerada normal (Jury et al., 1991; Abreu et al., 2003; Scherpinski et al., 2010), devido às fontes de erros na metodologia e à elevada variabilidade espacial do solo, considerando a pequena área ou volume amostral da medição pelas técnicas utilizadas. Um estudo de Warrick (1998) estimou o número de avaliações necessárias para as estimativas de Kfs: para um intervalo de confiança de 95% e variação de média de 10%, seria maior que 96 pontos de avaliação; e para estimativas da TIB, para um intervalo de confiança de 80% do valor estimado com 25% de tolerância de variação em relação à média, o número de avaliações deverá ser maior que sete. Dados que

demonstram um desvio-padrão maior que a média em estudos de avaliação da TIB e da Kfs são apresentados também por Warrick e Nielsen (1980), Hillel (1998) e Bagarello e Giordano (1999).

Nesse estudo a avaliação da TIB próximo ao perfil AM-08 (Plintossolo Argilúvico) apresentou valor médio de 5,5 cm h^{-1} e desvio-padrão de 6,3 cm h^{-1} para a alta variabilidade de dados de Ks e TIB. A presença de macroporos ou rachaduras no solo, comumente encontradas em algumas classes de solos nos trópicos, a exemplo dos Vertissolos (que têm argilas expansivas), pode aumentar a variabilidade hidráulica, naturalmente alta. Outras fontes de imprecisão na avaliação das propriedades hidráulicas surgem da própria técnica de medição, como a perturbação do solo durante a instalação do equipamento (Amoozegar; Warrick, 1986). Devido à alta variabilidade das propriedades hidráulicas do solo, é melhor para muitos propósitos ter vários pontos com menor precisão do que apenas alguns dados altamente precisos. Certamente, ambas as propriedades são desejáveis, mas não são facilmente obtidas. A variabilidade das propriedades hidráulicas no campo precisa ser levada em consideração ao escolher o método de medição e o número de repetições. Se forem insuficientes, os efeitos diretos dos tratamentos podem ser mal interpretados ou não detectados.

Adicionalmente, dados de TIB e Kfs não apresentam distribuição normal (Teixeira, 2001; Soil Survey Manual, 2017) e talvez poderiam ser mais bem representados pela mediana ou pela distribuição de frequência (Teixeira, 2001).

A Kfs depende do espaço poroso, e este parâmetro varia bastante entre diferentes classes de solos e, até mesmo, para o mesmo solo, em função das suas variações estruturais, sendo também influenciado pelo uso, cobertura e práticas de manejo do solo. Abreu et al. (2003) encontraram o valor de 63% para o coeficiente de variação da condutividade hidráulica no solo saturado, determinada em campo com a utilização do permeâmetro de Guelph, na profundidade de 15 cm. Os mesmos autores também enfatizam que os Latossolos, independentemente de sua textura, apresentam funcionamento hídrico similar, de forma geral, de alta condutividade hidráulica e elevada porosidade (Lumbreras, 1996; Tomasella; Hodnett, 1996; Teixeira et al., 2014).

Na Tabela 18.3 são apresentados os resultados da Kfs determinados pelo fluxo (Q) obtido com permeâmetro de Guelph com a carga hidráulica de 10 cm. Foi utilizada apenas uma carga hidráulica (Equação 2), pois, em solos heterogêneos e com a presença de macroporos (Elrick et al., 1989), a avaliação com duas cargas da Kfs pode assumir valores negativos.

Tabela 18.3. Avaliação da condutividade hidráulica saturada (Kfs) e taxa de infiltração básica (TIB) de alguns solos estudados na XV RCC.

Coordenadas geográficas		Município/localização	Kfs e alpha (α)		TIB
			Profundidade do poço (cm)		
			----- 20 -----	--- 60 ---	
Lat	Long		Carga hidráulica (10 cm)		
UTM			---------- cm hora^{-1} ----------		
AM-01 – Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico, textura média/argilosa/muito argilosa					
9639997	808021	Manaus / CE Caldeirão	0,78 ± 0,12 α = 0,12	0,57 ± 0,12 α = 0,12	48,49 ± 27,77
AM-02 – Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico, textura muito argilosa					
9686970	230256	Itacoatiara - Rodovia AM-010	0,57 ± 0,99 α = 0,12	0,38 ± 0,66 α = 0,12	163,41 ± 40,36
AM-05 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura siltosa					
9651365	341772	Itacoatiara - planície interna	4,39 ± 4,33 a = 0,04 8,26 ± 8,16 α = 0,12	0,40 ± 0,16 a = 0,04 0,78 ± 0,30 α = 0,12	13,32 ± 1,98
AM-06 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/siltosa/média					
9651224	341760	Itacoatiara - dique da planície	0,74 ± 0,63 a = 0,04 1,39 ± 1,18 α = 0,12	0,35 ± 0,06 a = 0,04 0,65 ± 0,11 α = 0,12	4,35 ± 3,65
AM-08 – Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico, textura média/argilosa/muito argilosa					
9649792	788620	Iranduba - AM-070 km 42	0,55 ± 0,09 α = 0,12	1,44 ± 0,78 α = 0,12	5,50 ± 6,28
AM-09 – Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa					
9714260	830246	Manaus - Rodovia BR-174	78,35 ± 10,79 α = 0,36 Horizonte 4Bhsm (~ 350 cm) 0,15 ± 0,38 α = 0,01	79,00 ± 26,60 α = 0,36	50,48 ± 23,87
AM-12 – Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico, textura média					
9708447	527925	Parintins - planície interna	0,36 ± 0,04 a = 0,04 0,67 ± 0,08 α = 0,12	0,36 ± 0,08 a = 0,04 0,68 ± 0,15 α = 0,12	6,51 ± 9,96

Kfs: condutividade hidráulica saturada do solo no campo; TIB: taxa de infiltração básica.

Entre os sete locais visitados, o solo nas proximidades do perfil AM-11 Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico, em Parintins, à margem do Rio Amazonas, não foi avaliado por causa da presença de fendas (Figura 18.3).



Fotos: Wenceslau Geraldes Teixeira.

Figura 18.3. Superfície do solo com fendas, próxima ao perfil AM-11 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico (Parintins, AM).

As avaliações nos perfis AM-01 e AM-02, Argissolos e Latossolos da Formação Alter do Chão, na Amazônia Central, mostram elevados valores de TIB, típicos desses solos, de 48 e 163 cm h^{-1}, respectivamente. Corrêa (1985) encontrou valores de Kfs entre 62 e 11 cm h^{-1} em avaliações em Latossolo Amarelo muito argiloso, sob diferentes sistemas de preparo do solo. Medina (1985) encontrou valores em Latossolo Amarelo muito argiloso, com Kfs variando de 30 cm h^{-1} em área de floresta primária até 1,4 cm h^{-1} em local onde foi feito desmatamento mecanizado. Medina e Leite (1985) encontraram valores de Kfs entre 60 e 22 cm h^{-1}.

O perfil AM-01, que é um solo alterado pela ocupação humana (Terra Preta de Índio), apresenta uma menor infiltrabilidade que o AM-02. Os baixos valores de Kfs em ambos os perfis deve ser um artefato criado pelo método de avaliação (poço escavado e avaliação com permeâmetro de carga constante). Esses solos, estruturados e muito argilosos em subsuperfície, encontravam-se acima do limite de plasticidade quando os poços para medição da Kfs foram escavados e, provavelmente, o trado causou a compactação (espelhamento ou selamento de poros) das paredes do poço, consequentemente reduzindo a permeabilidade à água. Não é possível eliminar esse espelhamento nas paredes do poço nesses solos com o uso de escovas. Portanto, esses dados de Kfs avaliados neste estudo e em outros com permeâmetro de poço

escavado em solos muito argilosos, quando se encontram com umidade acima do limite de plasticidade, no caso dos Latossolos Amarelos da Amazônia Central (estimada em 40%) (Correa, 1985), devem ser utilizados com cautela, pois provavelmente estão subestimados.

As avaliações no perfil AM-09 (Espodossolo Humilúvico), nas profundidades de 20 cm e de 60 cm, apresentaram os maiores valores da Kfs, acima de 78 cm hora^{-1}. Valores maiores que 36 cm hora^{-1} estão acima do limite superior das avaliações fidedignas realizadas com o permeâmetro de Guelph, portanto, os valores de Kfs no perfil AM-09 devem ser vistos com ressalvas. Esses horizontes, de textura arenosa e estrutura com predomínio de grãos simples, possuem valores de Kfs muito altos segundo os critérios apresentados na Tabela 18.2. Entretanto, esses elevados valores reduzem-se drasticamente no horizonte B espódico (4Bhsm que se localiza a cerca de 350 cm da superfície do solo), para valores de Kfs = 0,15 cm hora^{-1} (Tabela 18.3). A permeabilidade moderadamente baixa desse horizonte é que controla a drenagem do perfil como um todo. A maioria dos Espodossolos na Amazônia estão localizados em áreas mal drenadas (Teixeira et al., 2010) e apresentam áreas alagadas nos períodos de elevada precipitação, muitos com horizontes B espódicos cimentados. Resultados semelhantes em solos arenosos com a presença de horizontes com reduzida permeabilidade foram avaliados por Teixeira et al. (2020) na Ilha de São Luís, no Maranhão.

O perfil de Gleissolo Háplico (AM-05) estudado evidencia o efeito da escolha do parâmetro *α*, nas estimativas da Kfs. A seleção do parâmetro α 4 (0,04) fez com que a Kfs alterasse-se de ~ 0,40 e 0,35 cm h^{-1} para 8,30 e 0,67 cm h^{-1} com a troca para o *a* 3 (0,12) para as profundidades de 20 e 60 cm. É necessário que se façam estudos que elucidem mais detalhadamente o efeito da estrutura nas estimativas do parâmetro α para diversas classes de solos no Brasil. Para solos de clima temperado, a classificação equivocada em uma categoria introduz erros de pequena magnitude, o que é geralmente aceitável para aplicações de estudos de campo (Elrick et al., 1989). O Espodossolo Humilúvico (AM-09) é um exemplo de grande variação estrutural entre os horizontes, onde o *a* é igual a 0,36. No entanto, dentro do mesmo perfil, as características estruturais são alteradas no horizonte B espódico (4Bhsm), e o α considerado é 0,01 (Tabela 18.1).

O Gleissolo Háplico (AM-12), nas profundidades de 20 e 60 cm, apresentou valores de Kfs ~ 0,35 cm hora^{-1}, quando se utilizou o fator α 0,04 (“solos siltosos”). Entretanto, os valores de Kfs elevam-se para Kfs ~ 0,67 cm hora^{-1} se utilizamos o valor α de 0,12 (“solos estruturados”). A indicação para a seleção do parâmetro alpha (α) é apresentada na Tabela 18.1.

Os resultados obtidos usando-se o infiltrômetro de anel são geralmente superiores às estimativas obtidas com o permeâmetro de Guelph (Tabela 18.3). Vários fatores condicionam a infiltração, a condução e a retenção de água no solo, tais como a granulometria e a mineralogia. No entanto, os arranjos estruturais parecem ser os mais relacionados à velocidade de movimento da água (Corrêa, 1985). Neste estudo, os valores de α parecem indicar essa afirmação (Tabela 18.3).

4. Conclusões

A Kfs e a TIB são parâmetros de elevada variabilidade mesmo em localidades próximas.

Os Latossolos Amarelos muito argilosos apresentam uma alta TIB.

O Espodossolo Humilúvico (perfil AM-09) apresenta uma grande redução da Kfs no horizonte B espódico em relação à Kfs dos horizontes suprajacentes.

O método do permeâmetro de poço para estimativa da Kfs em solos muito argilosos pode apresentar valores subestimados causados por uma compactação ou selamento de poros (espelhamento) das paredes na escavação do poço.

São necessários estudos para a recomendação do fator estrutural (parâmetro *alpha*) para o cálculo da Kfs pelo método do poço para os diferentes tipos de estruturas e de classes de solo do Brasil.

É de grande interesse que, em perfis com alta densidade de parâmetros edáficos estudados, como nas RCCs, a TIB e a Ks sejam incorporadas na rotina das avaliações.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Finep/CT-Agro/FNDCT (Convênio 01.22.0081.00, Ref. 1218/21) para o projeto PronaSolos: rede para o avanço científico e tecnológico aplicado às múltiplas funcionalidades do solo para o desenvolvimento agroambiental do Brasil.

O pesquisador Wenceslau Geraldes Teixeira agradece o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade em pesquisa nível 2.

Referências

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 519-531, 2004. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000300013.

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade e da qualidade de grão de trigo em Argissolo Franco Arenoso sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, n. 2, p. 275-282, 2003.
DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-84782003000200015.

AMOOZEGAR, A.; WARRICK, A. W. Hydraulic conductivity of saturated soils: field methods. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis, part 1, physical and mineralogical methods**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy : Soil Science Society of America, 1986. p. 735-770. (Agronomy, 9).

ASSIS, R. L. de; LANÇAS, K. P. Avaliação de atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférrico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 515-522, 2005. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000400004.

BAGARELLO, V.; GIORDANO, G. Comparison of procedures to estimate steady flow rate in field measurement of saturated hydraulic conductivity by the guelph permeameter method. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 74, n. 1, p .63-71, 1999. DOI: https://doi.org/10.1006/jaer.1999.0437.

BAGARELLO, V.; SGROI, A. Using the simplified falling head technique to detect temporal changes in field-saturated hydraulic conductivity at the surface of a sandy loam soil. **Soil and Tillage Research**, v. 94, n. 2, p. 283-294, 2007. DOI: https://doi.org/10.1016/j.still.2006.08.001.

BORKOWSKI, J. P. **Infiltração de água em solos sob uso agrícola e pousio no estado do Amapá**. 2021. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Irrigação e Gestão de Recursos Hídricos) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Macapá, 2021.

COELHO, M. R.; FIDALGO, E. C. C.; ARAUJO, F. O.; SANTOS, H. G.; SANTOS, M. L. M.; PÉREZ, D. V.; MOREIRA, F. M. S. **Levantamento pedológico de uma área-piloto relacionada ao Projeto BiosBrasil** (Conservation and Sustainable Management of Below-Ground Biodiversity: Phase I), Município de Benjamin Constant (AM): janela 6. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 68). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/855546. Acesso em: 25 jan. 2025.

CORRÊA, J. C. Características físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso (typic Acrorthox) do Estado do Amazonas, sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 12, p. 1381-1387, 1985. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/978981/1/16391713421SM.pdf. Acesso em: 25 jan. 2025.

CORRÊA, J. C. Limites de consistência de solos da Amazônia Central e sua importância agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 6, p. 917-921, jun. 1982. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1119459/1/15946698291SM1.pdf. Acesso em: 25 jan. 2025.

CORREIA, F. V.; MERCANTE, F. M.; FABRÍCIO, A. C.; CAMPOS, T. M. P. de; VARGAS JÚNIOR, E. A.; LANGENBACH, T. Infiltração de atrazina em Latossolo submetido aos sistemas de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 11, p. 1617-1625, 2007. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007001100014.

ELRICK, D. E.; REYNOLDS, W. D.; TAN, K. A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analysis. **Ground Water Monitoring**, v. 9, n. 3, p. 184-193, 1989. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1745-6592.1989.tb01162.x.

FABIAN, A. J.; OTTONI FILHO, T. B. Determinação de curvas de infiltração usando uma câmara de fluxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 2, p. 325-333, 1997.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**: fundamentals, applications, and environmental considerations. Oxford: Elsevier Science, 1998. 771 p.

JONES, J. W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER; C. H.; BOOTE. K. J.; BATCHELOR, W. D.; HUNT, L. A.; WILKENS, P. W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A. J.; RITCHIE, J. T. The DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**, v. 18, n. 3-4, p. 235-265, 2003. DOI: https://doi.org/10.1016/s1161-0301(02)00107-7.

JURY, W. A.; GARDNER, W. R.; GARDNER, W. H. **Soil physics**. New York: John Wiley and Sons, 1991.

LEAL, I. F. **Classificação e mapeamento físico-hídricos de solos do assentamento agrícola Sebastião Lan II, Silva Jardim – RJ**. 2011. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

LUMBRERAS, J. F. **Regime hídrico do solo sob cobertura de floresta e de eucalipto na pré-amazônia maranhense**. 1996. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1996.

MARQUES, J. D. de O.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ JUNIOR, O. F.; BATISTA, S. M.; AFONSO, M. A. C. B. Atributos químicos, físico-hídricos e mineralogia da fração argila em solos do Baixo Amazonas: Serra de Parintins. **Acta Amazônica**, v. 40, n. 1, p. 1-12, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000100001.

MARQUES, J. D. de O.; LIBARDI, P. L.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M. Estudo de parâmetros físicos, químicos e hídricos de um Latossolo Amarelo, na região Amazônica. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 2, p. 145-154, 2004. DOI: https://doi.org/10.1590/S0044-59672004000200002.

MARTINS, A. L. S. da; TEIXEIRA, W. G.; SHINZATO, E.; SILVA, M. B.; FERREIRA, R. V.; GONÇALVES. R. V. Estimativa de recarga da água subterrânea na ilha de São Luís-MA: análise de uma série temporal de 27 anos. In: WORKSHOP DE SIMULAÇÃO DE FLUXOS DE ÁGUA E SOLUTOS NO SOLO, 2022, Rio de Janeiro. **Simulação de fluxos de água e solutos no solo**. Rio de Janeiro: Ed. dos Autores, 2022. 61 p.

MEDINA, B. F.; LEITE, J. A. Influência de três sistemas de manejo e duas coberturas vegetais na infiltração de água em um Latossolo Amarelo em Manaus -AM. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 11, p. 1323-1331, 1985.

OLIVA, A.; KIANG, C. H.; CAETANO-CHANG, M. R. Determinação da condutividade hidráulica da Formação Rio Claro: análise comparativa através de análise granulométrica e ensaios com permeâmetro de Guelph e Testes de Slug. **Águas Subterrâneas**, v. 19, n. 2, p. 1-17, 2005. DOI: https://doi.org/10.14295/ras.v19i2.8223.

OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; RODRIGUES, T. E.; VALENTE, M. A.; SILVA, J. M. L. **Caracterização físico-hídrica de quatro perfis de solos da região da Transamazônica, trecho Altamira-Itaituba**. Belém, PA: Embrapa-CPATU, 1998. 29 p. (Embrapa-CPATU. Boletim de pesquisa, 206).

OLIVEIRA JUNIOR, R. C. de; VALENTE, M. A.; RODRIGUES, T. E. **Caracterização físico-hídrica de solos do sudeste paraense**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 35 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa, 20).

OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; VALENTE, M. A.; RODRIGUES, T. E.; SILVA, J. M. L. **Caracterização físico-hídrica de cinco perfis de solos do nordeste paraense**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 1997. 27 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa, 177).

OTTONI, M. V.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M. H. dos; PIMENTEL, L. G.; SOUZA, L. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; MELO, V. F.; CAVALIERI-POLIZELI, K. M. V.; REICHERT, J. M.; VIANA, J. H. M.; FONTANA, A.; MEDRADO, L. de C.; SANTOS, G. G.; AMARAL, L. G. H. do; ANJOS, L. H. C. dos; ARAUJO FILHO, J. C. de; BHERING, S. B.; BRITO, G. F. de; VALLE, P. G. de C. do; CAMPOS, P. N.; COSTA, A. M. da; MARQUES, J. D. de O.; MARTINS, A. L. da S.; NASCIMENTO, M. B. de S. do; NORONHA, N. C.; OLIVEIRA, R. D. de; PORTELA, J. C.; SERAFIM, M. E.; SILVA, M. B. e; RODRIGUES, S.; ALMEIDA, W. S. de; MORAES, M. L. de; CURI, N. Saturated hydraulic conductivity and steady-state infiltration rate database for Brazilian soils. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 49, e0240003, 2025.

PACHEPSKY, Y.; GIMÉNEZ, D.; LILLY, A.; NEMES, A. Promises of hydropedology. CABI Reviews, 2008. DOI: https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20083040.

PREVEDELLO, C. L.; ARMINDO, R. A. **Física do solo com problemas resolvidos**. 2. ed. rev. e ampl. Curitiba: C. L. Prevedello, 2015. 474 p.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK. D. E.; CLOTHIER, B. E. The constant head well permeameter: effect of unsaturated flow. **Soil Science**, v. 139, p. 172-180, 1985.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E.; YOUNGS, E. G. Ring or cylinder infiltrometers (vadose zone). In: DANE, J.; TOPP, G. C. (ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: SSA Book, 2002. p. 818-843.

RODRIGUES, T. E.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; SILVA, J. M. L.; VALENTE, M. A.; CAPECHE, C. L. **Caracterização físico hídrica dos principais solos da Amazônia legal**: I. Estado do Pará. Relatório técnico. Belém, PA: EMBRAPA-SNLCS: FAO, 1991. 236 p.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. dos; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SCHERPINSKI, C.; URIBE-OPAZO, M. A.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C.; JOHANN, J. A. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica e da infiltração da água no solo da água no solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 7-13, 2010. DOI: https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i1.959.

SOIL MOISTURE. **Guelph permeameter model 2800 (User manual)**. Santa Barbara: Soil Moisture Equipment Corporation, 2008. 55 p.

SOIL SURVEY DIVISION STAFF. (Washington, DC). **Soil survey manual**. Washington: USDA, 2017. 603 p. (USDA. Handbook, 18).

SOUZA, Z. M.; LEITE, J. A.; BEUTLER, A. N. Comportamento de atributos físicos de um Latossolo Amarelo sob agroecossistemas do Amazonas. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 3, p. 654-662, set./dez. 2004. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-69162004000300017.

TEIXEIRA, W. G. **Land use effects on soil physical and hydraulic properties of a clayey ferralsol in the Central Amazon**. 2001. 268 f. Tese (Doutorado) – Universitat Bayreuth, Bayreuth, 2001.

TEIXEIRA, W. G.; ARRUDA, W.; SHINZATO, E.; MACEDO, R. S.; MARTINS, G. C.; LIMA, H. N.; RODRIGUES, T. E. Solos. In: MAIA, M. A. M.; MARMOS, J. L. **Geodiversidade do Estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010. cap. 6, p. 71-86.

TEIXEIRA, W. G.; OTTONI, M. V.; ARMINDO, R. A.; MARTINS, A. L. S.; LUMBRERAS, J. F.; SILVA, A. C. da; FERREIRA, R. V.; SHINZATO, E. Estimativas e avaliação da velocidade de infiltração e da condutividade hidráulica saturada em solos do estado do Maranhão. In: SILVA, M. B. e; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de. (ed.). **Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC do Maranhão. Brasília, DF: Embrapa, 2020. E-book. cap. 15.

TEIXEIRA, W. G.; SCHROTH, G.; MARQUES, J. D.; HUWE, B. Unsaturated soil hydraulic conductivity in the Central Amazon: field evaluations. In: TEIXEIRA, W. G.; CEDDIA, M. B.; OTTONI, M. V.; DONAGEMMA, G. K. (ed.). **Application of soil physics in environmental analyses**: measuring, modelling and data integration. New York: Springer International Publishing, 2014. p. 283-305.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M. G. Soil hydraulic properties and van Genuchten parameters for an oxisol under pasture in central Amazonia. In: GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. (ed.). **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley & Sons, 1996. p. 101-124.

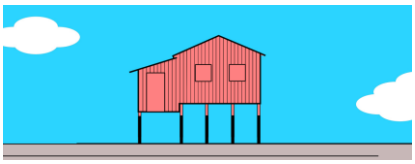
VIEIRA, S. R.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Spatial relationships between soil water content and hydraulic conductivity in a highly structured Clay Soils. In: TEIXEIRA, W. G.; CEDDIA, M. B.; OTTONI, M. V.; DONAGEMMA, G. K. (ed.). **Application of soil physics in environmental analyses**: measuring, modelling and data integration. Heidelberg: Springer International Publishing, 2014. p. 75-90.

WARRICK, A. W. Spatial variability. In: HILLEL, D. (ed.). **Environmental soil physics**. San Diego: Academic Press, 1998. p. 655-675.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344.

WOODING, R. A. Steady infiltration from a shallow circular pond. **Water Resources Research**, v. 4, n. 6, p. 1259-1273, 1968. DOI: https://doi.org/10.1029/WR004i006p01259.

Capítulo 19



Retenção de água em amostras de solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos

Wenceslau Geraldes Teixeira
Letícia Guimarães Pimentel
Maria do Rosário Lobato Rodrigues
José Francisco Lumbreras

1. Introdução

A capacidade de retenção de água de um solo é um componente essencial tanto para a orientação do manejo adequado de irrigação como para a modelagem hidrológica, a produtividade de cultivos e os estudos geotécnicos e ecológicos de fitogeografia.

Os valores da umidade volumétrica (θ) no potencial de 10 kPa são determinados como umidade na capacidade de campo (θ_{CC}), enquanto a umidade volumétrica no potencial de 1500 kPa é denominada umidade no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}). O potencial de 10 kPa tem sido recomendado para o uso em solos tropicais em especial devido a sua mineralogia e estrutura (Reichardt, 1988; Teixeira, 2001; Teixeira et al., 2019b).

O cálculo do volume de água disponível para as plantas (AD) é feito subtraindo-se o valor da θ_{CC} do valor da θ_{PMP}. A AD é um parâmetro essencial para o manejo da irrigação e o zoneamento agrícola de risco climático (ZARC) (Teixeira et al., 2021).

Alguns estudos já apresentaram dados de retenção de água em solos da Amazônia Central e das várzeas da Amazônia. Dentre eles, destacam-se os realizados pelo projeto Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observation Study (Abracos), com análises de retenção de água (Hodnett et al., 1996; Tomasella; Hodnett, 1996) e de fluxos hídricos. O projeto Studies of Human Impact on Forest and Floodplains in the Tropics (SHIFT) realizou diversos estudos relativos à retenção de água e à condutividade hidráulica, especialmente nos Latossolos Amarelos muito argilosos (Teixeira, 2001; Teixeira et al., 2014, 2021). Nesses estudos, verificou-se a distribuição bimodal dos poros do Latossolo Amarelo muito argiloso (Teixeira, 2001) e a grande redução da condutividade da água mesmo com o solo próximo da saturação (Teixeira et al., 2014, 2021). Nas áreas de várzeas da Amazônia Central, cabe destacar os levantamentos de solos feitos na área de estudo da *XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos* (XV RCC), que compreendem os estudos do Projeto de Desenvolvimento Rural Integrado do Amazonas (PDRI). O Centro Tecnológico de Minas Gerais (Cetec) realizou

levantamentos de solos em diferentes escalas de detalhes nos solos das várzeas e entorno de cidades abrangidas pelo PDRI (Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1986). Recentemente foi feito um esforço para a digitalização dos mapas e atualização da legenda dos mapas do munícipio de Parintins (Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1986; Teixeira et al., 2023a, 2023b, 2023c, 2023d). A atualização da legenda e a digitalização dos mapas das áreas de várzeas de Manacapuru, Careiro, Barreirinha e Urucará produzidos pelo Cetec seriam de grande utilidade para os estudiosos das várzeas e para seus potenciais usos na Amazônia Central.

Outros estudos com a apresentação de dados de retenção de água na Amazônia Central foram feitos por Corrêa (1984), Teixeira (2001), Marques et al. (2004, 2010), Pimentel et al. (2022).

Pesquisas de caracterização físico-hídrica de horizontes antrópicos na Amazônia Central, as Terras Pretas de Índio, foram realizadas por Neves Júnior (2008) e Teixeira et al. (2010). Perfis de solos com horizontes antrópicos e dados de retenção também foram estudados nas RCCs de Rondônia e Roraima (Teixeira et al., 2018, 2019b).

O objetivo deste capítulo é apresentar os dados de retenção de água, em diferentes potenciais, em horizontes selecionados de alguns perfis da *XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos* (XV RCC). Adicionalmente, serão disponibilizadas as curvas de retenção de água, com os ajustes dos dados de umidade volumétrica em função do potencial matricial para as equações unimodal de Van Genuchten (1980) e bimodal de Durner (1994). Uma discussão sobre a magnitude dos valores de θ_{CC}, θ_{PMP} e AD também é objeto deste estudo.

2. Material e métodos

As análises de retenção de água foram realizadas no Laboratório de Física do Solo, da Embrapa Amazônia Ocidental, em Manaus, AM.

Para a caracterização da retenção de água no solo, foram coletadas amostras indeformadas, em triplicata, com anéis metálicos de volume conhecido (~100 cm³). Foram selecionados 49 horizontes de 14 perfis da XV RCC, classificados segundo Santos et al. (2018) (vide Capítulo 9).

Inicialmente as amostras foram saturadas por capilaridade em bandejas de plástico. Após a saturação, as amostras foram pesadas para se obter o valor da umidade na saturação (0 cm de H_20 (pF ~ 0,01)). As amostras foram então colocadas na mesa de tensão de areia (Sandbox - Eijkelkamp, Holanda) para avaliação da umidade volumétrica ($m^3\ m^{-3}$) de equilíbrio nos potenciais de 1 kPa (pF= 1,0), 3 kPa (pF = 1,5) e de 6,3 kPa (pF= 1,8). Posteriormente as amostras foram colocadas nas câmaras de Richard para o equilíbrio nas tensões de 10 e 33 kPa (pF = 2,0 e pF = 2,52, respectivamente). A umidade na capacidade de campo (θ_{CC}) foi considerada em equilíbrio com a tensão de 10 kPa (pF = 2,0). As determinações das umidades no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) foram definidas após o equilíbrio com a tensão de 1500 kPa (pF = 4,2) e realizadas na câmara de Richards para amostras deformadas. As análises do θ_{PMP} foram feitas com amostras destorroadas acomodadas em anéis de borracha com 1 cm de altura. Após o equilíbrio, foi feita a avaliação da umidade gravimétrica ($kg\ kg^{-1}$), sendo essa

convertida para volumétrica ($m^3\ m^{-3}$) multiplicando-se a umidade gravimétrica pela densidade do solo (Ds, em kg m^{-3}). Detalhes dos procedimentos metodológicos para a operação da mesa de tensão e das câmaras de Richards estão descritos em Teixeira e Bhering (2017).

Os valores de água disponível (AD) foram calculados subtraindo-se o valor da θ_{PMP} dos valores da θ_{CC}. Os valores de ADs foram também estimados (ADest) valendo-se da equação proposta por Teixeira et al. (2021) e que é atualmente utilizada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para definir o calendário agrícola e os riscos climáticos (Brasil, 2022a, 2022b). Os dados de granulometria dos horizontes utilizados na predição da ADest são apresentados no Capítulo 9.

Os pares de umidade (volumétrica – $m^3\ m^{-3}$) e tensões de equilíbrio (hPa) foram ajustados às equações de Van Genuchten (1980) e Van Genuchten e Nielsen (1985) com a restrição de o coeficiente m ser uma função do coeficiente n, calculado por m = 1 – 1/n (Equação 1):

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha|h|)^n]^m}, m = 1 - \frac{1}{n} \quad (1)$$

onde θs e θr são, respectivamente, a umidade volumétrica na saturação e a residual (m^3m^{-3}); *h* é a tensão matricial da água no solo (cm de H_20 – em módulo); *α*, *n* e *m* são parâmetros empíricos do modelo. O parâmetro θr é a umidade residual, que pode ser considerado um parâmetro de ajuste e não deve ser interpretado como θ_{PMP} (Van Genuchten; Nielsen, 1985). O parâmetro α está relacionado com o potencial da entrada de ar no solo e tem a dimensão de cm^{-1}.

A equação bimodal de Durner (1994) (Equação 2):

$$\theta(h) = (\theta_s - \theta_r) \sum_{i=1}^{k} w_i\,[1 + (\alpha|h|)^n]^{-m} + \theta_r, m = 1 - \frac{1}{n} \quad (2)$$

onde os parâmetros da equação de Durner são os mesmos definidos previamente, sendo *k* o número de subcurvas (modas) e Wi um fator de peso dado para cada moda, satisfazendo $0 < w_i < 1$. Nesse estudo, a equação de Durner foi ajustada para duas modas, e o peso para cada moda (w_i) foi definido como 0,5. Para o ajuste de ambas as equações, denominadas de curva de retenção de água (CRA), foi utilizado o software RETC (Van Genuchten, 1991). Os dados do potencial matricial foram ajustados ustilizando seus valores em hPa (cm H_20). Entretanto são apresentados e plotados em pF, que é uma notação que utiliza o log10 do potencial em cm H_20. Usou-se como critério para qualidade e comparação dos ajustes das equações uni (vG) e bimodal (Durner) os menores valores da raiz do erro quadrático médio (RMSE).

Classificação da AD

Os valores de AD foram classificados segundo os critérios da Tabela 19.1.

Tabela 19.1. Classificação de água disponível (AD) por cor e símbolo e seus respectivos intervalos de valores.

Classe de AD	Intervalo (mm/cm)
AD0	valores de AD < 0,34 mm/cm
AD1	valores de AD de ≥ 0,34 < 0,46 mm/cm
AD2	valores de AD de ≥ 0,46 < 0,61 mm/cm
AD3	valores de AD de ≥ 0,61 < 0,80 mm/cm
AD4	valores de AD de ≥ 0,80 <1,06 mm/cm
AD5	valores de AD de ≥ 1,07 < 1,40 mm/cm
AD6	valores de AD ≥ 1,40 mm/cm

Nos Boletins de Pesquisa e Desenvolvimento 272 e 282 os limites das classes de AD são diferentes, sendo AD1 com valores entre 0,34 e 0,47 mm cm^{-1}; AD2 entre 0,48 e 0,67 mm cm^{-1}; AD3 com valores entre 0,68 e 0,94 mm cm^{-1}; AD4 com valores entre 0,95 e 1,32 mm cm^{-1}; AD5 com valores entre 1,33 e 1,84 mm cm^{-1} e AD6 com valores > 1,84 mm cm^{-1}.

Fonte: Teixeira et al. (2021), Araújo Filho et al. (2022) e Monteiro et al. (2022).

3. Resultados e discussão

O perfil AM-01, classificado como um Argissolo Amarelo antrópico, é uma classe de solo que ocorre em meio aos Latossolos Amarelos desenvolvidos da Formação Alter do Chão, em relevo plano próximo da calha do Rio Amazonas (Rodrigues et al., 1991). Nessa região também são frequentemente encontrados Plintossolos Pétricos e Plintossolos Argilúvicos (Garcia et al., 2013), como o perfil AM-08.

No levantamento semidetalhado de solos do Campo Experimental do Caldeirão (Rodrigues et al., 1991), área onde se localiza o perfil AM-01, os solos próximos à área de solos modificados pelo homem (Terra Preta de Índio), ou teoricamente o solo original, são classificados como Argissolos e Latossolos Amarelos. O gradiente textural encontrado no perfil AM-01 (Capítulo 9) foi, provavelmente, amplificado pela ação antrópica, que causa uma "arenização" dos horizontes antrópicos. O aumento de formação de partículas minerais no tamanho areia ocorre principalmente pela "vitrificação" de partículas de argilas e pela presença de pequenos fragmentos cerâmicos (Teixeira; Martins, 2004). Adicionalmente o processo de argiluviação (Macedo et al., 2017) também colabora com esse fenômeno e o justifica. Os menores teores de argila nos horizontes mais superficiais desse perfil provocaram uma redução da θ_{PMP} (Tabela 19.2), o que teve, também, como consequência, paradoxalmente, um aumento da AD (Tabela 19.2).

Os solos argilosos e muito argilosos na Amazônia Central contêm valores de densidade do solo baixos em áreas de floresta primária, geralmente abaixo de 1,00 g cm^{-3} (Teixeira, 2001), e elevada macroporosidade, fazendo com que esses solos sejam denominados *pseudosands,* pois possuem um comportamento físico-hídrico ambíguo, com valores elevados de θ_{PMP} e infiltrabilidade extremamente elevada (vide Capítulo 18), assim como a condutividade hidráulica (Teixeira et al., 2014). Os Latossolos Amarelos muito argilosos dessa região apresentam um comportamento bimodal na retenção de água (Teixeira, 2001).

Esses Latossolos Amarelos têm elevados valores da θ_{PMP}, como os horizontes analisados do perfil AM-02, de textura muito argilosa e, como consequência, teores de AD relativamente baixos (Tabela 19.2).

Nos perfis de Gleissolos Háplicos (AM-05, AM-06, AM-11, AM-12, AM-15, AM-16 e PA-13), apresentam uma distribuição dos poros e uma assembleia mineralógica, com presença de argilas 2:1 - esmectitas, vermiculita (vide Capítulo 13) -, assim como elevados teores de silte, que fazem com que apresentem uma elevada θ_{CC} e reduzida $\theta_{PMP,}$ e, portanto, teores muito elevados de AD (Tabela 19.2), entre os maiores valores já verificados no Brasil (AD > 4 mm cm^{-1} – perfil AM-15, horizontes 2C e 5Cg1).

Os horizontes de solos com elevados teores de silte e elevados valores de AD, encontrados neste estudo, são corroborados por dezenas de perfis analisados nos estudos do Programa de Levantamentos das várzeas do Projeto PDRI (Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1986).

O perfil PA-17, classificado como Organossolo Háplico Hêmico, apresenta alto conteúdo de matéria orgânica (MO) e em estádio intermediário de decomposição (Santos et al., 2018). Segundo Abel et al. (2013), a presença de elevado teor de MO reduz a Ds e, por consequência, provoca o aumento no conteúdo de água.

Os dados de densidade do solo, retenção de água em diferentes potenciais e água disponível estão expostos na Tabela 19.2. Entre os perfis avaliados na XV RCC, o AM-12 (horizonte 3Cg) apresentou o maior valor de Ds, de 1,71 kg dm^{-3}, e o PA-17, os menores valores de Ds, de 0,61 a 0,78 kg dm^{-3} (horizontes Hd). O horizonte 2Ho1 desse perfil, em que não se coletou amostra para retenção de água, exibiu Ds de 0,14 kg dm^{-3} no seu material orgânico (vide Capítulo 9).

Tabela 19.2. Umidade volumétrica retida em diferentes potenciais e estimativas da água disponível em amostras de solos de horizontes dos perfis estudados na XV RCC.

Horizonte	Profundidade	Densidade do solo	Retenção de água								Água disponível (AD) mm cm^{-1}	
			Potencial Matricial - kPa									
			0	-1	-3	-6	-10	-33	-110	-1500	Adcalc.(1)	Adest.
-	cm	kg dm^{-3}	Umidade volumétrica (θ) cm^3 cm^{-3}									
AM-01 – Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico												
Au1	0 - 8	1,26	0,540	0,470	0,382	0,346	0,247	0,224	0,203	0,122	1,25	1,06
Au4	37 - 54	1,21	0,489	0,403	0,352	0,330	0,278	0,266	0,256	0,183	0,95	1,12
Bt	119 - 153	1,39	0,541	0,517	0,493	0,477	0,411	0,399	0,382	0,308	1,03	1,02
AM-02 – Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico												
A	0 - 7	1,09	0,592	0,425	0,363	0,347	0,308	0,297	0,281	0,239	0,69	1,09
BA2	15 - 26	1,20	0,561	0,489	0,407	0,394	0,352	0,337	0,331	0,281	0,71	0.95
Bw2	42 - 80	1,23	0,526	0,486	0,449	0,433	0,369	0,363	0,360	0,324	0,45	0.84
Bw4	108 - 163	1,22	0,540	0,505	0,454	0,429	0,357	0,355	0,353	0,318	0,39	0,81
AM-05 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico												
Ag	0 - 5	0,95	0,686	0,566	0,520	0,496	0,420	0,385	0,277	0,146	2,74	2,39
3Cg2	33 - 65	1,05	0,625	0,532	0,480	0,452	0,392	0,367	0,276	0,203	1,89	2,17
4Cg3	65 - 115	1,34	0,521	0,486	0,473	0,459	0,424	0,405	0,324	0,273	1,51	2,32
AM-06 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico												
Apg	0-5	1,16	0,593	0,548	0,507	0,483	0,369	0,310	0,233	0,126	2,43	2,29
3Cg1	17 - 42	1,27	0,554	0,518	0,473	0,444	0,356	0,320	0,233	0,153	2,03	2,33
4Cg2	42 - 73	1,46	0,518	0,493	0,464	0,440	0,387	0,364	0,315	0,187	2,00	2,28
5Cg3	73 - 105	1,45	0,500	0,469	0,436	0,412	0,349	0,326	0,264	0,191	1,58	2,22
AM-07 – Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico												
A1	0 - 4	1,08	0,584	0,529	0,485	0,455	0,307	0,282	0,232	0,118	1,89	1,91
BA	15 - 35	1,20	0,590	0,543	0,497	0,460	0,324	0,279	0,232	0,127	1,97	2,04
2C	87 - 126	1,27	0,607	0,561	0,499	0,456	0,311	0,278	0,264	0,135	1,76	2,21
AM-08 – Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico												
A	0 - 6	1,10	0,552	0,436	0,395	0,366	0,285	0,249	0,237	0,066	2,19	2,28
2Btg2	30 - 49	1,60	0,492	0,451	0,411	0,386	0,311	0,280	0,275	0,185	1,26	1,78
2Btgf2	67 - 101	1,63	0,466	0,439	0,421	0,408	0,379	0,373	0,330	0,277	1,02	1,45
AM-09 – Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico												
A1	0 - 8	1,36	0,502	0,446	0,141	0,089	0,063	0,055	0,054	0,004	0,59	0,23
3Bh	321 - 326	1,64	0,356	0,324	0,215	0,159	0,113	0,101	0,099	0,065	0,48	0,41
4Bhs	366 - 380	1,59	0,378	0,315	0,242	0,197	0,118	0,114	0,110	0,068	0,50	0,42

Contin

Tabela 19.2. Continuação.

Horizonte	Profundidade	Densidade do solo	Retenção de água								Água disponível (AD) mm cm^{-1}	
			Potencial Matricial - kPa									
			0	-1	-3	-6	-10	-33	-110	-1500	Adcalc.[(1)]	Adest.
-	cm	kg dm^{-3}	Umidade volumétrica (θ) cm^3 cm^{-3}									
AM-11 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico												
A1	0 - 5	1,34	0,480	0,469	0,468	0,465	0,431	0,407	0,398	0,169	2,62	2,25
Cg1	17 - 41	1,31	0,532	0,487	0,468	0,459	0,415	0,394	0,389	0,198	2,17	2,27
Cg2	41 - 61	1,23	0,593	0,544	0,518	0,505	0,449	0,424	0,420	0,149	3,00	2,28
4Cg5	86 - 115	1,25	0,572	0,524	0,503	0,493	0,443	0,417	0,405	0,130	3,13	2,27
AM-12 – Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico												
Apg1	0 - 5	1,26	0,529	0,486	0,476	0,469	0,407	0,402	0,394	0,123	2,84	1,42
3Cg	11 - 38	1,71	0,369	0,362	0,333	0,306	0,173	0,159	0,146	0,075	0,98	1,07
4Abg	38 - 63	1,64	0,382	0,362	0,325	0,288	0,153	0,145	0,032	0,077	0,76	0,94
AM-15 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico												
Ag	0 - 4	1,30	0,530	0,498	0,476	0,441	0,437	0,234	0,211	0,069	3,68	1,46
2C	4 - 11	1,39	0,507	0,477	0,465	0,438	0,435	0,184	0,150	0,024	4,11	0,89
5Cg1	23 - 41	1,27	0,601	0,577	0,559	0,539	0,535	0,386	0,375	0,127	4,08	2,48
6Cg3	60 - 108	1,34	0,542	0,512	0,485	0,456	0,451	0,343	0,333	0,144	3,07	2,24
AM-16 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico												
Ag	0 - 4	1,27	0,561	0,542	0,532	0,526	0,523	0,459	0,428	0,135	3,88	2,42
2Abg	14 - 27	1,34	0,494	0,477	0,474	0,470	0,468	0,436	0,427	0,235	2,33	2,04
2Cg	27 - 51	1,44	0,501	0,478	0,473	0,460	0,458	0,397	0,383	0,226	2,32	2,19
2Cgn2	76 - 119	1,52	0,434	0,431	0,425	0,422	0,418	0,388	0,380	0,186	2,32	2,31
PA-13 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico												
Apg	0 - 5	1,17	0,628	0,562	0,541	0,499	0,480	0,471	0,459	0,235	2,45	1,93
2CAg	5-15	1,51	0,499	0,481	0,464	0,451	0,393	0,382	0,369	0,163	2,30	2,30
2Cg2	32 - 55	1,38	0,573	0,552	0,517	0,494	0,432	0,418	0,406	0,190	2,42	2,31
3Cgn2	69 - 101	1,44	0,502	0,490	0,467	0,449	0,394	0,388	0,383	0,224	1,70	2,27
PA-14 – Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico												
A	0 - 3	1,37	0,526	0,482	0,457	0,451	0,410	0,404	0,395	0,291	1,90	1,50
2CAvg	3-20	1,49	0,516	0,486	0,478	0,474	0,443	0,433	0,428	0,298	1,45	1,67
2Cvg1	20 - 43	1,35	0,567	0,557	0,531	0,514	0,445	0,433	0,424	0,274	1,71	2,07
3Cvg3	71 - 113	1,43	0,518	0,511	0,505	0,496	0,495	0,428	0,420	0,288	2,07	1.96
PA-17 – Organossolo Háplico Hêmico típico												
Hd1	0 - 4	0,70	0,602	0,514	0,476	0,456	0,449	0,355	0,344	0,078	3,71	1,47
Hd2	4-12	0,78	0,612	0,532	0,518	0,507	0,500	0,402	0,395	0,145	3,55	1,53
Hd3	12 – 29	0,63	0,538	0,484	0,463	0,435	0,431	0,317	0,306	0,076	3,55	1,54

[(1)] Adcal em cm^3 cm^{-3} é transformada para a unidade mm cm^{-1} multiplicando-se por 10.

A amplitude da θ_{CC} varia entre 0,535 cm^3 cm^{-3} no perfil AM-15 (horizonte 5Cg1) e 0,063 cm^3 cm^{-3} no perfil AM-09 (horizonte A1) (Tabela 19.2). Estimativas com θ na capacidade de campo são diretamente afetadas pela variação nos valores de θ retida nos potenciais de 10 e 33 kPa, visto que ambos os valores de pressão são usados por diversos autores para essas estimativas (Van den Berg et al., 1997; Almeida et al., 2010; Menegaz et al., 2015; Reichert et al., 2020; Rossetti et al., 2022).

Na Tabela 19.2, o horizonte Bw2 do perfil AM-02 apresentou o maior $\theta_{PMP,}$ atingindo o valor de 0,324 cm^3 cm^{-3}; já o menor valor foi encontrado no horizonte A1 do perfil AM-09, com 0,004 cm^3 cm^{-3}. Essa diferença pode estar relacionada com a textura dos seus solos. O perfil AM-02 denota textura muito argilosa, enquanto o horizonte A1 do perfil AM-09 possui classe textural areia. Solos com textura argilosa e muito argilosa tendem a apresentar maiores teores de água em altos potenciais, devido à elevada superfície específica (SE) das partículas de argila (Reichert et al., 2009). Os valores de AD calculada variaram de 4,11 a 0,45 mm cm^{-1} (AM-15, 2C; AM-02, Bw2, respectivamente).

Os horizontes de solos, em especial dos Gleissolos, foram classificados na classe AD6. Essa classe é rara de se encontrar nos solos agrícolas brasileiros e, numa interpretação expedita, seria a classe de solo com o maior reservatório de AD e, consequentemente, com os menores riscos climáticos de estresses hídricos, numa determinada região. Obviamente, outros pontos são levados em consideração na aptidão agrícola, em especial nessas áreas que são sujeitas a alagamentos, mas, no período vazante dos rios, boa parte delas tem um grande potencial agrícola (vide Capítulo 26), tanto pelas suas características físico-hídricas como pela sua elevada fertilidade natural, na maioria das áreas de várzeas da Amazônia (Teixeira et al., 2019a).

Entre as maiores diferenças nas ADs calculadas e estimadas, estão os horizontes do Organossolo Háplico (perfil PA-17). Isso se justifica parcialmente, pois a equação de Teixeira et al. (2021) não foi calibrada para estimar a AD nessa classe taxonômica, e essa informação nesse solo demandará avaliações com maior número de amostras. O perfil AM-15 também apresentou bastante diferença entre os valores ADcal e ADest. Provavelmente essa discrepância deve-se às peculiaridades da composição granulométrica e mineralógica dos horizontes desse perfil, que possuem classe textural francoarenosa e areia franca nos horizontes superficiais (vide Capítulo 9), e a quase totalidade da fração areia é fina, portanto, próxima ao tamanho das partículas de silte, que aumentam expressivamente a partir de 11 cm de profundidade.

As curvas de retenção de água no solo (CRA), descritas conforme equação de Van Genuchten (1980) e Durner (1994) para os perfis AM-01, AM-05 e AM-09, apresentaram baixos valores de RMSEs nos horizontes analisados, indicando baixo desvio médio dos dados à curva (Tabelas 19.3 e 19.4). Durante análise, as CRAs (Figura 19.1) e os coeficientes das equações de Van Genuchten (Tabela 19.3) e Durner (Tabela 19.4) mostram que a retenção de água em diferentes potenciais, nos horizontes selecionados, pode ser descrita pelo modelo unimodal. O ganho em precisão, com a descrição da CRA pelo modelo bimodal, foi verificado apenas no horizonte Ag do perfil AM-05.

Tabela 19.3. Parâmetros da equação de Van Genuchten ajustados para dados de retenção de água em função do potencial em horizontes selecionados de perfis da XV RCC(1).

Horizonte	Profundidade	θs	θr	α	n	RMSE
	cm	$cm^3\ cm^{-3}$		cm^{-1}	-	$cm^3\ cm^{-3}$
AM-01 – Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico						
Au1	0 - 8	0,541	0,108	0,093	1,389	0,019
Au4	37 - 54	0,489	0,127	0,343	1,203	0,012
Bt	119 - 153	0,541	0,232	0,069	1,192	0,014
AM-05 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico						
Ag	0 - 5	0,686	0,000	0,131	1,179	0,023
3Cg2	33 - 65	0,625	0,000	0,201	1,141	0,013
4Cg3	65 - 115	0,521	0,020	0,042	1,113	0,012
AM-09 – Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico						
A1	0 - 8	0,502	0,043	0,064	3,070	0,017
3Bh	321 - 326	0,356	0,081	0,056	2,066	0,009
4Bhs	366 - 380	0,378	0,076	0,078	1,665	0,016

θ_s - umidade de saturação (0 hPa); Obs. Esses parâmetros foram ajustados para os valores do potencial em hPa.

θ_r - umidade residual; n - coeficiente empírico do modelo.

Tabela 19.4. Parâmetros da equação de Durner ajustados para dados de retenção de água em função do potencial em horizontes selecionados de perfis da XV RCC.

Horizonte	Profundidade	θs	θr	α_1	n_1	α_2	n_2	RMSE
	cm	--- $cm^3\ cm^{-3}$---		cm^{-1}	-	cm^{-1}	-	$cm^3\ cm^{-3}$
AM-01 – Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico								
Au1	0 - 8	0,540	0,000	0,077	1,105	0,079	1,658	0,018
Au4	37 - 54	0,489	0,051	0,292	1,326	0,198	1,067	0,012
Bt	119 - 153	0,541	0,232	0,071	1,202	0,067	1,181	0,014
AM-05 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico								
Ag	0 - 5	0,686	0,000	0,005	1,266	0,465	1,246	0,014
3Cg2	33 - 65	0,625	0,000	2,339	1,085	0,048	1,222	0,012
4Cg3	65 - 115	0,521	0,228	0,004	1,753	0,484	1,165	0,009
AM-09 – Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico								
A1	0 - 8	0,502	0,017	0,112	1,594	0,040	16,705	0,012
3Bh	321 - 326	0,356	0,000	0,347	1,114	0,042	3,161	0,007
4Bhs	366 - 380	0,378	0,032	2,797	1,125	0,031	2,704	0,013

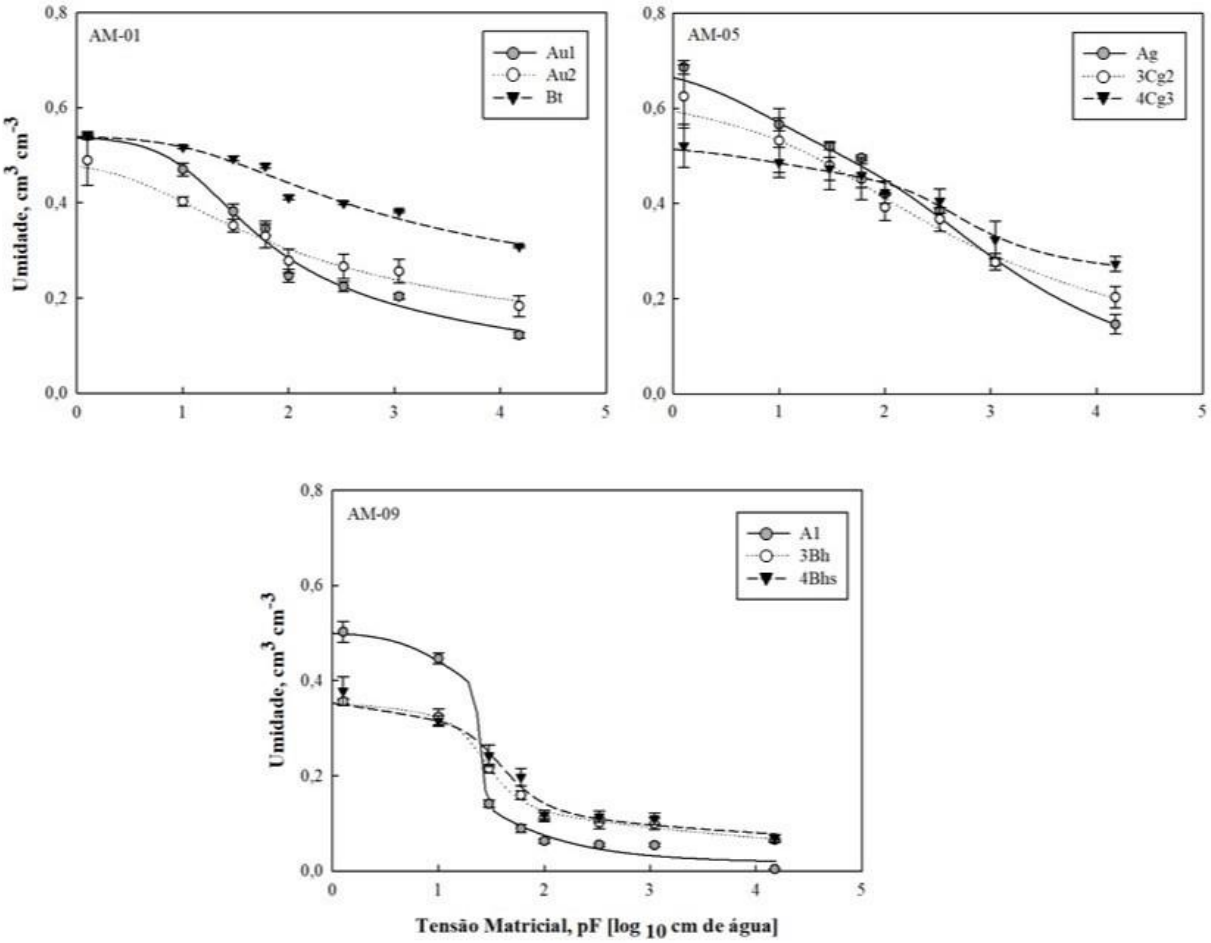


Figura 19.1. Curvas de retenção de água para equação bimodal ajustadas para os horizontes selecionados dos perfis AM-01, AM-05 e AM-09 (XV RCC).

Fonte: Durner (1994).

4. Considerações finais

Entre os dados de retenção de água em diferentes potenciais, em 49 horizontes de 14 perfis de solos estudados na XV RCC, verifica-se uma grande variabilidade em relação à retenção de água dos solos, tanto entre perfis como entre horizontes de um mesmo solo.

Os valores de AD dos solos avaliados mostraram uma boa correlação com a granulometria, em especial para os que possuem elevado conteúdo de silte ou de areia.

O solo com teores de areia muito altos (Espodossolo Humilúvico, perfil AM-09) apresentou valores baixos a muito baixos de AD (classe AD2), enquanto os solos muito argilosos e com baixos teores de silte (Latossolo Amarelo, perfil AM-02) mostraram valores médios e baixos de AD (classes AD1, AD2 a AD3).

Os solos com elevados conteúdos de silte e com argila de atividade alta e/ou com elevado teor de carbono exibiram valores muito altos de AD (classe AD6), entre eles o Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico (perfil AM-07), os Gleissolos Háplicos Ta Eutróficos (perfis AM-05, AM-06, AM-11, AM-15, AM-16 e PA-13), o Organossolo Háplico Hêmico (perfil PA-17) e o Vertissolo Hidromórfico (perfil PA-14).

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Finep/CT-Agro/FNDCT (Convênio 01.22.0081.00, Ref. 1218/21), para o projeto PronaSolos: Rede para o avanço científico e tecnológico aplicado às múltiplas funcionalidades do solo para o desenvolvimento agroambiental do Brasil.

Referências

ABEL, S.; PETERS, A.; TRINKS, S.; SCHONSKY, H.; FACKLAM, M.; WESSOLEK, G. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. **Geoderma**, v. 202/203, p. 183-191, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.03.003.

ALMEIDA, F. N.; ALMEIDA, R. R.; SILVA, G. N.; MASUTTI, M. M. Determinação dos parâmetros físicos-hídricos dos solos do perímetro irrigado da cidade de Petrolina/PE. In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 11., 2010, Maceió. **Anais** [...]. Maceió: Instituto Federal de Alagoas, 2010. XI CONNEPI.

ARAÚJO FILHO, J. C. de; BARROS, A. H. C.; GALVÃO, P. V. M.; TEIXEIRA, W. G.; LIMA, E. de P.; VICTORIA, D. de C.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; XAVIER, J. P. de S.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; BACA, J. F. M.; MONTEIRO, J. E. B. de A.; OLIVEIRA, F. C. S. F. de; SILVA FILHO, A. D. da; BARROS, J. P. F. G. **Avaliação, predição e mapeamento de água disponível em solos do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2022. E-book. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 282). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1143345. Acesso em: 4 ago. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 1, de 21 de junho de 2022. Estabelece o método para classificação do solo em função da sua Água Disponível (AD) no Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC). **Diário Oficial da União**, 22 jun. 2022a. Seção 1, n. 116, p. 28. Disponível em: https://in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-spa/mapa-n-1-de-21-de-junho-de-2022-409394106. Acesso em: 30 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 2, de 5 de agosto de 2022. Altera a Instrução Normativa SPA/MAPA nº 1, de 21 de junho de 2022, que estabelece o método para classificação do solo em função da sua Água Disponível (AD) no Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC). **Diário Oficial da União**, 9 ago. 2022b. Seção 1, n. 150, p. 10. Disponível em: https://in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-spa/mapa-n-2-de-5-de-agosto-de-2022-421241455. Acesso em: 30 jul. 2025.

CORRÊA, J. C. Características físico-hídricas dos solos Latossolo Amarelo, Podzólico Vermelho-Amarelo e Podzol Hidromórfico do estado do Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, n. 3, p. 347-360, 1984. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1119150. Acesso em: 30 jul. 2025.

DURNER, W. Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure. **Water Resources Research**, v. 30, n. 2, p. 211-223, 1994. DOI: https://doi.org/10.1029/93WR02676.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Levantamento de reconhecimento de solos e aptidão agrícola em áreas abrangidas pelo PDRI, AM - município de Parintins**: relatório técnico final. Belo Horizonte: CETEC, 1986. 169 p. Disponível em: http://www.bibliotecadigital.mg.gov.br/consulta/consultaDetalheDocumento.php?iCodDocumento=74329. Acesso em: 30 jul. 2025.

GARCIA, C. H. P.; LIMA, H. N.; SILVA, F. W. R.; NEVES JUNIOR, A. F.; TEIXEIRA, W. G.; MACEDO, R. S.; TAVARES, S. G. Chemical properties and mineralogy of soils with plinthite and petroplinthite in Iranduba (AM), Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 936-946, 2013. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000400011.

HODNETT, M. G.; OYAMA, M. D.; TOMASELLA, J.; MARQUES FILHO, A. de O. Comparisons of long-term soil water storage behaviour under pasture and forest in three areas of Amazonia. In: GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. (ed). **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley & Sons, 1996. cap. 3, p. 57-78.

MACEDO, R. S.; TEIXEIRA, W. G.; CORRÊA, M. M.; MARTINS, G. C.; VIDAL-TORRADO, P. Pedogenetic processes in anthrosols with pretic horizon (Amazonian Dark Earth) in Central Amazon, Brazil. **Plos One**, v. 12, n. 5, e0178038, 2017. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178038.

MARQUES, J. D. de O.; LIBARDI, P. L.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M. Estudo de parâmetros físicos, químicos e hídricos de um Latossolo Amarelo, na região amazônica. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 2, p. 145-154, 2004. DOI: https://doi.org/10.1590/S0044-59672004000200002.

MARQUES, J. D. de O.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ JUNIOR, O. F.; BATISTA, S. M.; AFONSO, M. A. C. B. Atributos químicos, físico-hídricos e mineralogia da fração argila em solos do Baixo Amazonas: Serra de Parintins. **Acta Amazônica**, v. 40, n. 1, p. 1-12, 2010.
DOI: https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000100001.

MENEGAZ, S. T.; NUNES, N. V.; PETRY, M. T.; BASSO, L. J.; HENCKES, J. R.; GOMES, H. Avaliação da qualidade físico-hídrica de solos irrigados em algumas regiões do Brasil. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 3., 2015, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza: Inovagri, 2015.

MONTEIRO, J. E. B. de A.; VICTORIA, D. de C.; FARIAS, J. R. B.; BARROS, A. H. C.; LIMA, E. de P.; ARAUJO FILHO, J. C. de; SILVA, F. A. M. da; EVANGELISTA, B. A.; TEIXEIRA, W. G. **Classes de água disponível do solo para uso no Zoneamento Agrícola de Risco Climático**. Campinas: Embrapa Agricultura Digital, 2022. 6 p. (Embrapa Agricultura Digital. Comunicado técnico, 135).
Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1144396.

NEVES JÚNIOR, A. F. **Qualidade física de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central**. 2008. 93 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
DOI: https://doi.org/10.11606/T.11.2008.tde-28072008-155658.

PIMENTEL, L. G.; REIS, A. M. H. dos; MARTINS, G. C.; FREGONEZI, F. R.; GONÇALVES, A. O.; TEIXEIRA, W. G. Ajuste de equações de retenção de água em Latossolos Amarelos muito argilosos da Amazônia Central. In: WORKSHOP DE SIMULAÇÃO DE FLUXOS DE ÁGUA E SOLUTOS NO SOLO, 2022, Rio de Janeiro. **Simulação de fluxos de água e solutos no solo**. Rio de Janeiro: Ed. dos Autores, 2022.
p. 39-43. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1149187. Acesso em: 30 jul. 2025.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 12, n. p. 211-216, 1988.

REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; URACH, F. L.; CARLESSO, R. Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p.1547-1560, 2009. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600004.

REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; PERAZA, J. E. S.; COSTA, A. da. Estimating water retention and availability in cultivated soils of southern Brazil. **Geoderma Regional**, v. 21, e00277, 2020.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00277.

RODRIGUES, T. E.; SANTOS, P. L. dos; VALENTE, M. A. **Levantamento semidetalhado dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Campo Experimental do Caldeirão do CPAA/EMBRAPA - Iranduba - Amazonas**. Belém, PA: EMBRAPA-SNLCS, Coordenadoria Regional Norte, 1991. 74 p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim de pesquisa). Disponível em:
http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1175152. Acesso em: 30 jul. 2025.

ROSSETI, R. de A. C.; AMORIM, R. S. S.; Di RAIMO, L. A. Di L.; TORRES, G. N.; SILVA, L. de C. M. da; ALVES, I. M. Pedotransfer functions for predicting soil-water retention under Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 57, e02474, 2022. DOI: https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.02474.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F.

Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003. Acesso em: 30 jul. 2025.

TEIXEIRA, W. G.; BHERING, S. B. Retenção de água no solo pelos métodos da mesa de tensão e da câmara de Richards. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. pt. 1, cap. 4, p. 34-46. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1087258. Acesso em: 30 jul. 2025.

TEIXEIRA, W. G. **Land use effects on soil physical and hydraulic properties of a clayey ferralsol in the Central Amazon**. 2001. 255 f. Tese (Doctor Sc. Thesis) – Universitat Bayreuth, Bayreuth. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/671047. Acesso em: 30 jul. 2025.

TEIXEIRA, W. G.; LIMA, H. N.; PINTO, W. H. A.; SOUZA, K. W. de; SHINZATO, E.; SCHROTH, G. O manejo do solo nas várzeas da Amazônia. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. da S. (ed.). **Manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019a. cap. 22, p. 701-728.

TEIXEIRA, W. G.; LUMBRERAS, J. F.; MARTINS, G. C.; NOGUEIRA, J. do N. P.; LIMA, M. M. da G. de; COELHO, M. R. Retenção de água em amostras de solos de Rondônia. In: LUMBRERAS, J. F.; SILVA, L. M. da; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; WADT, P. G. S.; PEREIRA, M. G.; DELARMELINDA-HONORÉ, E. A.; BURITY, K. T. L. (ed.). **Guia de campo da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Rondônia. Brasília, DF: Embrapa, 2019b. E-book. cap. 12. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1112765. Acesso em: 30 jul. 2025.

TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F. Retenção de água em amostras de solos de Roraima. In: BATISTA, K. D.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de; VALE JÚNIOR, J. F. do (ed.). **Guia de campo da XI Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Roraima. Brasília, DF: Embrapa, 2018. E-book. cap. 6. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1104265. Acesso em: 30 jul. 2025.

TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C.; MACEDO, R. S.; NEVES JUNIOR, A. F.; MOREIRA, A.; BENITES, V. de M.; STEINER, C. As propriedades físicas e hídricas dos horizontes antrópicos das terras pretas de índio na Amazônia Central. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, I. W. (ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia**: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. 2. ed. Manaus: EDUA: Embrapa Amazônia Ocidental, 2010. p. 243-251. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/888506. Acesso em: 30 jul. 2025.

TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C. Soil physical characterization. In: LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, W. I. (ed.). **Amazonian dark earths**: origin, properties, management. Dordrecht: Kluwer, 2004. cap. 15, p. 271-286. DOI: https://doi.org/10.1007/1-4020-2597-1_15.

TEIXEIRA, W. G.; PASCHOAL, W. H.; RODRIGUES, M. do R. L.; MACEDO, J. L. V. de; CARVALHO FILHO, A. de; LUMBRERAS, J. F.; NEVES, M. L. S. das; SHINZATO, E. **Mapa de reconhecimento dos solos de parte da área do município de Parintins - AM - Escala 1:100.000**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2023a. Não paginado. Nota técnica. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1156649. Acesso em: 30 jul. 2025.

TEIXEIRA, W. G.; PASCHOAL, W. H.; RODRIGUES, M. do R. L.; MACEDO, J. L. V. de; CARVALHO FILHO, A. de; LUMBRERAS, J. F.; NEVES, M. L. S. das; SHINZATO, E. **Mapa de solos da localidade de Ilha Vila Nova - Município de Parintins - AM**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2023b. Não paginado. Nota técnica. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1156646. Acesso em: 30 jul. 2025.

TEIXEIRA, W. G.; PASCHOAL, W. H.; RODRIGUES, M. do R. L.; MACEDO, J. L. V. de; CARVALHO FILHO, A. de; LUMBRERAS, J. F.; NEVES, M. L. S. das; SHINZATO, E. **Mapa de solos de Zé Açú município de Parintins-AM**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2023c. Não paginado. Nota técnica. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1156616. Acesso em: 30 jul. 2025.

TEIXEIRA, W. G.; PASCHOAL, W. H.; RODRIGUES, M. do R. L.; MACEDO, J. L. V. de; NEVES, M. L. S. das; SHINZATO, E. **Mapa de solos do município de Parintins - AM**: escala 1:250.000. Rio de Janeiro:

Embrapa Solos, 2023d. Não paginado. Nota técnica. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1156615. Acesso em: 30 jul. 2025.

TEIXEIRA, W. G.; SCHROTH, G.; MARQUES, J. D.; HUWE, B. Unsaturated soil hydraulic conductivity in the central Amazon: field evaluations. In: TEIXEIRA, W. G.; CEDDIA, M. B.; OTTONI, M. V.; DONAGEMMA, G. K. (ed.). **Application of soil physics in environmental analyses**: measuring, modelling and data integration. New York: Springer, 2014. p. 283-306. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-06013-2_13.

TEIXEIRA, W. G.; VICTORIA, D. de C.; BARROS, A. H. C.; LUMBRERAS, J. F.; ARAUJO FILHO, J. C. de; SILVA, F. A. M. da; LIMA, E. de P.; BUENO FILHO, J. S. de S.; MONTEIRO, J. E. B. de A. **Predição da água disponível no solo em função da granulometria para uso nas análises de risco no Zoneamento Agrícola de Risco Climático**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2021. E-book. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 272). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1131095. Acesso em: 4 ago. 2025.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M. G. Soil hydraulic properties and van Genuchten parameters for an Oxisol under pasture in Central Amazonia. In: GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. (ed). **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley & Sons, 1996. p. 101-124.

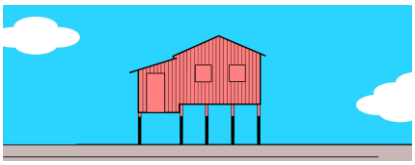
VAN DEN BERG, M.; KLAMT, E.; VAN REEUWIJK, L. P.; SOMBROEK, W. G. Pedotransfer functions for the estimation of moisture retention characteristics of Ferralsols and related soils. **Geoderma**, v. 78, n. 3/4, p. 161-180, 1997. DOI: https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00045-1.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980. DOI: https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x.

VAN GENUCHTEN, M. Th.; LEIJ, F. J.; YATES, S. R. **The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils**. Ada, OK: U.S. Environmental Protection Agency, 1991. 85 p. EPA/600/2-91/065. Disponível em: https://www.pc-progress.com/Documents/programs/retc.pdf. Acesso em: 6 ago. 2025.

VAN GENUCHTEN, M. Th.; NIELSEN, D. R. On describing and predicting the hydraulic properties. **Annales Geophysicae**, vol. 3, n. 5, p. 615-628, 1985.

Capítulo 20



Curvas de retenção de água de horizontes e solos selecionados da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos obtidas por Ressonância Magnética Nuclear em baixo campo

Danielle Vieira Guimarães
Orlando Carlos Huertas Tavares
Aline Pacobahyba de Oliveira
Àgatha Ayra Araújo Borges
Ilana Musacchio
Etelvino Henrique Novotny

1. Introdução

A escassez de água doce é um dos maiores problemas enfrentados pela humanidade (Galaitsi et al., 2018), e a agricultura utiliza 70% da água doce (FAO, 2011; World Bank, 2020). A capacidade dos solos em reter água para as plantas assim como atuar como filtro, controlar o transporte de solutos, garantir a adequada recarga dos aquíferos e outros serviços ecossistêmicos está diretamente relacionada às curvas de retenção de água no solo, um dos dados experimentais mais importantes da Física do Solo (Tormena et al., 1998) e de mais difícil obtenção (Costabel; Hiller, 2021). Infelizmente, devido a essa dificuldade, atualmente a maioria dos cientistas do solo resignaram-se a trabalhar com escassos e insuficientes pontos da curva de retenção de água, como a saturação, a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP), que muito precariamente caracterizam as propriedades físico-hídricas dos solos e estimam a disponibilidade de água para as plantas com base em extrapolações temerárias e com dados estáticos (é impossível determinar a dinâmica da água em solos com tão poucos dados experimentais), além de valores pontuais arbitrários (i.e.: capacidade de campo e ponto de murcha permanente). Com a disponibilização de novas ferramentas analíticas, como a apresentada, será possível a realização de estudos mais detalhados e com uma maior variabilidade de plantas-teste e condições experimentais.

Nos programas de levantamento e classificação de solos, e em especial nos estudos de zoneamento agrícola de risco climático, esses dados completos são essenciais. Atualmente, o Brasil dispõe apenas de levantamentos de solo de caráter geral, com mapas de pequena escala, e menos de 5% do território nacional conta com mapas de solos em escala 1:100.000 ou maior. O objetivo do PronaSolos é mapear os solos de 1,3 milhão de km² do País nos primeiros dez

anos, e mais 6,9 milhões de km² até 2048, em escalas que vão de 1:25.000 a 1:100.000. Portanto, a determinação das propriedades hidráulicas dos solos em horas (Novotny et al., 2023) em vez de meses, como atualmente, é fundamental para os programas de levantamento e classificação de solos.

Para a determinação da curva de retenção da água no solo, pode-se empregar vários métodos, como funil de placa porosa, mesa de tensão ou câmaras de pressão (câmara de Richards), em amostras de solo indeformadas ou deformadas (Claessen, 1997). Em campo, uma combinação de métodos é utilizada, mas na maioria das vezes o potencial da água é determinado por um tensiômetro conectado a um manômetro de mercúrio ou a um transdutor de pressão, enquanto técnicas como a moderação de nêutrons, reflectometria no domínio do tempo (TDR) e gravimetria são utilizadas para a determinação da umidade volumétrica. Todos esses são processos morosos e onerosos, de tal sorte que a relaxometria por RMN de prótons (^{1}H) é uma ferramenta com grande potencial para esse fim, visto que tem sido usada há décadas na prospecção de petróleo (Coates et al., 2001; Dunn et al., 2002); predição de propriedades físico-químicas de fluidos complexos (Prestes et al., 2007; Ramos et al., 2009) e na avaliação de fluidos saturantes em meios porosos (Jaeger et al., 2009), modelo em que o solo enquadra-se perfeitamente.

Na relaxometria por RMN de ^{1}H, determina-se os dois tempos de relaxação, simultâneos e independentes, que dominam o fenômeno de RMN. O tempo de relaxação spin-rede, também chamado de tempo de relaxação longitudinal (T_1), é o tempo necessário para que os spins nucleares atinjam o equilíbrio termodinâmico quando submetidos a um campo magnético externo, ou o retorno a essa condição de equilíbrio após serem submetidos a alguma perturbação, tal como os pulsos de radiofrequência. E o segundo é o tempo de relaxação spin-spin, ou tempo de relaxação transversal (T_2), que é o tempo decorrido até que os spins individuais percam coerência de fase após um pulso de radiofrequência, ou seja, quando a soma vetorial de todos os spins, no plano transversal, que é a magnetização detectável, seja nula.

Adicionalmente, um novo método (Song et al., 2000; Song, 2003; Liu et al., 2014) baseado no decaimento do sinal de RMN devido à difusão no gradiente magnético interno (DDIF, acrônimo do inglês *Decay due to Diffusion in Internal Field*) foi proposto para a determinação da porosidade de rochas-reservatório de petróleo e outras propriedades petrofísicas. Nesse novo método, os decaimentos são função apenas do raio dos poros (ou sua distribuição), enquanto nos métodos usuais o decaimento obtido (T_1 ou T_2) é função de dois parâmetros desconhecidos e muitas vezes inter-relacionados: o raio do poro e a relaxatividade superficial, esta sendo dependente da composição da parede dos poros e até mesmo da distribuição espacial dos diferentes constituintes na escala nanométrica, parâmetros de dificílima determinação.

Além disso, a DDIF também é independente da relaxação do fluido livre (*bulk*) e, portanto, da composição da solução do solo. E, assim, a DDIF não requer conhecimento de parâmetros adicionais de difícil determinação e não parte de premissas dificilmente atendidas nos experimentos de T_1 e T_2 que buscam relacionar os tempos de relaxação à função de

distribuição dos tamanhos de poros, sendo a mais crítica a premissa de uniformidade da relaxatividade superficial da parede dos poros (composição da parede dos poros uniforme tanto inter- como intraporos), sendo esperado que a relaxatividade superficial fosse constante entre as diferentes classes de tamanhos de poros e dentro da mesma classe. Novotny et al. (2023) demonstraram que essa premissa não é atendida para solos, pois poros menores apresentam uma relaxatividade superficial até duas ordens de magnitude maior que poros maiores, o que era esperado devido à enorme heterogeneidade da composição do solo, assim como presença abundante de metais paramagnéticos, notadamente Fe^{3+}. E, mesmo dentro da mesma classe de tamanho de poros, a dispersão das relaxatividades superficiais é enorme. Essa premissa é frequentemente violada até mesmo em amostras de arenitos (Liu et al., 2014; Benavides et al., 2017).

2. Material e métodos

Recente estudo realizado por Novotny et al. (2023) demonstrou que é possível estimar, com precisão, acurácia e resolução, sem precedentes, a distribuição do tamanho dos poros e, consequentemente, as curvas de retenção de água do solo, utilizando-se o princípio de modulação do campo magnético interno em RMN de campo baixo, que acessa diretamente os *eigenmodes* superiores do modelo de Brownstein e Tarr (1979) pela técnica DDIF (Figura 20.1).

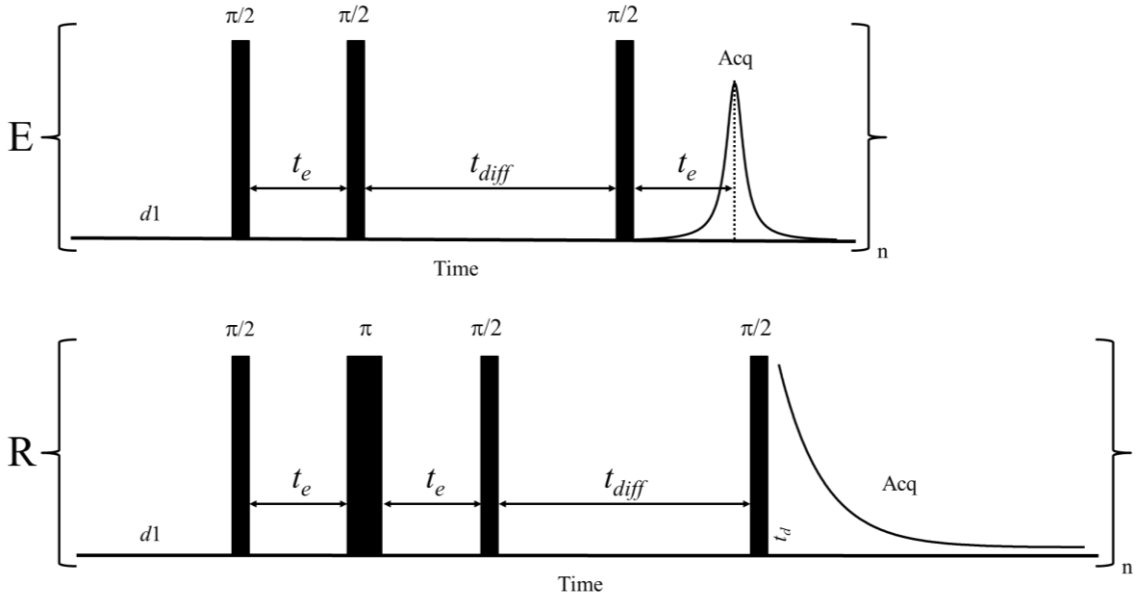


Figura 20.1. Sequência de pulsos senoidal (*E*) e sequência de pulsos de referência (*R*) utilizadas para detectar os modos de difusão em meios porosos. *d*1 é o tempo de reciclagem (o tempo necessário para o sistema atingir o equilíbrio termodinâmico, $\geq 5\ T_1$); π/2 e π são os pulsos de radiofrequência (rf) de 90º e 180º, respectivamente; t_e é o tempo de codificação, e t_{diff} é o tempo de observação da difusão molecular. Acq é o tempo de aquisição do sinal (na verdade, apenas alguns pontos nas amplitudes máximas dos sinais do eco estimulado e da FID são necessários), t_d é o tempo morto e n é o número de varreduras.

Essa técnica pode ser compreendida pelo formalismo de Bloch (magnetização macroscópica resultante – modelo vetorial). Com a amostra saturada de água, após o primeiro pulso π/2, que rotaciona a magnetização macroscópica resultante para o plano transversal, um curto período é fornecido (tempo de codificação – t_e) permitindo que os spins dos ^1H da água saturante passem por precessão em suas próprias frequências de Larmor, dependentes do campo magnético local a que cada molécula de água está submetida, função da posição delas no gradiente magnético interno estático. Com isso, a posição de cada ^1H é codificada em seu campo magnético local, dependente da susceptibilidade magnética espacialmente variável da amostra.

O tempo de codificação deve ser o mais longo possível (para maximizar o contraste devido ao gradiente magnético estático), porém menor que o período completo de precessão dos spins de decaimento mais rápido (regime de codificação fraca), caso contrário, os spins mais rápidos e mais lentos tornam-se indistinguíveis, pois podem ter a mesma fase (os mais rápidos "alcançam" os mais lentos). Após o t_e, a magnetização é armazenada no eixo z (eixo paralelo às linhas de força do campo magnético externo - B_0) através do segundo pulso π/2, congelando a relaxação spin-spin, enquanto a relaxação spin-rede segue seu curso. Nessa situação, utilizam-se tempos de observação da difusão molecular (t_{diff}) variáveis, onde as moléculas de água difundem-se livremente no espaço poroso, após o qual um último pulso π/2 (pulso de leitura) retorna os spins ao plano transversal, mas com suas fases invertidas.

Com t_{diff} curto, as moléculas de água terão pouco tempo para se difundirem, não mudando significativamente de posição e, portanto, do campo magnético local a que estão submetidas, e, assim, manterão a frequência de precessão inicial, mas em direção oposta. Desse modo, após o mesmo t_e, gera-se um eco estimulado de elevada intensidade, pois a defasagem inicial será revertida (refocalizada).

Entretanto, com o aumento sucessivo de t_{diff}, se o fluido difundir-se livremente, como na água, as moléculas estarão em uma posição diferente, submetidas a um campo magnético local diferente e, portanto, a uma frequência de precessão diferente. Dessa forma, suas magnetizações não serão refocalizadas, e o eco resultante decairá devido aos efeitos da relaxação spin-rede assim como pela difusão no gradiente magnético estático.

Por fim, se durante o t_{diff}, as moléculas de fluido confinadas em um poro alcançarem a parede do poro, elas relaxam, e o decaimento do eco resultante será agora devido à relaxação spin-rede, à difusão e à contribuição da parede do poro. Quanto menor o poro, maior a probabilidade de isso ocorrer. Conhecendo-se a velocidade das moléculas de fluido (constante de autodifusão) e o tempo até atingir a parede (determinado por t_{diff}), é trivial estimar a distância percorrida pelas moléculas de fluido (o tamanho do poro).

Contudo, durante o t_{diff}, quando a magnetização resultante está armazenada no eixo z, os spins também relaxam pelo sistema spin-rede. Para contabilizar isso, uma sequência de pulsos adicional é empregada para estimar a contribuição da relaxação spin-rede ao processo observado anteriormente. Para isso, e visando manter-se a máxima equivalência, utiliza-se a mesma sequência descrita anteriormente, porém desfazendo-se a codificação espacial durante t_e. Isso é conseguido aplicando-se um pulso π após o t_e, e um t_e adicional é incluído depois, ou seja, o pulso π é flanqueado por períodos t_e (Figura 20.1), o que refocaliza a fase outrora espacialmente codificada, cancelando a acumulação de fase. Essa magnetização refocalizada (não mais rotulada pela posição) é também armazenada no eixo z, mas, após os sucessivos t_{diff}, quando o último pulso π/2 é aplicado (pulso de leitura), rotacionando a magnetização armazenada em z em magnetização transversal (plano x-y), a qual é detectável, a magnetização resultante decairá apenas pela relaxação spin-rede e então pode ser usada para corrigir sua contribuição da sequência anterior por subtração, mantendo apenas o decaimento devido à difusão no campo magnético interno e à interação com a parede dos poros. Portanto, esse decaimento depende apenas do tamanho e forma dos poros (probabilidade das moléculas de água encontrarem as paredes dos poros durante sua difusão – t_{diff}).

O ponto-chave desse método é que o decaimento do sinal nos modos de difusão é governado apenas pelo tamanho do poro, sendo independente da relaxatividade superficial desconhecida (Song, 2003; Liu et al., 2014; Novotny et al., 2023).

Conforme demonstrado em Novotny et al. (2023), além do enorme ganho em tempo (resultados em pouco mais de uma hora) em relação ao método convencional que combina mesas de tensão, câmaras de Richards e psicrômetro (resultados em semanas ou meses), o método proposto, e aqui empregado, é muito mais preciso, acurado e apresenta uma resolução e detalhamento de ordens de magnitude superiores ao método convencional.

Entre os perfis de solos da *XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos*: RCC das várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno (XV RCC), foram selecionados horizontes de dez solos de várzea (perfis AM-05, AM-06, AM-07, AM-08, AM-12, AM-15, AM-16, PA-13, PA-14 e PA-17) e de um Espodossolo (perfil AM-09), e coletadas 21 amostras indeformadas (sem repetição) em anéis de PVC de 50 mm de diâmetro e 50 mm de altura (98 cm^3). Essas amostras foram saturadas em banho-maria a 42 °C para que estivessem termalizadas na mesma temperatura do magneto utilizado. Algumas características químicas e físicas dos solos amostrados, relevantes para os experimentos de RMN, são apresentadas na Tabela 20.1 (dados compilados do Capítulo 9).

Tabela 20.1. Classificação taxonômica (até grupamento textural) segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, teores de carbono total, ferro obtido por ataque sulfúrico, tempo de codificação otimizado, densidade do solo e granulometria de horizontes selecionados de alguns solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos.

Horizonte	Prof.	C total	Fe^{3+}	t_e	Ds	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	cm	--------- g kg^{-1} ---------		µs	kg dm^{-3}	---------- g kg^{-1} ----------			
AM-05 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura siltosa									
Ag	0 - 5	16,7	41	40	0,98	8	34	743	214
3Cg2	33 - 65	9,4	32	40	1,07	1	7	659	333
AM-06 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/siltosa/média									
Apg	0 – 5	12,6	36	40	1,18	2	238	629	131
3Cg1	17 - 42	5,0	39	40	1,30	2	207	654	137
AM-07 - Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, textura média/siltosa									
A1	0 – 4	7,2	38	40	1,08	5	396	479	121
Bi	35 - 87	4,4	38	40	1,28	2	396	492	111
AM-08 - Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico, textura média/argilosa/muito argilosa									
A	0 – 6	15,8	10	1600	1,09	8	237	624	131
2Btgf2	67 - 101	2,7	60	40	1,65	25	102	406	467
AM-09 - Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa									
A1	0 – 8	4,0	1	2000	1,36	853	121	10	16
4Bhs	366 - 380	11,8	2	1600	1,72	847	42	30	81

Continua...

Tabela 20.1. Continuação.

Horizonte	Prof.	C total	Fe^{3+}	t_e	Ds	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	cm	--------- g kg^{-1} ---------		µs	kg dm^{-3}	---------- g kg^{-1} ----------			
AM-12 - Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico, textura média									
Apg1	0 - 5	36,4	22	60	1,21	74	219	371	336
4Abg	38 - 63	2,5	3	1600	1,67	152	537	173	138
AM-15 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/arenosa/siltosa									
2C	4 – 11	2,0	22	60	1,50	2	779	200	19
6Cg3	60 - 108	4,0	34	40	1,35	3	191	642	164
AM-16 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa									
Ag	0 – 4	15,8	38	40	1,31	2	35	753	210
2Cg	27 - 51	4,7	43	40	1,46	1	24	668	307
PA-13 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa/siltosa									
Apg	0 - 5	29,8	38	40	1,13	2	11	574	413
3Cgn2	69 - 101	3,2	38	40	1,47	4	12	699	285
PA-14 - Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico, textura argilosa/siltosa									
2CAvg	3 – 20	12,1	33	40	0,98	3	18	484	495
2Cvg3	71 - 113	2,0	46	40	1,38	9	17	587	388
PA-17 - Organossolo Háplico Hêmico típico, textura argilosa/média/orgânica fíbrica									
Hd3	12 - 29	253,9	8	10000	0,61	254	24	411	281

C total: carbono orgânico total do solo; Fe^{3+}: ferro por ataque sulfúrico; t_e: tempo de codificação otimizado; Ds: densidade do solo.

Fonte: (Santos et al., 2018).

Todos os experimentos de RMN de ^{1}H foram realizados em um espectrômetro de RMN de bancada SpecFIT H60 (Fine Instrument Technology, São Carlos, Brasil) em um campo magnético de 0,27 T (frequência de Larmor do ^{1}H de 11,6 MHz) e em sonda de 50 mm de diâmetro com temperatura de 40 ºC.

Para a análise por RMN, cada amostra saturada com água foi colocada em um saco de polietileno selado (saco plástico comum) para evitar a evaporação da água durante o experimento. Os sacos plásticos e os anéis de PVC não influenciaram a análise, pois não há difusão molecular significativa em sólidos na escala de tempo de RMN (Levitt, 2001). Além disso, as sequências de pulsos não detectam sinais de polímeros sólidos, uma vez que o acoplamento dipolar ^{1}H-^{1}H não é refocalizado (Levitt, 2001).

Os tempos de reciclagem ($d1$) foram ajustados para serem cinco vezes maiores do que o tempo de relaxação spin-rede ^{1}H (T_1) mais longo observado em cada amostra, conforme determinado nos experimentos prévios de inversão-recuperação (Levitt, 2001), com tempos de recuperação de 0,1 a 10.000 ms. Os tempos de relaxação spin-spin (T_2) foram obtidos utilizando-se a sequência de pulsos Carr-Purcell-Meiboom-Gill (CPMG) (Levitt, 2001) com um espaçamento entre ecos de 350 µs. Após as análises de retenção de água pelo método convencional (mesas de tensão, vide abaixo), o conteúdo total de água que preenche o sistema de poros na saturação foi estimado pelo método gravimétrico convencional, ou seja, secando-se as amostras saturadas com água a 105 ºC até peso constante - a diferença de peso entre as amostras totalmente saturadas (ou úmidas em cada tensão) e secas é o conteúdo total de água.

Como já mencionado, o experimento DDIF deve ser realizado na condição de defasagem fraca (regime de codificação fraca), ou seja, o tempo de codificação (t_e) deve ser menor do que a defasagem mais rápida dos ^{1}H devido à não homogeneidade do campo magnético interno (T_i). Isso pode ser estimado pela diferença $T_i^{-1} = T_{2,s}^{*\,-1} - T_{2,m}^{*\,-1} - T_{2,s}^{-1}$, onde $T_{2,s}^{*}$ (s refere-se à amostra) e $T_{2,m}^{*}$ (m para o magneto) são os tempos de decaimento do sinal livre de indução (Levitt, 2001), obtido pelo experimento de Bloch (pulso único de $\pi/2$ e detecção) da amostra de solo indeformada e saturada com água e de uma amostra de água com a mesma geometria das amostras indeformadas, respectivamente, e $T_{2,s}$ é a relaxação transversal (spin-spin) intrínseca da amostra obtida pelo experimento CPMG.

Um t_e otimizado mais preciso é obtido a partir de experimentos DDIF realizados variando t_e linearmente ao redor do valor previamente estimado como descrito anteriormente em ambas as sequências de pulsos (R e E, Figura 20.1), uma vez que a amplitude inicial do decaimento S (amplitude do sinal no t_{diff} mais curto) aumenta linearmente com t_e no limite do regime de codificação fraca (Lisitza; Song, 2001). Porém não é necessário utilizar todos os valores de t_{diff}, bastam dois valores, um curto e outro na região em que o decaimento será dominado por T_1, no caso, utilizou-se t_{diff} de 100 µs e 1 s. Para teores de Fe^{3+} acima de 30 g kg^{-1},

o t_e otimizado foi o mínimo possível (40 µs), e, para teores abaixo de 20 g kg^{-1}, o t_e otimizado foi da ordem de milissegundos (Tabela 20.1), o que era esperado devido ao efeito do Fe paramagnético no gradiente magnético interno (Novotny et al., 2023). O maior t_e (10 ms) foi para o Organossolo, algo também esperado pela baixa susceptibilidade magnética do material orgânico, quando comparado com os minerais do solo.

Finalmente, as duas sequências de pulsos (Figura 20.1) que medem a distribuição do tamanho dos poros por DDIF (Song, 2003) foram obtidas com o t_e ajustado e 47 ou 48 valores de t_{diff} espaçados logaritmicamente de 1 µs a 6 ou 10 s. O tempo total de análise foi de cerca de 1,5 h por amostra.

O decaimento DDIF, livre da contribuição do modo fundamental da relaxação spin-rede, (*S*, Eq. 1) foi obtido subtraindo-se a contribuição de *R* em *E* (sequências de pulsos descritas na introdução e na Figura 20.1). A subtração é feita após o dimensionamento de *R* pela razão *E/R* em t_{diff} longo (a_0), ou seja, quando ambos os decaimentos são paralelos no gráfico semilog da ordenada e o decaimento *E* torna-se dominado apenas pelo modo fundamental de T_1 (Song, 2003; Liu et al., 2014):

$$S(t_{diff}) = E(t_{diff}) - a_0 R(t_{diff}) \quad (1)$$

Após as análises por RMN, cada amostra foi devolvida à bandeja de saturação antes de serem analisadas pelo método convencional (mesa de tensão e psicrômetro).

Os decaimentos multiexponenciais resultantes (*S*), inerentes a esse fenômeno físico (Brownstein; Tarr, 1979; Song, 2003; Ramos et al., 2009) foram processados utilizando-se a Transformada Inversa de Laplace (ILT) com regularização de Tikhonov otimizada (alfa) obtida pela curva L (Hansen, 1992; Day, 2011). Para evitar sobreajuste, o alfa utilizado (subótimo) foi uma ordem de magnitude maior do que o otimizado.

A ILT foi realizada utilizando-se a abordagem Fast Laplace-like INverTer (Flint) proposta por Teal e Eccles (2015) e com o script MatLab[1].

É importante ressaltar que a ILT é um problema mal-posto, e a distribuição obtida deve ser analisada cuidadosamente. A escolha do alfa depende da qualidade dos dados (razão sinal/ruído), e geralmente o conhecimento prévio da amostra é usado para encontrar uma solução mais realista (Whittall et al., 1991) ou seja, quantas classes de decaimento exponencial são esperadas.

A taxa de decaimento DDIF durante t_{diff} ($1/\tau$), onde τ é a constante de tempo do decaimento do sinal *S* como uma função de t_{diff}, depende da geometria dos poros, pois a probabilidade de a molécula de água encontrar a parede do poro depende da forma deste. Essa

[1] Disponível em: https://github.com/paultnz/flint.

dependência é parametrizada por ζ_1, a primeira raiz positiva da função transcendental apropriada (dependente da geometria). Para um poro com geometria esférica (simetria esférica, o caminho de difusão mais curto é em qualquer direção) em que a ≈ b ≈ c, onde a, b e c são as dimensões do poro no sistema de coordenadas cartesianas x, y, z, ζ_1 = 4,4934; para um poro com geometria cilíndrica (simetria axial alongada, caminho de difusão mais curto em 2D, ou seja, no plano x-y) em que a ≈ b << c, ζ_1 = 3,8317; e para um poro com geometria planar (caminho de difusão mais curto em 1D) em que a << b e c, $\zeta_1 = \pi/2$ (Brownstein; Tarr, 1979; Grebenkov, 2008). Portanto, os raios dos poros foram obtidos redimensionando-se o decaimento temporal τ pela Eq. 2:

$$r = \zeta_1\sqrt{D\tau} \tag{2}$$

onde *D* é coeficiente de autodifusão molecular do fluido sonda (no caso presente, água, *D* = 2.651,9 μm^2 s^{-1}). Neste estudo, a escala das distribuições τ foi considerada para poros com geometria cilíndrica.

Resumidamente:

1) Os tempos de relaxação longitudinal (T_1) e transversal (T_2) de cada amostra saturada foram determinados utilizando-se as sequências padrão de inversão-recuperação e Carr-Purcell-Meiboom-Gill (CPMG), respectivamente. T_1 é utilizado para definir o tempo de espera para se repetir cada experimento (no mínimo 5 T_1 = 99,34% de recuperação do sinal), assim como o valor máximo do tempo de difusão (t_{dif}), enquanto T_2 é utilizado para uma primeira estimativa do tempo de codificação dos experimentos (Novotny et al., 2023). O t_e de cada amostra foi calibrado variando-se esse parâmetro linearmente ao redor da primeira estimativa efetuada por $T_i^{-1} = T_{2,s}^{*\,-1} - T_{2,m}^{*\,-1} - T_{2,s}^{-1}$. Esta calibração foi realizada em menos de 15 min;
2) Com o te determinado, realizou-se o experimento DDIF completo com cerca de 50 tempos de difusão (tdif) logaritmicamente espaçados (de 1 μs a 6 ou 10 s, dependendo de T1), com o número apropriado de repetições para se obter uma relação sinal/ruído satisfatória (≥ 100);
3) Os dados foram normalizados para tdif longo o suficiente para ambos os decaimentos serem função apenas de T1, e o decaimento ser devido apenas ao tamanho dos poros calculado por subtração;
4) Esse decaimento foi ajustado pela inversa de Laplace (ILT) para se obter a distribuição dos tempos de decaimento τ, utilizando-se o regularizador de Tikhonov subótimo para evitar o sobreajuste;
5) Essa distribuição foi reescalada para se obter a distribuição dos tamanhos dos poros;

6) A ILT foi recalculada com um regularizador de Tikhonov superdimensionado visando obter as curvas de retenção de água alisadas, para coincidir com a baixíssima resolução do método de referência (combinação de mesas de tensão, câmaras de Richards e medidor de potencial de ponto de orvalho);
7) Obteve-se a soma acumulada da distribuição dos tamanhos dos poros, do menor para o maior, converteu-se o eixo x em potencial mátrico, pela equação de Young-Laplace (Eq. 3), de acordo com o modelo de feixes de tubos capilares.

$$|\Psi_m| = \frac{20\ \sigma\ cos\ (\alpha)}{g\ \rho_w\ r_{eq.}} \quad (3)$$

onde $|\psi_m|$ é o módulo do potencial mátrico do solo em kPa, σ é a tensão superficial da água (σ = 0,07275 N m^{-1}), α é o ângulo de contato entre a água no menisco e a parede do poro, g é a gravidade padrão (g = 9,80665 $m^2\ s^{-1}$), ρ_w é a densidade da água (ρ_w: 1,000 kg m^{-3}) e $r_{eq.}$ é o raio equivalente do poro em m.

Visto ser necessário considerar desvios do modelo de feixes de tubos capilares para a complexidade do solo (i.e., tortuosidade, conectividade, gargalos etc.), esse ajuste foi feito utilizando-se três valores do método de referência: saturação, -10 kPa (um ponto da mesa de tensão) e -1500 kPa (psicrômetro).

Para se verificar a concordância dos resultados obtidos por RMN com aqueles obtidos pelo método convencional, as amostras indeformadas (as mesmas amostras analisadas por RMN) foram saturadas com água e submetidas a baixos potenciais matriciais (-1, -2, -3, -6 e -10 kPa) utilizando-se uma mesa de tensão (Topp; Zebchuk, 1979). Após terminar a drenagem em cada potencial mátrico (aguardado o tempo para que as amostras atingissem o equilíbrio hidrostático, na prática variação menor que 0,5% do peso entre pesagens sucessivas), as amostras foram pesadas, o teor de água foi determinado por diferença e o teor de água volumétrico foi calculado. E por fim, para a determinação do teor de umidade no ponto de murcha permanente (-1500 kPa), foi empregada a metodologia do psicrômetro. Inicialmente, uma amostra de solo desestruturado foi umedecida cuidadosamente, evitando-se atingir o ponto de liquidez, e acondicionada em uma cubeta metálica. Em seguida, a amostra permaneceu em repouso por 24 horas em dessecador, permitindo-se a redistribuição uniforme da umidade.

Após esse período, a amostra foi transferida para a câmara do psicrômetro, onde permaneceu até que a umidade interna da câmara entrasse em equilíbrio com o potencial hídrico do solo, momento em que se faz a leitura da tensão correspondente.

Para cada amostra de solo, foram realizadas quatro medições, com tensões variando entre, no mínimo, -2000 kPa e, no máximo, -800 kPa, com pontos intermediários bem distribuídos, visando a construção de uma curva representativa do teor de umidade em função

da tensão. A partir desses dados, foi ajustada uma regressão linear, a qual permitiu estimar o teor de umidade correspondente à tensão de -1500 kPa.

Os dados experimentais obtidos por RMN foram ajustados ao modelo de Van Genuchten (Eq. 4):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|\Psi m|)^n]^{1-\frac{1}{n}}} \quad (4)$$

onde θ é o conteúdo experimental de água volumétrica ($m^3\ m^{-3}$), θ_s e θ_r são, respectivamente, o conteúdo de água na saturação e residual, e n e α são parâmetros ajustados (Van Genuchten, 1980). Os ajustes foram realizados no software MatLab R2016a com rotina elaborada pelos autores utilizando-se o método de ajuste da regressão não-linear, minimizando-se a soma dos quadrados do resíduo (mínimos quadrados ordinários). Os resultados foram comparados com o software livre RETEC 6.02 (Van Genuchten et al., 2009), porém para esta comparação, por limitações do software RETEC 6.02, o conjunto de dados disponíveis foi reduzido para apenas 44 pontos (potenciais matriciais). Os resultados obtidos foram os mesmos, e, pela maior resolução e praticidade, utilizou-se a rotina elaborada pelos autores.

3. Resultados e discussão

As curvas de retenção de água obtidas por RMN e os dados do método convencional, assim como os ajustes da equação de Van Genuchten para as curvas obtidas por RMN, são apresentados nas Figuras 20.2 a 20.12. Como se pode observar, a concordância foi excelente, obtendo-se valores de $\chi 2$ irrisórios (máximo de 0,0958) e não estatisticamente significativos e coeficientes de determinação (R2) sempre superiores a 0,97, com média de 0,9952 (Tabela 20.2). Exceção é a amostra AM-09, horizonte A1, cujo R2 foi de apenas 0,8681. Obviamente essa discrepância é devido a algum erro do método convencional (Figura 20.6), pois, por exemplo, houve um ganho de umidade entre -3 e -6 kPa, o que não é esperado, mas que pode ocorrer no cotidiano do método convencional. Os resultados apresentados no Capítulo 19, Figura 20.2, confirmam isso, pois, apesar de serem amostras diferentes do mesmo perfil, portanto a variabilidade espacial deve ser levada em consideração, os autores não observaram o mesmo artefato e obtiveram uma curva de retenção de água similar à obtida por RMN, com os parâmetros ajustados da equação de Van Genuchten dentro do intervalo de confiança de 95% (dados não mostrados). Isso reitera as vantagens do método proposto, em especial sua precisão e acurácia e ser livre dos erros e vieses comuns ao método convencional.

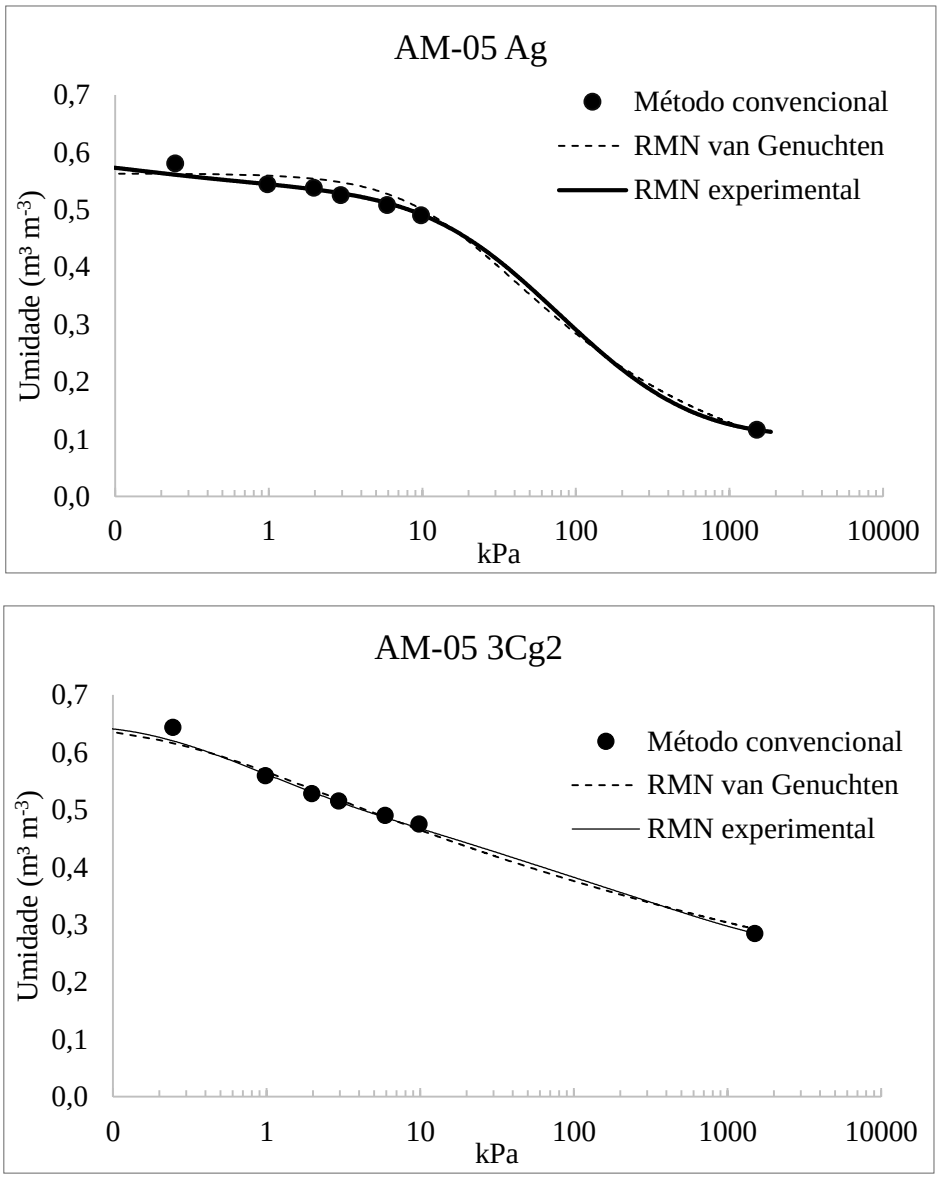


Figura 20.2. Curvas de retenção de água de horizontes selecionados do Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura siltosa da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (perfil AM-05, horizontes Ag e 3Cg2). Potencial mátrico (kPa) em módulo. Os círculos cheios representam os dados obtidos pelo método convencional (mesa de tensão e psicrômetro), as linhas cheias são as curvas obtidas por RMN e as linhas tracejadas são os ajustes da equação de Van Genuchten, apenas para os dados obtidos por RMN.

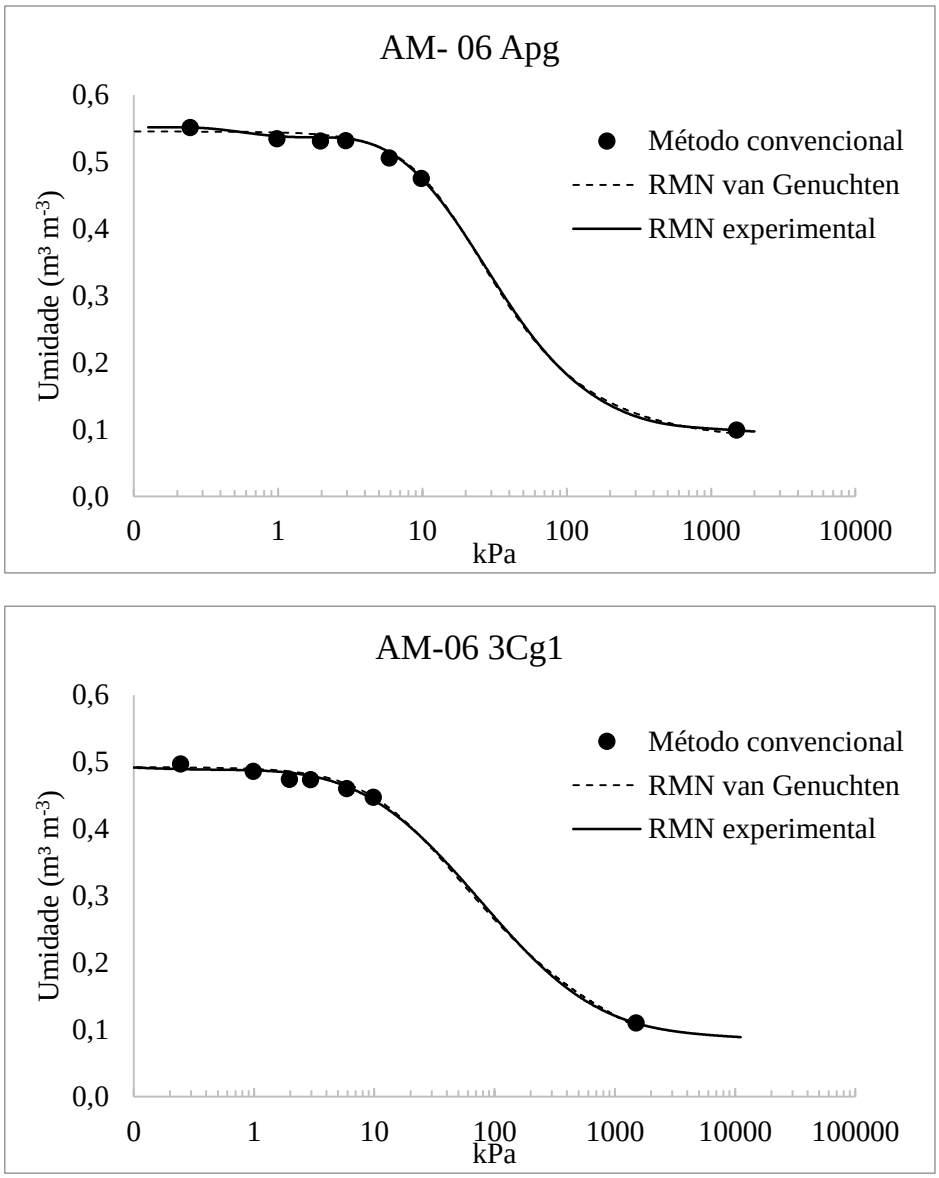


Figura 20.3. Curvas de retenção de água de horizontes selecionados do Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/siltosa/média da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (perfil AM-06, horizontes Apg e 3Cg1). Potencial mátrico (kPa) em módulo. Os círculos cheios representam os dados obtidos pelo método convencional (mesa de tensão e psicrômetro), as linhas cheias são as curvas obtidas por RMN e as linhas tracejadas são os ajustes da equação de Van Genuchten, apenas para os dados obtidos por RMN.

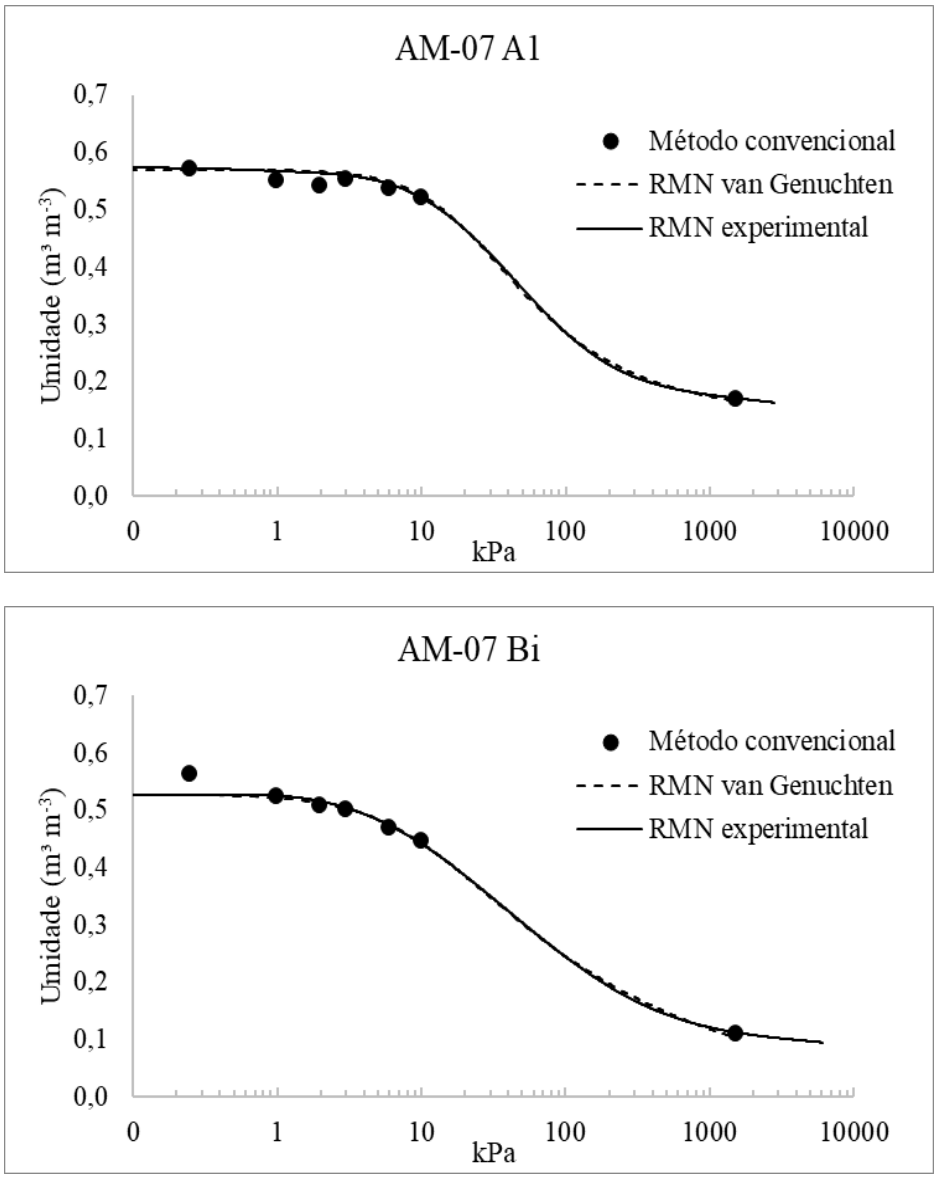


Figura 20.4. Curvas de retenção de água de horizontes selecionados do Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, textura média/siltosa da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (perfil AM-07, horizontes A1 e Bi). Potencial mátrico (kPa) em módulo. Os círculos cheios representam os dados obtidos pelo método convencional (mesa de tensão e psicrômetro), as linhas cheias são as curvas obtidas por RMN e as linhas tracejadas são os ajustes da equação de Van Genuchten, apenas para os dados obtidos por RMN.

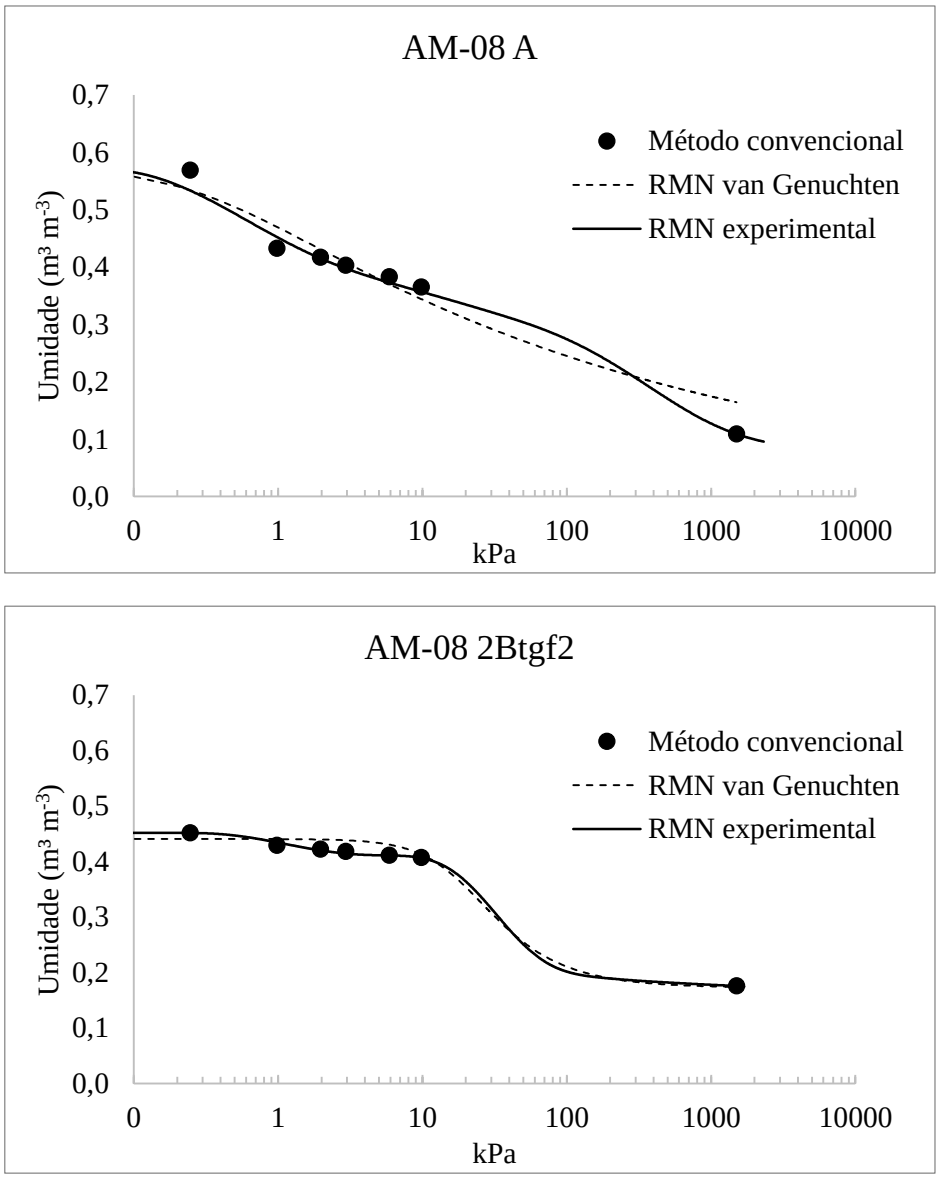


Figura 20.5. Curvas de retenção de água de horizontes selecionados do Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico, textura média/argilosa/muito argilosa da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (perfil AM-08, horizontes A e 2Btgf2). Potencial mátrico (kPa) em módulo. Os círculos cheios representam os dados obtidos pelo método convencional (mesa de tensão e psicrômetro), as linhas cheias são as curvas obtidas por RMN e as linhas tracejadas são os ajustes da equação de Van Genuchten, apenas para os dados obtidos por RMN.

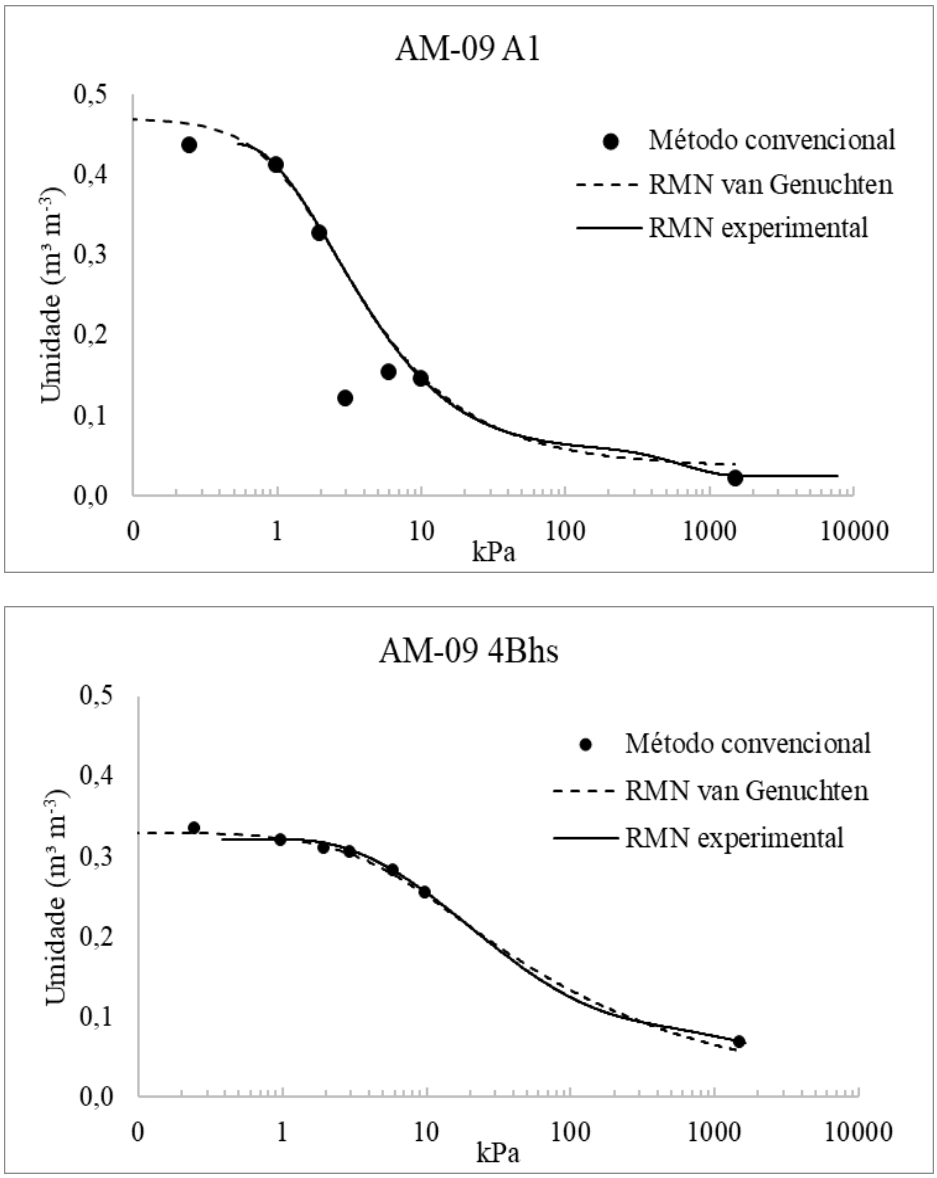


Figura 20.6. Curvas de retenção de água de horizontes selecionados do Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (perfil AM-09, horizontes A1 e 4Bhs). Potencial mátrico (kPa) em módulo. Os círculos cheios representam os dados obtidos pelo método convencional (mesa de tensão e psicrômetro), as linhas cheias são as curvas obtidas por RMN e as linhas tracejadas são os ajustes da equação de Van Genuchten, apenas para os dados obtidos por RMN.

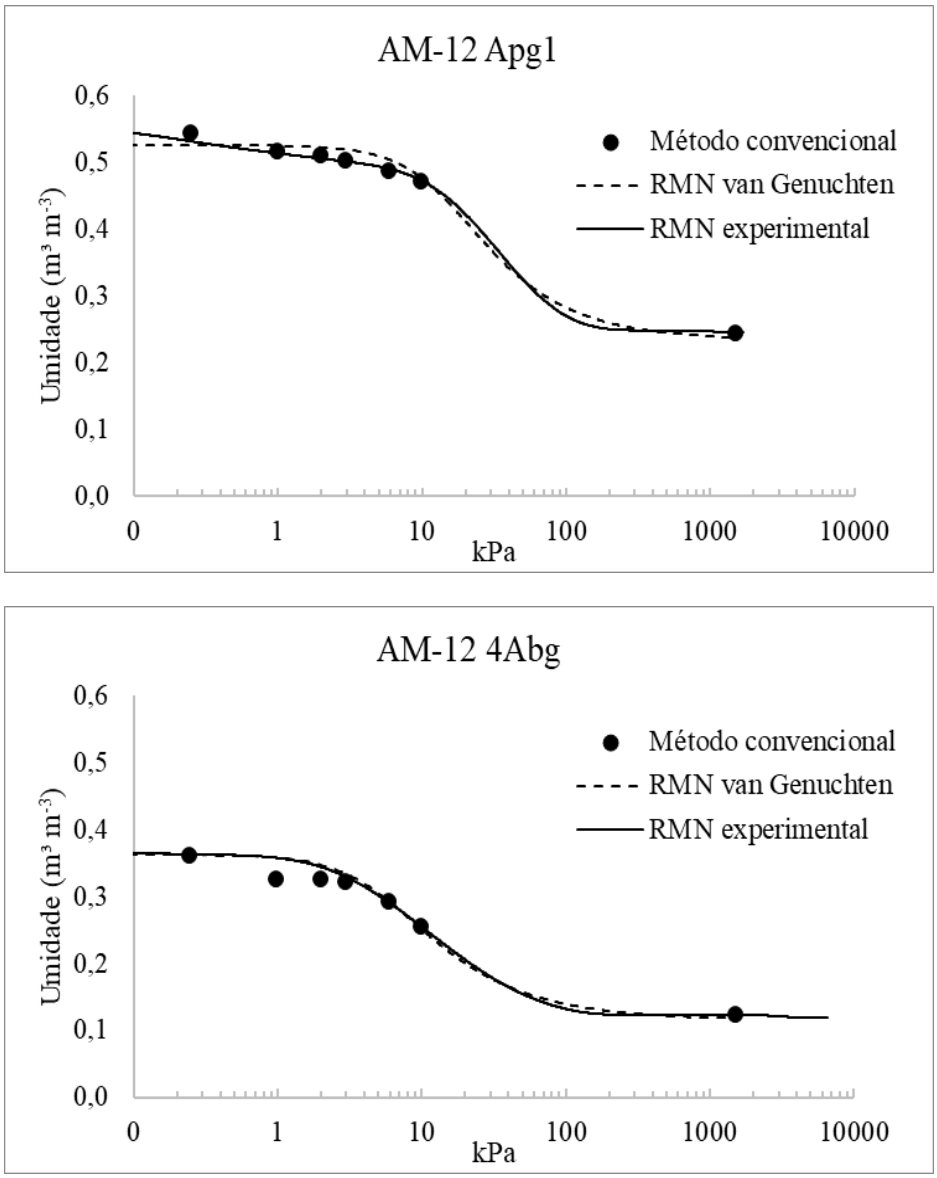
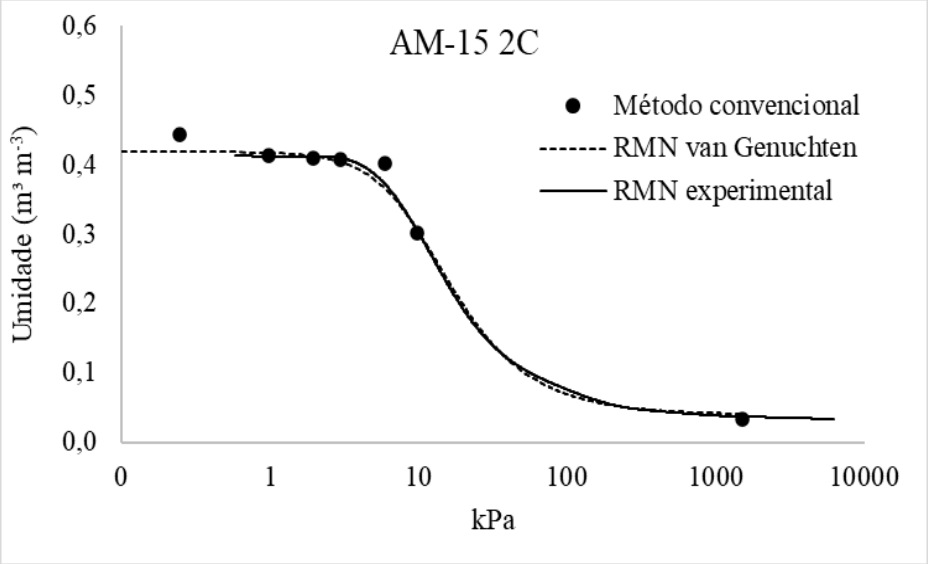


Figura 20.7. Curvas de retenção de água de horizontes selecionados do Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico, textura média da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (perfil AM-12, horizontes Apg1 e 4Abg). Potencial mátrico (kPa) em módulo. Os círculos cheios representam os dados obtidos pelo método convencional (mesa de tensão e psicrômetro), as linhas cheias são as curvas obtidas por RMN e as linhas tracejadas são os ajustes da equação de Van Genuchten, apenas para os dados obtidos por RMN.



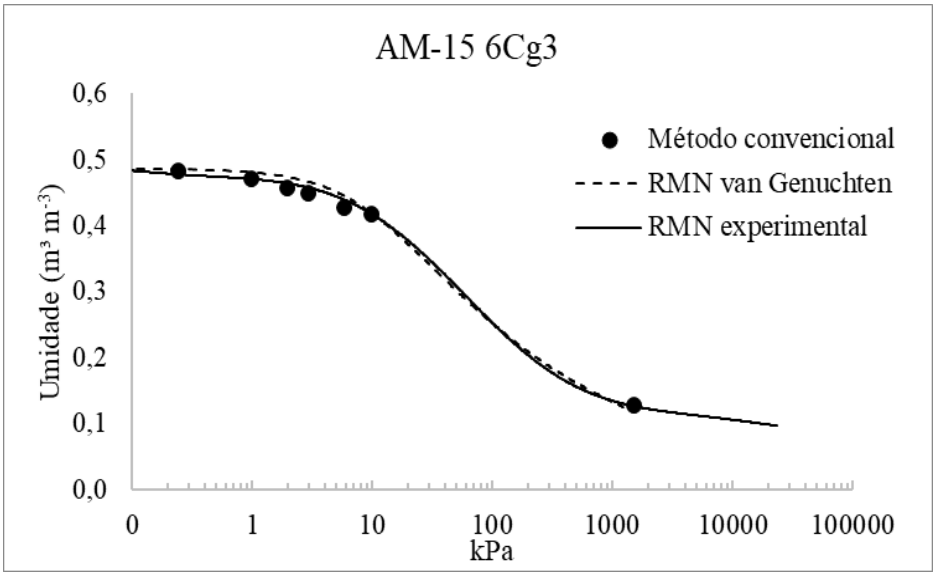


Figura 20.8. Curvas de retenção de água de horizontes selecionados do Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/arenosa/siltosa da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (perfil AM-15, horizontes 2C e 6Cg3). Potencial mátrico (kPa) em módulo. Os círculos cheios representam os dados obtidos pelo método convencional (mesa de tensão e psicrômetro), as linhas cheias são as curvas obtidas por RMN e as linhas tracejadas são os ajustes da equação de Van Genuchten, apenas para os dados obtidos por RMN.

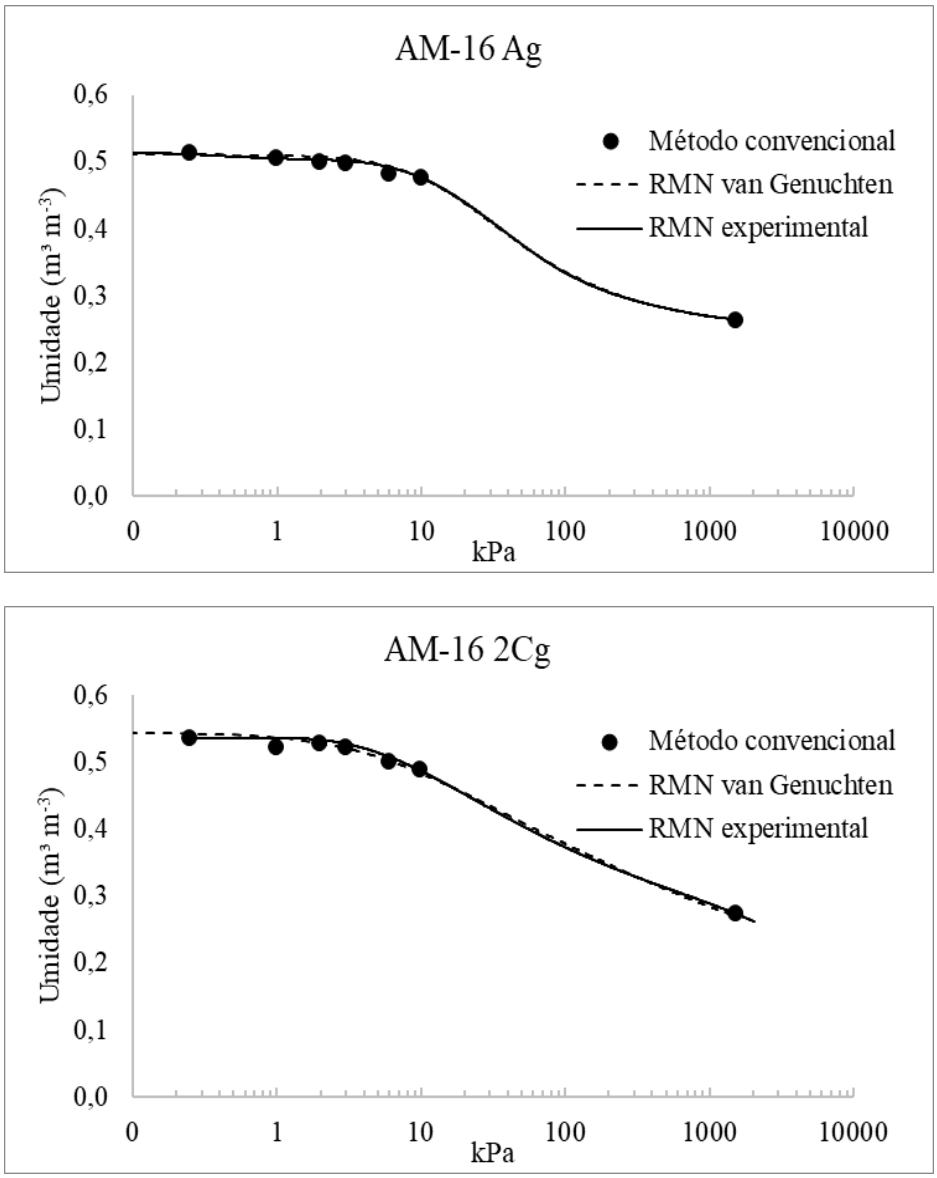


Figura 20.9. Curvas de retenção de água do Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (perfil AM-16, horizontes Ag e 2Cg). Potencial mátrico (kPa) em módulo. Os círculos cheios representam os dados obtidos pelo método convencional (mesa de tensão e psicrômetro), as linhas cheias são as curvas obtidas por RMN e as linhas tracejadas são os ajustes da equação de Van Genuchten, apenas para os dados obtidos por RMN.

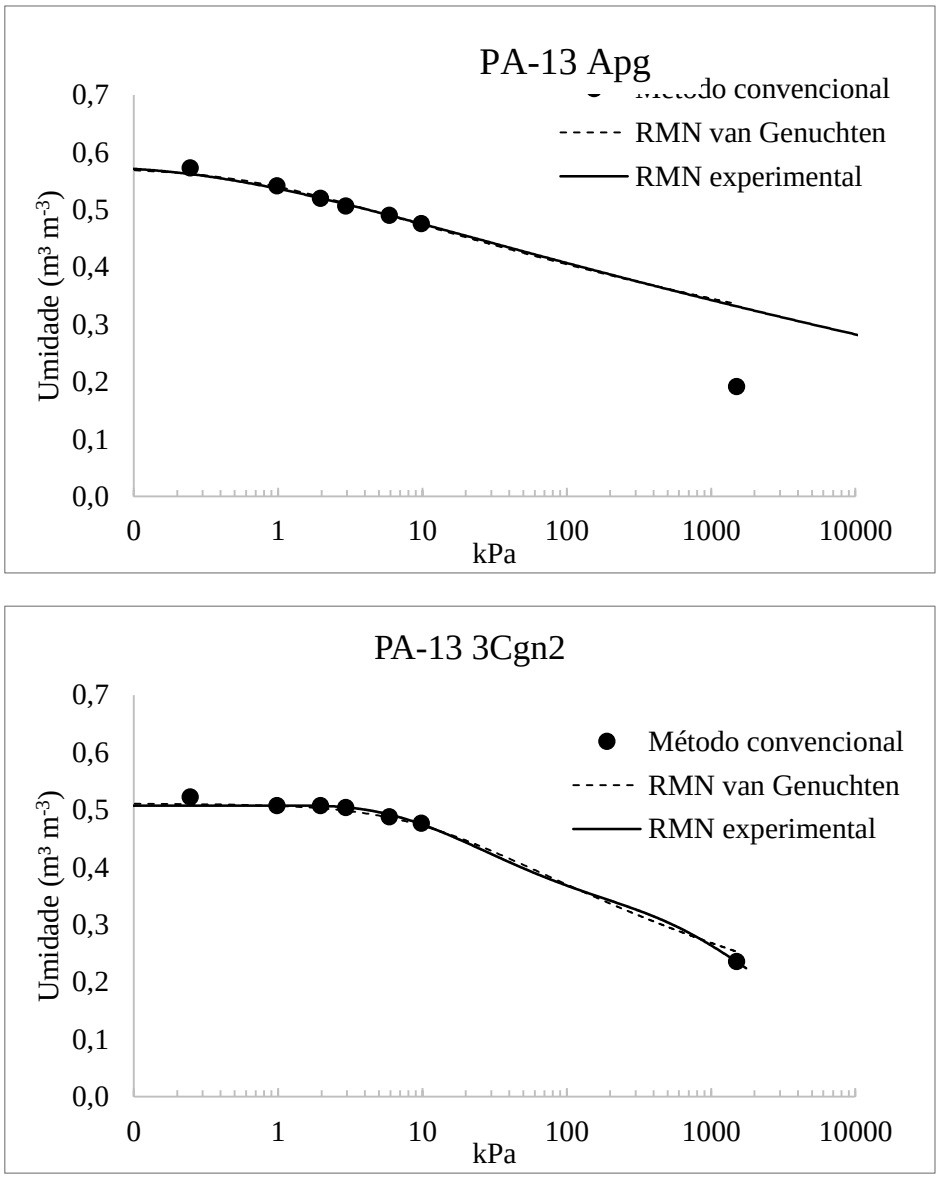


Figura 20.10. Curvas de retenção de água de horizontes selecionados de um Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa/siltosa da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (perfil PA-13, horizontes Apg e 3Cgn2). Obs.: potencial mátrico (kPa) em módulo. Os círculos cheios representam os dados obtidos pelo método convencional (mesa de tensão e psicrômetro), as linhas cheias são as curvas obtidas por RMN e as linhas tracejadas são os ajustes da equação de Van Genuchten, apenas para os dados obtidos por RMN.

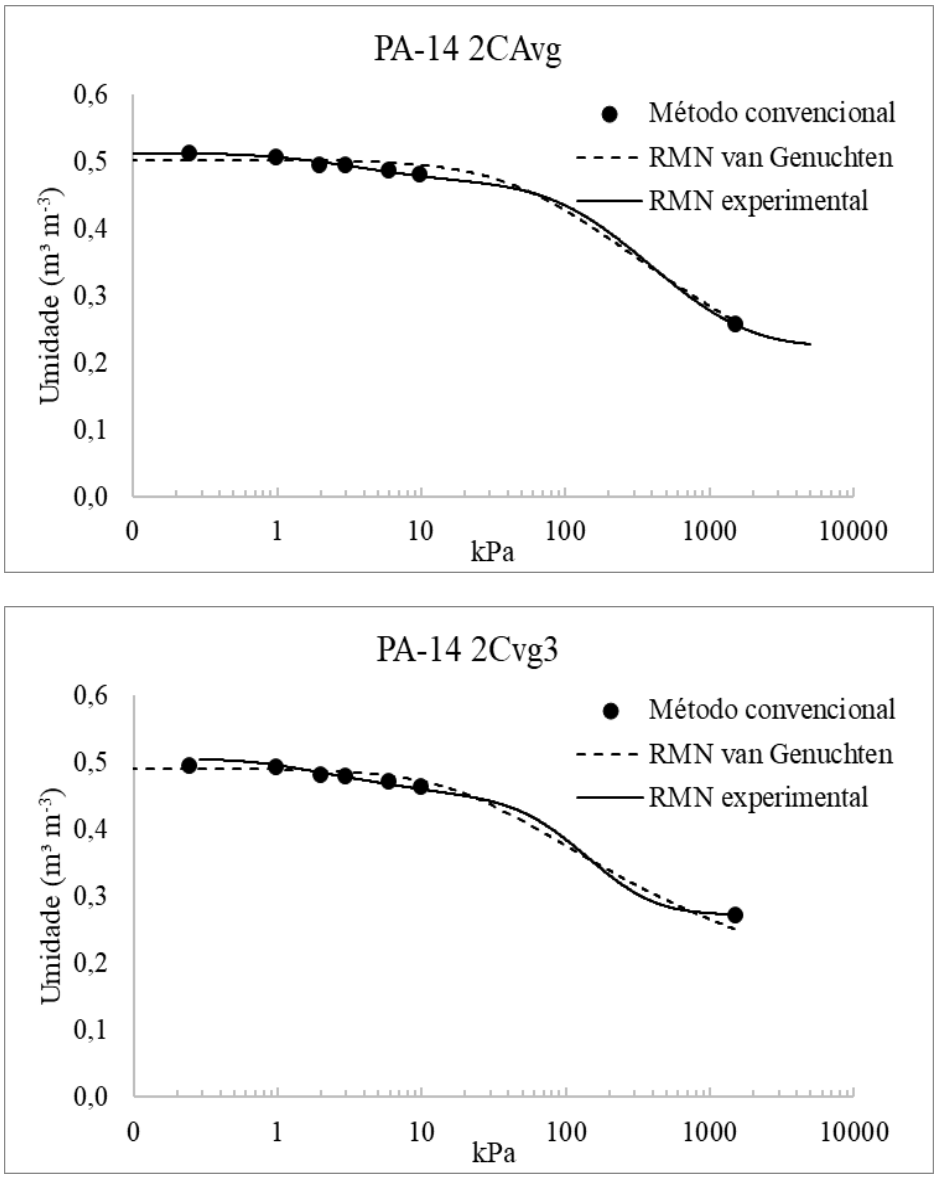


Figura 20.11. Curvas de retenção de água de horizontes selecionados do Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico, textura argilosa/siltosa da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (perfil PA-14, horizontes 2CAvg e 2Cvg3). Potencial mátrico (kPa) em módulo. Os círculos cheios representam os dados obtidos pelo método convencional (mesa de tensão e psicrômetro), as linhas cheias são as curvas obtidas por RMN e as linhas tracejadas são os ajustes da equação de Van Genuchten, apenas para os dados obtidos por RMN.

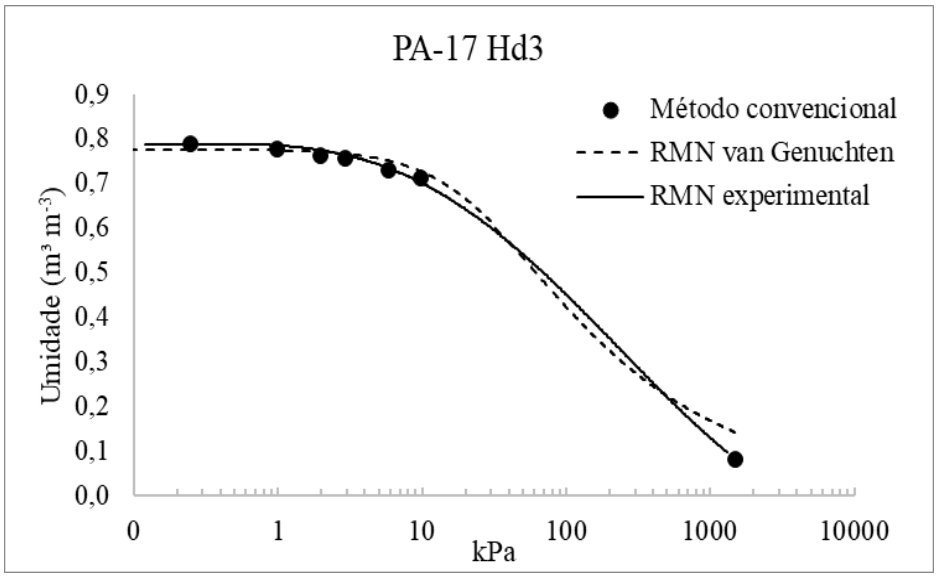


Figura 20.12. Curvas de retenção de água de horizonte selecionado do Organossolo Háplico Hêmico típico, textura argilosa/média/orgânica fíbrica da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (perfil PA-17, horizonte Hd3). Potencial mátrico (kPa) em módulo. Os círculos cheios representam os dados obtidos pelo método convencional (mesa de tensão e psicrômetro), as linhas cheias são as curvas obtidas por RMN e as linhas tracejadas são os ajustes da equação de Van Genuchten, apenas para os dados obtidos por RMN.

Os parâmetros relevantes para a ciência do solo obtidos por RMN e pelo método convencional – porosidade total, valores de umidade nas tensões utilizadas para estimativa da curva de retenção de água no solo e água disponível no solo (AD) - são dados na Tabela 20.2. Novamente, a concordância é excelente, confirmando considerável avanço obtido pelo método proposto, reiterando-se que os dados foram obtidos em menos de duas horas, contra os meses do método convencional.

Tabela 20.2. Valores de porosidade total (Pt); umidade nas tensões de -1, -2, -3, -6, -10 e -1500 kPa; e de água disponível no solo (AD) obtidos por RMN e pelo método convencional (C) e coeficiente de determinação entre os valores obtidos por RMN e pelo método convencional (R^2 RMN*x*C) de horizontes selecionados de alguns solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos.

Horiz.	Prof.	Mét.	Pt	-1 kPa	-2 kPa	-3 kPa	-6 kPa	-10 kPa	-1,5 MPa	AD	R^2
	cm		---------- $m^3\ m^{-3}$ ----------								RMN*x*C
AM-05 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura siltosa											
Ag	0-5	RMN	0,584	0,544	0,535	0,528	0,511	0,491	0,116	0,375	0,9998
		C	0,581	0,544	0,538	0,525	0,508	0,490	0,116	0,374	
3Cg2	33-65	RMN	0,645	0,562	0,530	0,513	0,486	0,467	0,284	0,183	0,9987
		C	0,644	0,560	0,528	0,516	0,491	0,476	0,285	0,191	
AM-06 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/siltosa/média											
Apg	0-5	RMN	0,552	0,538	0,537	0,535	0,513	0,474	0,099	0,375	0,9997
		C	0,551	0,535	0,531	0,532	0,506	0,475	0,099	0,376	
3Cg1	17-42	RMN	0,497	0,488	0,484	0,479	0,463	0,443	0,110	0,333	0,9991
		C	0,497	0,486	0,474	0,474	0,460	0,447	0,110	0,337	
AM-07 - Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, textura média/siltosa											
A1	0-4	RMN	0,573	0,567	0,563	0,559	0,544	0,520	0,171	0,350	0,9970
		C	0,572	0,551	0,543	0,553	0,538	0,523	0,171	0,352	
Bi	35-87	RMN	0,527	0,525	0,515	0,504	0,474	0,441	0,112	0,329	0,9913
		C	0,564	0,525	0,510	0,502	0,471	0,446	0,110	0,336	
AM-08 - Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico, textura média/argilosa/muito argilosa											
A	0-6	RMN	0,569	0,451	0,414	0,396	0,372	0,356	0,109	0,247	0,9949
		C	0,569	0,432	0,417	0,403	0,383	0,365	0,109	0,256	
2Btgf2	67-101	RMN	0,452	0,434	0,420	0,414	0,411	0,406	0,176	0,230	0,9992
		C	0,452	0,429	0,422	0,418	0,411	0,407	0,176	0,231	
AM-09 - Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa											
A1	0-8	RMN	0,438	0,410	0,332	0,278	0,194	0,146	0,025	0,122	0,8681
		C	0,438	0,412	0,328	0,122	0,155	0,147	0,022	0,125	
4Bhs	366-380	RMN	0,321	0,321	0,317	0,308	0,281	0,255	0,069	0,186	0,9951
		C	0,335	0,321	0,310	0,305	0,283	0,255	0,068	0,187	

Continua...

Tabela 20.2. Continuação.

Horiz.	Prof.	Mét.	Pt	-1 kPa	-2 kPa	-3 kPa	-6 kPa	-10 kPa	-1,5 MPa	AD	R^2
	cm		---------- $m^3\ m^{-3}$ ----------								RMN*x*C
AM-12 - Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico, textura média											
Apg1	0-5	RMN	0,547	0,513	0,505	0,501	0,490	0,472	0,245	0,227	0,9989
		C	0,543	0,517	0,510	0,503	0,487	0,472	0,245	0,227	
4Abg	38-63	RMN	0,364	0,357	0,344	0,329	0,290	0,255	0,124	0,131	0,9832
		C	0,362	0,327	0,327	0,323	0,293	0,255	0,124	0,131	
AM-15 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/arenosa/siltosa											
2C	4-11	RMN	0,412	0,412	0,412	0,409	0,370	0,301	0,037	0,264	0,9890
		C	0,443	0,412	0,410	0,407	0,401	0,301	0,033	0,268	
6Cg3	60-108	RMN	0,496	0,470	0,464	0,457	0,438	0,417	0,126	0,291	0,9986
		C	0,483	0,470	0,458	0,448	0,428	0,417	0,127	0,290	
AM-16 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa											
Ag	0-4	RMN	0,513	0,505	0,503	0,501	0,492	0,476	0,264	0,212	0,9990
		C	0,513	0,505	0,500	0,499	0,484	0,476	0,264	0,212	
2Cg	27-51	RMN	0,536	0,536	0,534	0,528	0,508	0,487	0,274	0,213	0,9974
		C	0,536	0,524	0,530	0,523	0,502	0,491	0,274	0,216	
PA-13 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa/siltosa											
Apg	0-5	RMN	0,573	0,536	0,520	0,509	0,489	0,475	0,332	0,143	0,9708
		C	0,573	0,542	0,520	0,507	0,490	0,475	0,192	0,284	
3Cgn2	69-101	RMN	0,507	0,507	0,507	0,504	0,491	0,474	0,235	0,239	0,9963
		C	0,523	0,507	0,507	0,504	0,488	0,477	0,236	0,241	
PA-14 - Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico, textura argilosa/siltosa											
2CAvg	3-20	RMN	0,513	0,507	0,499	0,494	0,485	0,478	0,257	0,222	0,9995
		C	0,512	0,507	0,496	0,495	0,487	0,481	0,257	0,224	
2Cvg3	71-113	RMN	0,504	0,496	0,485	0,478	0,467	0,460	0,272	0,188	0,9968
		C	0,495	0,493	0,482	0,479	0,472	0,463	0,272	0,191	
PA-17 - Organossolo Háplico Hêmico típico, textura argilosa/média/orgânica fíbrica											
Hd3	12-29	RMN	0,788	0,785	0,774	0,763	0,732	0,701	0,081	0,619	0,9992
		C	0,788	0,777	0,763	0,756	0,729	0,713	0,083	0,630	

AD = capacidade de campo (-10 kPa) - ponto de murcha permanente (-1,5 MPa).

Do ponto de vista das propriedades físicas que influenciam as propriedades hídricas do solo, pode-se observar nas curvas de retenção de água apresentadas que o efeito da granulometria dos solos refletiu no formato da curva, influenciando também a sua inclinação. Estudo desenvolvido por Pachepsky et al. (2001) explicita a dependência da retenção de água de fatores como areia, argila e matéria orgânica, sendo que esta pode inclusive prevalecer sobre o teor de argila.

Solos com maiores teores de argila tendem a apresentar uma distribuição de poros com diferentes classes de tamanho de poros, distribuídos de modo mais homogêneo e gradual nas classes, tornando a inclinação da curva mais suave. De modo oposto, a macroporosidade, característica de solos mais arenosos, promove a rápida drenagem da água e acentua a inclinação no início da curva de retenção de água (Hillel, 1982). Essa influência é evidente na amostra AM-08 (Figura 20.5), onde o horizonte superficial menos argiloso (131 g kg^{-1} de argila, Tabela 20.1) retém água de forma marcadamente diferente do horizonte subjacente, onde há menos areia e mais argila (467 g kg^{-1} de argila). As tensões de até -10 kPa na camada mais profunda desse solo apresentam valores de umidade semelhantes, enquanto, na camada superior, a maior quantidade de areia facilitou a drenagem da água diante do aumento da sucção matricial. Porém, a partir de -10 kPa, a curva de retenção torna-se mais abrupta no horizonte subsuperficial, provavelmente pelo seu menor teor de matéria orgânica. O mesmo efeito da influência da granulometria pode ser observado nas amostras AM-09, AM-12 e AM-15 (Figuras 20.6, 20.7 e 20.8), enquanto os demais solos avaliados apresentaram pouca diferença granulométrica entre os horizontes superficiais e subsuperficiais.

As curvas obtidas por RMN e pelo método convencional foram muito semelhantes, com formatos compatíveis entre si nas tensões de -10 a -1500 kPa. Os parâmetros tradicionalmente obtidos da curva de retenção de água, como CC e PMP, apresentaram uma média de variação inferior a 5% entre os métodos avaliados, ressaltando-se a eficiência do RMN na obtenção desses dados. Destaca-se aqui a possibilidade da técnica do RMN em obter a umidade em tensões diversas de modo rápido, o que pelo método tradicional é limitado tanto pela morosidade nas análises, que demandam semanas e até meses ante o método proposto pelo RMN que em poucas horas é concluído com êxito, quanto pelos equipamentos, que por vezes não possuem escala para obtenção de dados confiáveis em tensões específicas, demandando a combinação de vários equipamentos para definição de uma única curva.

Essa flexibilidade na obtenção das curvas de retenção de água em diversas tensões matriciais, com uma acurácia, precisão e resolução sem precedentes, abre caminho para estudos aprofundados sobre tensões ideais para obtenção de parâmetros como CC e PMP em diversas classes de solos e para diferentes culturas, evitando-se o uso de tensões matriciais estáticas que não garantem que a drenagem torne-se de fato insignificante, possibilitando assim uma abordagem dinâmica (Satriani et al., 2024), e ainda viabiliza a definição de parâmetros importantes, como água disponível, para cada cultura, em vez de valores arbitrários obtidos

para uma cultura-teste (por exemplo, girassol), utilizados indiscriminadamente para todas as culturas.

Observando-se os dados de CC apresentados na Tabela 20.2, nota-se que houve pouca variação entre superfície e subsuperfície, tendo as variações mais expressivas nas amostras AM-08, AM-09 e AM-12, com destaque para a AM-09 que aumentou demasiadamente em profundidade, o que pode ter ocorrido pelo aumento do carbono em subsuperfície (de 4,7 para 9,9 g kg^{-1}, Tabela 20.1) neste perfil de solo, o que é característico dos Espodossolos devido à iluviação de matéria orgânica, além de maiores teores de argila e estrutura maciça e adensada em subsuperfície.

Quanto ao PMP, esse sofre pouca influência da estrutura do solo, estando fortemente associado à textura do solo (Torres et al., 2021), o que é confirmado ao se observar os dados apresentados na Tabela 20.2 onde o aumento da umidade no PMP reflete o aumento de argila no perfil do solo. O PMP não varia entre os métodos, uma vez que é um ponto usado como referência na obtenção da curva por RMN.

De grande importância para o financiamento agrário, a água disponível (AD) é a diferença entre a CC e o PMP, equivalendo assim à quantidade de água no solo que pode ser usada com eficiência pelas plantas e, portanto, indispensável à avaliação de projetos agrícolas. Os valores de AD obtidos por RMN foram, em média, 5% inferiores ao método de referência, porém a análise de regressão indicou que o intercepto foi não estatisticamente significante (não há erros sistemáticos) e a inclinação não diferiu, estatisticamente, de 1, confirmando a correspondência dos métodos. Interessante notar que para as amostras analisadas, não houve correlação significativa entre os teores de AD com areia, silte ou argila, o que confirma a temeridade de se estimar esse importante parâmetro, de difícil obtenção direta, por modelos baseados em dados indiretos (funções de pedotransferência utilizando-se dados de granulometria ou textura). O que era esperado, visto que, enquanto o PMP tem correlação significativa com o teor de argila (R = 0,83), corroborando a literatura (Torres et al., 2021), a CC depende fortemente da estrutura do solo, propriedade não considerada ao se estimar a AD com base apenas na textura ou granulometria do solo. Isso hoje é feito principalmente pela falta de uma alternativa factível, diante da demora da obtenção das curvas de retenção de água pelo método convencional. E é nesse contexto que o método utilizando RMN aqui apresentado mostra-se tão útil, até mesmo por ser mais rápido que a própria análise granulométrica, não só apenas para estudos acadêmicos, de classificação do solo e projetos de irrigação, entre tantas outras aplicações das curvas de retenção de água, mas também, e talvez principalmente, nas operações de custeio e seguro agrícola, fornecendo um respaldo muito melhor, mais seguro e justo tanto para o tomador de empréstimo como para o financiador, um mercado estimado em 2 milhões de contratos (safras 2020/21 e 2021/22).

A umidade presente no solo saturado (Tabela 20.2) mostrou uma tendência de redução à medida que a profundidade do solo aumentou, o que provavelmente se dá pelo aumento da

densidade do solo em profundidade (Tabela 20.1), influenciada tanto pela diminuição dos teores de matéria orgânica com a profundidade como pela tendência de aumento dos teores de argila. É esperada a observação da relação inversa entre matéria orgânica e densidade do solo (Scott et al., 2024), não somente pelo efeito agregador da matéria orgânica do solo que promove o desenvolvimento da estrutura, mas também pela baixa densidade do material orgânico, uma vez que, conforme exposto por Robinson et al. (2022), a presença de matéria orgânica do solo, no lugar da partícula mineral, afeta a densidade do solo devido à diferença de massa.

Adicionalmente, com a profundidade do solo, a microporosidade aumenta ou mantém-se em cinco perfis (AM-06, AM-08, AM-09, AM-16 e PA-14), mas, para alguns perfis (AM-05, AM-07, AM-12, AM-15, PA-13), ela diminuiu com a profundidade do solo (Figura 20.13). Em geral há uma tendência de aumento de densidade do solo com a profundidade, menor porosidade total e menor conteúdo de água com o solo saturado, mas isso não ocorre na metade dos solos avaliados, que em geral apresentam grande estratificação de camadas devido à sua origem aluvionar.

Alguns desses solos apresentaram valores de macroporosidade muito baixos (e.g., AM-06; AM-15; AM-16; PA-13; PA-14 e PA-17), o que os tornam ambientes críticos para a circulação de ar e a infiltração de água, prejudicando o desenvolvimento radicular e a atividade de organismos do solo (Weil; Brady, 2016).

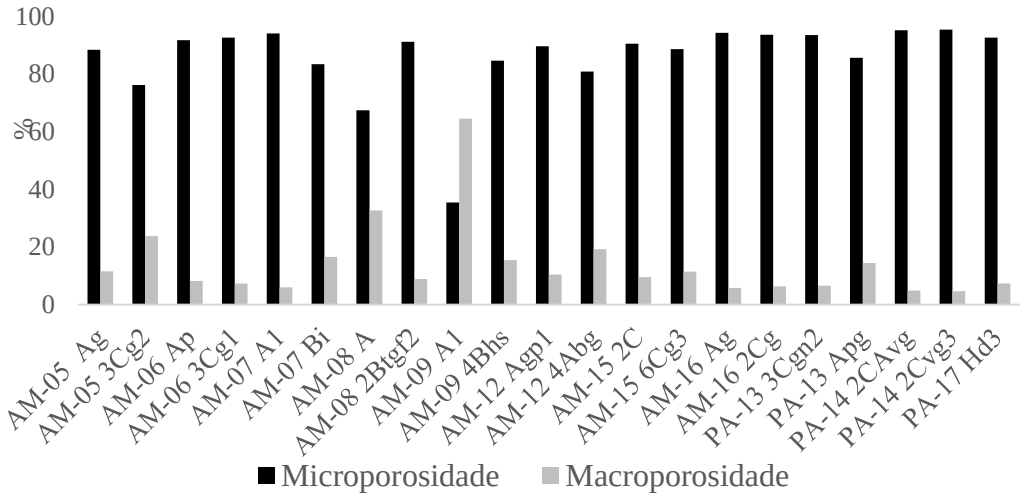


Figura 20.13. Proporção de macro e microporos nas amostras selecionadas de horizontes de alguns solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos.

Os parâmetros α e n do modelo de Van Genuchten são apresentados na Tabela 20.3. Ambos os parâmetros relacionam-se com o formato da curva, mas, de maneira geral, o α está relacionado com o inverso da sucção de entrada de ar, enquanto o n tem relação com a distribuição do tamanho dos poros, de modo que, para um mesmo α, o aumento de n reflete uma menor uniformidade na distribuição dos tamanhos de poros, tendendo o solo a apresentar

predominância de um mesmo diâmetro de poro e com isso a drenagem de água em um mesmo potencial mátrico. Nas amostras AM-05 3Cg2 e AM-08 A, é possível observar bem as relações supracitadas, onde os menores valores de *n* (Tabela 20.3) refletem a baixa relação entre macro- e microporos (Figura 20.13), de tal sorte que a drenagem ocorre de forma mais uniforme por todos os potenciais mátricos, tornando a curva menos inclinada.

Visto que, pelo método convencional, obteve-se apenas dados para altos potenciais mátricos (até -10 kPa) e o PMP, pois o objetivo era apenas validar o método de RMN, comparando-se poucos pontos, os ajustes da Van Genuchten, neste conjunto limitado de dados, para o parâmetro *n* (e *m*) é incorreto, pois não se amostrou a região de maior inclinação da curva, de tal sorte que o erro da estimativa de *n* (e *m*) é muito elevado, não diferindo *n* (e *m*) de zero. A Figura 20.14 ilustra o exposto, evidenciando que, para a mesma amostra de solo, ocorre divergência no valor de *n* entre os métodos. Isso se deve à falta de dados experimentais para o método convencional na região mais crítica da curva (maior inclinação – entre -10 e -1500 kPa), de tal sorte que há uma interpolação não aceitável, resultando em uma grande incerteza no ajuste dessa região (intervalo de predição na Figura 20.14) e consequentemente nos parâmetros α e principalmente *n*. Tendo isso em vista, não é coerente a comparação numérica entre esses parâmetros.

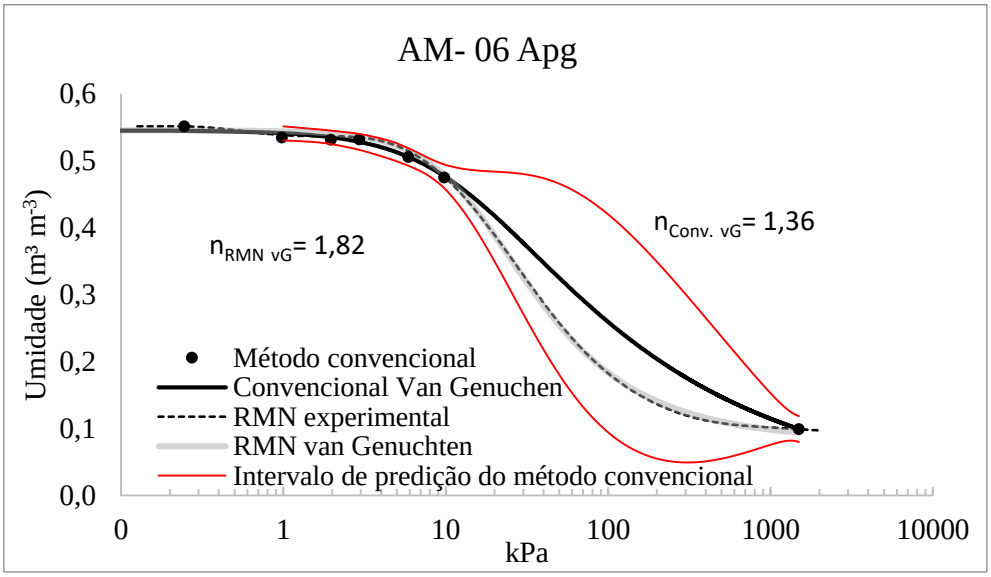


Figura 20.14. Comparação dos ajustes da equação de Van Genuchten para as curvas de retenção de água no solo obtidas pelos métodos RMN e convencional de um Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (perfil AM-06, horizonte Apg). Potencial mátrico (kPa) em módulo; $n_{RMN\ vG}$ e $n_{Conv.\ vG}$: parâmetro *n* da equação de Van Genuchten ajustada pelos dados de RMN e convencional, respectivamente.

Tabela 20.3. Parâmetros da equação de Van Genuchten (α, n, m dado por: $1-1/n$, θ_r e θ_s) ajustados para os dados obtidos por RMN de amostras selecionadas de horizontes de alguns solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos.

Horizonte	α	m	n	θ_r	θ_s
AM-05 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura siltosa					
Ag	0,07	0,26	1,35	0,00	0,56
3Cg2	3,76	0,08	1,09	0,00	0,65
AM-06 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/siltosa/média					
Apg	0,06	0,45	1,82	0,09	0,55
3Cg1	0,06	0,26	1,35	0,00	0,49
AM-07 - Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, textura média/siltosa					
A1	0,05	0,39	1,65	0,15	0,57
Bi	0,10	0,24	1,32	0,00	0,53
AM-08 - Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico, textura média/argilosa/muito argilosa					
A	3,28	0,13	1,15	0,00	0,58
2Btgf2	0,05	0,54	2,18	0,25	0,44
AM-09 - Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa					
A1	0,65	0,42	1,81	0,03	0,47
4Bhs	0,18	0,24	1,31	0,00	0,33
AM-12 - Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico, textura média					
Apg1	0,07	0,48	1,93	0,24	0,53
4Abg	0,18	0,45	1,81	0,11	0,36
AM-15 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/arenosa/siltosa					
2C	0,10	0,53	2,11	0,05	0,42
6Cg3	0,10	0,22	1,28	0,00	0,49
AM-16 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa					
Ag	0,06	0,37	1,58	0,28	0,51
2Cg	0,18	0,11	1,13	0,00	0,55
PA-13 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa/siltosa					
Apg	1,51	0,06	1,07	0,00	0,57
3Cgn2	0,09	0,13	1,14	0,00	0,51
PA-14 - Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico, textura argilosa/siltosa					
2CAvg	0,01	0,17	1,21	0,00	0,50
2Cvg3	0,04	0,19	1,24	0,12	0,49
PA-17 - Organossolo Háplico Hêmico típico, textura argilosa/média/orgânica fíbrica					
Hd3	0,04	0,30	1,42	0,00	0,78

4. Considerações finais

Demonstramos com sucesso o uso da RMN em baixo campo com o método *Decay due to Diffusion in Internal Field* (DDIF) para estimar, com precisão, acurácia e resolução sem precedentes, a distribuição do tamanho dos poros, bem como as curvas de retenção de água do solo. Com o método proposto, superamos a limitação crítica dos métodos disponíveis por RMN, que é a necessidade de se estimar a relaxatividade superficial ou calibrar os resultados de RMN por métodos auxiliares complexos e de alto custo. Além disso, o método proposto mostrou-se eficiente para o estudo de solos complexos, e desafiadores para os métodos convencionais, em especial com caráter vértico e com teores de silte de até 753 g kg^{-1}.

Adicionalmente, os excelentes resultados obtidos para amostras com teores de areia tão baixos quanto 8 g kg^{-1} superam em muito as propostas anteriores do uso da RMN, limitadas a solos com teores de areia maiores que 900 g kg^{-1}.

Quando comparado com o método convencional, utilizando-se mesa de tensão, câmara de Richards e psicrômetro, o método proposto é mais rápido (menos de duas horas em comparação com semanas ou até meses do método convencional), conveniente, preciso e acurado, com uma resolução sem precedentes na função de distribuição do tamanho dos poros.

Essa alta resolução é transladada para as curvas de retenção de água, possibilitando um ajuste matematicamente mais apropriado das diferentes equações utilizadas para representar essas curvas, tais como Van Genuchten e suas versões multimodais, ou outro qualquer, inclusive os modelos mecanísticos como o de Kosugi (1996), visto que há dezenas de dados experimentais obtidos para os ajustes, e portanto, número apropriado de graus de liberdade para a estimativa dos diversos parâmetros dessas equações empíricas. Além do mais, o método proposto está livre dos erros e vieses comuns ao método convencional.

Esses resultados confirmam o enorme potencial do método proposto para substituir os métodos convencionais, morosos, caros e passíveis de erros, além de dispensar sistemas pneumáticos caros e de difícil manutenção.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Finep/CT-Agro/FNDCT (Convênio 01.22.0081.00, Ref. 1218/21), para o projeto PronaSolos: Rede para o avanço científico e tecnológico aplicado às múltiplas funcionalidades do solo para o desenvolvimento agroambiental do Brasil; de MAPA (TED 396/2020); de CNPq (processos: 442377/2023-1 e 307694/2023-2) e da Faperj (processo E-26/200.470/2023).

Referências

BENAVIDES, F.; LEIDERMAN, R.; SOUZA, A.; CARNEIRO, G.; BAGUEIRA, R. Estimating the surface relaxivity as a function of pore size from NMR T_2 distributions and micro-tomographic images. **Computers & Geosciences**, v. 106, p. 200-208, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cageo.2017.06.016.

BROWNSTEIN, K. R.; TARR, C. E. Importance of classical diffusion in NMR studies of water in biological cells. **Physical Review A**, v. 19, n. 6, p. 2446-2453, 1979. DOI: https://doi.org/10.1103/PhysRevA.19.2446.

CLAESSEN, M. E. C. (org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/330804. Acesso em: 26 ago. 2025.

COATES, G. R.; XIAO, L.; PRAMMER, M. G. **NMR logging principles and applications**. New York: Gulf Professional Publishing, 2001.

COSTABEL, S.; HILLER, T. Soil hydraulic interpretation of nuclear magnetic resonance measurements based on circular and triangular capillary models. **Vadose Zone Journal**, v. 20, n. 2, e20104, 2021. DOI: https://doi.org/10.1002/vzj2.20104.

DAY, I. J. On the inversion of diffusion NMR data: Tikhonov regularization and optimal choice of the regularization parameter. **Journal of Magnetic Resonance**, v. 211, n. 2, p. 178-185, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmr.2011.05.014.

DUNN, K.-J.; BERGMAN, D. J.; LATORRACA, G. A. **Nuclear magnetic resonance**: petrophysical and logging applications. Amsterdam: Elsevier, 2002. 293 p.

FAO. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW)**: managing systems at risk. Rome: FAO; London: Earthscan, 2011. 285 p. Disponível em: https://www.fao.org/4/i1688e/i1688e.pdf. Acesso em: 26 ago. 2025.

GALAITSI, S.; VEYSEY, J.; HUBER-LEE, A. **Where is the added value? A review of the water-energy-food nexus literature**. Stockholm: Stockholm Environment Institute, 2018. Disponível em: https://www.sei.org/publications/added-value-review-water-energy-food-nexus-literature/. Acesso em: 26 ago. 2025.

GREBENKOV, D. S. Laplacian eigenfunctions in NMR. I. A numerical tool. **Concepts in Magnetic Resonance**: Part A, v. 32A, n. 4, p. 277-301, 2008. DOI: https://doi.org/10.1002/cmr.a.20117.

HANSEN, P. C. Analysis of Discrete Ill-Posed problems by means of the L-Curve. **SIAM Review**, v. 34, n. 4, p. 561-580, 1992. DOI: https://doi.org/10.1137/1034115.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. New York: Academic Press, 1982. 364 p. DOI: https://doi.org/10.1016/C2009-0-03052-9.

JAEGER, F.; BOWE, S.; VAN AS, H.; SCHAUMANN, G. E. Evaluation of ^{1}H NMR relaxometry for the assessment of pore-size distribution in soil samples**. European Journal of Soil Science**, v. 60, n. 6, p. 1052-1064, 2009. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2009.01192.x.

KOSUGI, K. Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties. **Water Resources Research**, v. 32, n. 9, p. 2697-2703, 1996. DOI: https://doi.org/10.1029/96WR01776.

LEVITT, M. H. **Spin dynamics**: basics of nuclear magnetic resonance. Chichester: John Wiley & Sons, 2001. 686 p.

LISITZA, N. V.; SONG, Y.-Q. The behavior of diffusion eigenmodes in the presence of internal magnetic fields in porous media. **The Journal of Chemical Physics**, v. 114, n. 20, p. 9120-9124, 2001. DOI: https://doi.org/10.1063/1.1368659.

LIU, H.; D'EURYDICE, M. N.; OBRUCHKOV, S.; GALVOSAS, P. Determining pore length scales and pore surface relaxivity of rock cores by internal magnetic fields modulation at 2 MHz NMR. **Journal of Magnetic Resonance**, v. 246, p. 110-118, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmr.2014.07.005.

NOVOTNY, E. H.; AZEVEDO, E. R. de; GODOY, G. de; CONSALTER, D. M.; COOPER, M. Determination of soil pore size distribution and water retention curve by internal magnetic field modulation at low field ^{1}H NMR. **Geoderma**, v. 431, 116363, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116363.

PACHEPSKY, Y. A.; TIMLIN, D. J.; RAWLS, W. J. Soil water retention as related to topographic variables. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 6, p. 1787-1795, 2001. DOI: https://doi.org/10.2136/sssaj2001.1787.

PRESTES, R. A.; COLNAGO, L. A.; FORATO, L. A.; VIZZOTO, L.; NOVOTNY, E. H.; CARRILHO, E. A rapid and automated low resolution NMR method to analyze oil quality in intact oilseeds. **Analytica Chimica Acta**, v. 596, n. 2, p. 325-329, 2007. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aca.2007.06.022.

RAMOS, P. F. de O.; TOLEDO, I. B. de; NOGUEIRA, C. M.; NOVOTNY, E. H.; VIEIRA, A. J. M.; AZEREDO, R. B. de V. Low field ^{1}H NMR relaxometry and multivariate data analysis in crude oil viscosity prediction. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 99, n. 2, p. 121-126, 2009. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2009.08.001.

ROBINSON, D. A.; THOMAS, A.; REINSCH, S.; LEBRON, I.; FEENEY, C. J.; MASKELL, L. C.; WOOD, C. M.; SEATON, F. M.; EMMETT, B. A.; COSBY, B. J. Analytical modelling of soil porosity and bulk density across the soil organic matter and land-use continuum. **Scienific Reports**, v. 12, 7085, 2022. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-022-11099-7.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003. Acesso em: 27 ago. 2025.

SATRIANI, A.; BELVISO, C.; LOVELLI, S.; DI PRIMA, S.; COPPOLA, A.; HASSAN, S.B.M.; RIVELLI, A.R.; COMEGNA, A. Impact of a synthetic zeolite mixed with soils of different pedological characteristics on soil physical quality indices. **Geoderma,** v. 451, 117084. 2024. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.117084.

SCOTT, B.; BALDWIN, A. H.; YARWOOD, S. A. Consequences of organic matter amendments for methane emissions and soil and vegetation development in a restored wetland. **Wetlands Ecology Management**, v. 32, p. 171-190, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/s11273-023-09967-8.

SONG, Y.-Q.; RYU, S.; SEN, P. N. Determining multiple length scales in rocks. **Nature**, v. 406, n. 6792, p. 178-181, 2000. DOI: https://doi.org/10.1038/35018057.

SONG, Y.-Q. Using internal magnetic fields to obtain pore size distributions of porous media. **Concepts in Magnetic Resonance**: Part A, v. 18A, n. 2, p. 97-110, 2003. DOI: https://doi.org/10.1002/cmr.a.10072.

TEAL, P. D.; ECCLES, C. Adaptive truncation of matrix decompositions and efficient estimation of NMR relaxation distributions. **Inverse Problems**, v. 31, n. 4, 045010, 2015. DOI: https://dx.doi.org/10.1088/0266-5611/31/4/045010.

TOPP, G. C.; ZEBCHUK, W. The determination of soil-water desorption curves for soil cores. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 59, n. 1, p. 19-26, 1979. DOI: https://doi.org/10.4141/cjss79-003.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 4, p. 573-581, 1998. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000400002.

TORRES, L. C.; KELLER, T.; LIMA, R. P. de; TORMENA, C. A.; LIMA, H. V. de; GIAROLA, N. F. B. Impacts of soil type and crop species on permanent wilting of plants. **Geoderma**, v. 384, 114798, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114798.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 5, p. 892-989, 1980. DOI: https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x.

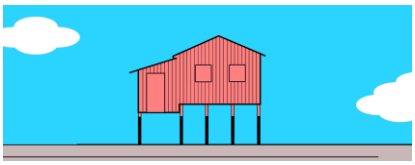
VAN GENUCHTEN, M. Th.; LEIJ, F. J.; YATES, S. R. **RETC, code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils**: version 6.02. Riverside: University of California, 2009.

WEIL, R. R.; BRADY, N. C. **The nature and properties of soils**. 15th ed. Columbus: Pearson, 2016. 1104 p.

WHITTALL, K. P.; BRONSKILL, M. J.; HENKELMAN, R. M. Investigation of analysis techniques for complicated NMR relaxation data. **Journal of Magnetic Resonance**, v. 95, n. 2, p. 221-234, 1991. DOI: https://doi.org/10.1016/0022-2364(91)90213-D.

WORLD BANK. **Water in agriculture**. 2020. Disponível em: https://www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture. Acesso em: 30 jul. 2020.

Capítulo 21



Carbono orgânico das frações húmicas de perfis de solos da XV RCC

Ademir Fontana
Matheus da Silva de Carvalho
Marcos Gervasio Pereira
Amanda Sales Alves
Hugo de Souza Fagundes

1. Introdução

A matéria orgânica (MO) é um componente-chave por sua participação em diversos processos essenciais à manutenção das propriedades e funções no solo. A MO é um agente ativo em vários processos pedogenéticos, atuando como fonte de alimento (energia) para microrganismos, e seus subprodutos da decomposição atuam como agente cimentante para a estrutura (formação de agregados) e geração de cargas elétricas para trocas iônicas, especialmente, da capacidade de troca catiônica.

O detalhamento da MO quanto à sua composição química e dinâmica possibilita avaliações sobre a pedogênese (gênese ou do solo) (Kämpf; Curi, 2012), geração de subsídios para a classificação dos solos, como atributo diagnóstico (Santos et al., 2018), além de possuir relação direta com a fertilidade do solo, pela capacidade de retenção e disponibilização de nutrientes (Meurer et al., 2015). A avaliação dos diferentes componentes da MO no que se refere às frações húmicas possibilita o melhor entendimento da sua dinâmica no solo, como também sua movimentação no perfil de solo e na formação de complexos estáveis (Fontana et al., 2010).

As frações húmicas são obtidas de forma operacional por técnicas de fracionamento sequencial, uma vez que os compostos que formam a MO têm solubilidade diferencial conforme os valores de pH, com as seguintes frações: ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina. Essas três frações compõem uma importante porção da matéria orgânica do solo (MOS) (Benites et al., 2017). A obtenção de padrões diferenciados das frações húmicas e de sua distribuição no solo contribui para o entendimento da estabilização da matéria orgânica, formação de

complexos organominerais, como também da translocação, pela mobilidade das frações (Benites et al., 2001; Fontana et al., 2010).

O presente capítulo objetiva determinar os teores de carbono de horizontes e das frações húmicas de perfis de solos da *XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos*: RCC das várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno (XV RCC) e correlacionar esses quantitativos e relações com os processos pedogenéticos e a capacidade de troca catiônica.

2. Material e métodos

2.1. Seleção dos perfis

Foram selecionados, descritos e amostrados oito perfis de solo nos estados do Amazonas e Pará presentes no roteiro de viagem da XV RCC (Tabela 21.1, Figura 21.1), cuja localização e identificação encontram-se na Figura 21.1 do Capítulo 9.

As amostras compreendem perfis de solos com horizontes cuja contribuição do componente orgânico é destacada pela cor e/ou pelo teor de carbono orgânico, parâmetros que podem ser empregados como critérios diagnósticos para a definição do tipo de horizonte superficial ou subsuperficial. Para mais informação sobre os atributos morfológicos, químicos e físicos dos perfis de solos selecionados neste estudo, recomenda-se a leitura do Capítulo 9.

Tabela 21.1. Classificação taxonômica dos perfis de solos da XV RCC.

Perfil	Classificação no SiBCS[(1)]	Horizonte diagnóstico superficial
AM-01	Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico	A antrópico
AM-08	Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico	A moderado
AM-09	Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico	A fraco
AM-12	Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico	A moderado
PA-05	Latossolo Amarelo Distrófico típico	A moderado
PA-06	Neossolo Quartzarênico Órtico húmico	A húmico
PA-07	Latossolo Amarelo Distrófico húmico	A húmico
PA-17	Organossolo Háplico Hêmico típico	H hístico

[(1)] Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

Fonte: Santos et al. (2018).

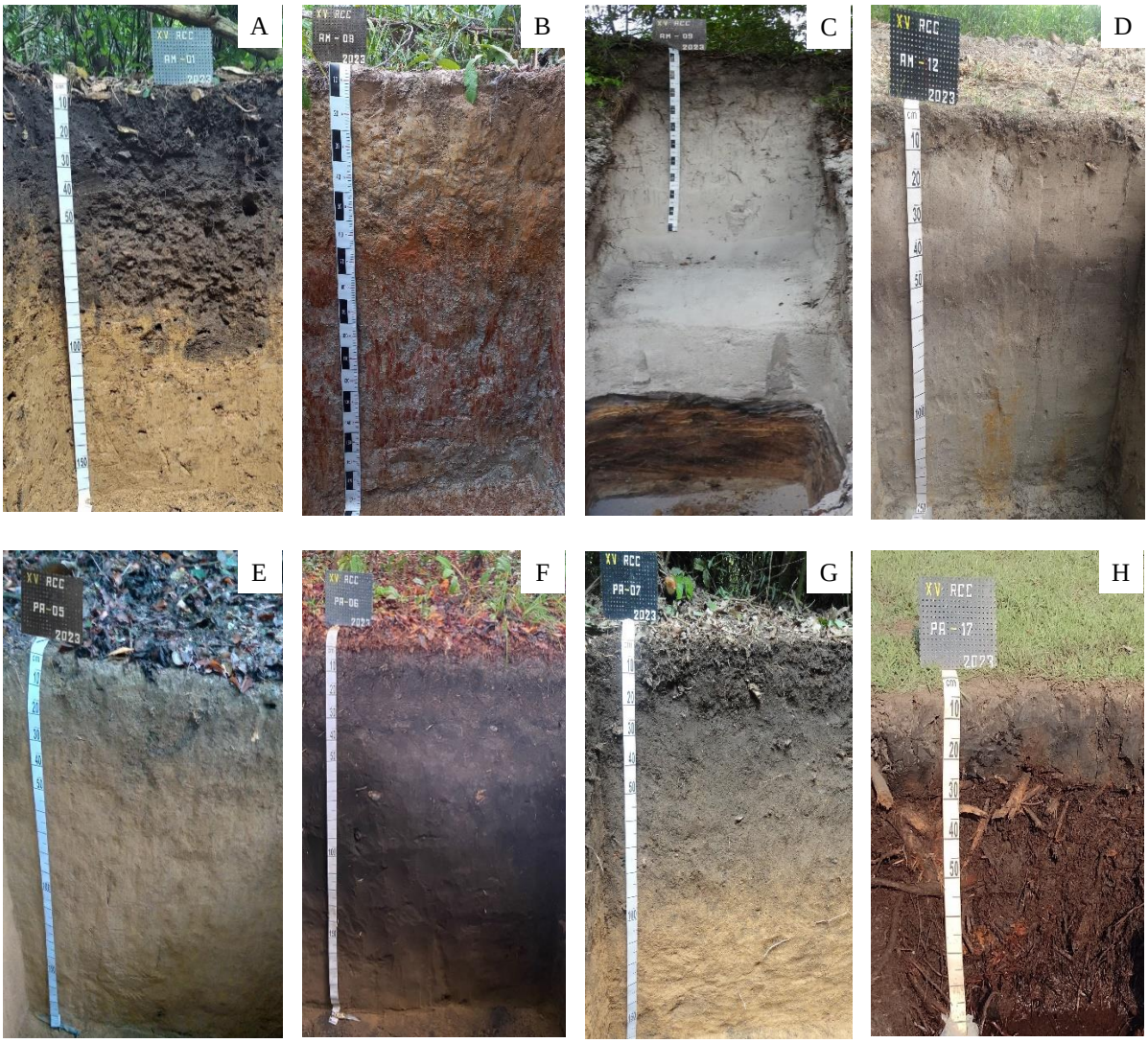


Figura 21.1. Perfis de solos selecionados para obtenção das frações húmicas da XV RCC.

Fotos: Gilvan Coimbra Martins (A); Hedinaldo Narciso Lima (B); Luís Antônio Coutrim dos Santos (C e F); José Francisco Lumbreras (D, G e H) e Virlei Álvaro de Oliveira (F).

2.2. Análises laboratoriais

Os dados da granulometria e da capacidade de troca catiônica (CTC) foram obtidos conforme descrito no Capítulo 9 do Guia de Campo da XV RCC. De maneira sucinta, a análise granulométrica foi realizada por meio da dispersão do solo na forma de terra fina seca ao ar (fração < 2 mm) com solução de hidróxido de sódio (1 mol L^{-1}) em agitador horizontal. A fração argila foi obtida por densímetro e silte, por diferença a partir da areia total e argila (Silte= 1000-Argila-AreiaTotal). A CTC foi determinada pela soma das bases trocáveis (Ca, Mg, K e Na) e acidez potencial (H+Al), sendo o Ca, Mg e Al obtidos por solução de cloreto de potássio (1 mol L^{-1}), K e Na por solução diluída de ácidos fortes (Mehlich I - HCl + H_2SO_4, 0,05 mol L^{-1} e 0,0125 mol L^{-1}, respectivamente), H por solução tamponada de acetato de cálcio a pH 7,0 (Ca_2OAc 0,5 mol L^{-1}). A quantificação dos teores de carbono orgânico total (COT) deu-se pelo método proposto por Yeomans e Bremner (1988).

As frações húmicas foram obtidas pela extração e separação por meio da solubilidade diferencial da matéria orgânica contida na terra fina seca ao ar (fração < 2 mm) em meio básico ou ácido (ácidos fúlvicos e húmicos) e resíduo insolúvel (humina) (Benites et al., 2017). A quantificação do carbono orgânico em cada fração húmica (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina) foi realizada de acordo com Yeomans e Bremner (1988).

A partir dos teores de carbono orgânico das frações húmicas foram calculadas a razão entre as frações húmicas alcalinossolúveis (AH/AF) e das alcalinossolúveis com a humina (EA/HUM), sendo EA (extrato alcalino) = AH +AF.

3. Resultados e discussão

Os teores de carbono orgânico total (COT) têm ampla variação entre os horizontes e os perfis de solo, com valores decrescendo gradativamente em profundidade, à exceção dos perfis AM-09 (Espodossolo Humilúvico) e PA-17 (Organossolo Háplico) (Tabela 21.2).

De maneira geral, os menores teores de COT são observados nos perfis AM-08 (Plintossolo Argilúvico), AM-09 (Espodossolo Humilúvico) e PA-06 (Neossolo Quartzarênico), com valores próximos a 10,0 g kg^{-1}. A menor capacidade de armazenamento de carbono em solos essencialmente arenosos decorre da baixa capacidade de formação de compostos organominerais estáveis, incluindo tanto a formação de agregados como complexos organometálicos. Para o AM-09 e PA-06, cuja cor escura destaca-se no perfil, remete-se à expressão da cor dos compostos orgânicos transformados, como a cor escura dos ácidos húmicos (Stevenson, 1994) com forte potencial de pigmentação sobre a fração areia essencialmente quartzosa, como observado a seguir pelos dados das frações húmicas.

No perfil PA-17 (Organossolo Háplico), cuja composição é essencialmente orgânica, foram quantificados teores elevados de COT (94,4 a 129,0 g kg^{-1}) e no perfil AM-09 (Espodossolo Humilúvico), um aumento pequeno em profundidade, de 3,4 a 9,9 g kg^{-1}. Os elevados teores de COT do perfil PA-17 são superiores a 80 g kg^{-1}, limite previsto no SiBCS para identificar materiais orgânicos. O acúmulo de resíduos orgânicos em condição de anaerobiose e redução pelo hidromorfismo permanente é fundamental para a formação desses solos, com a expressão do processo de paludização (Kämpf; Curi, 2012). Nessas condições há o desenvolvimento de espécies vegetais adaptadas cujos resíduos têm sua biodecomposição ou biodegradação limitada pela presença de água, levando a acumulação como turfa e aos horizontes hísticos Hd1, Hd2 e Hd3 (Tabela 21.2).

O aumento dos teores de COT em subsuperfície no perfil AM-09 (Espodossolo) ocorre devido à complexação e à migração de compostos ou complexos organometálicos ou húmus-metal (MO humificada complexada com íons de Al ou Al e Fe), com a expressão do processo de podzolização (Kämpf; Curi, 2012). Nesse processo há translocação vertical ou lateral dos complexos organometálicos e, posteriormente, deposição em subsuperfície, levando à formação dos horizontes B espódicos 3Bh, 4Bhsm, 4Bhs e 4Bs (Tabela 21.2).

Tabela 21.2. Carbono orgânico total e frações húmicas nos horizontes dos perfis de solos da XV RCC.

Perfil	Hor.	Prof	COT	C-AH	C-AF	C-HUM	AH/AF	EA/HUM
		(cm)	g kg^{-1}					
AM-01 PAd latossólico antrópico	Au1	0 - 8	21,7	3,09	3,12	4,36	1,0	1,4
	Au2	8 - 18	16,5	3,15	1,58	4,04	2,0	1,2
	Au3	18 - 37	13,1	4,88	2,15	5,67	2,3	1,2
	Au4	37 - 54	12,7	3,87	2,05	4,68	1,9	1,3
	Au5	54 - 73	11,0	4,38	1,71	6,66	2,6	0,9
	ABu	73 - 95	8,7	3,81	1,55	10,92	2,5	0,5
	BAu1	37 - 78	4,7	2,65	2,81	10,63	0,9	0,5
	BAu2	78 - 119	2,1	2,27	2,96	2,75	0,8	1,9
	Bt	119 - 153	1,4	2,27	2,96	2,75	0,8	1,9
	Bw	153 - 200^{+}	1,1	2,18	1,40	2,75	1,6	1,3
AM-08 FTa gleissólico	A	0 - 6	13,7	2,78	3,97	4,96	0,7	1,4
	Btg1	6 - 30	3,4	1,99	2,27	2,69	0,9	1,6
	2Btg2	30 - 49	2,9	1,33	2,81	3,97	0,5	1,0
	2Btgf1	49 - 73	3,1	1,24	2,90	3,97	0,4	1,0
	2Btgf2	73 - 101	1,5	1,30	2,71	4,96	0,5	0,8
	2Cg1	101 - 151	1,2	1,11	2,53	4,96	0,4	0,7
	3Cg2	151 - 175^{+}	1,2	0,86	2,49	5,98	0,3	0,6
AM-09 EKu típico	A1	0 - 8	3,4	1,40	2,43	4,54	0,6	0,8
	A2	8 - 23	3,1	1,02	2,74	6,14	0,4	0,6
	AE	23 - 57	3,8	2,62	0,89	4,68	2,9	0,8
	E1	57 - 130	0,2	1,21	0,61	3,12	2,0	0,6
	E2	130 - 250	0,3	2,49	1,08	3,83	2,3	0,9
	2E3	250 - 317	0,2	2,34	1,68	3,97	1,4	1,0
	3Bh	317 - 332	5,5	3,06	2,24	3,26	1,4	1,6
	4Bhsm	332 - 352	9,0	1,46	3,87	5,53	0,4	1,0
	4Bhs	352 - 380	9,9	1,52	5,00	5,96	0,3	1,1
	4Bs	380 - 396	3,9	1,33	4,00	7,23	0,3	0,7
	5C	396 - 410^{+}	2,8	1,36	2,84	3,69	0,5	1,1
AM-12 GXvd neofluvissólico	Apg1	0 - 5	22,4	4,69	3,78	6,14	1,2	1,4
	2Apg2	5 - 11	9,8	2,46	3,28	5,39	0,8	1,1
	3Cg	11 - 38	3,1	2,49	1,68	3,72	1,5	1,1
	4Abg	38 - 63	1,9	2,37	1,62	3,54	1,5	1,1
	4C'g1	63 - 99	0,6	0,93	2,49	3,97	0,4	0,9
	5C'g2	99 - 150^{+}	0,4	0,93	2,49	4,01	0,4	0,9
PA-05 LAd típico	A1	0 - 8	23,5	3,62	3,59	4,53	1,0	1,6
	A2	8 - 27	11,8	1,08	3,37	5,96	0,3	0,8
	BA	27 - 47	6,0	1,08	3,15	3,40	0,3	1,2
	Bw1	47 - 72	5,0	2,49	3,12	4,36	0,8	1,3
	Bw2	72 - 130	2,5	2,53	1,46	10,21	1,7	0,4
	Bw3	130 – 190^{+}	1,9	2,34	1,40	11,20	1,7	0,3
PA-06 RQo húmico	A1	0 - 6	21,0	1,71	3,18	3,54	0,5	1,4
	A2	6 - 22	16,9	4,97	3,15	5,49	1,6	1,5
	A3	22 - 52	13,5	4,28	1,96	7,37	2,2	0,9
	A4	52 - 89	8,0	1,62	2,18	2,98	0,7	1,3
	A5	89 - 125	5,4	1,24	3,75	4,25	0,3	1,2
	AC	125 - 169	2,9	1,43	2,71	3,12	0,5	1,3
	C	169 – 205^{+}	1,5	1,11	2,74	4,04	0,4	1,0
PA-07 LAd húmico	A1	0 - 15	33,6	1,80	5,47	7,80	0,3	0,9
	A2	15 - 27	28,5	1,93	3,43	4,96	0,6	1,1
	A3	27 - 40	24,2	1,99	3,43	4,96	0,6	1,1
	A4	40 - 58	16,4	1,65	4,09	6,95	0,4	0,8
	A5	58 - 78	13,1	2,59	2,96	8,79	0,9	0,6
	AB	78 - 97	7,7	2,96	3,47	13,19	0,9	0,5
	BA	97 - 137	5,4	1,11	3,03	7,37	0,4	0,6
	Bw	137 - 200^{+}	3,5	0,99	2,87	5,10	0,3	0,8
PA-17 OXy típico	Hd1	0 - 4	94,4	3,09	4,50	15,31	0,7	0,5
	Hd2	4 - 12	88,6	2,96	4,13	13,61	0,7	0,5
	Hd3	12 - 29	129,0	2,96	3,06	26,23	1,0	0,2

Hor. = horizonte; Prof. = profundidade; COT= carbono orgânico total; C-AF= carbono da fração ácidos fúlvicos; C-AH= carbono da fração ácidos húmicos; C-HUM= carbono da fração humina; EA= carbono do extrato alcalino (AF+AH)

No perfil AM-01 (Argissolo com horizonte A antrópico), os valores de COT são próximos a 15,0 g kg^{-1} até a profundidade de 73 cm, reduzindo nos horizontes Abu (8,70 g kg^{-1}) e Bau1 (4,70 g kg^{-1}). Os maiores teores de COT em profundidade evidenciam a expressão do processo de antrossolização e a formação do horizonte superficial do tipo A antrópico (Tabela 21.2). Esse horizonte é caracterizado pela adição pretérita de materiais orgânicos de alta recalcitrância ou estabilidade como os carvões (*black carbon*) e minerais como as cerâmicas, o que está relacionado com atividades humanas antigas (pré-colombianas), movimentação ou mistura e fertilização pela adição de minerais contendo nutrientes como Ca, Mg e especialmente o P (Kämpf; Curi, 2012).

Na relação AH/AF, não é observado um padrão de distribuição ao longo dos perfis de solo, o que poderia servir de subsídio para o aprimoramento da taxonomia nacional, particularmente nos níveis hierárquicos inferiores (Tabela 21.2, Figura 21.2). A ausência de um padrão característico reflete condições de menor estabilidade dessas frações no solo, sendo reflexo das diferenças de manejo (quando cultivado) ou resultado estritamente da qualidade do material orgânico que é depositado na superfície do solo, da dinâmica das raízes em profundidade ou ainda da dinâmica fluvial dos rios, com inundações periódicas em certos solos com drenagem imperfeita a má, condicionando processos de oxirredução.

Nos perfis AM-01, AM-09, AM-12 e PA-06, os valores da razão AH/AF superiores a 1,5 denotam a contribuição da fração ácidos húmicos pela sua quantidade, à qual está correlacionada a cor mais escura dos horizontes, sendo consequência da expressão da cor escura dessa fração húmica com forte potencial de pigmentação (Stevenson, 1994).

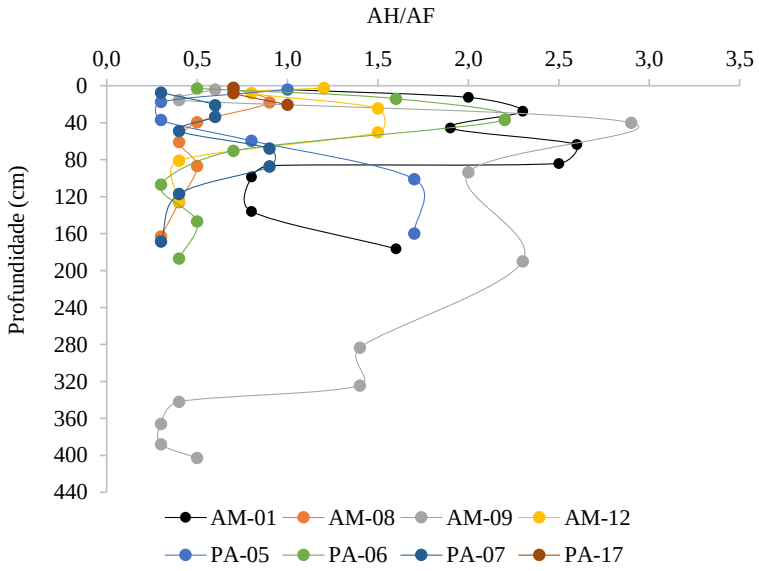


Figura 21.2. Valores da relação AH/AF nos horizontes dos perfis de solos da XV RCC.

Pela análise da relação EA/HUM, observa-se o predomínio das frações alcalinossolúveis (AH e AF) nos horizontes superficiais (Tabela 21.2, Figura 21.3), com valores

maiores que 1,0, enquanto a HUM predomina nos horizontes subsuperficiais, exceto o Espodossolo (perfil AM-09) e o perfil PA-17 (Organossolo), com valores inferiores a 1,0.

No perfil AM-01 (PAd latossólico antrópico), a relação EA/HUM nos horizontes BAu2 e Bw1 é de 1,91, indicando o predomínio das frações alcalinossolúveis, sendo esses horizontes assim classificados por apresentarem matéria orgânica iluvial (Fontana et al., 2011). O perfil AM-09, classificado como EKu típico, possui teores de COT muito baixos a partir do horizonte AE, o que reduz a confiabilidade dos resultados do fracionamento químico da matéria orgânica. Contudo, para os horizontes Bh, Bhs e Bs2, foram verificados valores da relação EA/HUM de 1,63, 1,10 e 1,14, respectivamente, enquanto outros horizontes B espódicos têm valores inferiores a 1,0.

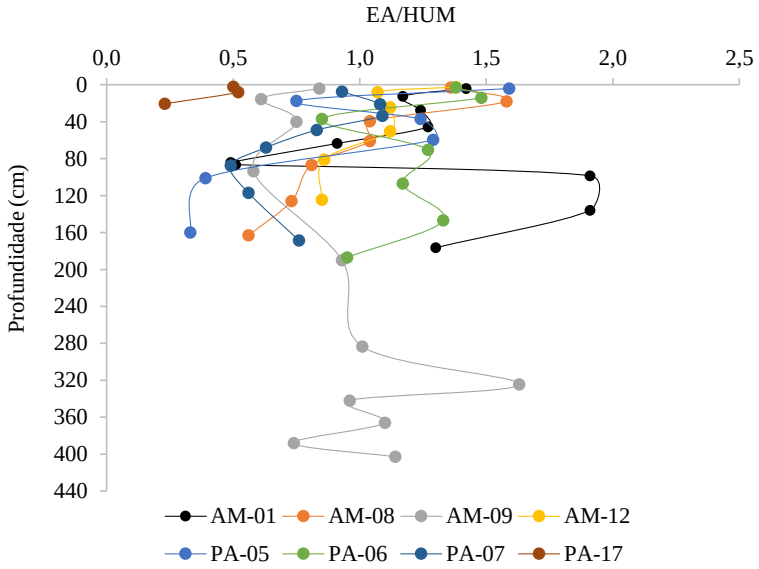


Figura 21.3. Valores da relação EA/HUM nos horizontes dos perfis de solos da XV RCC.

Associados às variações do COT e das frações húmicas nos horizontes superficiais dos perfis de solo, observa-se para um mesmo teor de COT os mesmos valores da capacidade de troca catiônica (CTC) entre os tipos de horizontes superficiais (Figura 21.4). Essa constatação pode ser feita tanto pela avaliação individualizada dos tipos de horizontes quanto de forma conjunta.

Esse padrão difere daquele observado por Fontana et al. (2017, 2018), Fontana e Cordeiro (2019) e Pinheiro Junior et al. (2020), especialmente para os horizontes A antrópicos, em detrimento dos outros tipos de horizontes superficiais. Nesses trabalhos, os autores observaram nos horizontes A antrópicos o deslocamento expressivo no coeficiente linear da reta no gráfico de dispersão, destacando a maior quantidade de cargas nesses solos, devido à maior quantidade de grupos funcionais reativos da matéria orgânica (Cunha, 2005).

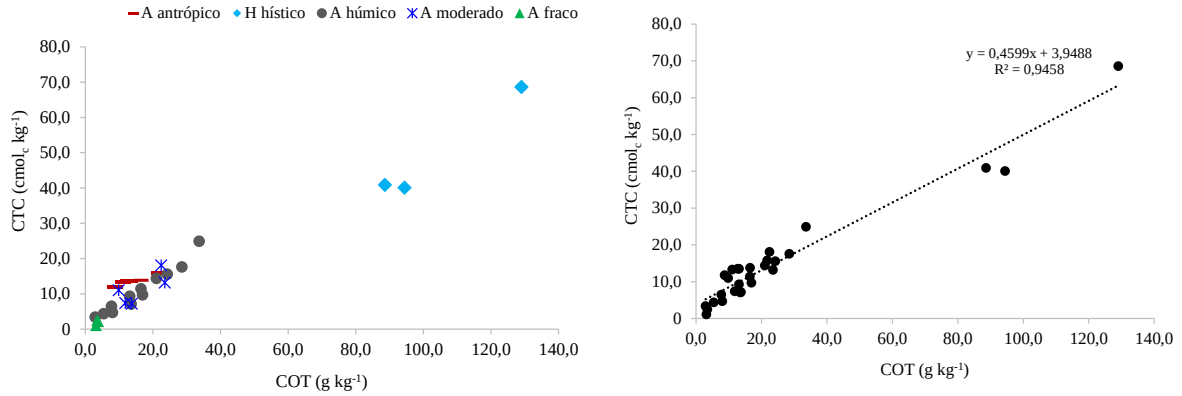


Figura 21.4. Teores de COT e CTC dos horizontes superficiais dos perfis de solos da XV RCC.

Como avaliação complementar e corroborando a observação anterior, destaca-se, pela razão dos valores de CTC e pelos teores das frações alcalinossolúveis, que não há grande diferença entre os tipos de horizontes diagnósticos, exceto para os baixos valores nos horizontes A fraco (Tabela 21.3). Entretanto, a razão entre os valores CTC e os teores de argila mostra-se semelhante entre as classes de solo, o que demonstra pouca influência da fração mineral, principalmente da sua mineralogia, na variação dos valores da CTC (Tabela 21.3).

Tabela 21.3. Razão entre a CTC e o COT, argila e frações húmicas dos horizontes superficiais dos perfis de solos da XV RCC.

Perfil	Hor	Tipo de Horizonte	COT	CTC	Argila	CTC/COT	CTC/Argila	CTC/AH	CTC/AF	CTC/HUM
			g kg^{-1}	cmol$_c$ kg^{-1}	g kg^{-1}	cmol$_c$ g^{-1}				
AM-01	Au1	A antrópico	21,7	15,8	304	0,73	0,05	5,1	5,1	3,6
	Au2	A antrópico	16,5	13,8	328	0,84	0,04	4,4	8,7	3,4
	Au3	A antrópico	13,1	13,5	371	1,03	0,04	2,8	6,3	2,4
AM-08	A	A moderado	13,7	7,2	131	0,53	0,05	2,6	1,8	1,5
AM-09	A1	Afraco	3,4	2,5	16	0,74	0,16	1,8	1,0	0,6
	A2	A fraco	3,1	1,1	3	0,35	0,31	1,1	0,4	0,2
	AE	A fraco	3,8	2,2	1	0,58	2,20	0,8	2,5	0,5
AM-12	Apg1	A moderado	22,4	18,1	336	0,81	0,05	3,9	4,8	2,9
	2Apg2	A moderado	9,8	11,0	248	1,12	0,04	4,5	3,4	2,0
PA-05	A1	A moderado	23,5	13,2	753	0,56	0,02	3,6	3,7	2,9
	A2	A moderado	11,8	7,4	825	0,63	0,01	6,8	2,2	1,2
PA-06	A1	A húmico	21,0	14,4	95	0,69	0,15	8,4	4,5	4,1
	A2	A húmico	16,9	9,7	81	0,57	0,12	2,0	3,1	1,8
	A3	A húmico	13,5	7,1	80	0,53	0,09	1,7	3,6	1,0
	A4	A húmico	8,0	4,7	83	0,59	0,06	2,9	2,2	1,6
PA-07	A1	A húmico	33,6	24,9	675	0,74	0,04	13,8	4,5	3,2
	A2	A húmico	28,5	17,6	608	0,62	0,03	9,1	5,1	3,5
	A3	A húmico	24,2	15,6	735	0,64	0,02	7,8	4,5	3,1
	A4	A húmico	16,4	11,4	827	0,70	0,01	6,9	2,8	1,6
	A5	A húmico	13,1	9,3	849	0,71	0,01	3,6	3,1	1,1
	AB	A húmico	7,7	6,5	874	0,84	0,01	2,2	1,9	0,5
PA17	Hd1	H hístico	94,4	40,1	386	0,42	0,10	13,0	8,9	2,6

Hor. = horizonte; Prof. = profundidade; COT= carbono orgânico total; CTC= capacidade troca catiônica;
C-AF= carbono da fração ácidos fúlvicos; C-AH= carbono da fração ácidos húmicos; C-HUM= carbono da fração humina.

4. Considerações finais

Há predomínio das frações alcalinossolúveis (ácidos fúlvicos e húmicos) nos horizontes superficiais da maioria dos perfis de solo, exceto para o Espodossolo, cuja maior contribuição dessas frações está nos horizontes subsuperficiais, enquanto nos Organossolos o predomínio foi da fração humina.

O predomínio das frações alcalinossolúveis em superfície é evidenciado pelas cores mais escuras e está correlacionado ao processo de melanização, enquanto em subsuperfície o acúmulo deve-se ao processo de podzolização.

Referências

BENITES, V. de M.; MACHADO, P. L. O. de A.; MADARI, B. E.; FONTANA, A. Fracionamento químico da matéria orgânica. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. pt. 3, cap. 6, p. 401-414. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094303. Acesso em: 30 jul. 2025.

BENITES, V. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MENDONÇA, E. S.; MARTIN-NETO, L. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob campos de altitude no parque estadual da Serra do Brigadeiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, p. 661-674, 2001. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000300015.

CUNHA, T. J. F. **Ácidos húmicos de solos escuros da Amazônia (Terra Preta de Índio)**. 2005. 123 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/331182. Acesso em: 30 jul. 2025.

FONTANA, A.; CORDEIRO, F. R. Carbono orgânico das frações húmicas dos solos da RCC de Rondônia. In: LUMBRERAS, J. F.; SILVA, L. M. da; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; WADT, P. G. S.; PEREIRA, M. G.; DELARMELINDA-HONORÉ, E. A.; BURITY, K. T. L. (Ed.). **Guia de campo da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Rondônia. Brasília, DF: Embrapa, 2019. E-book. cap. 13. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1112765. Acesso em: 30 jul. 2025.

FONTANA, A.; CORDEIRO, F. R.; TEIXEIRA, W. G.; CARVALHO, L. F. de; MENEZES, A. R. de. **Participação da matéria orgânica na capacidade de troca catiônica em solos antrópicos no Brasil**: avaliação de dados secundários. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 17 p. (Embrapa Solos. Documentos, 199). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1084851. Acesso em: 30 jul. 2025.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. dos; BENITES, V. de M. Classificação de horizontes diagnósticos em níveis hierárquicos inferiores com base nas frações húmicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 313-324, 2011. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200003.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. dos; BENITES, V. de M. Quantificação e utilização das frações húmicas como característica diferencial em horizontes diagnósticos de solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1241-1257, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400023.

FONTANA, A.; SANTANA, C. I.; MOURA, T. P. A. de. Frações húmicas de solos da RCC de Roraima. In: BATISTA, K. D.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de; VALE JÚNIOR, J. F. do (ed.). **Guia de campo da XI Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Roraima. Brasília, DF: Embrapa, 2018. E-book. cap. 7. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1104265. Acesso em: 30 jul. 2025.

KÄMPF N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (pedogênese). In: KER, J. C.; CURI, N. SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (ed.). **Pedologia**: fundamentos. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 207-302.

MEURER, E. J.; RHENHEIMER, D.; BISSANI, C. A. Fenômenos de sorção dos solos. In: MEURER, E. J. (ed.). **Fundamentos de química do solo**. 6. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2015. 280 p.

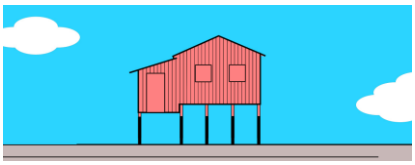
PINHEIRO JUNIOR, C. R.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A.; PINTO, L. A. da S. R. Carbono das frações húmicas de perfis de solo da XIII RCC. In: SILVA, M. B. e; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de (ed.). **Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC do Maranhão. Brasília, DF: Embrapa, 2020. E-book. cap. 16. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1127220. Acesso em: 30 jul. 2025.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003. Acesso em: 30 jul. 2025.

STEVENSON, F. J. Extraction, fractionation, and general chemical composition of soil organic matter. In: STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reaction. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. 496 p.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988. DOI: https://doi.org/10.1080/00103628809368027.

Capítulo 22



Funções para predição do carbono total e estoque de carbono em perfis da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos

Ademir Fontana
Fabiano de Carvalho Balieiro
Maurício Rizzato Coelho
José Francisco Lumbreras

1. Introdução

A quantificação do carbono (C) no solo pode ser feita por diversos métodos, especialmente por aqueles que determinam o C total, como o da combustão seca, e o carbono orgânico (C org), como o da oxidação úmida (Guerra; Santos, 2008). Por essa condição prevista pelo princípio dos métodos, obter ou definir a correspondência dos teores de C obtidos por diferentes métodos é uma prerrogativa para atender ao monitoramento do C.

O C total é obtido por (auto) analisadores elementares e quantifica de forma conjunta todos os tipos de C, incluindo tanto materiais orgânicos, como o húmus, raízes, animais, folhas e carvão, quanto os compostos minerais, como carbonatos e bicarbonatos (Guerra; Santos, 2008; Fontana; Bianchi, 2017). Enquanto o C org, por outro lado, é obtido pela oxidação da matéria orgânica por solução com dicromato de potássio ou sódio e quantifica apenas o C proveniente de materiais orgânicos facilmente oxidáveis ou decomponíveis, como o húmus (Walkley; Black, 1934; Fontana; Campos, 2017).

Essa diferença do teor de C deve-se à oxidação parcial do C presente na matéria orgânica do solo pelo método via úmida, com valores entre 60% e 86% (média de 76%) (Walkley; Black, 1934). De acordo com os autores, um fator de conversão que pode ser aplicado é o valor de 1,32 sobre o C org para obter o C total.

A partir dos teores de C, é possível obter os estoques nas diferentes seções do solo, seja nos horizontes, que são separados pela observação das características morfológicas como cor, estrutura e consistência e podem ter espessuras variadas, seja em camadas padrões, que são estabelecidas de forma arbitrária ou por uma espessura de interesse. Para o estoque de C no bioma Amazônia, Moraes et al. (1995) encontraram valores do estoque de C de 23,0 até 217,0 Mg ha^{-1} e valor médio de 105,0 Mg ha^{-1}, ao passo que, mais recentemente, Gomes et al. (2019)

chegaram à faixa mais estreita e com valores de 64,0 até 149,0 Mg ha^{-1}. Essa amplitude decorre das condições intrínsecas das classes de solo na paisagem e de fatores abióticos, uma vez que os menores e maiores valores foram encontrados nas classes dos Luvissolos e Organossolos, respectivamente.

Com a quantificação dos teores de C nos solos pelos diferentes métodos e a obtenção dos estoques de C, destaca-se a possibilidade de avaliação do potencial de acúmulo que serve como parâmetro para definição de "sumidouros de C''. Quando o teor de C é avaliado pelos horizontes, os resultados atestam a ação diferenciada dos processos pedogenéticos na gênese dos solos. Quando o teor de C é avaliado em camadas, é possível também inferir a qualidade do manejo, tipos de cultivo e/ou arranjos de cultivo, bem como a quantificação para avaliação do balanço de C pelos cultivos agrícolas para atender ao emergente mercado ou crédito de C.

Devido à capacidade diferenciada de cada método na quantificação do C, sobressai-se o teor do C total igual ou superior ao C org, com poucas exceções de forma contrária. Por essa condição, quando a intenção é atender aos critérios de certificação e mercado de C ou mesmo à comparação entre os teores, há a necessidade de se realizar a harmonização ou correspondência entre os tipos de C, uma vez que, de um lado, os parâmetros de referência utilizam o C total e, de outro, a maioria dos laboratórios do Brasil obtém o C org.

Dessa forma, este capítulo objetiva desenvolver funções para a predição do carbono total a partir do carbono orgânico, além de calcular o estoque de carbono total e orgânico em um conjunto de diferentes perfis de solo.

2. Material e métodos

2.1. Seleção dos perfis

Os solos avaliados correspondem a perfis descritos e amostrados nas RCCs do Pantanal (Carvalho Filho et al., 2012), Roraima (Oliveira et al., 2018), Rondônia (Oliveira et al., 2019), Maranhão (Oliveira et al., 2020), Amazonas e Pará (vide Capítulo 9) e no município de Bom Jardim, RJ (dados não publicados) (Apêndice 21.1).

Pela denominação dos horizontes genéticos, os horizontes superficiais incluem A, AB, AE, AC, H, e os subsuperficiais, BA, BE, CA, EA, B, E, C, ambos com seus subscritos. A profundidade máxima dos horizontes superficiais é de 280 cm, tendo a maioria profundidade inferior a 50 cm, enquanto os horizontes subsuperficiais possuem profundidade inicial de 3 cm até a profundidade máxima de 410 cm, tendo a maioria profundidade inferior a 150 cm.

Neste trabalho são avaliados os horizontes minerais, classificados segundo Santos et al. (2018), agrupados como a seguir: a) superficiais não antrópicos: A chernozêmico, A húmico, A proeminente, A moderado, A fraco; b) superficiais antrópicos: A antrópico; c) subsuperficiais: B latossólico, B textural, B plânico e B espódico, glei, plíntico, vértico, E e C; d) orgânicos: H hístico.

2.2. Análises laboratoriais

2.2.1. Determinação das frações granulométricas

Amostras de solo foram submetidas à dispersão por uma solução de hidróxido de sódio, e a determinação deu-se pelo método do densímetro. Foram obtidos os teores de areia grossa (2 - 0,512 mm), areia fina (0,512 - 0,053 mm), silte (0,053 - 0,002 mm) e argila total (< 0,002 mm) (Donagemma et al., 2017).

2.2.2 Determinação do carbono orgânico

Amostras de solo foram submetidas à oxidação por uma solução com uma mistura de dicromato de potássio e ácido sulfúrico, associada com fonte de calor externa. A determinação do C org ocorre indiretamente em função da reação do carbono presente nos compostos orgânicos com o dicromato de potássio.

O cálculo do teor de C org é efetuado pelo volume de dicromato de potássio utilizado na oxidação da matéria orgânica, o qual é obtido pela diferença entre o volume de uma prova em branco e o de uma amostra pela titulação com a solução de sulfato ferroso amoniacal (Fontana; Campos, 2017). Esse método é definido como Walkley e Black (1934) modificado por Vettori (1969) devido à adição da fonte de calor externa ao método proposto por Walkley e Black (1934).

2.2.3 Determinação do carbono total

Todas as amostras de solo foram submetidas ao processo de combustão com temperatura em torno de 1.000 °C em equipamento (auto) analisador elementar. Pela combustão, o C é convertido em CO_2, sendo arrastado para fora da câmara de combustão por meio de um gás de transporte inerte, como o hélio, e passa através de uma coluna aquecida (em torno de 625 °C) de cobre de elevada pureza. O cobre tem a função de remover o oxigênio residual não consumido na combustão.

Para a determinação do C, o gás gerado na câmara de combustão (CO_2) é separado em uma coluna de cromatografia gasosa, seguido da detecção por condutividade térmica (Fontana; Bianchi, 2017).

2.2.4. Obtenção das funções de predição do carbono total do solo

Os teores de C e estoque foram avaliados quanto aos tipos ou origem dos horizontes, sendo minerais não antrópicos, antrópicos e orgânicos. Foi considerada também a posição de ocorrência no perfil de solo, sendo superficiais (não antrópicos e antrópicos) e subsuperficiais. Dos horizontes orgânicos (H hísticos), devido ao baixo número de dados (n = 5), não foram efetuadas avaliações.

A taxa de recuperação (TR%) foi obtida considerando o C total como método de referência:

$$TR\ \% = 1 - \left[\frac{(C\ total - C\ org)}{C\ total}\right]\ x\ 100 \qquad (1)$$

Em seguida, foi calculado um fator de correspondência ou fator de correção (FC) entre os métodos por meio da Equação 2.

$$FC = \frac{C\ total}{C\ org} \quad (2)$$

Para a calibração das funções de predição do C total foi utilizado o modelo linear. A avaliação do desempenho preditivo de cada função foi baseada na raiz quadrática média do erro (*root mean square error* - RMSE) e no coeficiente de determinação ajustado (R^2ajus). Quanto mais próximo de zero estiver o RMSE, mais precisas são as previsões. O R^2 assume valores entre 0,0 e 1,0, onde um valor de 1,0 indica o ajuste perfeito.

$$RMSE = \left[(1/N)\sum_{i=1}^{N}\left(C\ total_i - C\ total_{obs,i}\right)^2\right]^{1/2} \quad (3)$$

$$R^2_{adj} = 1 - \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(C\ total_i - C\ total_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(C\ total_i - \underline{C\ total})^2}\right)\frac{(N-1)}{(N-p)} \quad (4)$$

Onde:

$C\ total_{obs}$, i: i-ésimo valor observado; $C\ total_{pred}$, i: i-ésimo valor previsto; N: número de observações; p: número de preditores.

Os resultados obtidos pelas funções propostas são plotados em relação aos valores observados em uma linha 1:1 (linha de identidade) para comparação.

2.2.5. Cálculo do estoque de carbono dos perfis de solo

Diferentemente da obtenção das funções de predição do C total, foram utilizados dados apenas dos perfis da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (XV RCC), classificados segundo Santos et al. (2018). O estoque de carbono é obtido para cada perfil até a profundidade de coleta (Apêndice 21.2).

Pela falta de dados de Ds de alguns horizontes nos solos minerais, os valores de Ds foram preditos nos perfis AM-02 (horizonte Bwc1) e AM-15 (horizonte 4C) pela função de pedotransferência (PTF4) do trabalho de Reis et al. (2024). Nos solos orgânicos como o PA-17 (horizontes 2Ho1 e 2Ho2), a Ds foi obtida aplicando-se a função de pedotransferência (F2) do trabalho de Beutler et al. (2017). Os teores de C org dos horizontes 2Ho1 e 2Ho2 (PA-17) foram obtidos pela divisão do teor de matéria orgânica (mufla) pelo fator 1,86, conforme definição proposta por Valladares (2003) e contemplada no manual de métodos de análise de solo por Fontana et al. (2017).

O estoque de C de cada horizonte foi obtido pela equação proposta por Veldkamp (1994), com a inclusão da proporção de materiais grossos (PMG) para correção do volume

ocupado por essa fração. A PMG foi obtida a partir da densidade média das frações grossas de 2,8 g cm^{-3}.

$$Est\ C = C\ x\ Ds\ x\ (1\text{-}PMG)\ x\ E\ x\ 0{,}1 \quad (5)$$

Em que:

Est C: estoque de C do horizonte (Mg ha^{-1}); C: teor de C do horizonte (g kg^{-1}); Ds: densidade do solo do horizonte (kg dm^{-3}); PMG: proporção dos materiais grossos (decimal); E: espessura do horizonte (cm).

O estoque total de C de cada perfil é obtido pela Equação 6:

$$Estoque\ total\ C\ (Mg\ ha^{-1}) = soma\ do\ Est\ C\ de\ todos\ os\ horizontes \quad (6)$$

2.2.6. Cálculo do estoque de carbono em camadas do solo

Os estoques obtidos por cada horizonte genético (definido por características morfológicas – cor, estrutura e consistência) com espessuras variadas (item 2.2.5) foram agrupados para camadas padrão de 0 a 30 cm e 0 a 100 cm que são preconizadas pelo IPCC e FAO (FAO, 2020).

A adequação foi realizada multiplicando-se o estoque de C de cada horizonte pela sua espessura, e, quando é necessário atingir a espessura da camada de interesse (30 ou 100 cm), soma-se o resultado da multiplicação do estoque de C do horizonte pela espessura necessária para atingir a camada de interesse, e divide-se o resultado pela espessura total da camada de interesse.

$$Estoque\ C\ (camada) = (Estoque\ C\ x\ EsHorX + Estoque\ C\ x\ EsHorXn) / EsTC \quad (7)$$

Em que:

Estoque C: estoque de C do horizonte; EsHorX: espessura do horizonte que contribui para atingir a camada de interesse; EsCT: espessura total da camada de interesse.

O estoque total de C de cada camada (0-30 cm e 0-100 cm) é obtido pela seguinte equação:

$$Estoque\ total\ C\ (Mg\ ha^{-1}) = soma\ do\ Est\ C\ de\ todas\ as\ camadas\ (até\ 0\text{-}30\ cm\ e\ 0\text{-}100\ cm) \quad (8)$$

3. Resultados e discussão

3.1. Predição do carbono total do solo (todos os perfis)

Nos horizontes superficiais não antrópicos, os teores de C org variam entre 1,1 e 58,9 g kg^{-1}, enquanto o C total, entre 1,7 e 76,5 g kg^{-1} (Figura 22.1). O valor da taxa de recuperação

(TR) do C org tem média de 75% (21% a 118%), sendo a maioria entre 60% e 100%, enquanto o fator de correspondência ou correção médio é de 1,40 do C org para o C total (Figura 22.1).

Para os horizontes A antrópicos, os teores de C org variam entre 5,3 e 21,7 g kg^{-1}, enquanto o C total, entre 7,1 e 46,9 g kg^{-1} (Figura 22.1). O valor da taxa de recuperação (TR) do C org tem média de 59% (31% a 81%), enquanto o fator de correspondência ou correção médio é de 1,92 do C org para o C total (Figura 22.1).

Quanto ao valor do FC muito superior nos horizontes A antrópicos, isso se deve à maior participação do C presente em estruturas orgânicas recalcitrantes como o carvão, o qual não é quantificado no método via úmida (Fontana; Campos, 2017).

Nos horizontes subsuperficiais, os teores de C org variam entre 0,1 e 14,5 g kg^{-1}, enquanto o C total, entre 0,2 e 16,2 g kg^{-1} (Figura 22.2). O valor da taxa de recuperação (TR) do C org tem média de 72% (15% a 150%), sendo a maioria entre 55% e 100%, enquanto o fator de correspondência ou correção médio é de 1,54 do C org para o C total (Figura 22.1).

O valor do FC obtido nos horizontes superficiais não antrópicos está em consonância com o apresentado por Walkley e Black (1934), que é de 1,32 com uma recuperação média de 76% (60% a 86%), enquanto para os horizontes subsuperficiais é ligeiramente superior.

Em trabalho desenvolvido sob cultivo de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais, foi observado fator ligeiramente inferior, sendo em média 1,22 (1,16 a 1,25) para a camada superficial de três tipos de solo (Cambissolos, Latossolos e Neossolos) (Gatto et al., 2009).

Figura 22.1. Estatística descritiva do C org, C total, TR e FC dos horizontes superficiais.

Variável	Não antrópicos				A antrópico			
	C org	C total	TR	FC	C org	C total	TR	FC
	———g kg^{-1}———		%		———g kg^{-1}———		%	
Média	14,8	20,5	75	1,40	12,7	24,3	59	1,92
Mediana	13,1	16,7	76	1,31	12,4	23,2	67	1,50
Moda	1,1	9,0	76	1,27	12,1	-	38	-
Mínimo	1,1	1,7	21	0,85	5,3	7,1	31	1,23
Máximo	58,9	76,5	118	4,72	21,7	46,9	81	3,25
Desv Pad	10,8	15,8	14	0,44	4,3	11,5	19	0,73
Curtose	3,0	1,9	2,1	30,17	0,0	-0,8	-1,8	-1,21
Assimetria	1,4	1,4	-0,7	4,64	0,4	0,3	-0,4	0,71
Contagem	111	111	111	111	16	16	16	16

TR: Taxa de recuperação; FC: fator de correspondência ou correção; Desv Pad: Desvio padrão.

Figura 22.2. Estatística descritiva do C org, C total, TR e FC dos horizontes subsuperficiais.

Variável	C org	C total	TR	FC
	———g kg^{-1}———		%	
Média	3,7	5,0	72	1,54
Mediana	2,9	4	74	1,36
Moda	1,2	2	74	1,36
Mínimo	0,1	0,2	15	0,67
Máximo	14,5	16,2	150	6,50
Desv Pad	3,0	3,6	18	0,69
Curtose	1,3	0,6	3	24,75
Assimetria	1,2	1,0	0	4,25
Contagem	117	117	117	117,00

TR: Taxa de recuperação; FC: fator de correspondência ou correção; Desv Pad: Desvio padrão.

Os teores de C org têm correlação positiva e significativa com o C total nos horizontes superficiais não antrópicos (0,91), horizontes superficiais antrópicos (0,63) e horizontes subsuperficiais (0,97) (Figura 22.1). Nesse sentido, destaca-se o potencial de aplicação das funções para predição do C total diante da escassez de equipamentos para análise ao longo do País, sendo uma opção viabilizar a utilização dos dados obtidos como C org pelo método via úmida.

Em estudos com horizontes de diferentes tipos de solos, para as camadas superficiais, intermediárias e subsuperficiais, sob cultivo de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais, foi obtida correlação satisfatória do C org com o C total, sendo 0,929, 0,966 e 0,929, respectivamente (Gatto et al., 2009). Em horizontes superficiais e subsuperficiais minerais com variação de classes texturais de diversas regiões e estados do Brasil, a correlação variou entre 0,95 e 0,975 (Machado et al., 2003).

Em avaliações na camada de 0 a 20 cm de solos do Cerrado, sob vegetação natural e cultivo, observou-se uma correlação de 0,925 (Sato et al., 2014), e em solos do Rio Grande do Sul a correlação foi de 0,936 (Frattini; Kalckmann, 1967).

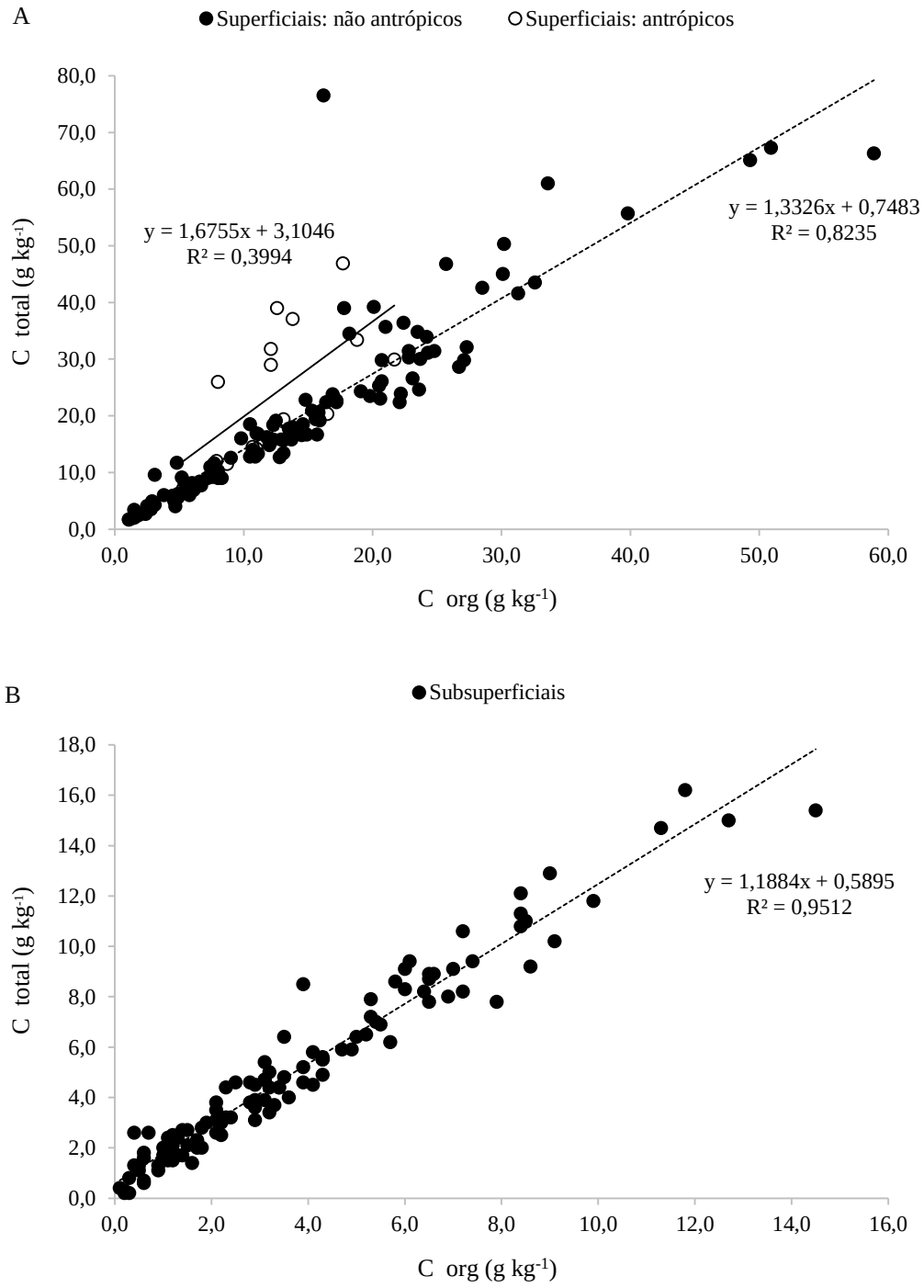


Figura 22.1. Dispersão dos teores de C org com o C total dos horizontes superficiais (A) e subsuperficiais (B).

A constatação de elevada correlação entre os tipos de C nos horizontes superficiais não antrópicos e subsuperficiais indica que os métodos apresentam correspondência satisfatória e a possibilidade do desenvolvimento de funções de regressão para a predição do C total a partir do C org, enquanto, para os horizontes superficiais antrópicos, o valor da correlação denota a

influência dos componentes-fonte de C na variação entre o C org e o C total, especialmente a presença de carvões, o qual não é quantificado no método que obtém o C org.

Com base na afirmação anterior, para a predição dos teores de C total a partir dos teores de C org, são propostas funções desenvolvidas para os horizontes superficiais não antrópicos e subsuperficiais independentemente da textura, uso, cobertura e manejo (Figura 22.3). A menor precisão das funções para obtenção do C total nos horizontes superficiais denota a maior variabilidade, intrínseca a esses horizontes, da composição e transformação do material orgânico, como a presença de material orgânico particulado e/ou carvão, mesmo que em pouca quantidade.

Pelos valores do RMSE, a função para a predição dos teores de C total nos horizontes superficiais não antrópicos tem precisão regular e, para os subsuperficiais, tem precisão boa (Figura 22.3). Dessa forma, a dispersão entre os teores de C total observados e preditos para cada tipo de horizonte corrobora a eficácia da predição a partir do C org (Figura 22.2).

Para os horizontes superficiais não antrópicos, a maior variabilidade da composição e estado de transformação do material orgânico depositado como resíduos denota uma predição de C total com maiores incertezas. Essa condição, apesar de ser um ponto desfavorável à aplicação dessa metodologia para a obtenção do C total, não a inviabiliza, mas denota que é possível um aprimoramento com maior detalhamento de fatores de influência, como o tipo de cobertura ou vegetação, manejo e tipo de cultivo e textura do solo.

Figura 22.3. Equações de regressão para predição dos teores de C total (g kg^{-1}) a partir dos teores de C org (g kg^{-1}) nos horizontes superficiais não antrópicos e subsuperficiais.

Função	Horizontes	Equação	R^2	RMSE	N
F1	Superficiais (não antrópicos)	C total = 1,3326 x C org + 0,7483	0,8235	6,58	111
F2	Subsuperficiais	C total = 1,1884 x C org + 0,5895	0,9512	0,80	117

R^2: coeficiente de determinação; RMSE: raiz quadrática média do erro em g kg^{-1}; N: número de amostras; C total: carbono total; C org: carbono orgânico.

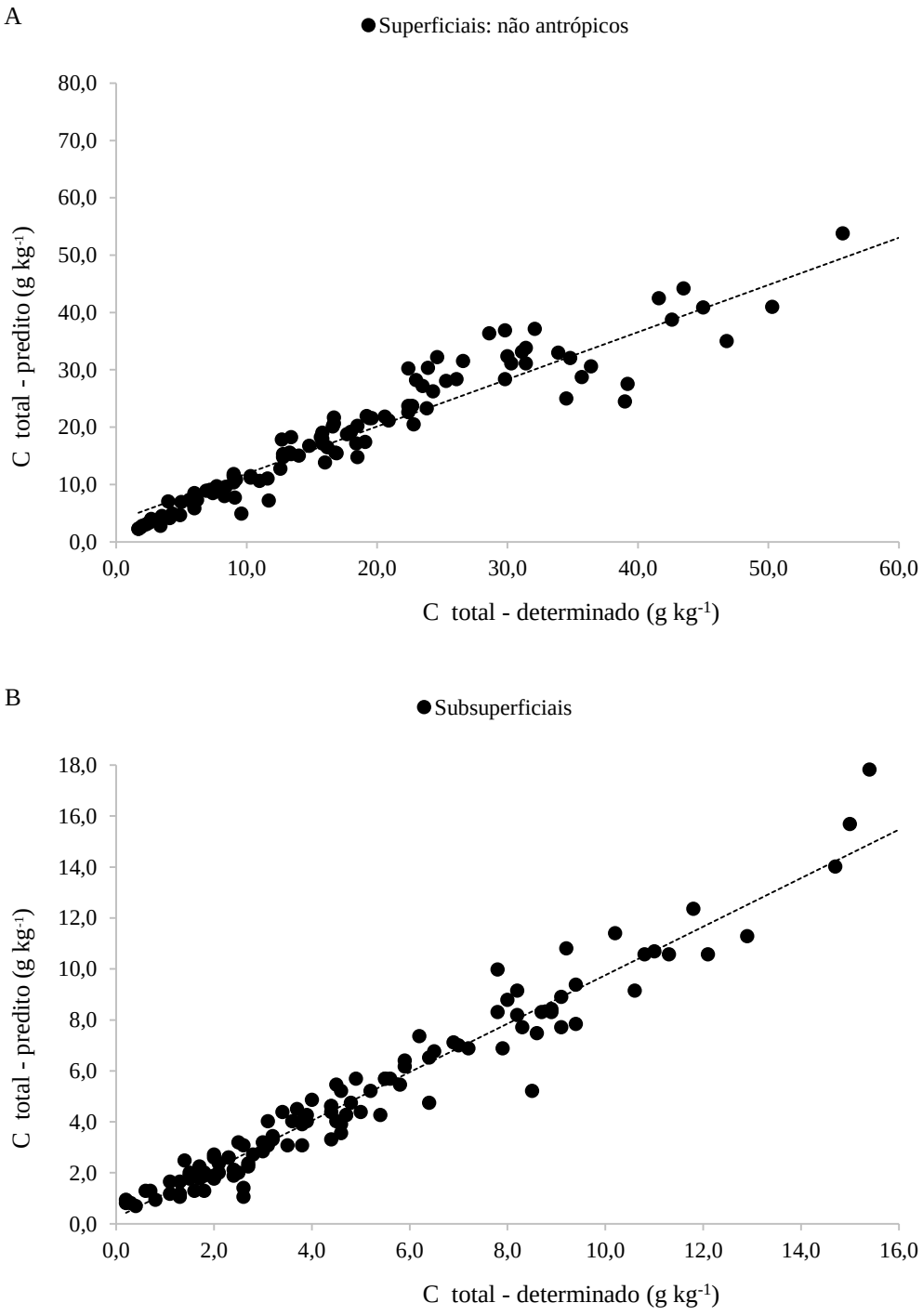


Figura 22.2. Teores de C total determinados versus preditos nos horizontes superficiais não antrópicos (A) e subsuperficiais (B).

3.2. Estoque de carbono do solo (perfis da XV RCC)

Avaliando todos os perfis de solo, os valores do estoque de carbono orgânico (Est C org) variam entre 50,3 e 699,5 Mg ha^{-1}, enquanto os valores do estoque de carbono total (Est C total) são expressivamente superiores e variaram entre 85,5 e 910,5 Mg ha^{-1}.

O maior valor do Est C org está no Organossolo Háplico (PA-17), que tem em sua composição grande proporção de matéria orgânica, e o menor, no Gleissolo Háplico (AM-12). Para o Est C total, o maior também está no Organossolo Háplico (PA-17), e o menor, no Plintossolo Argilúvico (AM-08).

A variação entre tipos de solos deve-se aos processos pedogenéticos que determinam a composição intrínseca de cada classe de solo, destacando-se a classe dos Organossolos e os solos com horizontes diagnósticos A húmicos, que possuem maiores espessuras de camadas com grande quantidade de C. Essas variações serão ressaltadas a seguir quando avaliada a proporção das camadas de 0 a 30 cm e 0 a 100 cm em relação a todo o perfil.

No que tange aos solos do bioma Amazônia, os valores estão dentro da faixa obtida por outros autores, com exceção do Organossolo Háplico (PA-17), cujos valores são muito superiores. Moraes et al. (1995) obtiveram valores de 23,0 até 217,0 Mg ha^{-1}, e o valor médio é de 105,0 Mg ha^{-1}. Mais recentemente, Gomes et al. (2019) observaram valores de 64,0 até 149,0 Mg ha^{-1}, para Luvissolos e Organossolos, respectivamente.

Na avaliação dos solos minerais na camada de 0 a 100 cm, destacam-se os perfis AM-01, PA-06 e PA-07, com o Est C org superando 180,0 Mg ha^{-1} (Figura 22.3) e o Est C total a 260,0 Mg ha^{-1} (Figura 22.4). Na camada de 0 a 30 cm, mantém-se esses mesmos padrões, porém com valores inferiores. Nesses perfis, os horizontes superficiais são classificados como A antrópico (AM-01, Argissolo Amarelo) e A húmico (PA-06 e PA-07, Neossolo Quartzarênico e Latossolo Amarelo, respectivamente), os quais se sobressaem pela contribuição do C na sua composição e definição.

Os menores valores para os Est C org nas camadas de 0 a 30 cm e 0 a 100 cm ocorrem no perfil AM-09 (Figuras 22.3 e 22.4), Espodossolo Humilúvico, com horizonte superficial classificado como A fraco. Os menores valores para o Est C total foram no AM-09, Espodossolo Humilúvico (0-100 cm), e AM-15, Gleissolo Háplico (0-30 cm), com horizontes superficiais classificados como A moderado e A fraco, respectivamente.

Notadamente, o perfil PA-17 (Organossolo Háplico) distingue-se pelo elevado Est de C, o que é conferido pelas condições pedogenéticas que determinam sua essência de composição orgânica. Nesse perfil os valores de carbono aumentam em profundidade, sendo destacado o seu incremento na camada abaixo de 30 cm a partir da superfície do solo (Figuras 22.3 e 22.4).

Quanto à proporção do estoque de C na camada de 0 a 100 cm, em geral ela representa aproximadamente 2/3, exceto o perfil AM-09 (Espodossolo), em que não passa de 1/4. Na camada de 0 a 30 cm, em geral, a proporção representa aproximadamente 1/3, exceto o perfil AM-09, onde é aproximadamente 1/9. O perfil AM-09 é classificado como Espodossolo, cujo princípio de formação preconiza a acumulação iluvial de matéria orgânica humificada no horizonte subsuperficial B espódico, que se inicia a 317 cm de profundidade.

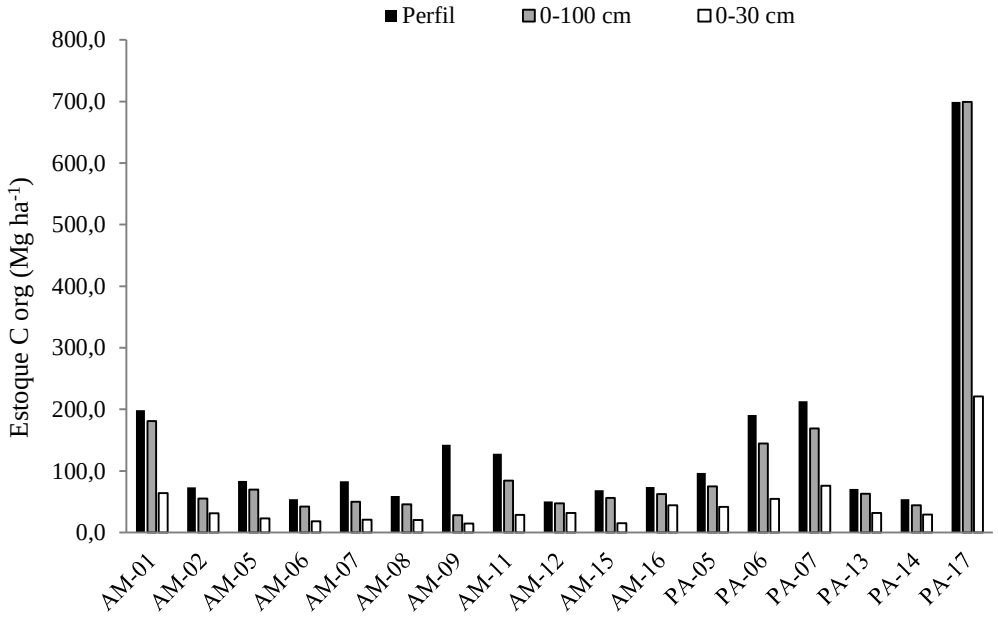


Figura 22.3. Estoques de C org no perfil e camadas do solo.

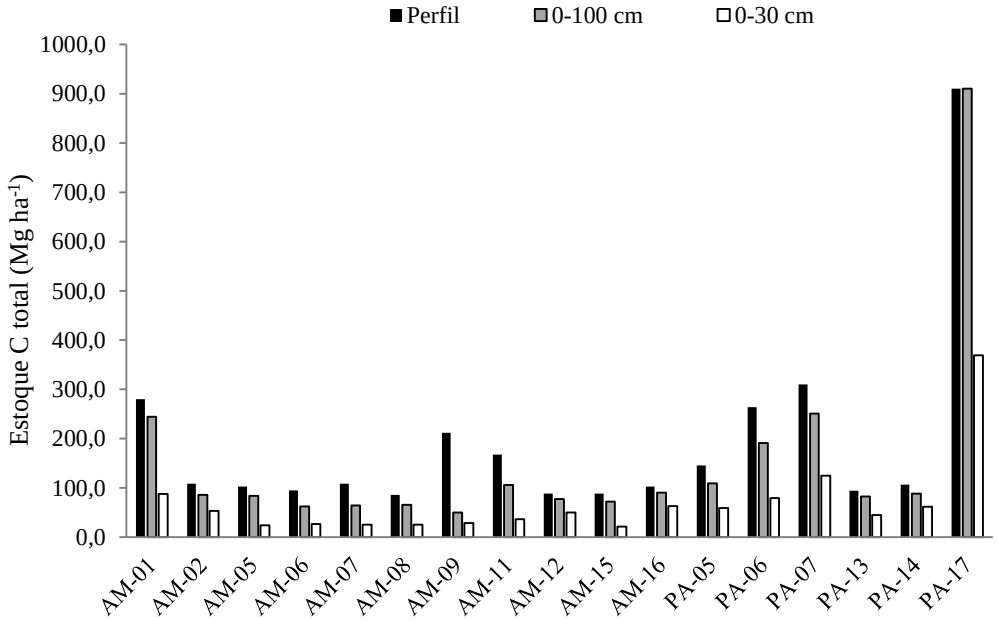


Figura 22.4. Estoques de C total no perfil e camadas do solo.

4. Considerações finais

As funções para a predição dos teores de C total a partir do C org têm potencial como utilização alternativa diante de limitações para a obtenção do C total por equipamentos automáticos, em especial para a função dos horizontes superficiais não antrópicos e subsuperficiais.

Os valores dos Est C dos solos minerais são variados, baixos a intermediários em todo o perfil dos Gleissolos Háplicos, Cambissolo Flúvico e Plintossolo Argilúvico, enquanto se sobressaem com estoque mais elevado em subsuperfície no Espodossolo Humilúvico.

Os valores do Est C para os solos minerais entre 0 e 100 cm de profundidade são menores nos Gleissolos Háplicos e Espodossolo Humilúvico e maiores nos Latossolos Amarelos (com horizontes A húmico e A antrópico) e Neossolo Quartzarênico (com horizonte A húmico).

Destaca-se a capacidade de estocagem de altas quantidades de C no solo orgânico, representado pelo Organossolo Háplico, sendo considerado um sumidouro de C.

Sugere-se quantificar o estoque de C até pelo menos 100 cm de profundidade nos solos espessos e de maior desenvolvimento pedogenético, como os Argissolos e Latossolos, e em todos os horizontes com elevado conteúdo de carbono, como os horizontes hísticos, A húmico e A antrópico.

Referências

BEUTLER, S. J.; PEREIRA, M. G.; TASSINARI, W. de S.; MENEZES, M. D. de; VALLADARES, G. S.; ANJOS, L. H. C. dos. Bulk density prediction for Histosols and soil horizons with high organic matter content. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 41, e0160158, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160158. Acesso em: 16 jan. 2025.

CARVALHO FILHO, A.; LUMBRERAS, J. F.; CARDOSO, E. L.; MOTTA, P. E. F.; JACOMINE, P. K. T.; COELHO, M. R.; ARAÚJO, A. R.; FERNANDES, F. A.; OLIVEIRA, V. A. Solos da X Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (RCC do Pantanal). In: CARDOSO, E. L.; CRISPIM, S. M. A.; CARVALHO FILHO, A.; LUMBRERAS, J. F.; MOTTA, P. E. F. da; ARAÚJO, A. R.; FERNANDES, A. H. B. M.; JACOMINE, P. K. T.; FERNANDES, F. A.; COELHO, M. R.; CALDERANO, S. B.; SHINZATO, E.; SOARES, M. T. S. (ed.). Guia de campo da X Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC do Pantanal. Guia de Campo. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M.; ALMEIDA, B. G.; RUIZ, H. A.; KLEIN, V. A.; DECHEN, S. C. F.; FERNANDES, R. B. A. Análise granulométrica. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 95-116.

FAO. **A protocol for measurement, monitoring, reporting and verification of soil organic carbon in agricultural landscapes**: GSOC-MRV protocol. Rome, 2020. DOI: https://doi.org/10.4060/cb0509en.

FONTANA, A.; BIANCHI, S. R. Carbono e nitrogênio total - analisador elementar. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA. W. G. (ed.). Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 393-396.

FONTANA, A.; CAMPOS, D. V. B. Carbono orgânico. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 360-367.

FONTANA, A.; SOARES, P. F.; ANJOS, L. H. C. dos; VALLADARES, G. S. Solos com altos teores de matéria orgânica. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA. W.

G. (ed.). Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 427-437.

FRATTINI, C. T. A.; KALCKMANN, R. E. Correlação entre alguns métodos de determinação de carbono. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 2, p. 259-261, 1967.

GATTO, A.; BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. de S.; VILLANI, E. M. de A. Comparação de métodos de determinação do carbono orgânico em solos cultivados com eucalipto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, p. 735-740, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000300026. Acesso em: 25 ago. 2024.

GOMES, L. C.; FARIA, R. M.; SOUZA, E. de; VELOSO, G. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES FILHO, E. I. Modelling and mapping soil organic carbon stocks in Brazil. **Geoderma**, v. 340, p. 337-350, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.01.007. Acesso em: 3 set. 2024.

GUERRA, J. G. M.; SANTOS, G. A. Métodos químicos e físicos. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais. 2. ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 185-199.

MACHADO, P. L. O. de A.; CAMPOS, A. C. de; SANTOS, F. S. dos. Métodos de preparo de amostras e de determinação de carbono em solos tropicais. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 9 p. (Embrapa Solos. Circular técnica, 19). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPS/11582/1/circtec_19_2003_metodos_preparo.pdf. Acesso em: 25 ago. 2024.

MORAES, J. L.; CERRI, C. C.; MELILLO, J. M.; KICKLIGHTER, D.; NEIL, C.; SKOLE, D. L.; STEUDLER, P. A. Soil carbon stocks of the Brazilian Amazon Basin. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59, p. 244-247, 1995. Disponível em: https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2136/sssaj1995.03615995005900010038x. Acesso em: 3 set. 2024.

OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; MENDES, A. M.; ANJOS, L. H. C. dos; CIPRIANI, H. N.; MEDEIROS, I. M. de; CALDERANO, S. B.; KER, J. C. Solos da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de Rondônia. In: LUMBRERAS, J. F.; SILVA, L. M. da; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; WADT, P. G. S.; PEREIRA, M. G.; DELARMELINDA-HONORÉ, E. A.; BURITY, K. T. L. (ed.). Guia de campo da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de Rondônia. Brasília, DF: Embrapa, 2019. E-book. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/203098/1/Guia-de-campo-da-XII-RCC-Rondonia.epub. Acesso em: 24 ago. 2024.

OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; SILVA, M. B. e; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; MENDONÇA-SANTOS, M. de L.; MOURA-BUENO, J. M.; SANTIAGO, C. M. Solos da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (RCC do Maranhão). In: SILVA, M. B. e; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de (ed.). Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC do Maranhão. Brasília, DF: Embrapa, 2020. E-book. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/218466/1/Guia-de-campo-da-XIII-RCC-Maranhao.epub. Acesso em: 24 ago. 2024.

OLIVEIRA, V. A. de; VALE JUNIOR, J. F. do; SCHAEFER, C. E. G. R.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; MELO, V. F.; CAMPOS, M. C. C.; CORRÊA, G. R.; CALDERANO, S. B.; KER, J. C. Solos da XI Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (RCC de Roraima). In: BATISTA, K. D.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de; VALE JUNIOR, J. F. do. (ed.). Guia de campo da XI Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de

Roraima. Brasília, DF: Embrapa, 2018. E-book. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1104265. Acesso em: 25 ago. 2024.

REIS, A. M. H. dos; TEIXEIRA, W. G.; FONTANA, A.; BARROS, A. H. C.; VICTORIA, D. de C.; VASQUES, G. M.; SAMUEL-ROSA, A.; OTTONI, M. V.; MONTEIRO, J. E. B. de A. Hierarchical pedotransfer functions for predicting bulk density in Brazilian soils. **Scientia Agricola**, v. 81, e20220255, 2024. Disponível em: https://www.scielo.br/j/sa/a/qVttcTxS6KV7ypyTh33Zydh/. Acesso em: 3 set. 2024.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf. Acesso em: 25 ago. 2024.

SATO, J. H.; FIGUEIREDO, C. C.; MARCHÃO, R. L.; MADARI, B. E.; BENEDITO, L. E. C.; BUSATO, J. G.; SOUZA, D. M. de D. Methods of soil organic carbon determination in Brazilian savannah soils. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 4, p. 302-308, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1590/0103-9016-2013-0306. Acesso em: 25 ago. 2024.

VALLADARES, G. S. **Caracterização de Organossolos, auxílio à sua classificação**. 2003. 129 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 175-180, 1994.

VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24 p. (Brasil. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Boletim técnico, 7).

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, n. 1, p. 29-38, Jan. 1934. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003. Acesso em: 25 ago. 2024

Apêndice 22.1: Teores de carbono obtidos por diferentes métodos de horizontes de solos de diversas regiões do Brasil.

Município	Estado	Bioma	Uso	Perfil	Nomenclatura horizonte	Horizonte	Horizonte superficial	Prof inicial	Prof final	C org	C total	TR	FC
								cm	cm	g kg^{-1}	g kg^{-1}	%	
Icatu	MA	Cerrado	Queimada	MA-01	A1	Superficial	A moderado	0	7	18,2	34,5	53	1,9
Icatu	MA	Cerrado	Queimada	MA-01	A2	Superficial	A moderado	7	28	2,4	2,7	89	1,13
Icatu	MA	Cerrado	Queimada	MA-01	AE	Superficial	A moderado	28	63	1,1	1,7	65	1,55
Icatu	MA	Cerrado	Queimada	MA-01	EA	Subsuperficial		63	100	0,6	0,7	86	1,17
Icatu	MA	Cerrado	Queimada	MA-01	EA	Subsuperficial		100	152	0,1	0,4	25	4
Icatu	MA	Cerrado	Queimada	MA-01	Bs/E	Subsuperficial		152	230	1,3	2,4	54	1,85
São José de Ribamar	MA	Cerrado	Capoeira	MA-14	Au	Superficial	A antrópico	0	13	17,7	46,9	38	2,65
São José de Ribamar	MA	Cerrado	Capoeira	MA-14	Auk1	Superficial	A antrópico	13	36	18,8	33,4	56	1,78
São José de Ribamar	MA	Cerrado	Capoeira	MA-14	Auk2	Superficial	A antrópico	36	56	13,8	37,1	37	2,69
São José de Ribamar	MA	Cerrado	Capoeira	MA-14	Auk3	Superficial	A antrópico	56	75	12,1	29	42	2,4
São José de Ribamar	MA	Cerrado	Capoeira	MA-14	Auk4	Superficial	A antrópico	75	123	12,6	39	32	3,1
São José de Ribamar	MA	Cerrado	Capoeira	MA-14	Auk5	Superficial	A antrópico	123	148	12,1	31,8	38	2,63
São José de Ribamar	MA	Cerrado	Capoeira	MA-14	Auk6	Superficial	A antrópico	148	165	8	26	31	3,25
São José de Ribamar	MA	Cerrado	Capoeira	MA-14	Ab	Superficial	A enterrado	255	280	1,5	3,4	44	2,27
Morros	MA	Cerrado	Capoeira	MA-16	A	Superficial	A moderado	0	10	4,8	11,7	41	2,44
Morros	MA	Cerrado	Capoeira	MA-16	AE	Superficial	A moderado	10	30	1,7	2,3	74	1,35
Morros	MA	Cerrado	Capoeira	MA-16	E	Subsuperficial		30	73	0,3	0,8	38	2,67
Morros	MA	Cerrado	Capoeira	MA-16	Bh1	Subsuperficial		73	120	6,1	9,4	65	1,54
Morros	MA	Cerrado	Capoeira	MA-16	Bh2	Subsuperficial		120	140	5,3	7,2	74	1,36
Rorainópolis	RR	Amazônia	Horticultura	RR-01	Aup	Superficial	A antrópico	0	14	10,7	14,5	74	1,36
Rorainópolis	RR	Amazônia	Horticultura	RR-01	Au1	Superficial	A antrópico	14	41	7,9	12	66	1,52
Rorainópolis	RR	Amazônia	Horticultura	RR-01	Au2	Superficial	A antrópico	41	63	5,3	7,1	75	1,34
Rorainópolis	RR	Amazônia	Horticultura	RR-01	BA1	Subsuperficial		63	72	3,9	5,2	75	1,33
Rorainópolis	RR	Amazônia	Horticultura	RR-01	BA2	Subsuperficial		72	94	2,9	3,6	81	1,24
Rorainópolis	RR	Amazônia	Horticultura	RR-01	Bt1	Subsuperficial		94	110	1,8	2	90	1,11
Ariquemes	RO	Amazônia	Pastagem	RO-12	Ap1	Superficial	A moderado	0	14	26,7	28,6	93	1,07
Ariquemes	RO	Amazônia	Pastagem	RO-12	Ap2	Superficial	A moderado	14	20	14,5	16,6	87	1,14
Ariquemes	RO	Amazônia	Pastagem	RO-12	BA	Subsuperficial		20	30	9,1	10,2	89	1,12
Ariquemes	RO	Amazônia	Pastagem	RO-12	Bw1	Subsuperficial		30	53	6,9	8	86	1,16
Ariquemes	RO	Amazônia	Pastagem	RO-12	Bw2	Subsuperficial		53	72	6,4	8,2	78	1,28
Ariquemes	RO	Amazônia	Pastagem	RO-12	2Ab	Superficial	A enterrado	72	103	8,3	9	92	1,08
Ariquemes	RO	Amazônia	Pastagem	RO-12	2ABb	Superficial	A enterrado	103	133	6,1	6,9	88	1,13
Ariquemes	RO	Amazônia	Pastagem	RO-12	2Bwb	Subsuperficial		133	170	4,1	4,5	91	1,1
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 01	A1	Superficial	A moderado	0	6	7,8	10,3	76	1,32
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 01	A2	Superficial	A moderado	6	15	4,9	6,2	79	1,27
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 01	Bh	Subsuperficial		81	103	2,2	2,5	88	1,14
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 02	A1	Superficial	A moderado	0	2	58,9	66,3	89	1,13

Continua...

Apêndice 22.1. Continuação.

Município	Estado	Bioma	Uso	Perfil	Nomenclatura horizonte	Horizonte	Horizonte superficial	Prof inicial	Prof final	C org	C total	TR	FC
								cm	cm	g kg^{-1}	g kg^{-1}	%	
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 02	A2	Superficial	A moderado	2	8	14,6	18,5	79	1,27
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 02	EA	Subsuperficial		8	13	3,2	3,4	94	1,06
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 02	Btn1	Subsuperficial		47	75	1,2	2,1	57	1,75
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 03	A1	Superficial	A moderado	0	12	5,8	6	97	1,03
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 03	A2	Superficial	A moderado	12	36	1,1	1,7	65	1,55
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 03	A3	Superficial	A moderado	36	58	1,3	1,9	68	1,46
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 04	A1	Superficial	A moderado	0	12	4,6	5	92	1,09
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 04	A2	Superficial	A moderado	12	20	1,5	2	75	1,33
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 05	A1	Superficial	A moderado	0	4	22,2	23,9	93	1,08
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 05	A2	Superficial	A moderado	4	30	5,8	7,4	78	1,28
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 05	A3	Superficial	A moderado	30	60	2,8	3,5	80	1,25
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 06	A1	Superficial	A moderado	0	5	6,7	7,7	87	1,15
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 06	A2	Superficial	A moderado	5	20	3,1	4,3	72	1,39
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 07	Ap1	Superficial	A moderado	0	10	12,5	19,1	65	1,53
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 07	A2	Superficial	A moderado	10	29	10,5	12,8	82	1,22
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 07	Biv1	Subsuperficial		29	50	5,7	6,2	92	1,09
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 07	Biv2	Subsuperficial		50	72	2,9	3,1	94	1,07
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 08	A1	Superficial	A moderado	0	10	12,0	14,8	81	1,23
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 08	A2	Superficial	A moderado	10	28	4,5	5,9	76	1,31
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 08	2AC	Superficial	A moderado	28	63	2,7	3,5	77	1,3
Corumbá	MS	Pantanal	Floresta	MS 09	A1	Superficial	A moderado	0	4	31,3	41,6	75	1,33
Corumbá	MS	Pantanal	Floresta	MS 09	A2	Superficial	A moderado	4	18	15,3	20,9	73	1,37
Corumbá	MS	Pantanal	Floresta	MS 09	BA	Subsuperficial		18	45	2,8	3,8	74	1,36
Corumbá	MS	Pantanal	Floresta	MS 09	2Bg1	Subsuperficial		45	64	3,4	4,4	77	1,29
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem	MS 10	A1	Superficial	A chernozêmico	0	4	32,6	43,5	75	1,33
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem	MS 10	A2	Superficial	A chernozêmico	4	16	19,1	24,3	79	1,27
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem	MS 10	AB	Superficial	A chernozêmico	16	26	10,7	14	76	1,31
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem	MS 10	BA	Subsuperficial		26	34	6,5	8,9	73	1,37
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem	MS 10	Bv1	Subsuperficial		34	57	4,3	5,5	78	1,28
Corumbá	MS	Pantanal	Floresta	MS 11	A1	Superficial	A moderado	0	5	50,9	67,3	76	1,32
Corumbá	MS	Pantanal	Floresta	MS 11	A2	Superficial	A moderado	5	14	23,7	30	79	1,27
Corumbá	MS	Pantanal	Floresta	MS 11	BA	Subsuperficial		14	30	8,4	11,3	74	1,35
Corumbá	MS	Pantanal	Floresta	MS 11	Biv1	Subsuperficial		30	55	7,0	9,1	77	1,3
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 12	A1	Superficial	A moderado	0	5	7,4	11	67	1,49
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 12	A2	Superficial	A moderado	5	9	4,9	5,6	88	1,14
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 12	Bh1	Subsuperficial		83	105	1,2	1,5	80	1,25
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 12	E/BE	Subsuperficial		105	120	0,6	0,6	100	1
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 12	Bh2	Subsuperficial		137	151	0,9	1,3	69	1,44
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 12	Bh3	Subsuperficial		151	180	0,5	1,1	45	2,2
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 12	Bh4	Subsuperficial		180	188	1,1	1,5	73	1,36
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 12	Btn	Subsuperficial		188	210	0,4	2,6	15	6,5

Continua...

Apêndice 22.1. Continuação.

Município	Estado	Bioma	Uso	Perfil	Nomenclatura horizonte	Horizonte	Horizonte superficial	Prof inicial	Prof final	C org	C total	TR	FC
								cm	cm	g kg^{-1}	g kg^{-1}	%	
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 13	A1	Superficial	A moderado	0	4	23,6	24,6	96	1,04
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 13	A2	Superficial	A moderado	4	13	6,6	8,4	79	1,27
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 13	Btg1	Subsuperficial		17	30	4,3	4,9	88	1,14
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 14	A1	Superficial	A chernozêmico	0	8	49,3	65,1	76	1,32
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 14	A2	Superficial	A chernozêmico	8	24	39,8	55,7	71	1,4
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 14	A3	Superficial	A chernozêmico	24	41	30,2	50,3	60	1,67
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 14	A4	Superficial	A chernozêmico	41	61	25,7	46,8	55	1,82
Corumbá	MS	Pantanal	Pastagem natural	MS 14	AB	Superficial	A chernozêmico	61	72	20,1	39,2	51	1,95
Bodoquena	MS	Cerrado	Pastagem	MS 15	Ap	Superficial	A moderado	0	10	19,8	23,5	84	1,19
Bodoquena	MS	Cerrado	Pastagem	MS 15	A2	Superficial	A moderado	10	23	14,9	16,7	89	1,12
Bodoquena	MS	Cerrado	Pastagem	MS 15	Bt1	Subsuperficial		39	59	8,6	9,2	93	1,07
Sidrolândia	MS	Cerrado	Lavoura	MS 16	Ap	Superficial	A proeminente	0	7	24,8	31,4	79	1,27
Sidrolândia	MS	Cerrado	Lavoura	MS 16	A2	Superficial	A proeminente	7	14	20,7	26,1	79	1,26
Sidrolândia	MS	Cerrado	Lavoura	MS 16	AB	Superficial	A proeminente	14	29	15,6	19,4	80	1,24
Sidrolândia	MS	Cerrado	Lavoura	MS 16	Bw1	Subsuperficial		29	47	12,7	15	85	1,18
Campo Grande	MS	Cerrado	Floresta	MS 17	A1	Superficial	A moderado	0	12	6,0	8,1	74	1,35
Campo Grande	MS	Cerrado	Floresta	MS 17	A2	Superficial	A moderado	12	27	2,5	4,1	61	1,64
Campo Grande	MS	Cerrado	Floresta	MS 17	Bw1	Subsuperficial		73	118	1,0	1,7	59	1,7
Campo Grande	MS	Cerrado	Pastagem natural	MS 18	A1	Superficial	A moderado	0	9	24,3	31,1	78	1,28
Campo Grande	MS	Cerrado	Pastagem natural	MS 18	A2	Superficial	A moderado	9	21	13,8	18	77	1,3
Campo Grande	MS	Cerrado	Pastagem natural	MS 18	BA	Subsuperficial		21	40	11,3	14,7	77	1,3
Campo Grande	MS	Cerrado	Pastagem natural	MS 18	B1	Subsuperficial		40	64	8,5	11	77	1,29
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Eucalipto	P05	Ap	Superficial	A húmico	0	18	30,1	45	67	1,5
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Eucalipto	P05	A2	Superficial	A húmico	18	45	22,8	31,4	73	1,38
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Eucalipto	P05	A3	Superficial	A húmico	45	85	22,8	30,3	75	1,33
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Eucalipto	P05	AB	Superficial	A húmico	85	100	14,8	22,8	65	1,54
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Olericulura	P09	Ap	Superficial	A húmico	0	40	15,6	19,6	80	1,26
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Olericulura	P09	A2	Superficial	A húmico	40	65	10,5	18,5	57	1,76
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Olericulura	P09	A3	Superficial	A húmico	65	80	11,1	16,8	66	1,51
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Olericulura	P09	AB	Superficial	A húmico	80	102	10,9	12,8	85	1,17
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Pastagem	P12	Ap	Superficial	A húmico	0	23	15,9	19,2	83	1,21
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Pastagem	P12	A2	Superficial	A húmico	23	58	11,1	13,3	83	1,2
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Pastagem	P12	A3	Superficial	A húmico	58	95	11,0	16,9	65	1,54
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Café	P13	Ap	Superficial	A húmico	0	19	23,1	26,6	87	1,15
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Café	P13	A2	Superficial	A húmico	19	32	20,5	25,3	81	1,23
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Café	P13	A3	Superficial	A húmico	32	60	20,6	23	90	1,12
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Café	P13	AB	Superficial	A húmico	60	90	12,9	15,8	82	1,22
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Maracujá	P35	Ap	Superficial	A húmico	0	20	17,2	22,4	77	1,3
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Maracujá	P35	A2	Superficial	A húmico	20	38	15,8	20,6	77	1,3
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Maracujá	P35	A3	Superficial	A húmico	38	61	17,2	22,7	76	1,32
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Maracujá	P35	AB	Superficial	A húmico	61	85	10,9	13,4	81	1,23

Continua...

Apêndice 22.1. Continuação.

Município	Estado	Bioma	Uso	Perfil	Nomenclatura horizonte	Horizonte	Horizonte superficial	Prof inicial	Prof final	C org	C total	TR	FC
								cm	cm	g kg^{-1}	g kg^{-1}	%	
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Floresta	PM1	A1	Superficial	A húmico	0	22	27,3	32,1	85	1,18
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Floresta	PM1	A2	Superficial	A húmico	22	40	27,1	29,8	91	1,1
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Floresta	PM1	A3	Superficial	A húmico	40	65	22,1	22,4	99	1,01
Bom Jardim	RJ	Mata Atlântica	Floresta	PM1	AB	Superficial	A húmico	65	75	12,8	12,7	101	0,99
Iranduba	AM	Amazônia	Floresta	AM-01	Au1	Superficial	A antrópico	0	8	21,7	29,9	73	1,38
Iranduba	AM	Amazônia	Floresta	AM-01	Au2	Superficial	A antrópico	8	18	16,5	20,3	81	1,23
Iranduba	AM	Amazônia	Floresta	AM-01	Au3	Superficial	A antrópico	18	37	13,1	19,4	68	1,48
Iranduba	AM	Amazônia	Floresta	AM-01	Au4	Superficial	A antrópico	37	54	12,7	17,2	74	1,35
Iranduba	AM	Amazônia	Floresta	AM-01	Au5	Superficial	A antrópico	54	73	11,0	14,2	77	1,29
Iranduba	AM	Amazônia	Floresta	AM-01	ABu	Superficial	A antrópico	73	95	8,7	11,5	76	1,32
Iranduba	AM	Amazônia	Floresta	AM-01	BAu1	Subsuperficial		37	78	4,7	5,9	80	1,26
Iranduba	AM	Amazônia	Floresta	AM-01	BAu2	Subsuperficial		78	119	2,1	3,8	55	1,81
Iranduba	AM	Amazônia	Floresta	AM-01	Bt	Subsuperficial		119	153	1,4	2,7	52	1,93
Iranduba	AM	Amazônia	Floresta	AM-01	Bw	Subsuperficial		153	200	1,1	2,4	46	2,18
Rio Preta da Eva	AM	Amazônia	Área desmatada	AM-02	A	Superficial	A moderado	0	7	17,8	39,0	46	2,19
Rio Preta da Eva	AM	Amazônia	Área desmatada	AM-02	BA1	Subsuperficial		7	15	8,4	10,8	78	1,29
Rio Preta da Eva	AM	Amazônia	Área desmatada	AM-02	BA2	Subsuperficial		15	26	6,0	8,3	72	1,38
Rio Preta da Eva	AM	Amazônia	Área desmatada	AM-02	Bw1	Subsuperficial		26	42	4,1	5,8	71	1,41
Rio Preta da Eva	AM	Amazônia	Área desmatada	AM-02	Bw2	Subsuperficial		42	80	2,9	3,9	74	1,34
Rio Preta da Eva	AM	Amazônia	Área desmatada	AM-02	Bw3	Subsuperficial		80	108	2,3	3,2	72	1,39
Rio Preta da Eva	AM	Amazônia	Área desmatada	AM-02	Bw4	Subsuperficial		108	163	1,7	2,0	85	1,18
Rio Preta da Eva	AM	Amazônia	Área desmatada	AM-02	Bwc1	Subsuperficial		163	177	1,4	1,7	82	1,21
Rio Preta da Eva	AM	Amazônia	Área desmatada	AM-02	Bwc2	Subsuperficial		177	200	1,0	1,5	67	1,5
Itacoatiara	AM	Amazônia	Capoeira	AM-05	Ag	Superficial	A moderado	0	5	15,7	16,7	94	1,06
Itacoatiara	AM	Amazônia	Capoeira	AM-05	2CAg	Subsuperficial		5	13	14,5	15,4	94	1,06
Itacoatiara	AM	Amazônia	Capoeira	AM-05	3Cg1	Subsuperficial		13	33	7,9	7,8	101	0,99
Itacoatiara	AM	Amazônia	Capoeira	AM-05	3Cg2	Subsuperficial		33	65	7,4	9,4	79	1,27
Itacoatiara	AM	Amazônia	Capoeira	AM-05	4Cg3	Subsuperficial		65	115	2,1	3,5	60	1,67
Itacoatiara	AM	Amazônia	Capoeira	AM-05	4Cg4	Subsuperficial		115	150	2,1	2,6	81	1,24
Itacoatiara	AM	Amazônia	Lavoura de subsistência	AM-06	Ap	Superficial	A fraco	0	5	9,0	12,6	71	1,4
Itacoatiara	AM	Amazônia	Lavoura de subsistência	AM-06	2ACg	Superficial		5	17	5,3	7,7	69	1,45
Itacoatiara	AM	Amazônia	Lavoura de subsistência	AM-06	3Cg1	Subsuperficial		17	42	3,2	5,0	64	1,56
Itacoatiara	AM	Amazônia	Lavoura de subsistência	AM-06	4Cg2	Subsuperficial		42	73	2,9	4,5	64	1,55
Itacoatiara	AM	Amazônia	Lavoura de subsistência	AM-06	5Cg3	Subsuperficial		73	105	1,7	2,3	74	1,35
Itacoatiara	AM	Amazônia	Lavoura de subsistência	AM-06	6Cg4	Subsuperficial		105	156	0,7	2,6	27	3,71
Itacoatiara	AM	Amazônia	Lavoura de subsistência	AM-06	7Cg5	Subsuperficial		156	192	1,2	2,5	48	2,08
Iranduba	AM	Amazônia	Floresta	AM-07	A1	Superficial	A moderado	0	4	6,2	7,2	86	1,16
Iranduba	AM	Amazônia	Floresta	AM-07	A2	Superficial	A moderado	4	15	7,6	9,2	83	1,21
Iranduba	AM	Amazônia	Floresta	AM-07	BA	Subsuperficial		15	35	4,3	5,5	78	1,28
Iranduba	AM	Amazônia	Floresta	AM-07	Bi	Subsuperficial		35	87	3,2	4,4	73	1,38
Iranduba	AM	Amazônia	Floresta	AM-07	2C	Subsuperficial		87	126	3,1	3,9	79	1,26

Continua...

Apêndice 22.1. Continuação.

Município	Estado	Bioma	Uso	Perfil	Nomenclatura horizonte	Horizonte	Horizonte superficial	Prof inicial	Prof final	C org	C total	TR	FC
								cm	cm	g kg^{-1}	g kg^{-1}	%	
Iranduba	AM	Amazônia	Floresta	AM-07	2Cg	Subsuperficial		126	200	2,2	3,0	73	1,36
Iranduba	AM	Amazônia	Capoeira	AM-08	A	Superficial	A moderado	0	6	13,7	15,8	87	1,15
Iranduba	AM	Amazônia	Capoeira	AM-08	Btg1	Subsuperficial		6	30	3,4	4,4	77	1,29
Iranduba	AM	Amazônia	Capoeira	AM-08	2Btg2	Subsuperficial		30	49	2,9	3,8	76	1,31
Iranduba	AM	Amazônia	Capoeira	AM-08	2Btgf1	Subsuperficial		49	67	3,1	5,4	57	1,74
Iranduba	AM	Amazônia	Capoeira	AM-08	2Btgf2	Subsuperficial		67	101	1,5	2,7	56	1,8
Iranduba	AM	Amazônia	Capoeira	AM-08	2Cg1	Subsuperficial		101	151	1,2	1,7	71	1,42
Iranduba	AM	Amazônia	Capoeira	AM-08	3Cg2	Subsuperficial		151	175	1,2	1,8	67	1,5
Manaus	AM	Amazônia	Campinarana	AM-09	A1	Superficial	A fraco	0	8	4,7	4,0	118	0,85
Manaus	AM	Amazônia	Campinarana	AM-09	A2	Superficial	A fraco	8	23	3,1	9,6	32	3,1
Manaus	AM	Amazônia	Campinarana	AM-09	AE	Superficial	A fraco	23	50	3,8	6,0	63	1,58
Manaus	AM	Amazônia	Campinarana	AM-09	E1	Subsuperficial		50	130	0,2	0,3	67	1,5
Manaus	AM	Amazônia	Campinarana	AM-09	E2	Subsuperficial		130	250	0,3	0,2	150	0,67
Manaus	AM	Amazônia	Campinarana	AM-09	2 E3	Subsuperficial		250	321	0,2	0,2	100	1
Manaus	AM	Amazônia	Campinarana	AM-09	3Bh	Subsuperficial		321	326	5,5	6,9	80	1,25
Manaus	AM	Amazônia	Campinarana	AM-09	4Bhsm	Subsuperficial		326	366	9,0	12,9	70	1,43
Manaus	AM	Amazônia	Campinarana	AM-09	4Bhs	Subsuperficial		366	380	9,9	11,8	84	1,19
Manaus	AM	Amazônia	Campinarana	AM-09	4Bs	Subsuperficial		380	396	3,9	8,5	46	2,18
Manaus	AM	Amazônia	Campinarana	AM-09	5C	Subsuperficial		396	410	2,8	4,6	61	1,64
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-11	A1	Superficial	A moderado	0	5	8,0	10,3	78	1,29
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-11	A2	Superficial	A moderado	5	17	7,2	9,0	80	1,25
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-11	Cg1	Subsuperficial		17	41	6,5	8,7	75	1,34
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-11	Cg2	Subsuperficial		41	61	7,2	8,2	88	1,14
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-11	2Cg3	Subsuperficial		61	70	5,3	7,9	67	1,49
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-11	3Cg4	Subsuperficial		70	86	5,2	6,5	80	1,25
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-11	4Cg5	Subsuperficial		86	115	6,5	7,8	83	1,2
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-11	4Cg6	Subsuperficial		115	160	5,8	8,6	67	1,48
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem plantada	AM-12	Apg1	Superficial	A moderado	0	5	22,4	36,4	62	1,63
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem plantada	AM-12	2Apg2	Superficial	A moderado	5	11	9,8	16,0	61	1,63
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem plantada	AM-12	3Cg	Subsuperficial		11	38	3,1	4,7	66	1,52
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem plantada	AM-12	4Abg	Superficial	A enterrado	38	63	1,9	2,5	76	1,32
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem plantada	AM-12	4C'g1	Subsuperficial		63	99	0,6	1,8	33	3
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem plantada	AM-12	5C'g2	Subsuperficial		99	150	0,4	1,3	31	3,25
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-15	Ag	Superficial	A fraco	0	4	5,2	9,1	57	1,75
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-15	2C	Subsuperficial		4	11	1,1	2,0	55	1,82
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-15	3Cg	Subsuperficial		11	15	6,6	8,9	74	1,35
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-15	4C	Subsuperficial		15	19	2,1	3,1	68	1,48
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-15	5Abg	Superficial	A enterrado	19	23	13,1	13,4	98	1,02
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-15	5Cg1	Subsuperficial		23	41	3,5	6,4	55	1,83
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-15	6Cg2	Subsuperficial		41	60	4,9	5,9	83	1,2
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-15	6Cg3	Subsuperficial		60	108	3,6	4,0	90	1,11

Continua...

Apêndice 22.1. Continuação.

Município	Estado	Bioma	Uso	Perfil	Nomenclatura horizonte	Horizonte	Horizonte superficial	Prof inicial	Prof final	C org	C total	TR	FC
								cm	cm	g kg^{-1}	g kg^{-1}	%	
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem plantada	AM-15	7Cg4	Subsuperficial		108	145	1,7	2,3	74	1,35
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-16	Ag	Superficial	A moderado	0	4	12,3	15,8	78	1,28
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-16	CAg	Subsuperficial		4	14	11,8	16,2	73	1,37
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-16	2Abg	Superficial	A enterrado	14	27	12,3	18,4	67	1,5
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-16	2Cg	Subsuperficial		27	51	3,1	4,7	66	1,52
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-16	2Cgn1	Subsuperficial		51	76	1,3	1,7	76	1,31
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-16	2Cgn2	Subsuperficial		76	119	1,1	1,8	61	1,64
Parintins	AM	Amazônia	Pastagem natural	AM-16	2Cgn3	Subsuperficial		119	155	1,6	1,4	114	0,88
Belterra	PA	Amazônia	Floresta	PA-05	A1	Superficial	A moderado	0	8	23,5	34,8	68	1,48
Belterra	PA	Amazônia	Floresta	PA-05	A2	Superficial	A moderado	8	27	11,8	16,2	73	1,37
Belterra	PA	Amazônia	Floresta	PA-05	BA	Subsuperficial		27	47	6,0	9,1	66	1,52
Belterra	PA	Amazônia	Floresta	PA-05	Bw1	Subsuperficial		47	72	5,0	6,4	78	1,28
Belterra	PA	Amazônia	Floresta	PA-05	Bw2	Subsuperficial		72	130	2,5	4,6	54	1,84
Belterra	PA	Amazônia	Floresta	PA-05	Bw3	Subsuperficial		130	190	1,9	3,0	63	1,58
Santarém	PA	Amazônia	Floresta	PA-06	A1	Superficial	A húmico	0	6	21,0	35,7	59	1,7
Santarém	PA	Amazônia	Floresta	PA-06	A2	Superficial	A húmico	6	22	16,9	23,8	71	1,41
Santarém	PA	Amazônia	Floresta	PA-06	A3	Superficial	A húmico	22	52	13,5	17,7	76	1,31
Santarém	PA	Amazônia	Floresta	PA-06	A4	Superficial	A húmico	52	89	8,0	9,0	89	1,13
Santarém	PA	Amazônia	Floresta	PA-06	A5	Superficial	A húmico	89	125	5,4	8,3	65	1,54
Santarém	PA	Amazônia	Floresta	PA-06	AC	Superficial	A húmico	125	169	2,9	4,9	59	1,69
Santarém	PA	Amazônia	Floresta	PA-06	C	Subsuperficial		169	205	1,5	2,1	71	1,4
Belterra	PA	Amazônia	Floresta	PA-07	A1	Superficial	A húmico	0	15	33,6	61,0	55	1,82
Belterra	PA	Amazônia	Floresta	PA-07	A2	Superficial	A húmico	15	27	28,5	42,6	67	1,49
Belterra	PA	Amazônia	Floresta	PA-07	A3	Superficial	A húmico	27	40	24,2	33,9	71	1,4
Belterra	PA	Amazônia	Floresta	PA-07	A4	Superficial	A húmico	40	58	16,4	22,4	73	1,37
Belterra	PA	Amazônia	Floresta	PA-07	A5	Superficial	A húmico	58	78	13,1	15,7	83	1,2
Belterra	PA	Amazônia	Floresta	PA-07	AB	Superficial	A húmico	78	97	7,7	11,6	66	1,51
Belterra	PA	Amazônia	Floresta	PA-07	BA	Subsuperficial		97	137	5,4	7,0	77	1,3
Belterra	PA	Amazônia	Floresta	PA-07	Bw	Subsuperficial		137	200	3,5	4,8	73	1,37
Juruti	PA	Amazônia	Pastagem natural	PA-13	Apg	Superficial	A moderado	0	5	20,7	29,8	69	1,44
Juruti	PA	Amazônia	Pastagem natural	PA-13	2CAg	Subsuperficial		5	15	7,2	10,6	68	1,47
Juruti	PA	Amazônia	Pastagem natural	PA-13	2Cg1	Subsuperficial		15	32	4,3	5,6	77	1,3
Juruti	PA	Amazônia	Pastagem natural	PA-13	2Cg2	Subsuperficial		32	55	3,3	3,7	89	1,12
Juruti	PA	Amazônia	Pastagem natural	PA-13	3Cgn1	Subsuperficial		55	69	3,9	4,6	85	1,18
Juruti	PA	Amazônia	Pastagem natural	PA-13	3Cgn2	Subsuperficial		69	101	2,4	3,2	75	1,33
Juruti	PA	Amazônia	Pastagem natural	PA-13	3Cgn3	Subsuperficial		101	145	1,2	1,8	67	1,5
Juruti	PA	Amazônia	Pastagem natural	PA-14	Ag	Superficial	A fraco	0	3	16,2	76,5	21	4,72
Juruti	PA	Amazônia	Pastagem natural	PA-14	2CAvg	Subsuperficial		3	20	8,4	12,1	69	1,44
Juruti	PA	Amazônia	Pastagem natural	PA-14	2Cvg1	Subsuperficial		20	43	2,3	4,4	52	1,91
Juruti	PA	Amazônia	Pastagem natural	PA-14	2Cvg2	Subsuperficial		43	71	1,8	2,8	64	1,56
Juruti	PA	Amazônia	Pastagem natural	PA-14	2Cvg3	Subsuperficial		71	113	1,0	2,0	50	2

Continua...

Apêndice 22.1. Continuação.

Município	Estado	Bioma	Uso	Perfil	Nomenclatura horizonte	Horizonte	Horizonte superficial	Prof inicial	Prof final	C org	C total	TR	FC
								cm	cm	g kg^{-1}	g kg^{-1}	%	
Juruti	PA	Amazônia	Pastagem natural	PA-14	2Cvgn	Subsuperficial		113	150	0,9	1,1	82	1,22
Juruti	PA	Amazônia	Pastagem natural	PA-14	2C'vg1	Subsuperficial		150	170	0,6	1,6	38	2,67
Juruti	PA	Amazônia	Pastagem natural	PA-14	2C'vg2	Subsuperficial		170	205	0,5	1,3	38	2,6
Santarém	PA	Amazônia	Pastagem natural	PA-17	Hd1	Superficial	H hístico	0	4	94,4	131,0	72	1,39
Santarém	PA	Amazônia	Pastagem natural	PA-17	Hd2	Superficial	H hístico	4	12	88,6	100,7	88	1,14
Santarém	PA	Amazônia	Pastagem natural	PA-17	Hd3	Superficial	H hístico	12	29	129,0	253,9	51	1,97
Santarém	PA	Amazônia	Pastagem natural	PA-17	2Ho1	Superficial	H hístico	29	65	368	410,7	90	1,12
Santarém	PA	Amazônia	Pastagem natural	PA-17	2Ho2	Superficial	H hístico	65	90	459	530,0	87	1,16

Prof = profundidade; C org = carbono orgânico; C total = carbono total; TR: Taxa de recuperação; FC: fator de correspondência ou correção.

Apêndice 22.2: Teores de carbono e estoque de horizontes, perfis e camadas (0 a 100 cm e 0 a 30 cm) dos solos(1) da XV RCC.

Perfil	Tipo Horizonte	Nomen. horiz.	Prof inicial	Prof final	Ds	C org	C total	PMG	Est C org	Est C total	Est C org (perfil)	Est C total (perfil)	Est C org (0-100 cm)	Est C total (0-100 cm)	Est C org (0-30 cm)	Est C total (0-30 cm)
			cm	cm	kg dm^{-3}	g kg^{-1}	g kg^{-1}	-	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}
Argissólico Amarelo Distrófico latossólico antrópico, textura média/argilosa/muito argilosa, epieutrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano																
AM-01	A antrópico	Au1	0	8	1,21	21,7	29,9	0,0036	21,0	28,9	198,6	280,3	180,6	244,5	64,1	87,4
AM-01	A antrópico	Au2	8	18	1,32	16,5	20,3	0,0057	21,6	26,6						
AM-01	A antrópico	Au3	18	37	1,39	13,1	19,4	0,0118	34,1	50,5						
AM-01	A antrópico	Au4	37	54	1,25	12,7	17,2	0,005	26,9	36,4						
AM-01	A antrópico	Au5	54	73	1,23	11,0	14,2	0,0639	24,1	31,1						
AM-01	A antrópico	ABu	73	95	1,20	8,7	11,5	0,0232	22,4	29,6						
AM-01		BAu1	37	78	1,31	4,7	5,9	0,0004	25,2	31,7						
AM-01		BAu2	78	119	1,18	2,1	3,8	0,0004	10,1	18,3						
AM-01		Bt	119	153	1,34	1,4	2,7	0	6,4	12,3						
AM-01		Bw	153	200	1,33	1,1	2,4	0,0004	6,9	15,0						
Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico, textura muito argilosa, A moderado, endoconcrecionário, álico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano																
AM-02	A moderado	A	0	7	1,05	17,8	39,0	0	13,1	28,8	73,4	108,7	54,8	85,5	31,3	53,2
AM-02		BA1	7	15	1,20	8,4	10,8	0,0004	8,0	10,3						
AM-02		BA2	15	26	1,23	6,0	8,3	0,0007	8,1	11,2						
AM-02		Bw1	26	42	1,23	4,1	5,8	0,0007	8,0	11,4						
AM-02		Bw2	42	80	1,16	2,9	3,9	0,0011	12,8	17,2						
AM-02		Bw3	80	108	1,03	2,3	3,2	0,0011	6,6	9,2						
AM-02		Bw4	108	163	1,27	1,7	2,0	0,0018	11,9	14,0						
AM-02		Bwc1	163	177	1,23	1,4	1,7	0,1493	2,1	2,5						
AM-02		Bwc2	177	200	1,22	1,0	1,5	0,0236	2,7	4,1						
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura siltosa, A moderado, Tma, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano																
AM-05	A moderado	Ag	0	5	0,98	15,7	16,7	0	7,7	8,1	83,4	102,9	69,4	83,8	23,0	24,0
AM-05		2CAg	5	13	0,80	14,5	15,4	0	9,3	9,9						
AM-05		3Cg1	13	33	1,08	7,9	7,8	0	17,1	16,9						
AM-05		3Cg2	33	65	1,07	7,4	9,4	0	25,4	32,3						
AM-05		4Cg3	65	115	1,35	2,1	3,5	0	14,2	23,7						
AM-05		4Cg4	115	150	1,32	2,1	2,6	0	9,7	12,0						
Gleissolos Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/siltosa/média, A moderado, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano																
AM-06	A moderado	Apg	0	5	1,18	9,0	12,6	0	5,3	7,5	54,1	94,7	42,1	62,6	17,9	26,3
AM-06		2ACg	5	17	1,12	5,3	7,7	0	7,2	10,4						
AM-06		3Cg1	17	42	1,30	3,2	5,0	0	10,4	16,2						
AM-06		4Cg2	42	73	1,41	2,9	4,5	0	12,7	19,6						
AM-06		5Cg3	73	105	1,43	1,7	2,3	0	7,8	10,5						
AM-06		6Cg4	105	156	1,36	0,7	2,6	0	4,9	18,1						
AM-06		7Cg5	156	192	1,38	1,2	2,5	0	6,0	12,4						

Continua...

Apêndice 22.2. Continuação.

Perfil	Tipo Horizonte	Nomen. horiz.	Prof inicial	Prof final	Ds	C org	C total	PMG	Est C org	Est C total	Est C org (perfil)	Est C total (perfil)	Est C org (0-100 cm)	Est C total (0-100 cm)	Est C org (0-30 cm)	Est C total (0-30 cm)
			cm	cm	kg dm^{-3}	g kg^{-1}	g kg^{-1}	-	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}
Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, textura média/siltosa, A moderado, Tma, hipoférrico, fase floresta tropical higrófila de várzea, relevo plano																
AM-07	A moderado	A1	0	4	1,08	6,2	7,2	0	2,7	3,1	82,9	108,7	49,7	64,5	20,5	25,2
AM-07	A moderado	A2	4	15	1,22	7,6	9,2	0	10,2	12,4						
AM-07		BA	15	35	1,19	4,3	5,5	0	10,2	13,0						
AM-07		Bi	35	87	1,28	3,2	4,4	0	21,3	29,2						
AM-07		2C	87	126	1,33	3,1	3,9	0	16,1	20,2						
AM-07		2Cg	126	200	1,38	2,2	3,0	0	22,5	30,7						
Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico, textura média/argilosa/muito argilosa, A moderado, epiálico, Tmoa, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano																
AM-08	A moderado	A	0	6	1,09	13,7	15,8	0,0004	9,0	10,4	59,4	85,5	45,6	65,5	20,3	25,0
AM-08		Btg1	6	30	1,39	3,4	4,4	0	11,3	14,6						
AM-08		2Btg2	30	49	1,66	2,9	3,8	0	9,1	12,0						
AM-08		2Btgf1	49	67	1,44	3,1	5,4	0,0029	8,0	13,9						
AM-08		2Btgf2	67	101	1,65	1,5	2,7	0,01	8,4	15,0						
AM-08		2Cg1	101	151	1,62	1,2	1,7	0,0046	9,7	13,7						
AM-08		3Cg2	151	175	1,34	1,2	1,8	0,0014	3,9	5,8						
Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa, A fraco, endodúrico, fase campinarana equatorial arbórea, relevo plano																
AM-09	A fraco	A1	0	8	1,36	4,7	4,0	0,0014	5,1	4,3	142,5	211,8	28,1	50,2	14,4	28,8
AM-09	A fraco	A2	8	23	1,39	3,1	9,6	0,0036	6,4	19,9						
AM-09	A fraco	AE	23	50	1,47	3,8	6,0	0,005	15,0	23,7						
AM-09		E1	50	130	1,52	0,2	0,3	0,0079	2,4	3,6						
AM-09		E2	130	250	1,54	0,3	0,2	0,0086	5,5	3,7						
AM-09		2 E3	250	321	1,63	0,2	0,2	0,0232	2,3	2,3						
AM-09		3Bh	321	326	1,66	5,5	6,9	0,0036	4,6	5,7						
AM-09		4Bhsm	326	366	1,70	9,0	12,9	0,0132	60,3	86,4						
AM-09		4Bhs	366	380	1,72	9,9	11,8	0,0039	23,8	28,3						
AM-09		4Bs	380	396	1,69	3,9	8,5	0,0029	10,5	22,9						
AM-09		5C	396	410	1,69	2,8	4,6	0,0029	6,6	10,9						
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico, textura siltosa-média/média-siltosa, A moderado, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano																
AM-11	A moderado	A1	0	5	1,38	8,0	10,3	0	5,5	7,1	128,0	167,8	84,1	106,0	29,6	38,3
AM-11	A moderado	A2	5	17	1,41	7,2	9,0	0	12,2	15,3						
AM-11		Cg1	17	41	1,26	6,5	8,7	0	19,6	26,2						
AM-11		Cg2	41	61	1,26	7,2	8,2	0	18,1	20,6						
AM-11		2Cg3	61	70	1,34	5,3	7,9	0	6,4	9,6						
AM-11		3Cg4	70	86	1,34	5,2	6,5	0	11,1	13,9						
AM-11		4Cg5	86	115	1,22	6,5	7,8	0	23,0	27,5						
AM-11		4Cg6	115	160	1,23	5,8	8,6	0	32,1	47,6						

Continua...

Apêndice 22.2. Continuação.

Perfil	Tipo Horizonte	Nomen. horiz.	Prof inicial	Prof final	Ds	C org	C total	PMG	Est C org	Est C total	Est C org (perfil)	Est C total (perfil)	Est C org (0-100 cm)	Est C total (0-100 cm)	Est C org (0-30 cm)	Est C total (0-30 cm)
			cm	cm	kg dm^{-3}	g kg^{-1}	g kg^{-1}	-	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}
Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico, textura média, A moderado, álico, epialumínico, Tmoa, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano																
AM-12	A moderado	Apg1	0	5	1,21	22,4	36,4	0	13,5	22,0	50,3	88,3	47,0	77,6	31,5	50,3
AM-12	A moderado	2Apg2	5	11	1,47	9,8	16,0	0	8,7	14,1						
AM-12		3Cg	11	38	1,59	3,1	4,7	0	13,3	20,1						
AM-12	A enterrado	4Abg	38	63	1,67	1,9	2,5	0	8,0	10,5						
AM-12		4C'g1	63	99	1,64	0,6	1,8	0	3,6	10,7						
AM-12		5C'g2	99	150	1,65	0,4	1,3	0	3,4	10,9						
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/arenosa/siltosa, A fraco, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano																
AM-15	A fraco	Ag	0	4	1,20	5,2	9,1	0	2,5	4,4	68,3	88,3	55,9	72,4	15,0	21,3
AM-15		2C	4	11	1,50	1,1	2,0	0	1,2	2,1						
AM-15		3Cg	11	15	1,22	6,6	8,9	0	3,2	4,3						
AM-15		4C	15	19	1,79	2,1	3,1	0	1,5	2,2						
AM-15	A enterrado	5Abg	19	23	1,26	13,1	13,4	0	6,6	6,8						
AM-15		5Cg1	23	41	1,31	3,5	6,4	0	8,2	15,1						
AM-15		6Cg2	41	60	1,42	4,9	5,9	0	13,2	15,9						
AM-15		6Cg3	60	108	1,35	3,6	4,0	0	23,4	25,9						
AM-15		7Cg4	108	145	1,36	1,7	2,3	0	8,6	11,6						
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa, A moderado, mesoendossolódico, Tma, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano																
AM-16	A moderado	Ag	0	4	1,31	12,3	15,8	0	6,5	8,3	73,7	102,3	62,5	90,2	44,3	63,1
AM-16		CAg	4	14	1,26	11,8	16,2	0	14,9	20,5						
AM-16	A enterrado	2Abg	14	27	1,35	12,3	18,4	0	21,6	32,3						
AM-16		2Cg	27	51	1,46	3,1	4,7	0	10,9	16,5						
AM-16		2Cgn1	51	76	1,47	1,3	1,7	0	4,8	6,2						
AM-16		2Cgn2	76	119	1,48	1,1	1,8	0	7,0	11,5						
AM-16		2Cgn3	119	155	1,40	1,6	1,4	0	8,1	7,1						
Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano																
PA-05	A moderado	A1	0	8	0,84	23,5	34,8	0	15,8	23,4	96,5	145,2	75,0	109,1	41,7	59,3
PA-05	A moderado	A2	8	27	1,07	11,8	16,2	0	23,9	32,9						
PA-05		BA	27	47	1,09	6,0	9,1	0	13,1	19,8						
PA-05		Bw1	47	72	1,13	5,0	6,4	0	14,2	18,1						
PA-05		Bw2	72	130	1,15	2,5	4,6	0	16,7	30,7						
PA-05		Bw3	130	190	1,13	1,9	3,0	0	12,9	20,3						
Neossolo Quartzarênico Órtico húmico, textura arenosa-média, álico, fase cerrado equatorial subcaducifólio, relevo plano																
PA-06	A húmico	A1	0	6	0,98	21,0	35,7	0,0007	12,4	21,0	190,7	263,9	144,6	191,3	54,7	79,3
PA-06	A húmico	A2	6	22	1,04	16,9	23,8	0,0011	28,0	39,4						
PA-06	A húmico	A3	22	52	1,33	13,5	17,7	0,0029	53,9	70,6						
PA-06	A húmico	A4	52	89	1,41	8,0	9,0	0,0025	41,6	46,8						
PA-06	A húmico	A5	89	125	1,48	5,4	8,3	0,0039	28,7	44,1						
PA-06	A húmico	AC	125	169	1,45	2,9	4,9	0,005	18,4	31,0						
PA-06		C	169	205	1,45	1,5	2,1	0,0054	7,8	10,9						

Continua...

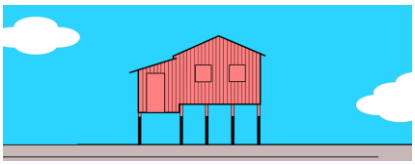
Apêndice 22.2. Continuação.

Perfil	Tipo Horizonte	Nomen. horiz.	Prof inicial	Prof final	Ds	C org	C total	PMG	Est C org	Est C total	Est C org (perfil)	Est C total (perfil)	Est C org (0-100 cm)	Est C total (0-100 cm)	Est C org (0-30 cm)	Est C total (0-30 cm)
			cm	cm	kg dm^{-3}	g kg^{-1}	g kg^{-1}	-	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha^{-1}
Latossolo Amarelo Distrófico húmico, textura muito argilosa, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano																
PA-07	A húmico	A1	0	15	0,76	33,6	61,0	0,0004	38,3	69,6	213,0	309,7	168,9	250,8	75,8	125,0
PA-07	A húmico	A2	15	27	0,89	28,5	42,6	0	30,4	45,5						
PA-07	A húmico	A3	27	40	0,98	24,2	33,9	0	30,7	43,0						
PA-07	A húmico	A4	40	58	0,96	16,4	22,4	0,0007	28,4	38,8						
PA-07	A húmico	A5	58	78	0,93	13,1	15,7	0	24,3	29,2						
PA-07	A húmico	AB	78	97	1,03	7,7	11,6	0	15,0	22,6						
PA-07		BA	97	137	1,05	5,4	7,0	0	22,8	29,5						
PA-07		Bw	137	200	1,05	3,5	4,8	0	23,1	31,7						
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa/siltosa, A moderado, endossódico, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano																
PA-13	A moderado	Apg	0	5	1,13	20,7	29,8	0	11,7	16,9	70,5	94,2	62,7	82,5	31,8	44,8
PA-13		2CAg	5	15	1,48	7,2	10,6	0	10,7	15,7						
PA-13		2Cg1	15	32	1,46	4,3	5,6	0	10,6	13,9						
PA-13		2Cg2	32	55	1,44	3,3	3,7	0	10,9	12,2						
PA-13		3Cgn1	55	69	1,43	3,9	4,6	0	7,8	9,2						
PA-13		3Cgn2	69	101	1,47	2,4	3,2	0	11,3	15,1						
PA-13		3Cgn3	101	145	1,42	1,2	1,8	0	7,5	11,3						
Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico, textura argilosa/siltosa, A fraco, endossolódico, eutrófico, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano																
PA-14	A fraco	A	0	3	1,14	16,2	76,5	0	5,6	26,2	54,1	106,4	44,2	88,2	29,3	61,8
PA-14		2CAvg	3	20	1,45	8,4	12,1	0	20,7	29,9						
PA-14		2Cvg1	20	43	1,30	2,3	4,4	0	6,9	13,1						
PA-14		2Cvg2	43	71	1,40	1,8	2,8	0	7,1	11,0						
PA-14		2Cvg3	71	113	1,38	1,0	2,0	0,0004	5,8	11,6						
PA-14		2Cvgn	113	150	1,38	0,9	1,1	0	4,6	5,6						
PA-14		2C'vg1	150	170	1,14	0,6	1,6	0,006	1,4	3,6						
PA-14		2C'vg2	170	205	1,18	0,5	1,3	0,0036	2,1	5,4						
Organossolo Háplico Hêmico típico, textura argilosa/média/orgânica fíbrica, distrófico, epissáprico e mesoendofíbrico, muito lenhosa, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano																
PA-17	H hístico	Hd1	0	4	0,68	94,4	131,0	0	25,6	35,6	699,5	910,5	699,5	910,5	221,0	369,0
PA-17	H hístico	Hd2	4	12	0,75	88,6	100,7	0	53,0	60,3						
PA-17	H hístico	Hd3	12	29	0,61	129,0	253,9	0	134,2	264,2						
PA-17	H hístico	2Ho1	29	65	0,22	368,3	410,7	0	291,7	325,3						
PA-17	H hístico	2Ho2	65	90	0,17	458,6	530,0	0	194,9	225,2						

Nomen horiz. = nomenclatura horizonte; Prof = profundidade; Ds = densidade do solo; C org = carbono orgânico; C total = carbono total; PMG = proporção materiais grossos; Est = estoque.

[1] Classificados segundo Santos et al. (2018).

Capítulo 23



Avaliação dos teores de fósforo por diferentes métodos nos perfis de solos da XV RCC

Marcos Gervasio Pereira
Matheus da Silva de Carvalho
Ademir Fontana

1. Introdução

O fósforo (P) é um macronutriente essencial e de grande exigência para o desenvolvimento das culturas e, em função do aumento da necessidade de produção mundial, há constante e crescente demanda por fontes desse nutriente, como os fertilizantes fosfatados, levando à pressão do mercado internacional por esse insumo e a variações significativas dos preços.

Diante disso, estudos que possibilitem a quantificação dos teores de P disponível no solo são fundamentais tanto para a formação, ou o estabelecimento, quanto para a manutenção de cultivos agrícolas. No solo, o P está presente principalmente na forma de ânions ($H_2PO_3^-$ e $HPO_3^{=}$) e devido às suas propriedades químicas pode ter a sua disponibilidade influenciada por uma série de fatores, especialmente os teores de argila, a matéria orgânica, a mineralogia da fração argila e o pH do solo (Patle et al., 2019).

Em ambientes tropicais, o intenso intemperismo reduz a capacidade de troca catiônica do solo, tornando os coloides minerais mais eletropositivos e muitas vezes possuindo capacidade de troca aniônica, aumentando a retenção de ânions, como os fosfatos (Novais et al., 2007). Nessas condições, a diminuição do pH e o aumento dos óxidos de ferro (hematita e goethita), que expressam cores vermelhas e amarelas, respectivamente, e de alumínio (gibbsita) no solo, favorecem as ligações covalentes entre a superfície dos óxidos e o fosfato da solução, processo conhecido como adsorção específica, que reduz a solubilidade e a disponibilidade do P. Essa condição torna-se mais acentuada à medida que há aumento dos teores de argila, que são os

principais responsáveis pela retenção de P (Cabral et al., 2020; Fontana et al., 2021; Gotz et al., 2024), levando, assim, à inclusão em manuais de interpretação e recomendação de nutrientes de tabelas cujos níveis de recomendação de aplicação de P variam em função dos teores de argila. Em outro extremo, solos pouco intemperizados com valores de pH neutros ou alcalinos (em torno de 7,0) e com alta disponibilidade de Ca^{2+} favorecem a formação de fosfato de cálcio, um composto de baixa solubilidade que também reduz a disponibilidade de P no solo (Silva et al., 2017).

No Brasil, o método mais utilizado para a extração do P disponível é o Mehlich-1, uma solução diluída composta de dois ácidos fortes, o H_2SO_4 e o HCl. Esse método destaca-se por produzir extratos límpidos, com rápida decantação, sem necessidade de filtragem. Entretanto, é inadequado para solos com pH alto e teores elevados de Ca^{2+}, pois o caráter ácido da solução extratora solubiliza o fosfato de cálcio e superestima os teores de P disponível (Silva; Raij, 1999), tampouco não é adequado para solos com aplicações de fosfato na forma de adubos, o qual extrairá quantidades significativas, superestimando dessa forma os teores de P disponível. Nessas condições, o uso de extratores alcalinos, como o método Olsen, que utiliza solução tamponada de $NaHCO_3$ 0,5 mol L^{-1} a pH 8,5 (Olsen et al., 1954), torna-se mais adequado na quantificação do P disponível em solos de pH elevado, apesar de possuir algumas limitações, como a necessidade de filtragem e a obtenção de extrato de cor amarelada. O princípio do método baseia-se no funcionamento do HCO_3^- como um bom trocador de fosfato, enquanto o Na^+ reduz a atividade do Ca^{2+} que fica em solução (Corrales, 2013).

Considerando a sensível variação da disponibilidade de P no solo com modificações do pH, seja em condições ácidas, devido à ligação com óxidos de ferro e alumínio, seja em condições alcalinas, resultando na formação de fosfato tricálcico, a avaliação adequada da capacidade de adsorção de P torna-se uma importante ferramenta no manejo da fertilidade do solo. Alguns manuais de interpretação e recomendação de nutrientes incluem tabelas cujos níveis de P a serem aplicados são decorrentes dos teores de P remanescente (P-rem). A determinação da capacidade de adsorção pode ser realizada a partir da análise de P-rem, método no qual amostras de terra são colocadas em equilíbrio com uma solução de cloreto de cálcio contendo uma quantidade conhecida de P (Alvarez V. et al., 2017). A disponibilidade de P no solo deve-se a adsorção específica, fixação ou precipitação, e pode ser avaliada pela análise do P-rem. A capacidade tampão do solo e a afinidade do P pelos sítios dos coloides podem funcionar como um indicativo do potencial de remobilização desse elemento (Alvarez V. et al., 2000).

O Mehlich-1 apresenta limitações bastante significativas, uma vez que em solos com elevados teores de P, como os solos que possuem um horizonte superficial A antrópico, o fosfato encontra-se precipitado, mas dessa forma os valores de P são superestimados. Nesse sentido, outros extratores como Olsen e Mehlich-3 foram desenvolvidos para contornar essa limitação decorrente da presença do cálcio (Souza, 2009). Estudos como os de Lehmann et al. (2004), Costa et al. (2017) e Kabala et al. (2018) desenvolvidos com solos que apresentam horizontes A antrópico têm demonstrado que o extrator Mehlich-3 é mais adequado para a quantificação dos teores de P nesses horizontes.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi comparar os valores de P quantificados pelos métodos de Mehlich-1, P remanescente (P-rem) e Olsen nos perfis de solo da XV RCC, assim como comparar os teores de P quantificados pelos métodos de Mehlich-1 e Mehlich-3 em perfis com horizontes antrópicos ou influência antrópica.

2. Material e métodos

2.1 Análises laboratoriais

Os teores de argila, de P determinado pelo método Mehlich-1 (P-Meh-1), Ca^{2+}, Mg^{2+}, carbono orgânico total (COT), capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, e os valores de pH em H_2O, ΔpH (pH KCl – pH H_2O) são oriundos do Capítulo 9 deste Guia de Campo, cujos procedimentos analíticos são aqueles preconizados por métodos contemplados em Teixeira et al. (2017).

Para a extração de P pelo método de Olsen, utilizou-se solução alcalina tamponada de $NaHCO_3$ 0,5 mol L^{-1} a pH 8,5 na proporção solo:extrator 1:20 (Olsen et al., 1954). As análises utilizando P-Ols foram realizadas em perfis selecionados previamente em função de eles apresentarem valores de pH elevado e/ou altos teores de Ca^{2+} + Mg^{2+}.

Para a determinação do P remanescente, empregou-se a solução de $CaCl_2$ 0,010 mol L^{-1}, contendo 60 mg L^{-1} de P na proporção solo:extrator 1:10 (Teixeira et al., 2017).

A solução extratora Mehlich-3 foi preparada de acordo com Mehlich (1984), com os seguintes reagentes e concentrações: CH_3COOH (0,2 mol L^{-1}); NH_4NO_3 (0,25 mol L^{-1}); NH_4F (0,015 mol L^{-1}); HNO_3 (0,013 mol L^{-1}) e EDTA (0,001 mol L^{-1}). O processo de extração foi similar ao utilizado para o Mehlich-1. Após a etapa de extração por cada método, os teores de P foram quantificados por colorimetria (660 nm) a partir da absorbância do complexo

fosfomolíbdico. Esse método foi empregado nos solos que apresentam horizontes diagnósticos superficiais A antrópico.

Para a análise utilizando os extratores de Mehlich-1 e Olsen, amostras foram analisadas por massa, sendo os resultados expressos em mg kg^{-1}. Já para o P remanescente, a análise foi por volume, sendo expressa em mg L^{-1}.

2.2 Análises estatísticas

Os valores de pH em H_2O, ΔpH, Ca, Mg, COT, CTC, teor de argila, P Mehlich-1 (P-Meh-1), P Olsen (P-Ols) e P remanescente (P-rem) foram submetidos ao teste de correlação de Pearson a 5% de significância, utilizando-se o software R (R Core Team, 2023). Adicionalmente, para os solos com horizontes A antrópico e com influência antrópica, foi realizada uma análise de correlação entre os teores de P determinados pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3.

2. Resultados e discussão

De maneira geral, verificou-se que os perfis localizados nos ambientes de várzeas, a saber: AM-05, AM-06, AM-07, AM-11, AM-12, AM-15, AM-16, PA-13, PA-14 e PA-17, apresentaram maiores teores de P, sendo exceção a esse padrão o perfil AM-08. Quanto aos perfis situados nas áreas de terra firme, os maiores valores foram quantificados em AM-01. Os teores de P-Meh-1 variaram de 0 a 334 mg kg^{-1}, enquanto os de P-Ols variaram de 7 a 153 mg kg^{-1}. Os valores de P obtidos pelo extrator de Olsen (P-Ols) foram inferiores aos determinados pelo extrator Mehlich-1 (P-Meh-1) na maioria dos horizontes dos perfis de solo estudados, em especial nos perfis AM-01 e PA-05 (Tabela 23.1). Nos perfis AM-01 e PA-07, os teores de P também foram quantificados com o emprego do extrator Mehlich-3, obtendo-se valores que oscilaram entre 309 e 1421 mg kg^{-1} para o perfil AM-01 e 80 mg kg^{-1} para o horizonte A do perfil PA-07 (Tabela 23.2).

Com o emprego do extrator Mehlich-1, foram quantificados maiores teores de P disponível para alguns perfis, especialmente naqueles em que foram observados menores valores de pH em H_2O. Devido às condições de pH alcalino em alguns horizontes de um pequeno número de perfis, os teores de P pelo método de Mehlich-1 foram superestimados. Esse resultado está relacionado à elevada acidez da solução extratora (pH ≈ 1,5), que intensifica a liberação de P, em solos com grande disponibilidade de cálcio (Ca^{2+}) (Pessoa Júnior, 2016),

favorecendo a formação de fosfato de cálcio (White; Taylor, 1977). Nessas condições, o extrator Olsen torna-se mais adequado devido ao pH mais básico (pH~8,5) da solução extratora.

Os teores de P extraídos pelo Mehlich-3 foram superiores em comparação ao Mehlich-1. Esse padrão também foi observado em outros estudos como os de Bortolon et al. (2009, 2011), Bortolon e Gianello (2010), Schlindwein et al. (2011) e Steiner et al. (2012). Verificou-se que os valores de P extraídos com Mehlich-3 apresentaram correlação positiva e significativa com os obtidos pelo extrator Mehlich-1.

Tabela 23.1. Teores de fósforo obtidos por diferentes métodos e variáveis correlacionadas dos perfis de solo da XV RCC, classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

Horizonte	pH_{H2O}	pH_{KCl}	ΔpH[(1)]	COT[(2)]	Ca[(3)]	Mg[(4)]	CTC[(5)]	Argila	P-Meh-1[(6)]	P-Ols[(7)]	P-rem[(8)]
				g kg^{-1}	------cmol$_c$ kg^{-1}------			%	----mg kg^{-1}-----		mg L^{-1}
AM-01 – Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico											
Au1	5,2	4,8	-0,4	21,7	6,6	1,5	15,8	30	134	41	45
Au2	5,1	4,6	-0,5	16,5	5,3	0,7	13,8	33	121	54	42
Au3	5,1	4,5	-0,6	13,1	3,8	0,9	13,5	37	104	69	44
Au4	5,0	4,3	-0,7	12,7	3,6	0,6	13,5	50	334	76	42
Au5	5,1	4,4	-0,7	11,0	3,6	0,6	13,3	49	308	91	40
ABu	5,0	4,3	-0,7	8,7	2,7	0,6	11,8	50	260	101	39
BAu1	4,9	4,4	-0,5	4,7	1,9	0,4	7,2	58	117	79	43
BAu2	4,9	4,6	-0,3	2,1	1,4	0,4	5,9	66	157	134	46
Bt	4,9	4,5	-0,4	1,4	1,3	0,4	5,6	69	177	153	50
Bw	4,9	4,5	-0,4	1,1	0,9	0,3	4,6	68	181	143	49
AM-02 – Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico											
A	4,6	4,0	-0,6	17,8	1,1	1,0	11,8	59	2		35
BA1	4,5	4,2	-0,3	8,4		0,6	4,8	65	2		38
BA2	4,5	4,1	-0,4	6,0		0,2	3,7	71	2		35
Bw1	4,5	4,1	-0,4	4,1		0,1	2,9	76	1		33
Bw2	4,6	4,2	-0,4	2,9		0,1	2,6	79	3		30
Bw3	4,7	4,2	-0,5	2,3		0,1	2,2	77	3		28
Bw4	4,8	4,4	-0,4	1,7		0,1	1,8	81	3		37
Bwc1	4,9	4,4	-0,5	1,4		0,1	1,8	78	1		22
Bwc2	5,0	4,4	-0,6	1,0		0,1	1,1	76	1		25
AM-05 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico											
Ag	4,5	3,7	-0,8	15,7	8,1	3,0	22	21	49	22	24
2CAg	4,5	3,6	-0,9	14,5	6,6	3,3	21,4	21	44	22	18
3Cg1	4,7	3,6	-1,1	7,9	4,9	3,1	18	21	33	11	19
3Cg2	4,8	3,6	-1,2	7,4	7,0	6,6	21,6	33	11	9	17
4Cg3	5,1	3,9	-1,2	2,1	11,1	6,9	22,6	27	8	15	23
4Cg4	5,5	4,4	-1,1	2,1	12,3	7,8	23,5	26	9	26	24

Continua...

Tabela 23.1. Continuação.

Horizonte	pH_{H2O}	pH_{KCl}	ΔpH[1]	COT[2]	Ca[3]	Mg[4]	CTC[5]	Argila	P-Meh-1[6]	P-Ols[7]	P-rem[8]
				g kg^{-1}	------cmol$_c$ kg^{-1}------			%	----mg kg^{-1}-----		mg L^{-1}
AM-06 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico											
Apg	5,1	4,4	-0,7	9,0	9,2	2,9	17,1	13	96	14	32
2ACg	4,9	4,0	-0,9	5,3	7,8	3,1	16,4	16	79	14	30
3Cg1	5,3	4,3	-1,0	3,2	8,8	2,9	15,4	14	73	15	35
4Cg2	5,4	4,2	-1,2	2,9	9,7	3,5	16,8	20	26	12	34
5Cg3	5,8	4,5	-1,3	1,7	10,2	3,9	16,7	18	19	16	35
6Cg4	6,0	4,6	-1,4	0,7	9,6	4,4	16,4	14	81	13	35
7Cg5	6,0	4,6	-1,4	1,2	10,1	5,7	18,3	17	51	19	41
AM-07 – Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico											
A1	5,2	4,3	-0,9	6,2	10,0	2,6	17,1	12	67	10	35
A2	5,4	4,7	-0,7	7,6	10,5	2,2	16,9	9	71	14	40
BA	5,2	4,2	-1,0	4,3	9,8	2,9	17	11	83	11	39
Bi	5,7	4,6	-1,1	3,2	9,8	3,0	16,1	11	39	13	40
2C	5,8	4,6	-1,2	3,1	10,1	4,0	17,2	15	67	12	44
2Cg	6,6	5,2	-1,4	2,2	11,2	5,4	18,6	15	55	22	47
AM-08 – Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico											
A	4,2	3,8	-0,4	13,7	0,6		7,2	13	2		34
Btg1	4,1	3,8	-0,3	3,4	0,2		5,5	16	1		31
2Btg2	4,2	3,8	-0,4	2,9	0,2		8,8	36	1		22
2Btgf1	4,5	3,9	-0,6	3,1	0,2		11,3	46	0		11
2Btgf2	4,6	3,9	-0,7	1,5	0,1		13,4	47	0		11
2Cg1	4,5	3,8	-0,7	1,2	0,2		14,5	47	0		13
3Cg2	4,4	3,6	-0,8	1,2	0,8		28,5	79	0		10
AM-09 – Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico											
A1	4,1	3,1	-1,0	3,4	0,1		2,5	2	2		58
A2	4,6	3,4	-1,2	3,1	0,1		1,1	0	0		55
AE	4,5	3,3	-1,2	3,8	0,1		2,2	0	1		46
E1	5,4	4,2	-1,2	0,2	0,1		0,1	0	0		52
E2	5,8	5,0	-0,8	0,3	0,1		0,1	0	0		53
2E3	5,8	4,9	-0,9	0,2	0,1		0,1	0	0		52
3Bh	4,7	3,8	-0,9	5,5	0,1		6,0	7	4		49
4Bhsm	4,9	4,3	-0,6	9,0	0,0		8,1	10	53		27
4Bhs	5,0	4,4	-0,6	9,9	0,0		7,8	8	43		20
4Bs	5,0	4,6	-0,4	3,9	0,0		4,1	10	13		19
5C	5,1	4,6	-0,5	2,8	0,0		2,9	19	4		39
AM-11 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico											
A1	5,2	4,7	-0,5	8,0	10,0	3,1	17,6	19	56	20	35
A2	5,1	4,4	-0,7	7,2	9,7	2,8	17,2	18	52	19	34
Cg1	5,1	4,3	-0,8	6,5	9,2	3,0	16,8	17	63	19	35
Cg2	4,7	4,1	-0,6	7,2	8,6	2,9	17,2	16	71	13	26
2Cg3	4,8	4,2	-0,6	5,3	7,1	3,2	16	16	59	29	30
3Cg4	4,7	4,1	-0,6	5,2	6,8	1,8	13,7	12	55	17	29
4Cg5	5,2	4,5	-0,7	6,5	7,1	3,2	14,9	14	61	21	34
4Cg6	5,6	5,0	-0,6	5,8	7,6	2,9	13,3	13	77	16	32

Continua...

Tabela 23.1. Continuação.

Horizonte	pH_{H2O}	pH_{KCl}	ΔpH[(1)]	COT[(2)]	Ca[(3)]	Mg[(4)]	CTC[(5)]	Argila	P-Meh-1[(6)]	P-Ols[(7)]	P-rem[(8)]
				g kg^{-1}	------cmol$_c$ kg^{-1}------			%	----mg kg^{-1}-----		mg L^{-1}
AM-12 – Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico											
Apg1	4,5	3,8	-0,7	22,4	1,6	0,9	18,1	34	12	20	24
2Apg2	4,4	3,8	-0,6	9,8	0,6	0,9	11	25	5	14	28
3Cg	4,8	4,1	-0,7	3,1	0,2		4,5	14	3	18	31
4Abg	5,2	4,3	-0,9	1,9	0,3		3,2	14	4	11	35
4C'g1	5,4	4,4	-1,0	0,6	0,2		2,6	10	6	35	30
5C'g2	5,1	4,4	-0,7	0,4	0,2		2,6	15	7	18	22
AM-15 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico											
Ag	5,5	4,9	-0,6	5,2	4,6	1,9	9,7	4	68	13	42
2C	5,9	5,0	-0,9	1,1	3,3	1,1	5,6	2	68	9	49
3Cg	5,2	4,6	-0,6	6,6	7,9	2,8	14,7	11	67	10	46
4C	5,3	4,6	-0,7	2,1	4,1	1,5	8,2	11	62	11	36
5Abg	4,8	4,2	-0,6	13,1	9,8	3,6	21,3	19	39	20	31
5Cg1	5,9	5,0	-0,9	3,5	7,4	3,2	12,9	11	61	13	34
6Cg2	5,1	4,3	-0,8	4,9	7,6	3,1	14,8	18	44	15	34
6Cg3	5,4	4,5	-0,9	3,6	6,5	2,6	11,8	16	32	12	41
7Cg4	5,5	4,5	-1,0	1,7	6,5	3,0	12,2	12	37	18	43
AM-16 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico											
Ag	4,4	3,6	-0,8	12,3	6,2	3,1	19,1	21	37	17	23
CAg	4,5	3,6	-0,9	11,8	6,4	3,1	18,9	21	35	16	27
2Abg	4,7	3,5	-1,2	12,3	7,7	5,7	25,5	36	6	11	33
2Cg	5,5	3,9	-1,6	3,1	7,4	5,8	17,7	31	2	7	36
2Cgn1	7,3	5,1	-2,2	1,3	8,2	7,1	17,8	19	4	10	44
2Cgn2	7,9	5,6	-2,3	1,1	9,7	9,5	22,1	27	4	16	57
2Cgn3	8,2	5,8	-2,4	1,6	9,6	8,6	20,6	20	12	12	47
PA-05 – Latossolo Amarelo Distrófico típico											
A1	4,2	3,6	-0,6	23,5	1,1	0,5	13,2	75	7		34
A2	4,4	3,7	-0,7	11,8	0,3		7,4	83	3		24
BA	4,3	3,8	-0,5	6,0	0,2		5	89	1		29
Bw1	4,4	3,9	-0,5	5,0	0,2		4,4	91	1		31
Bw2	4,5	4,0	-0,5	2,5	0,1		3,7	83	0		24
Bw3	4,7	4,2	-0,5	1,9	0,3		2,9	75	0		22
PA-06 – Neossolo Quartzarênico Órtico húmico											
A1	4,5	3,7	-0,8	21,0	0,1		14,4	95	8		31
A2	5,2	4,0	-0,8	16,9	0,1		9,7	81	5		23
A3	5,2	4,2	-1,0	13,5	0,1		7,1	80	1		22
A4	5,1	4,2	-0,9	8,0	0,1		4,7	83	1		21
A5	5,2	4,3	-0,9	5,4	0,1		4,4	87	1		27
AC	5,1	4,3	-0,8	2,9	0,1		3,4	81	1		37
C	5,0	4,3	-0,7	1,5	0,1		2,1	95	2		42

Continua...

Tabela 23.1. Continuação.

Horizonte	pH_{H2O}	pH_{KCl}	$\Delta pH^{(1)}$	COT[(2)]	Ca[(3)]	Mg[(4)]	CTC[(5)]	Argila	P-Meh-1[(6)]	P-Ols[(7)]	P-rem[(8)]
				g kg^{-1}	------cmol$_c$ kg^{-1}------			%	----mg kg^{-1}-----		mg L^{-1}
PA-07 – Latossolo Amarelo Distrófico húmico											
A1	4,6	3,9	-0,7	33,6	2,0	0,7	24,9	67	3	14	25
A2	4,7	4,0	-0,7	28,5	0,4		17,6	61	1	9	19
A3	4,6	4,0	-0,6	24,2	0,2		15,6	74	1	7	18
A4	4,6	4,0	-0,6	16,4	0,1		11,4	83	0	19	20
A5	4,5	4,0	-0,5	13,1	0,1		9,3	85	0	8	23
AB	4,6	4,0	-0,6	7,7	0,1		6,5	87	0	8	23
BA	4,6	4,1	-0,5	5,4	0,1		5,2	82	0	7	24
Bw	4,7	4,3	-0,4	3,5	0,1		3,5	79	0	8	21
PA-13 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico											
Apg	4,6	3,9	-0,7	20,7	7,1	3,7	23,7	41	39	25	29
2CAg	4,6	3,9	-0,7	7,2	5,9	3,8	17,8	26	37	17	21
2Cg1	5,2	4,1	-1,1	4,3	7,9	3,9	16,5	23	32	13	37
2Cg2	5,3	4,1	-1,2	3,3	7,8	4,1	16,5	25	12	22	18
3Cgn1	5,4	4,0	-1,4	3,9	8,4	5,1	19,3	31	6	12	23
3Cgn2	5,5	4,0	-1,5	2,4	6,0	4,4	16,8	29	3	28	30
3Cgn3	7,6	5,7	-1,9	1,2	7,6	7,5	21,0	30	5	19	46
PA-14 – Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico											
A	4,3	4,0	-0,3	16,2	11,7	6,4	36,8	53	17	16	25
2CAvg	4,7	3,8	-0,9	8,4	9,6	6,6	23,9	50	6	14	33
2Cvg1	4,8	3,8	-1,0	2,3	7,0	6,2	19,0	37	2	15	32
2Cvg2	5,2	4,0	-1,2	1,8	7,5	8,4	20,1	42	1	10	39
2Cvg3	6,9	5,6	-1,3	1,0	9,3	14,1	25,9	39	1	18	33
2Cvgn	7,7	6,3	-1,4	0,9	10,4	15,8	28,4	41	1	9	44
2C'vg1	8,2	7,2	-1,0	0,6	10,1	10,2	21,6	30	3	10	41
2C'vg2	8,2	7,1	-1,1	0,5	11,9	10,4	23,7	31	7	19	39
PA-17 – Organossolo Háplico Hêmico típico											
Hd1	4,5	3,8	-0,7	94,4	9,5	1,5	40,1	39	7	16	36
Hd2	4,5	3,7	-0,8	88,6	5,4	1,2	40,9	42	4	13	33
Hd3	4,1	3,4	-0,7	129,0	2,5	1,1	68,6	28	2	15	25

[(1)]ΔpH = pH KCl – pH H_2O; [(2)]COT = carbono orgânico total; [(3)]Ca = cálcio trocável; [(4)]Mg = magnésio trocável; [(5)]CTC = capacidade de troca catiônica; [(6)]P-Meh-1: fósforo pelo método Mehlich-1; [(7)]P-Ols: fósforo pelo método de Olsen; [(8)]P-rem: fósforo remanescente.

Fonte: Santos et al. (2018).

Tabela 23.2. Teores de fósforo determinados com o extrator Mehlich-3 nos perfis AM-01 e PA-07, classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

Horizonte	mg kg^{-1}
AM-01 – Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico	
Au1	309
Au2	381
Au3	423
Au4	1392
Au5	1421
ABu	1294
BAu1	572
BAu2	630
Bt	-
Bw	-
PA-07 – Latossolo Amarelo Distrófico húmico	
A1	80
A2	4
A3	3
A4	3
A5	3
AB	9
BA	-
Bw	-

Fonte: Santos et al. (2018).

Alguns horizontes dos perfis AM-07 (Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico) e AM-15 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico) apresentam valores de pH em $H_2O \geq 5,8$ e de Ca^{2+} trocável mais elevados (variando de 3,7 a 10,4 $cmol_c$ kg^{-1}) em comparação aos demais horizontes dos perfis estudados. Observa-se teores elevados de P extraído pelo Mehlich-1 nesses perfis, tendo em vista que a acidez do extrator Mehlich-1 (pH ≈ 1,5) resultou na solubilização dessas formas de P.

Quanto aos valores de P remanescente (P-rem), foi observada grande variabilidade entre os perfis de solos estudados, entre 10 e 58 mg L^{-1} (Tabela 23.1). Os maiores valores foram verificados nos horizontes superficiais dos perfis AM-01, AM-09, AM-15, AM-16 e PA-14, sendo predominantemente > 40 mg L^{-1}. Nesses horizontes, o predomínio da textura franco-argiloarenosa ou argiloarenosa e ΔpH mais baixo (mais negativo, ou até negativo, *e.g.*, AM-01 e AM-09) em comparação aos demais horizontes dos perfis refletem a menor capacidade de adsorção de fosfatos, o que explica os altos valores de P-rem (Roy et al., 2016).

Pela análise da Figura 23.1, verifica-se que não houve correlação significativa entre P-rem e argila. Entretanto, foi verificada correlação positiva entre os teores de P-Ols com P-Meh-1, P-rem e argila.

Em relação aos valores de P obtidos pelo Mehlich-3, foi possível observar que foram superiores aos determinados pelo Mehlich-1 nos horizontes antrópicos. Os maiores valores de P extraídos por Mehlich-3 podem estar relacionados ao fato de este método extrair preferencialmente P ligado a Fe e Al, que são as formas predominantes nos solos antrópicos, enquanto o Mehlich-1 extrai de forma preferencial as formas de P ligado ao Ca^{2+} (Bortolon et al., 2009). Esse padrão pode ser decorrente da quantificação do P ligado a apatitas biogênicas e é também observado nos estudos de Lehmann et al. (2004) e Falcão et al. (2009) ao analisar as Terras Pretas no Amazonas. Adicionalmente, o extrator Mehlich-3, por causa da presença do EDTA, pode extrair formas orgânicas de P (Gatiboni et al., 2005). Pela análise da Figura 23.1, verifica-se não haver correlação significativa entre P-rem, P-Meh-1 e P-Ols e argila. Na Figura 23.2 é apresentada a correlação obtida entre os teores de P determinados pelos métodos Mehlich-1 e Mehlich-3.

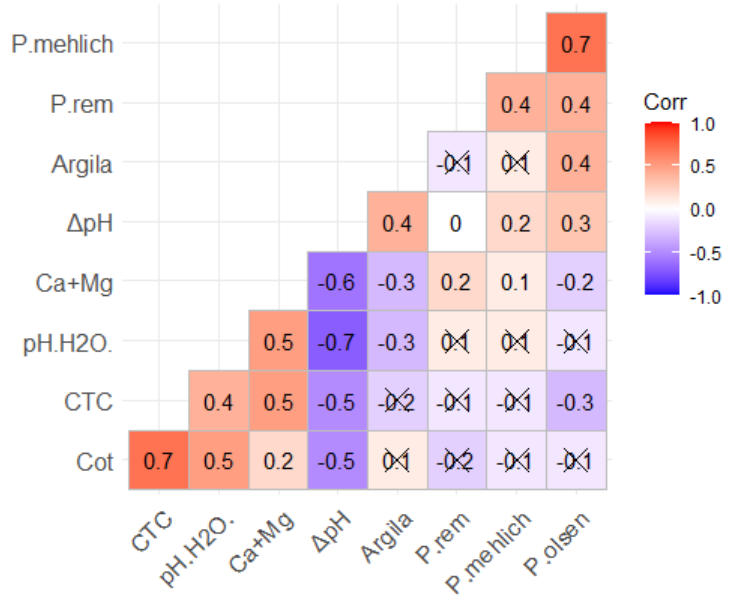


Figura 23.1. Matriz de correlação de Pearson a 5% de significância entre os atributos dos perfis em estudo (horizontes superficiais e subsuperficiais). Legenda: ΔpH = pH KCl – pH H_2O; COT = carbono orgânico total; Ca + Mg = cálcio trocável + magnésio trocável; CTC = capacidade de troca catiônica; P-Meh-1: fósforo pelo método Mehlich-1; P-Ols: fósforo pelo método de Olsen; P-rem: fósforo remanescente. Valores não assinalados com X apresentam significância a 5% de probabilidade.

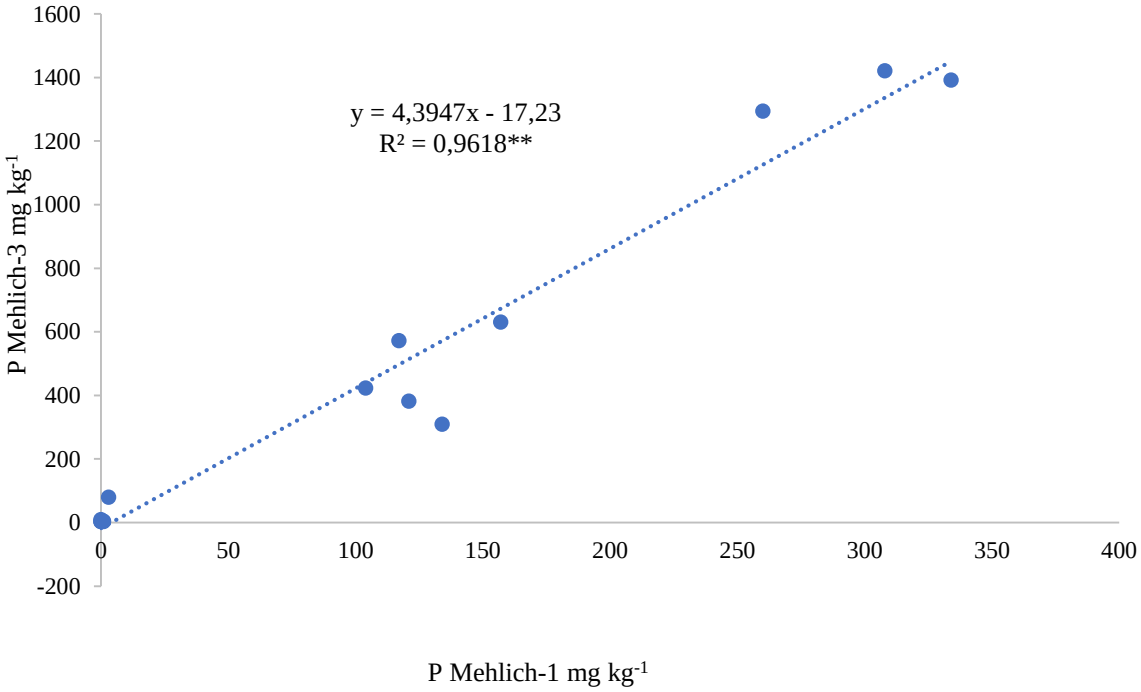


Figura 23.2. Correlação entre os teores de P determinados pelo extrator Mehlich-1 e Mehlich-3.

Ao se analisar a Figura 23.2, verifica-se haver correlação entre os métodos Mehlich-1 e Mehlich-3, indicando que os resultados obtidos através da solução extratora Mehlich-1 podem ser convertidos para teores determinados por Mehlich-3. Esse resultado é concordante com os estudos desenvolvidos por Kabala et al. (2018) analisando solos da Polônia e do Brasil, com o emprego de diferentes extratores de P. Os autores verificaram que o extrator Mehlich-3 foi o mais recomendado em comparação aos outros métodos de determinação de P. Esses achados reforçam a aplicabilidade do extrator Mehlich-3 como ferramenta confiável na estimativa do P disponível, sobretudo em solos com características que limitam a eficiência do Mehlich-1. Assim, a existência de correlação positiva entre os métodos permite não apenas a conversão segura entre os resultados, mas também amplia as possibilidades de escolha metodológica em estudos de classificação de solos.

3. Considerações finais

De maneira geral, verificou-se que os perfis localizados em ambientes de várzeas, a saber: AM-05, AM-06, AM-07, AM-11, AM-12, AM-15, AM-16, PA-13, PA-14 e PA-17, apresentaram maiores valores de P em comparação aos localizados nas áreas de terra firme, sendo exceção a esse padrão o perfil AM-08. Quanto aos perfis localizados nas áreas de terra firme, os maiores valores foram quantificados no perfil AM-01.

Para os perfis AM-02 e PA-05 com o emprego da solução Mehlich-3, foram quantificados maiores teores de P em comparação aos outros métodos utilizados. Adicionalmente foi observada correlação positiva e significativa entre os teores de P extraídos pelos métodos Mehlich-1 e Mehlich-3, o que possibilita a conversão dos resultados obtidos com o extrator Mehlich-1.

O extrator Mehlich-3 apresenta potencial para ser utilizado na identificação do horizonte A antrópico, sendo ainda necessário o emprego do extrator em um maior número de horizontes antrópicos.

Referências

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; CANTARUTTI, R. B.; TEIXEIRA, P. C.; CAMPOS, D. V. B. de. Fósforo remanescente. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. pt. 2, cap. 25, p. 337-342. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1088719. Acesso em: 12 ago. 2025.

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. de. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 27-32, 2000.

BORTOLON, L.; GIANELLO, C. Extração de cobre e de zinco por soluções multielementares em solos do sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 40, n. 3, p. 670-673, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000035.

BORTOLON, L.; GIANELLO, C.; SCHLINDWEIN, J.A. Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo para o milho pelos métodos Mehlich-1 e Mehlich-3. **Scientia Agraria**, v. 10, n. 4, p. 305-312, 2009. DOI: https://doi.org/10.5380/rsa.v10i4.14728.

BORTOLON, L.; GIANELLO, C.; WELTER, S.; ALMEIDA, R. G. O.; GIASSON, E. Simultaneous extraction of phosphorus, potassium, calcium and magnesium from soils and potassium recommendations for crops in Southern Brazil. **Pedosphere**, v. 21, n. 3, p. 365-372, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/S1002-0160(11)60137-9.

CABRAL, C. E. A.; CABRAL, C. H. A.; SANTOS, A. R. M.; CARVALHO, K. S.; BONFIM-SILVA, E. M.; MOTTA, L. J. M.; MATTOS, J. S.; ALVES, L. B.; BAYS, A. P. Ammonium sulfate enhances the effectiveness of reactive natural phosphate for fertilizing tropical grasses. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 8, n. 2, p. 86-92, 2020. https://doi.org/10.17138/TGFT(8)86-92.

CORRALES, R. A. F. **Avaliação e calibração de extratores de fósforo em três diferentes ordens de solo da Costa Rica**. 2013. 100 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. DOI: https://doi.org/10.11606/D.11.2013.tde-27032013-132735.

COSTA, A. da R.; SILVA JÚNIOR, M. L.; KERN, D. C.; RUIVO, M. de L. P.; MARICHAL, R. Forms of soil organic phosphorus at black earth sites in the Eastern Amazon. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 1-12, 2017. DOI: https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170001.

FALCÃO, N.; MOREIRA, A.; COMENFORD, N. B. A fertilidade dos solos de Terra Preta de índio da Amazônia Central. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia**: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p. 189-200. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/580068. Acesso em: 12 ago. 2025.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; SANTOS, J. J. S. dos; DONAGEMMA, G. K.; SANTOS, O. A. Q. dos. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de textura arenosa com fertilidade construída. **Revista Agrogeoambiental**, v. 13, n. 3, p. 606-614, 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v13n320211639.

GATIBONI, L. C.; RHEINHEIMER, D. dos S.; FLORES, A. F. C.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J.; LIMA, M. A. S. de. Phosphorus forms and availability assessed by 31P-NMR in successive cropped soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 36, n. 19/20, p. 2625-2640, 2005. DOI: https://doi.org/10.1080/00103620500301917.

GOTZ, L. F.; ALMEIDA, A. N. F. de; NUNES, R. de S.; CONDRON, L. M.; PAVINATO, P. S. Assessment of phosphorus use and availability by contrasting crop plants in a tropical soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 60, p. 603-612, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/s00374-024-01833-w.

KABALA, C.; GALKA, B.; LABAZ, B.; ANJOS, L.; CAVASSANI, R. de S. Towards more simple and coherent chemical criteria in a classification of anthropogenic soils: a comparison of phosphorus tests for diagnostic horizons and properties. **Geoderma**, v. 320, p. 1-11, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.01.024.

LEHMANN, J.; CAMPOS, C. V.; VASCONSELOS, de M. J. L.; GERMAN, L. Sequential P fractionation of relict Anthropogenic Dark Earths of Amazonia. In: GLASER, B.; WOODS, W. I. (ed.). **Amazonian Dark Earths**: explorations in space and time. Berlin: Springer, 2004. cap. 8, p. 113-123. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-05683-7_8.

MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 15, n. 12, p. 1409-1416, 1984. DOI: https://doi.org/10.1080/00103628409367568.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.

OLSEN, S. R.; COLE, C. V.; WATENABE, F. S.; DEAN, L. A. **Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate**. Washington, DC: USDA, 1954. 22 p. (USDA. Circular, 939).

PATLE, T.; KHADDAR, V. K.; TIWARI, R.; PARA, P. Evaluation of phosphorus availability and phosphorus fixation in four different soils orders. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, n. 2, p. 2087-2090, 2019. Disponível em: https://www.phytojournal.com/archives/2019/vol8issue2/PartAI/8-2-182-860.pdf. Acesso em: 12 ago. 2025.

PESSOA JÚNIOR, E. S. F.; SANTANA, G. P. Study of the extractable phosphate in the Archaeological Black Earth. **Review of Research Journal**, v. 6, n. 3, p. 1-11, 2016. Disponível em: https://oldror.lbp.world/UploadedData/2755.pdf. Acesso em: 18 ago. 2025.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023.

ROY, E. D.; RICHARDS, P. D.; MARTINELLI, L. A.; DELLA COLETTA, L.; LINS, S. R. M.; VAZQUEZ, F. F.; WILLING, E.; SPERA, S. A.; VANWEY, L. K.; PORDER, S. The phosphorus cost of agricultural intensification in the tropics. **Nature Plants**, v. 2, n. 5, 16043, 2016. DOI: https://doi.org/10.1038/nplants.2016.43.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003. Acesso em: 12 ago. 2025.

SCHLINDWEIN, J. A.; BORTOLON, L.; GIANELLO, C. Soil phosphorus available for crops and grasses extracted with three soil-test methods in Southern Brazilian soils amended with phosphate rock. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 42, n. 3, p. 283-292, 2011. DOI: https://doi.org/10.1080/00103624.2011.538881.

SILVA, F. C. da; RAIJ, B. van. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 2, p. 267-288, 1999.
DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000200016.

SILVA, M. B.; ANJOS, L. H. C. dos; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; COOPER, M.; CAVASSANI, R. de S. Soils in the karst landscape of Bodoquena plateau in cerrado region of Brazil. **Catena**, v. 154, p. 107-117, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.02.022.

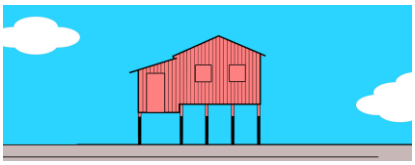
SOUZA, K. W. de; LIMA, H. N., SCHAEFER, C. E. G. R.; TEIXEIRA, W. G.; PULROLNIK, K.; CORRÊA, G. R. Phosphorus forms in cultivated Indian Black Earth (Anthrosols) of varying texture in the Brazilian Amazon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1347-1355, 2009.
DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500027.

STEINER, F.; LANA, M. do C.; ZOZ, T.; FRANDOLOSO, J. F.; FEY, R. Extraction methods and availability of phosphorus for soybean in soils from Paraná State, Brazil. **Semina**: ciências agrárias, v. 33, n. 3, p. 1005-1014, 2012. DOI: https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n3p1005.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085209. Acesso em: 12 ago. 2025.

WHITE, R. E.; TAYLOR, A. W. Effect of pH on phosphate adsorption and isotopic exchange in acid soils at low and high additions of soluble phosphate. **Journal of Soil Science**, v. 28, n. 1, p. 48-61, 1977.
DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1977.tb02295.x.

Capítulo 24



Memórias bióticas de solos de planície do Rio Amazonas - XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos

Marcia Regina Calegari
Carolina Glaeser Benincá
Altair Bennert
Christianne Farias Fonseca
Jeferson Luiz dos Santos

1. Introdução

Os silicofitólitos são biomineralizações de sílica solúvel ($SiO_2.nH_2O$). A sílica solúvel é absorvida do solo pelas raízes das plantas, transportada pelo sistema vascular e depositada nas paredes, cavidades e nos espaços intercelulares do tecido (Sangster et al., 2001). O termo fitólito é reservado para estruturas silicificadas maiores que 5 µm, produzidas em tecidos de plantas superiores (Epstein, 2001). Os morfotipos de fitólitos variam conforme a área dos tecidos vegetais em que são formados, entretanto, aqueles produzidos dentro de uma mesma família botânica revelam uma semelhança consistente de formas. Isso favorece o seu uso como um marcador da presença de plantas e as condições de seu desenvolvimento ou uso.

Como marcador ambiental, os silicofitólitos destacam-se por apresentar alta durabilidade e alto grau de conservação em diferentes tipos de solos e condições edáficas, resistência ao fogo (queimada e incêndios) e ao hidromorfismo (Pearsall, 2016). Também apresentam morfologias diagnósticas e alta produção que permitem identificar e caracterizar comunidades de vegetação, em nível de família modernas e, sobretudo, pretéritas preservadas em solos, bem como definir a espacialização das comunidades vegetais, as condições ambientais e sua temporalidade (Calegari et al., 2022). Essas informações são importantes para o entendimento de dois fatores de formação do solo: o clima e os organismos.

Assim, os fitólitos são uma excelente ferramenta para reconstituir os conjuntos de vegetação do passado porque são depositados localmente (principalmente in situ), são taxonomicamente diagnosticados em níveis de subfamília para alguns grupos (por exemplo, Poaceae), são resistentes aos processos tafonômicos e comuns na maioria dos ambientes de solo (Hyland, 2014). Eles permitem que os solos funcionem como excelentes reservatórios em alta resolução de estruturas de vegetação, pois representam uma assembleia de morfologias de fitólitos altamente localizadas, temporalmente restritas e relativamente representativas (Hyland, 2014). Por isso, na ciência do solo, a análise fitolítica tem sido empregada como técnica complementar às análises de rotina (físicas, químicas e mineralógicas) para auxiliar no

entendimento das condições de formação e desenvolvimento dos solos (Calegari et al., 2013a; Silva Neto et al., 2019; Chiapini et al., 2023; Marcolin et al., 2023).

Ao se perceber o estágio de preservação e os ciclos de deposição de fitólitos no solo, pode-se compreender as variações físico-químicas que o solo vivenciou desde a incorporação dos fitólitos em sua matriz mineral (Calegari; Vidal-Torrado, 2020; Kraushaar et al., 2021). Assim, diretamente, a análise de fitólitos permite identificar a estrutura e os tipos de vegetações que se desenvolveram ao longo da formação do solo e inferir as condições ambientais associadas a essa vegetação e a interpretação do clima passado e da dinâmica do ecossistema (Macedo, 2014; McMichael et al., 2015; Watling et al., 2023). Em solos cuja gênese está associada à presença humana, como a Terra Preta de Índio (TPI) encontrada em vária regiões da Amazônia, os fitólitos também podem auxiliar na identificação das plantas que foram usadas pelos grupos humanos (dietas, agricultura etc.) (Macedo, 2014; McMichael et al., 2015; Watling et al., 2023), e no exame de fenômenos mais recentes, como os impactos humanos na paisagem (Kraushaar et al., 2021).

Esta é a segunda vez que se aplica análise de fitólitos em Reuniões de Correlação e Classificação de Solos no Brasil; a primeira vez foi na XIII RCC, realizada no Maranhão. O objetivo do uso da análise de fitólitos nesse tipo de reunião técnica é identificar as formações e a estrutura de vegetação, além dos possíveis usos da terra nas áreas de planície ao longo do Rio Amazonas, e contribuir para o entendimento das condições de formação dos solos estudados e auxiliar na elucidação de possíveis dúvidas quanto à classificação dos solos analisados.

Em geral, considera-se que o conjunto de fitólitos no solo reflete a vegetação local devido ao seu modelo de deposição in situ (escala local de deposição) (Ge et al., 2020; Oliveira et al., 2024). Entretanto, dadas as dimensões da planície, a diversidade de solos no médio curso do Rio Amazonas e o aluvionamento moderno, de idade quaternária (vide Capítulo 3), a concepção de disposição in situ dos fitólitos não se aplica em sua totalidade no trecho entre Manaus, AM, e Santarém, PA. Isso acontece porque a origem das assembleias fitolíticas incorporadas a esses solos pode não ser exclusiva da vegetação do entorno dos perfis, sobretudo nos horizontes mais profundos, porque pode estar associada ao aluvionamento moderno e ao regime de cheias do rio.

O solo é um recurso comum e acessível para registros de vegetação, e os solos modernos podem registrar a trajetória da vegetação de milhares de anos por meio de fitólitos ali preservados (Hyland, 2014). Para a XV RCC, foram selecionados oito perfis representativos das principais classes de solos identificados ao longo do médio curso do Amazonas. Embora sem as análises de datação, que permitiriam estabelecer a cronologia de possíveis eventos ambientais nas áreas estudadas, procurou-se realizar o estudo paleoambiental a fim de contribuir com a identificação das condições de formação dos solos estudados e verificar aspectos que caracterizem a sua pedogênese. Neste capítulo são apresentadas imagens dos principais morfotipos identificados, bem como as características de preservação. Também são exibidos os resultados em forma de gráficos que indicam os diferentes momentos ambientais (zonas fitolíticas) identificados ao longo da formação dos perfis de solos analisados.

2. Material e métodos

Para a análise fitolítica foram selecionados oito perfis de solos (Tabela 24.1). São perfis que apresentam atributos morfológicos, físicos e químicos variados, conforme foram descritos no Capítulo 9.

Tabela 24.1. Identificação e classificação dos perfis coletados para estudo fitolítico na XV RCC

Perfil	Classificação do Solo[(1)]	Posição na paisagem, cobertura vegetal e uso da terra atual
AM-01	Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico, textura média/argilosa/muito argilosa, epieutrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.	Platô com mata degradada.
AM-08	Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico, textura média/argilosa/muito argilosa, A moderado, epiálico, Ta, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.	Terraço aluvial pleistocênico; capoeira e pastagem plantada (ou natural?).
AM-09	Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa, A fraco, endodúrico, fase campinarana equatorial arbórea, relevo plano.	Campinarana arborizada (relativamente preservada).
AM-11	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico, textura siltosa-média/média-siltosa, A moderado, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano.	Área baixa de várzea holocênica; campo e pastagem natural, com invasoras.
AM-15	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/arenosa/siltosa, A fraco, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.	Dique aluvionar holocênico; pastagem natural, com invasoras.
PA-06	Neossolo Quartzarênico Órtico húmico, textura arenosa-média, álico, fase cerrado equatorial subcaducifólio, relevo plano.	Colina baixa.
PA-07	Latossolo Amarelo Distrófico húmico, textura muito argilosa, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.	Platô; mata degradada.
PA-17	Organossolo Háplico Hêmico típico, textura argilosa/média/orgânica fíbrica, distrófico, epissáprico e mesoendofíbrico, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.	Campo flúvio-lacustre holocênico; pasto natural.

[(1)] Classificação segundo Santos et al. (2018).

2.1. Amostragem

A coleta para a análise de fitólitos foi realizada sistematicamente a cada 10 cm, da base para o topo dos perfis analisados.

2.2. Extração de fitólitos

A extração dos fitólitos preservados no solo foi realizada por meio das etapas do Método 2, descrito em Calegari et al. (2013b), que consiste na conjugação dos procedimentos preconizados por Mehra e Jackson (1960), para remoção dos recobrimentos de matéria orgânica e ferro livre (ditionito-citrato-bicarbonato de sódio), e por Madella et al. (1998), para separação dos fitólitos por flutuação, utilizando-se solução de politungstato de sódio com densidade

2,35 g cm^{-3}. As análises foram realizadas usando-se 4 gramas de solo (fração TFSA < 2mm) de cada amostra.

A fração recuperada ao final da extração, incluindo fitólitos e outros corpos silicosos (diatomáceas, espículas e gemoscleras de esponjas), denominada de fração insolúvel ao ácido (FIA), foi disposta em lâminas para microscópio usando-se óleo de imersão para observações em 3D, identificação e classificação dos morfotipos. Foram contados no mínimo 200 morfotipos identificáveis de fitólitos com significado taxonômico em cada amostra de solo, conforme Carnelli (2002). As observações e as fotomicrografias foram realizadas em um microscópio petrográfico Zeiss Axioscope, com magnificação de 400x.

Os resultados parciais são apresentados em tabelas (número de morfotipos identificados), gráficos e pranchas, com unidades de medida em μm e nomenclatura de acordo com *International Code for Phytolith Nomenclature* – ICPN 2.0 (Neumann et al., 2019).

2.3. Contagem, identificação e classificação dos fitólitos

Para fins de interpretação do significado taxonômico e ambiental da assembleia fitolítica, os morfotipos foram agrupados de acordo com o significado taxonômico de cada grupo (Tabela 24.2), baseado em autores como: Mulholland (1989), Twiss (1992), Fredlund e Tieszen (1997), Runge (1999), Piperno (2006), Mercader et al. (2009), Montti et al. (2009), Sánchez et al. (2010), Fenwick et al. (2011), Chen e Smith (2013), Patterer (2014), Jattisha e Sabu (2015), Neumann et al. (2017), Majumder et al. (2020), Murungi e Bamford (2020), Witteveen et al. (2022) e Brightly et al. (2024).

Tabela 24.2. Representação esquemática dos principais morfotipos de fitólitos identificados com significado taxonômico e ecológico.

Divisão	Classe	Ordem	Família	Subfamília	Gênero	MORFOTIPO(1)
Angiosperma	Monocotiledônea	Poales	Poaceae	Panicoideae		BILOBATE CROSS POLYLOBATE
					Zea mays	CROSS
						RONDEL ECHINATE TOP
						BULLIFORM FLABELLATE (WITH FILLING)
				Aristidoideae		BILOBATE
				Pooideae		CRENATE TRAPEZIFORM SHORT CELL RONDEL
					Stipa	BILOBATE TYPE *STIPA*
				Chloridoideae		SADDLE
				Bambuseaceae	*Bambuseae*	CHUSQUEA BULLIFORM TRAPEZIFORM BILOBATE ECHINATE

Continua...

Tabela 24.2. Continuação.

Divisão	Classe	Ordem	Família	Subfamília	*Gênero*	MORFOTIPO(1)
Angiosperma	Monocotiledônea	Poales	Bambuseaceae	Oryzoideae	*Oryza*	SCOOPED BILOBATE BULLIFORM FLABELLATE ORNATE
						BULLIFORM ELONGATE ACICULAR ACUTE BULBOUSUS CLAVATE
			Cyperaceae			CONICAL ELONGATE WITH SUCKERS
		Arecales	Arecaceae (Palmaceae)			ELLIPSOIDAL ECHINATE SPHEROID ACUTE PROJECTIONS SPHEROID ECHINATE SPHEROID SYMMETRICAL SPHEROID TUBERCULATE
						SPHEROID WITH ROUNDED PROJECTIONS SPHEROID ROUNDED CONICAL ECHINATE FUSIFORM ECHINATE RENIFORM ECHINATE
		Zingiberales	Heliconiaceae	Heliconia		FUSED CAVATE TABULAR GRANULATE ENSETE (VOLCANIFORM) DRUSE KNOBBY TABULAR VERRUCATE
			Orchidantha			
			Marantaceae	Musaceae		
				Marantha		
				Costaceae		
	Eudicotiledônea	Asterales Magnoliales Fabales Sapindales	Asteraceae			PERFORATED PLATE SPHEROID FACETED SPHEROID CONCENTRIC BLOCKY POLYGONAL SINUATE
			Ananociaceae			
			Fabaceae			
			Sapindaceae	Burseraceae		
			Zingileraceae			SPHEROID ORNATE GRANULATE
		Malpighiales	Euphorbiaceae			TABULAR ELLIPSOIDAL SPHEROID ORNATE MICROGRANULATE
		Sem família definida				ELLIPSOID ORNATE POLYHEDRAL POLYHEDRAL FACETED SPHEROID ORNATE SPHEROID PSILATE TABULAR
Sem divisão definida						TRACHEID STOMATE

(1) Os nomes são mantidos em inglês para correspondência com a literatura internacional e por não haver uma tradução oficial para a língua portuguesa.

Fonte: Adaptado de Calegari (2008).

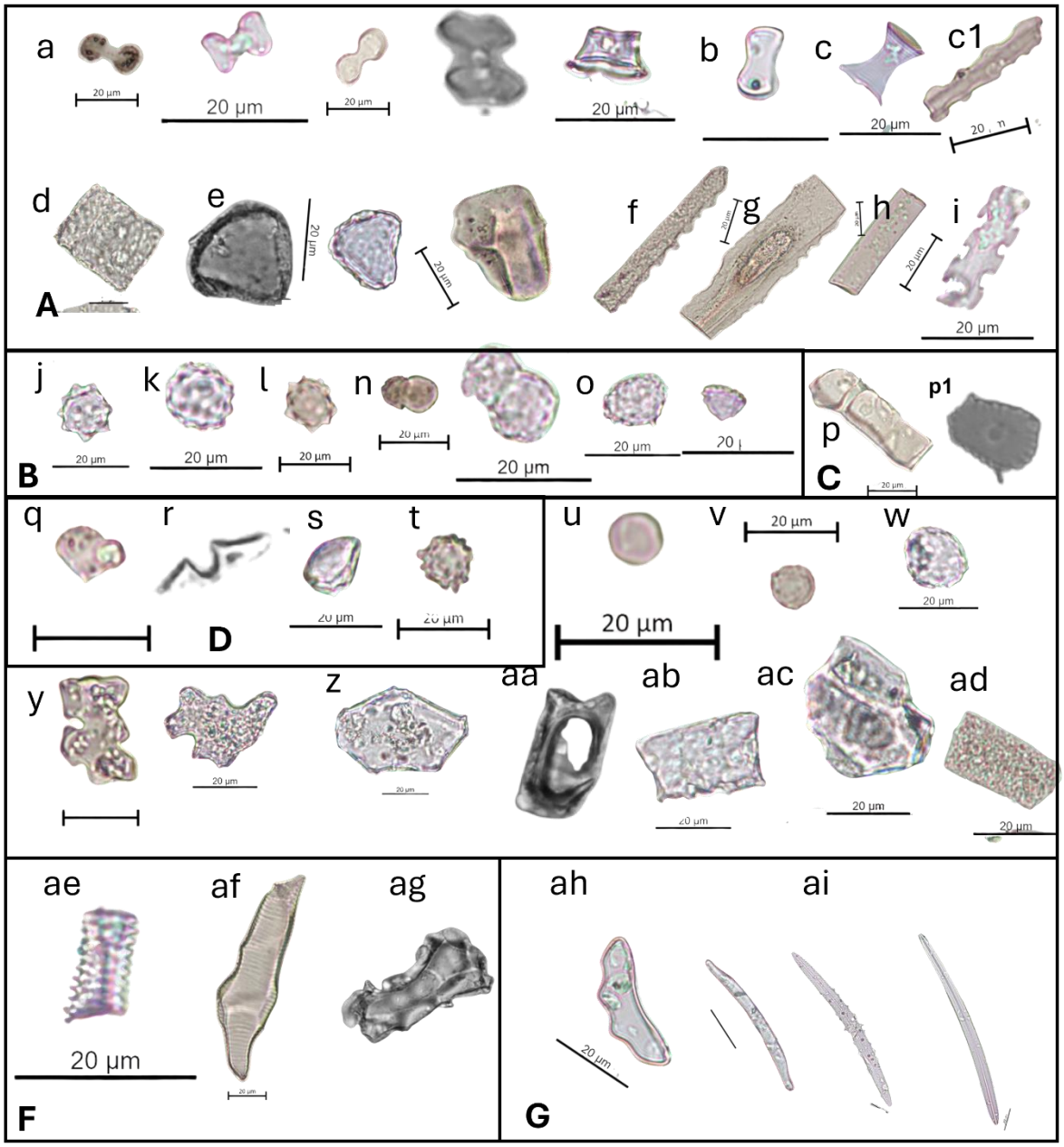
2.4. Análises estatísticas

Os resultados da contagem dos fitólitos foram organizados em tabelas com valores absolutos. Elas foram utilizadas para determinação das porcentagens de cada morfotipo e classes taxonômicas de fitólitos. Os cálculos das porcentagens foram realizados no programa Tilia. A análise de agrupamentos por similaridade, utilizada na interpretação paleoambiental, foi realizada por meio do programa CONISS, que processa a análise de agrupamento estratigraficamente, delimitada pelo método da soma incremental dos quadrados (Grimm, 1987). Os resultados foram organizados em figuras, com o gráfico de linhas representando a distribuição das porcentagens de cada morfotipo e de classes taxonômicas de fitólitos, e o dendrograma indicando os agrupamentos hierárquicos utilizados para a definição das zonas fitolíticas em cada perfil estudado.

3. Resultados e discussão

3.1. Assembleia de fitólitos e significado ambiental

No conjunto de perfis analisados foram identificados 55 morfotipos básicos, agrupados taxonomicamente em 12 famílias (Tabela 24.2). Esse conjunto de morfotipos permitiu identificar estruturas de vegetação e inferir variações de umidade no ambiente, assim como a ocorrência de indícios de agricultura. A Figura 24.1 ilustra os morfotipos mais representativos neste estudo.



Fotos: Carolina G. Beninca.

Figura 24.1. Principais morfotipos de fitólitos encontrados nos perfis analisados no médio curso do Rio Amazonas.

Legenda: **A -** Família Poaceae (a. Bilobates; b. Saddle; c. Rondel; c1: Crenate; d. Block; e. Bulliform Flabellate; f. Elongate dentate; g. Elongate echinate/sinuate; h. Elongate entire; i. Elongate castellate); **B** – Família Arecaceae (j. Spheroid symmetric; k. Spheroid Acute projections; l. Spheroid echinate; n. Reniform echinate; o. Conical echinate); **C**- Família Cyperaceae (p. Elongate with suckers; p1. Papillae); **D** - Ordem Zimberales (q. volcaniform quebrado; r. Fused cavate; s. Conical rugose; t. Spheroid ornate microgranulate); **E** – Classe Eudicotiledoneae (u. Spheroid psilate; v-w. Spheroid rugose; y. Tabular sinuate; z. Tabular polygonal; aa. Tabular ovate; ab. Carenate; ac. Polyhedral; ad. Tabular granulate); **F** - Divisão indefinida (ae - af Tracheid annulate; ag. Elongate faceted); **G** – Outros corpos silicosos (ah. Diatomácea; ai. Espículas de esponja).

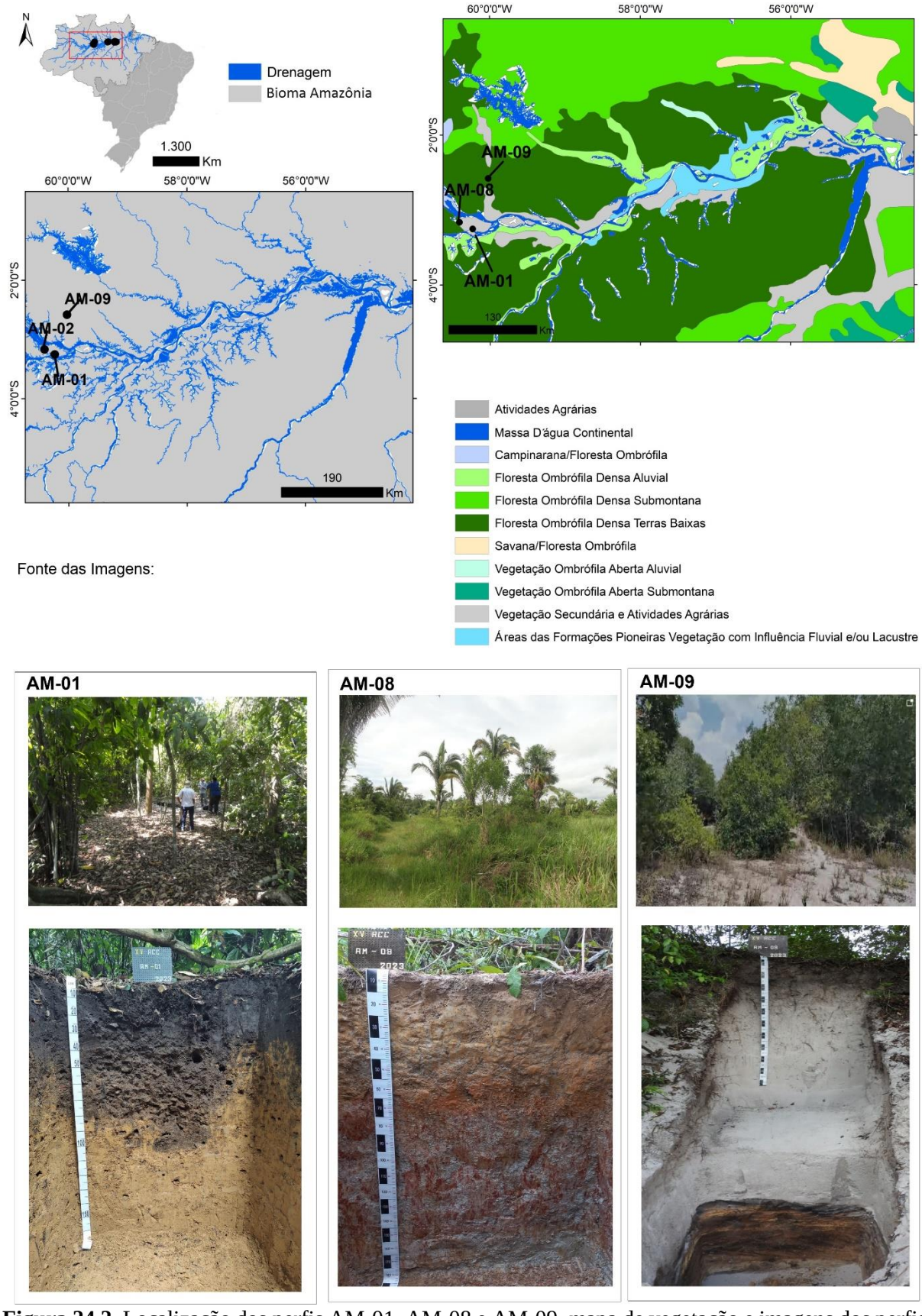
AM-01 - Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico:

O perfil AM-01, classificado como um Argissolo Amarelo Distrófico antrópico, apresenta textura média/argilosa/muito argilosa e foi descrito em um platô, sob mata secundária (Figura 24.2). Ele está inserido em uma grande área de Terra Preta de Índio dentro da estação da Embrapa, no município de Iranduba, AM. Estudo fitolítico, realizado por Macedo (2014), analisou dois perfis com horizonte antrópico, um Argissolo Amarelo Distrófico (P1) e um Plintossolo Argilúvivo Eutrófico (P2).

A assembleia fitolítica no P1, que mais se aproxima do AM-01, é composta predominantemente de fitólitos produzidos por plantas de arbóreas, lenhosas, pertencentes à classe das eudicotiledôneas, representadas pelo morfotipo SPHEROID ORNATE (SPH_ORN) (Figura 24.3). A frequência desse morfotipo nas assembleias variou entre 24% (5-10 cm) e 51% (90-95 cm). Os morfotipos TABULAR (TAB) e POLYHEDRAL (POH) (antigo *block* de eudicot), ambos com baixo significado taxonômico entre as eudicotiledôneas, predominaram nas amostras abaixo do horizonte antrópico (a partir de 120 cm) até a base do perfil. Outros morfotipos dessa classe foram identificados em menor frequência, como a placa perfurada, encontrada nas camadas superficiais, produzida por Asteraceae; o FACETATE TERMINAL TRACHEID (FAC_TER_TRA), produzido em Magnoliaceae, Annonaceae e em outras eudicotiledôneas; e o TRACHEID ANNULATE (TRA_ANN) (vasos condutores-xilema silicificados).

A baixa percentagem de fitólitos de Poaceae nos horizontes antrópicos indica que em nenhum momento houve predomínio de gramíneas nessas áreas. Assim, com o findar das atividades antrópicas, houve a instalação da floresta secundária (capoeira) (Macedo, 2014).

A classe das monocotiledôneas está representada pelos fitólitos produzidos por plantas das famílias Poaceae, Arecaceae e Cyperaceae. Os fitólitos de Poaceae produzidos pelas gramíneas das subfamílias Chloridoideae (SADDLE - SAD), Pooideae (RONDEL- RON e CRENATE-CRE) e Panicoideae (BILOBATE - BIL, CROSS - CROS E POLYOBATE - POL) são mais frequentes entre 5 e 45 cm de profundidade e representam menos de 10% da assembleia.



Fotos: Gilvan Coimbra Martins (perfil AM-01), Hedinaldo Narciso Lima (perfil AM-08) e Luís Antônio Coutrim dos Santos (perfil AM-09).

Figura 24.2. Localização dos perfis AM-01, AM-08 e AM-09, mapa de vegetação e imagens dos perfis e da vegetação do entorno.

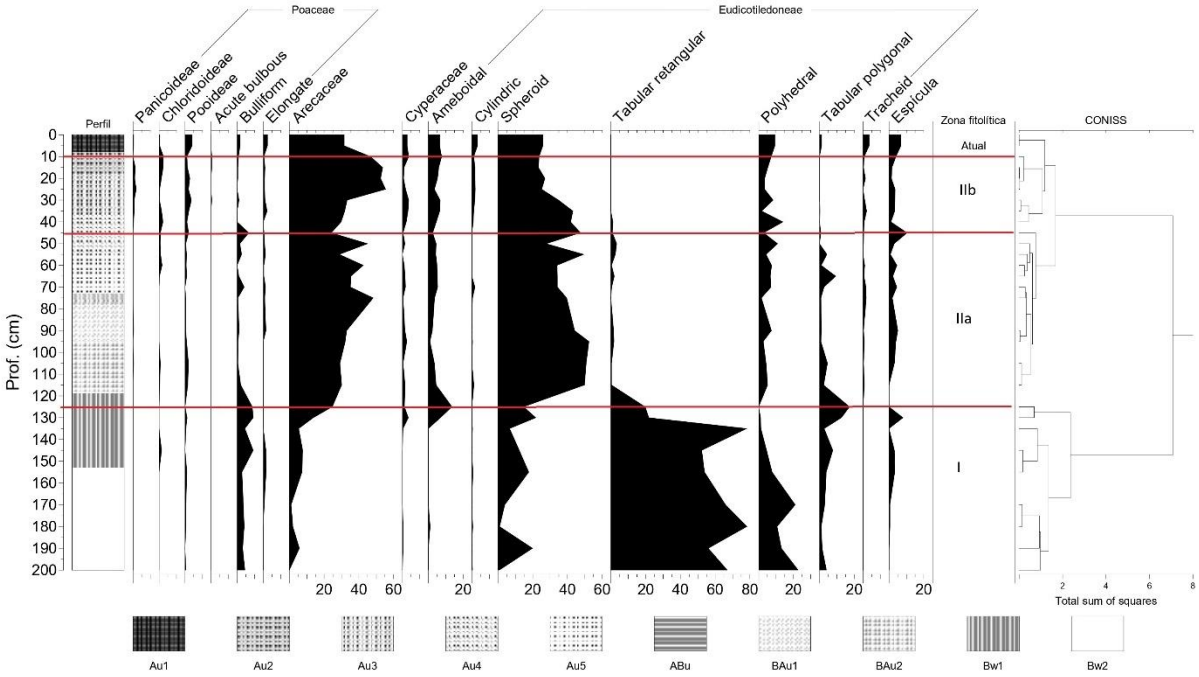


Figura 24.3. Distribuição vertical da assembleia de fitólitos do perfil compatível com a área do AM-01.

Fonte: Adaptado de Macedo (2014).

O morfotipo BULLIFORM FLABELLATE (BUL_FLA), que é a silicificação de células buliformes das epidermes que ocorrem em todas as gramíneas, foi encontrado em maior frequência a partir de 110 cm (abaixo do horizonte antrópico). Devido à sua dimensão e robustez, esse morfotipo apresenta maior resistência à dissolução seletiva e às condições de altas taxas de evapotranspiração e/ou de períodos de estresse hídrico, mantendo-se no perfil, enquanto as células curtas são destruídas (Wilding et al., 1977; Sangster et al., 2001).

O morfotipo SPHEROID ECHINATE, produzido predominantemente pelas Arecaceae, foi o morfotipo mais frequente na assembleia dos horizontes antrópicos. Macedo (2014) destaca que no P1 esse morfotipo é mais expressivo entre 5-30 cm (1.030 anos A.P.[1]) e entre 55-65 cm (1.780 anos A.P.). O autor indica que nessas profundidades também foi verificada maior quantidade de cerâmicas e de carvões, apontando para uma forte pressão sobre o ambiente, onde as Arecaceae passaram a predominar em decorrência de sua rápida colonização em ambientes perturbados e/ou por sua introdução pelas práticas antrópicas.

[1] Idade ^{14}C. Fonte: Macedo (2014).

AM-08 - Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico:

O perfil AM-08, classificado como Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico, foi descrito em terraço aluvial pleistocênico, sob vegetação de capoeira e pastagem plantada (Figura 24.2). Apresenta textura variada ao longo do perfil (média/argilosa/muito argilosa) que se reflete na distribuição vertical da assembleia de fitólitos em profundidade.

A assembleia fitolítica desse perfil é composta de 48 morfotipos, agrupados em grupos taxonômicos: Poaceae, Cyperaceae, Arecaceae, e a classe das eudicotiledôneas (sem família definida) (Figura 24.4). A partir de 60 cm (horizonte 2Btgf2) até a base do perfil (3Cg2 – 175 cm), não foram encontrados fitólitos identificáveis em quantidade suficiente para sustentar a interpretação paleoambiental. Os raros morfotipos encontrados no horizonte plíntico apresentaram-se altamente tafonomizados, com sinais de corrosão e quebra. Isso se deve aos processos de formação do horizonte plíntico, que podem atacar a sílica.

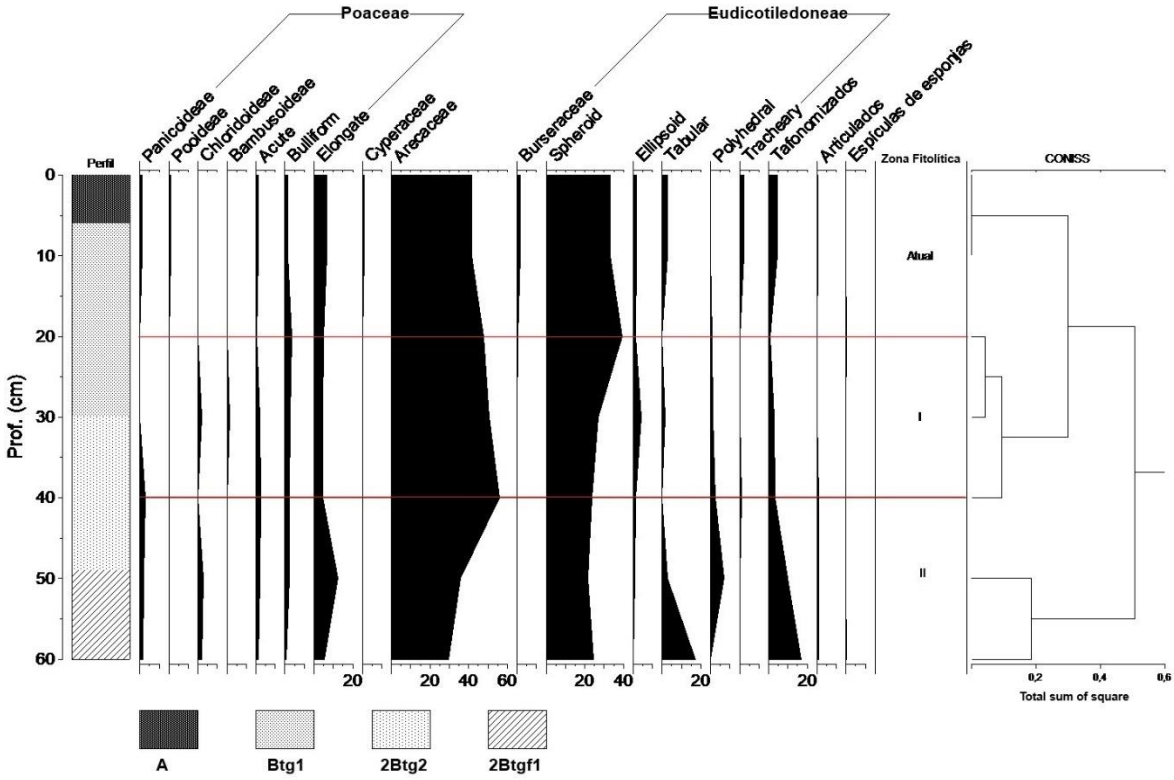


Figura 24.4. Distribuição vertical da assembleia de fitólitos do perfil AM-08 - Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico.

Ao longo do perfil, predominam os fitólitos pertencentes a uma vegetação florestada (morfotipos de eudicotiledôneas) e de palmeiras (Arecaceae). Juntos, esses morfotipos representam, em média, 86% (±12) da assembleia, enquanto os fitólitos de gramíneas (Poaceae e Cyperaceae) representam, em média, 14% (±9). Os resultados da análise morfométrica dos morfotipos de Arecaceae, baseada em Witteveen et al. (2022), permitem identificar cinco gêneros dessa família: *Euterpe, Oenocarpus*, *Attalea*, *Mauritia* e *Syagrus*.

Fitólitos de Cyperaceae (PAPILLAE) foram identificados apenas na parte superficial do perfil, assim como os de Pooideae (RONDEL), assinalando condições de maior umidade nessa fase de desenvolvimento do perfil. As gramíneas adaptadas à condição quente e úmida da família Panicoideae ocorrem ao longo de todo o perfil, com maior frequência entre 40-60 cm (2Btgf1 e 2Btgf2), representando cerca de 3% da assembleia.

A análise de agrupamento resultou em dois grupos (Figura 24.4). A amostra de 0-10 cm corresponde à vegetação atual, uma capoeira com pastagem natural, com presença de palmeiras e algumas plantas arbóreas e arbustivas espaçadas. A assinatura fitolítica dessa vegetação aponta a presença de gramíneas (C_4 - Panicoideae e Chloridoideae; e C_3 - Pooideae) e Cyperaceae, que juntas representam 3% da assembleia. Os fitólitos de Arecaceae e de arbóreas e arbustivas representam, respectivamente, 44% e 35%. A presença de fitólitos de Burseraceae pode marcar uma fase de abertura da floresta, uma vez que muitas plantas dessa família preferem ambientes ensolarados, porém encharcados (Lima; Pirani, 2005; Piperno, 2006). Além disto, observa-se a diminuição dos SPHEROIDS (SPH) representativos de eudicotiledôneas, corroborando a interpretação de abertura da floresta.

A Zona I reúne amostras dos horizontes 2Btgf1 e 2Btgf2 (60 – 40 cm) e assinala uma fase mais seca que o presente, mas ainda com boa umidade e cobertura de arbóreas (ambiente de floresta). Esse ambiente parece ser compatível com o de plintitização, com umidade suficiente para a ocorrência dos processos de translocação de ferro na forma reduzida e precipitação por oxidação (Kämpf; Curi, 2012). A Zona II (topo do 2Btgf1 até a base do Btg1) assinala um aumento de fitólitos de Arecaceae e de plantas lenhosas (SPHEROID) entre 40 e 20 cm de profundidade. Isso aponta um aumento de umidade no ambiente e adensamento da cobertura arbórea, até o período moderno, com a abertura da vegetação.

Os fitólitos tafonomizados aumentam em profundidade, sendo mais expressivos a partir de 40 cm (horizonte 2Btg2). Isso indica maior tempo de residência dos fitólitos no perfil, compatível com o padrão de deposição in situ (Fredlund; Tieszen, 1994) e os efeitos do processo de formação do horizonte plíntico, favoráveis à distribuição dos corpos silicosos.

AM-09 - Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico:

O perfil AM-09 apresentou uma assembleia insuficiente para estudo. Ao longo de todo o perfil de Espodossolo, apenas a amostra do horizonte E1 (90-100 cm) apresentou fitólitos identificáveis, porém em quantidade insuficiente (< 200 fitólitos por lâmina). A assembleia identificada nessa amostra é composta predominantemente de fitólitos de Arecaceae (SPHEROID e ELLIPSOID ECHINATE), de arbóreas/arbustivas (SPHEROID PSILATE) e lenhosas (SPHEROID ORNATE).

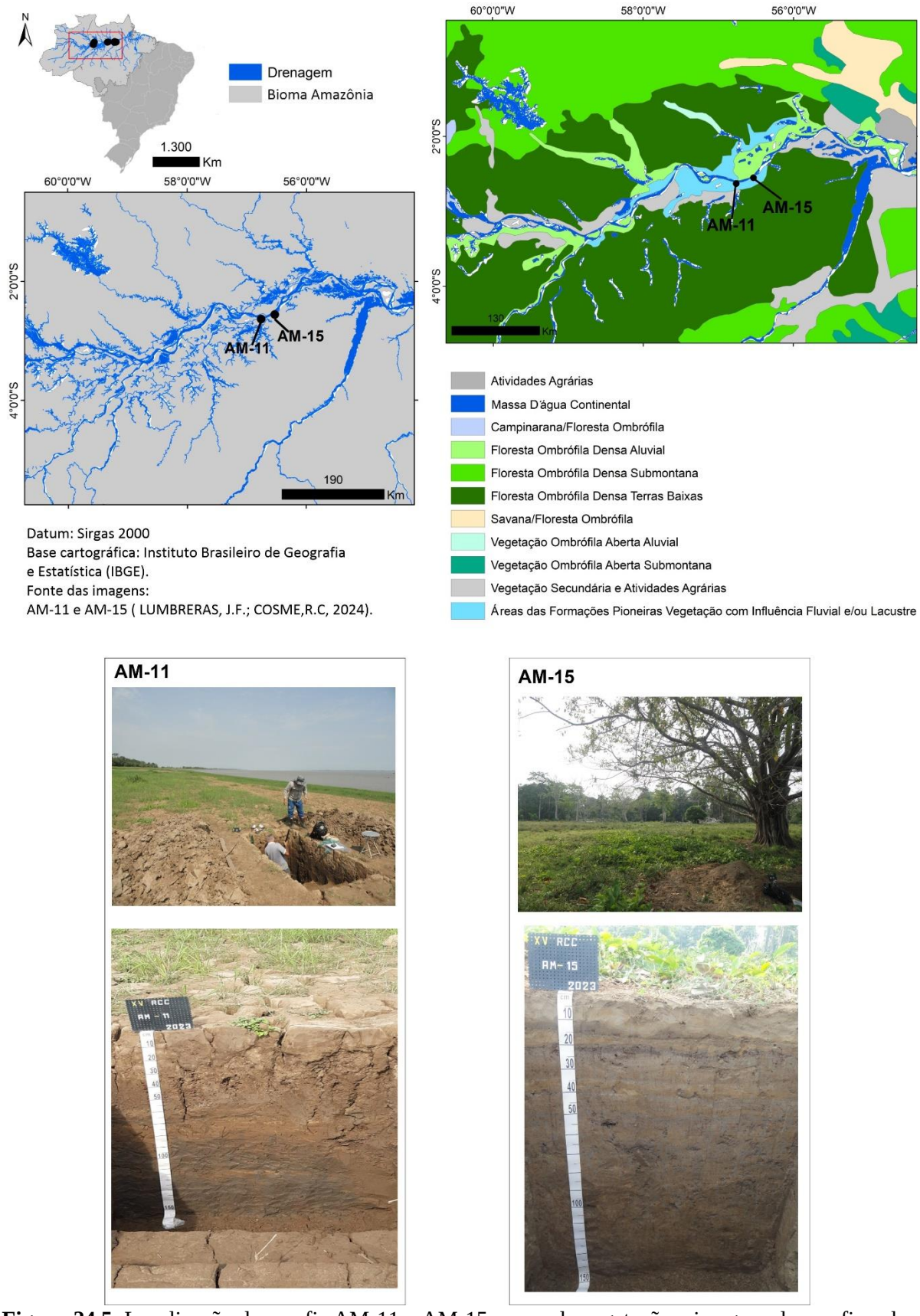
A ausência de fitólitos é comum em Espodossolos, tal como já observado em área de campinarana, em Linhares (Espírito Santo) (Calegari et al., 2017). A gênese e a evolução dos horizontes E e B desses solos (pH baixos, eluviação etc.), a drenagem e a textura arenosa na maior parte do perfil (~ 900 g. kg^{-1} de areia total) e a ausência de estrutura no horizonte E (50-321 cm) favorecem a translocação e a destruição dos morfotipos (Piperno, 2006; Cordova; Scott, 2010; Marcolin et al., 2023).

AM-11 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico:

O perfil AM-11 foi descrito em área de relevo plano, em uma baixa de várzea holocênica sob vegetação de campo e pastagem natural (Figura 24.5), com presença de algumas plantas invasoras. O solo apresenta textura siltosa-média/média-siltosa e perfil fitolítico composto predominantemente de morfotipos produzidos por monocotiledôneas, com destaque para as Pooideae (gramínea C_3) que representam em média 48% (±8) da assembleia do perfil. Entre 20 e 30 cm e 70 e 80 cm, não foram identificados fitólitos, apenas fragmentos de espículas de esponja e de diatomáceas, assinalando uma fase de maior presença de água no solo (alagamento). Entre 30 e 50 cm, foram encontrados menos de 20 fitólitos em cada lâmina, sendo a maioria de monocotiledôneas (BULLIFORM FLABELLATE, ACUTE, SPHEROID ECHINATE e SPHEROID SYMMETRIC). A ausência de fitólitos nessas profundidades está associada à textura silto-arenosa dos horizontes Cg, à má drenagem e à natureza mineralógica, que possui predomínio caolinítico com presença de mica, clorita e esmectita (vide Capítulo 13) dos materiais desses horizontes, elementos favoráveis à destruição dos fitólitos.

A assembleia fitolítica é bastante variada, composta de 50 morfotipos. Entre aqueles com significado taxonômico, destacam-se as células curtas de gramíneas que representam, em média, 16% (±5) da assembleia e assinalam a presença das subfamílias Panicoideae e Pooideae ao longo de todo o perfil e de Chloridoideae abaixo de 60 cm, indicando um período mais seco (Figura 24.6).

O morfotipo BULLIFORM FLABELLATE, produzido por todas as gramíneas, é indicativo de estresse hídrico quando em abundância na amostra (Twiss, 1992). Presente ao longo de todo o perfil (variando de 39% a 5%), esse morfotipo apresenta tendência de diminuição do topo para a base do perfil, marcadamente a partir de 60 cm.



Fotos: Raimundo Cosme Oliveira-Junior (perfil AM-11) e José Francisco Lumbreras (perfil AM-15).

Figura 24.5. Localização dos perfis AM-11 e AM-15, mapa de vegetação e imagens dos perfis e da vegetação do entorno.

As Arecaceae, representadas pelos morfotipos SPHEROID ACUTE, SPHEROID ECHINATE, SPHEROID SYMMETRICAL, ELLIPSOIDAL ECHINATE e CONICAL FEW PROJECTIONS, são mais frequentes nas amostras superficiais (17%-40%), refletindo a vegetação atual que apresenta palmeiras (Figura 24.6). Os morfotipos diagnósticos de plantas arbóreas (SPHEROID e ELLIPSOID ORNATE) são raros no perfil, evidenciando uma vegetação aberta, corroborada pela presença de gramíneas, ao longo do desenvolvimento do perfil.

A análise de agrupamentos resultou em quatro grupos (Figura 24.6), assinalando quatro zonas fitolíticas. A vegetação atual é expressa pela assembleia do horizonte superficial (A2), com destaque para o predomínio de fitólitos de palmeiras e de arbóreas/arbustivas (sem significado taxonômico em nível de família).

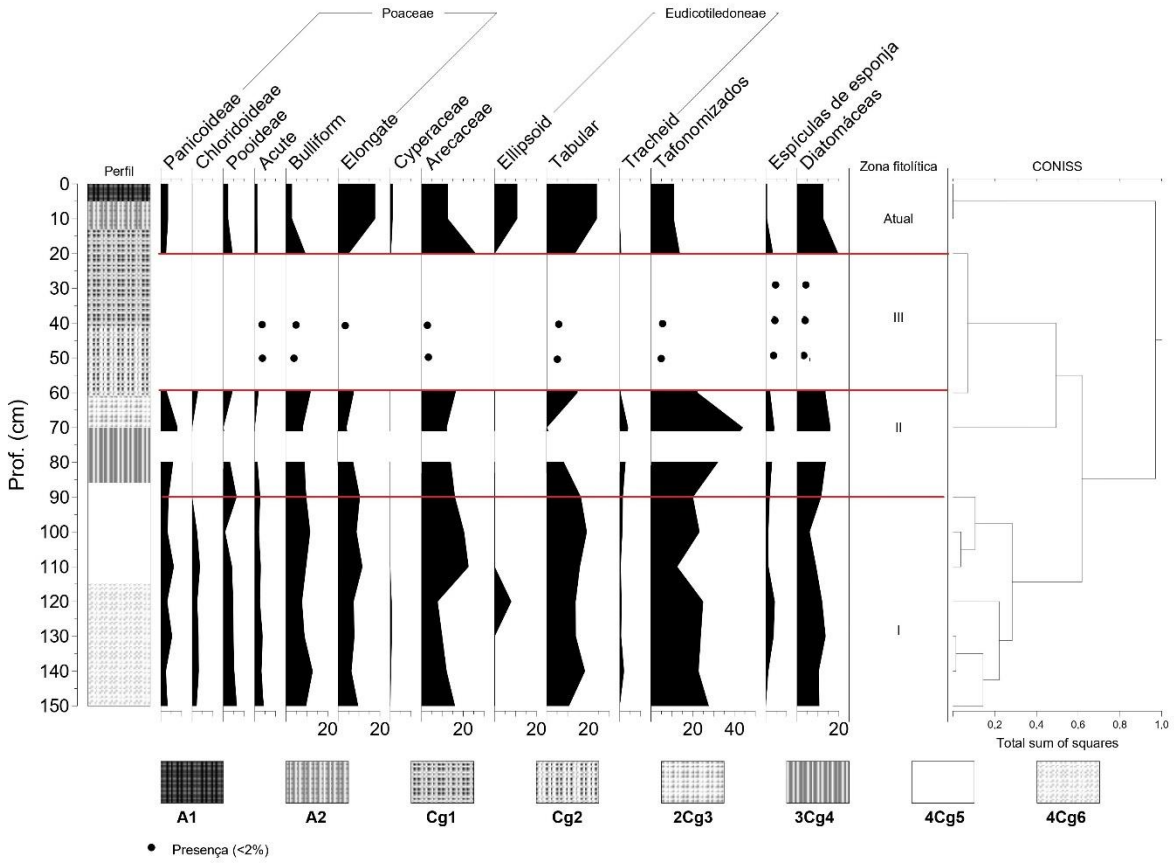


Figura 24.6. Distribuição vertical da assembleia de fitólitos do perfil AM-11, Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico.

Da base para o topo, a Zona I reúne as amostras dos horizontes basais (4Cg6 e 4Cg5) e caracteriza-se pela forte presença de palmeiras dos gêneros *Eutepe, Oenocarpus, Attalea* e *Hyospathe* (Witteveen et al., 2022). As Arecaceae juntamente com as gramíneas Panicoideae, Pooideae e Cyperaceae assinalam um período mais úmido que o atual. Na Zona II, os horizontes 3Cg4 e 2Cg3 apresentam aumento de fitólitos de palmeiras e de eudicotiledôneas, indicando aumento de umidade em comparação ao grupo subjacente. A Zona III (Cg1 e Cg2) define-se pela ausência ou baixa frequência de fitólitos, associada à natureza do material de origem e de seu ambiente de deposição, que compreende uma barra de acreção.

AM-15 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico:

Descrito em um dique aluvionar holocênico (Figura 24.5), sob cobertura de pastagem natural (com invasoras), o perfil AM-15 apresenta uma assembleia de fitólitos muito diversa, que conta com inúmeros outros corpos silicosos (diatomáceas, espículas e gemoscleras de esponjas não classificadas). O solo apresenta textura média/arenosa/siltosa e sequência de horizontes Ag, 2C, 3Cg, 4C, 5Abg, 5Cg1, 6Cg2, 6Cg3 e 7Cg4, refletindo as variações do material de origem e a natureza deposicional na área.

Destaca-se nesse perfil a presença (< 2% da assembleia) de fitólitos que indicam cultivo, tais como arroz (*Oryza*), identificados conforme Huan et al. (2018), milho (*Zea mays*) e banana (*Musa* – morfotipo ENSETE) (Piperno, 2006) (Figura 24.7). Áreas agrícolas recentes são encontradas a montante do ponto de coleta do perfil (Figura 24.5), e pequenas áreas de cultivo no entorno do perfil, a depender do tempo que essas áreas vêm sendo exploradas, são, provavelmente, a fonte desses morfotipos, assinalando o início das atividades agrícolas na área.

Os morfotipos de células curtas de gramíneas, com significado taxonômico em nível de subfamília e gênero, representam, em média, 24% (±14) da assembleia de fitólitos ao longo do perfil, sendo mais frequentes nos primeiros 70 cm do perfil, onde variam de 30% a 15% na assembleia (Figura 24.7). A soma dos morfotipos de Arecaceae variou de 2% a 18% da assembleia, com tendência de diminuição do topo para a base do perfil. As monocotiledôneas são representadas ainda pelas famílias da ordem das Zingiberales (Heliconiaceae, Marantaceae, Costaceae, Zingiberaceae), encontradas no local do perfil. Essas plantas são indicativas de umidade, pois muitas espécies têm preferência por condições quentes e úmidas com sombreamento (sub-bosque) (Prychid et al., 2003; Barroso et al., 2004; Sobral-Leite; Oliveira, 2007; Chen; Smith, 2013).

A diversidade de morfotipos observada nesse perfil permitiu identificar a presença de morfotipos diagnósticos de famílias de eudicotiledôneas como as Asteraceae, Annonaceae, Fabaceae e Euphorbiaceae. Os morfotipos SPHEROID ORNATE e PSILATE (diagnóstico de Eudicotiledoneae de forma de vida arbórea e arbustiva) estão presentes ao longo de todo o perfil, em média 15% (±6), com tendência de aumento em profundidade.

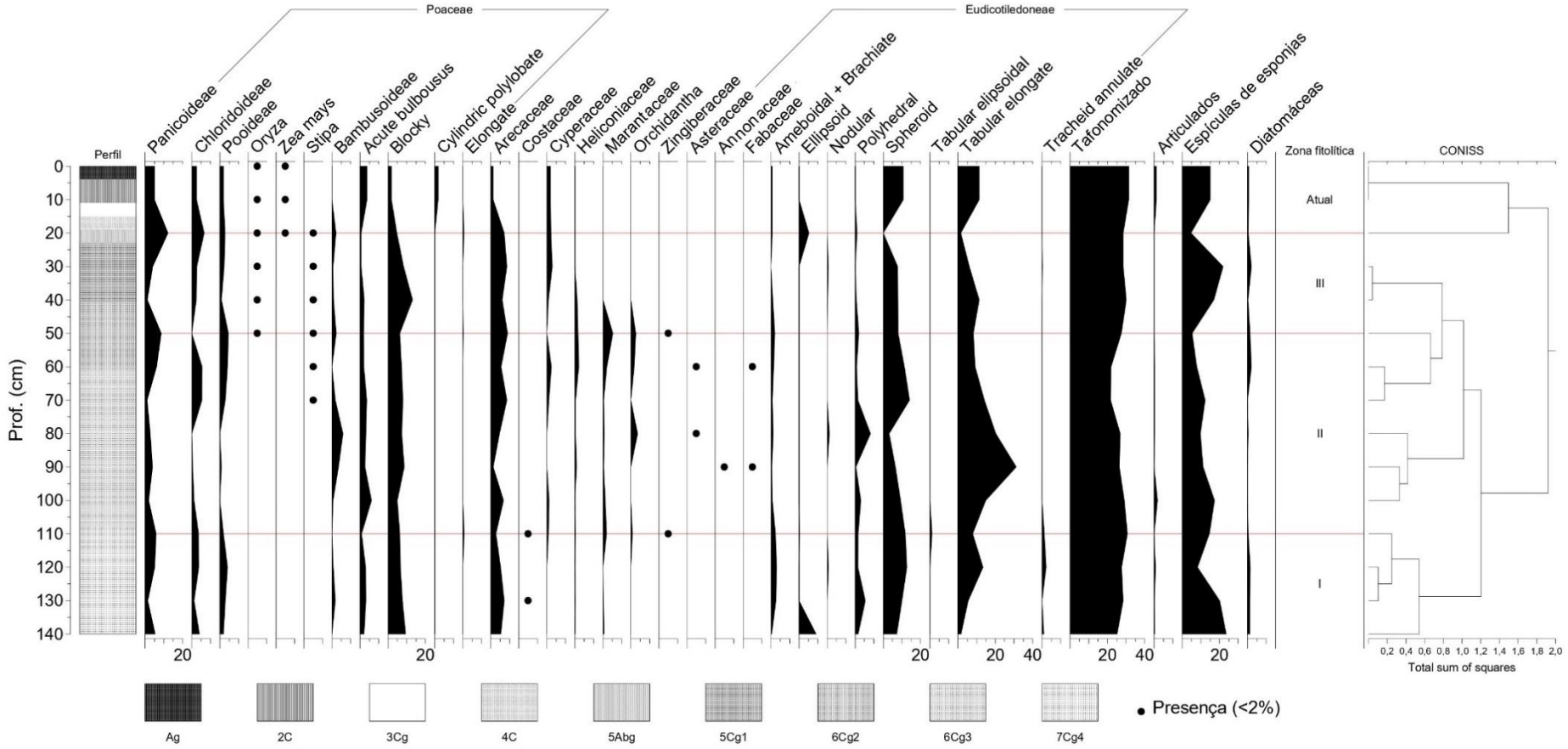


Figura 24.7. Distribuição vertical da assembleia de fitólitos do perfil AM-15 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico

A análise de agrupamento revelou que a assembleia se organiza em quatro zonas fitolíticas. A vegetação atual é representada na amostra superficial (0-10 cm) e assinala uma vegetação com forte contribuição de monocotiledôneas (Poaceae, Cyperaceae, Arecaceae e Zingiberaceae), com destaque para a presença de fitólitos de arroz e milho, que podem ser indícios de agricultura, no entanto, a confirmação necessitaria de investigações mais aprofundadas.

As eudicotiledôneas (arbóreas/arbustivas indeterminadas) estão presentes ao longo de todo o perfil, com maior expressão no horizonte 6Cg3. Da base para o topo, observa-se uma vegetação mais aberta que a atual, com gramíneas C_3 e C_4 (Poaceae) e a presença de Costaceae e Zingiberaceae na Zona I (140-110 cm). Essas duas famílias, Costaceae e Zingiberaceae, são constituídas de plantas de sub-bosque (herbáceas), adaptadas a condições quentes e úmidas, corroborando a interpretação de umidade no ambiente, semelhante à atual (Chen; Smith, 2013). As Arecaceae e eudicotiledôneas ocorrem em menor proporção no perfil. As espículas de esponja são abundantes nessa zona.

A Zona II (110-50 cm; horizontes 6Cg2 e 6Cg3) destaca-se pela diminuição de Panicoideae (gramínea C4), distribuição irregular de Arecaceae e de eudicotiledôneas. Sobressaem-se também a presença de fitólitos de plantas da ordem Zingiberales e a ocorrência de morfotipos de arbóreas das famílias Annonaceae, Fabaceae e Asteraceae. Essas famílias são conhecidas pela variação intrafamiliar na produção de fitólitos, à exceção das Asteraceae, classificadas como altas produtoras (Piperno, 2006). A presença de Asteraceae nessa zona é indicativa de abertura da vegetação, pois as plantas dessa família, de modo geral, ocorrem em área de abertura de floresta pelo homem, ou por abertura natural, devido à diminuição de umidade no ambiente. Considerando os indícios de agricultura na Zona III, é possível que a abertura da vegetação esteja associada a práticas agrícolas.

PA-06 - Neossolo Quartzarênico Órtico húmico:

O perfil PA-06 apresenta textura arenosa-média e sequência vertical de horizontes A1, A2, A3, A4, A5, AC e C. Possui 205 cm de espessura (Figura 24.8). Apenas as amostras dos horizontes A1 e A2 apresentaram fitólitos identificáveis em quantidade suficiente para compor a assembleia do perfil, impossibilitando o estudo paleoambiental para identificação das condições de formação do solo por meio desse *proxy*.

A assembleia fitolítica identificada é composta de 39 morfotipos, agrupados em 14 grupos taxonômicos em nível de subfamília. A amostra superficial (0-10 cm) reflete a vegetação atual e exibe predomínio de fitólitos de eudicotiledôneas arbóreas (SPHEROID ORNATE – 27%) e Asteraceae.

Completando a assembleia, foram identificados fitólitos de gramíneas C_4 (Panicoideae – 9%, Aristidoideae – 3% e Chloridoideae – 2%) e C_3 (Pooideae – 6%). Também foi observada a presença de fitólitos de outras famílias de monocotiledôneas, como as Arecaceae (5%), Calathea (7%), Costaceae (14%) e Marantaceae (3%). À exceção das Panicoideae e Bambusoideae, todas as demais famílias diminuem na amostra de 10-20cm.

PA-07 - Latossolo Amarelo Distrófico húmico:

O perfil PA-07 foi descrito em um platô, em área de relevo plano, sob vegetação de mata degradada (Figura 24.8). Apresenta textura muito argilosa, 165 cm de espessura e sequência vertical de horizonte A húmico, AB, BA e Bw. A assembleia fitolítica, identificada, é muito variada tal como foi observado por Calegari (2008) em perfis de Latossolos húmicos em diferentes partes do Brasil. A assembleia foi agrupada em 16 grupos taxonômicos em nível de família e subfamília (Figura 24.9).

Assim como o perfil AM-15, esse Latossolo também apresenta (< 2%) fitólitos de arroz (*Oryza*) e milho (*Zea Mays L.*) entre 40 e 50 cm de profundidade. O perfil encontra-se numa zona de agricultura, atualmente (Figura 24.8). Considerando a natureza do solo, é possível que nessa profundidade esses fitólitos sejam indício de uma agricultura pretérita in situ.

Fitólitos de Poaceae são observados ao longo de todo o perfil. As células curtas de gramíneas com significado taxonômico (subfamília) variam de 5% a 11% ao logo do perfil. Destaque é dado aos fitólitos de Arecaceae e de eudicotiledôneas que representam, em média, respectivamente, 34% (±9) e 33% (±9) da assembleia. Os tafonomizados (corroídos) aumentam em profundidade (Figura 24.9), indicando maior tempo de residência dos fitólitos no perfil (Fredlund; Tieszen, 1994).

A análise de agrupamento hierárquico permitiu identificar quatro zonas fitolíticas além da atual (0-10 cm), que é caracterizada pela forte presença de fitólitos de palmeiras (Arecaceae – 40%) e de plantas lenhosas e forma de vida arbórea (SPHEROID ORNATE – 19%). Da base para o topo, a Zona I reúne as amostras dos horizontes Bw e BA que preservam fitólitos de uma vegetação florestada, semelhante à atual.

Fotos: Luís Antônio Coutrim dos Santos (perfil PA-06) e José Francisco Lumbreras (perfis PA-07 e PA-17).

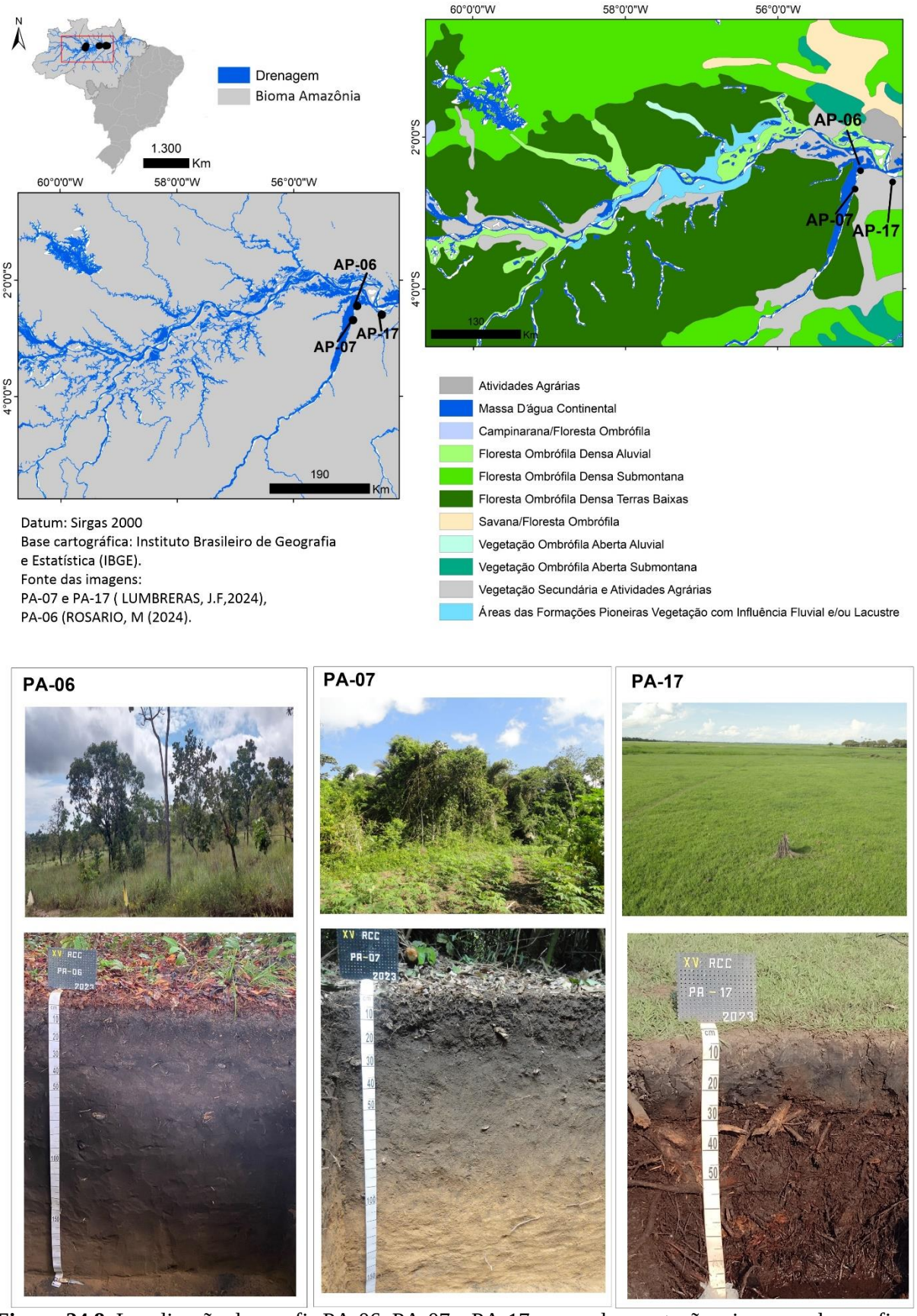


Figura 24.8. Localização dos perfis PA-06, PA-07 e PA-17, mapa de vegetação e imagens dos perfis e da vegetação do entorno.

A Zona II (horizontes BA, AB, A5 e A4) apresenta maior frequência de fitólitos de Arecaceae em comparação ao Grupo I e redução dos morfotipos de eudicotiledôneas, assinalando uma abertura da vegetação. As Poaceae são mais frequentes, com destaque para as Chloridoideae (C_4), gramíneas adaptadas a condições secas (estresse hídrico), as Bambusoideae e a presença do morfotipo BULLIFORM FLABELLATE (produzido por todas as gramíneas). Essa condição indica uma redução de umidade no ambiente e uma possível abertura da vegetação.

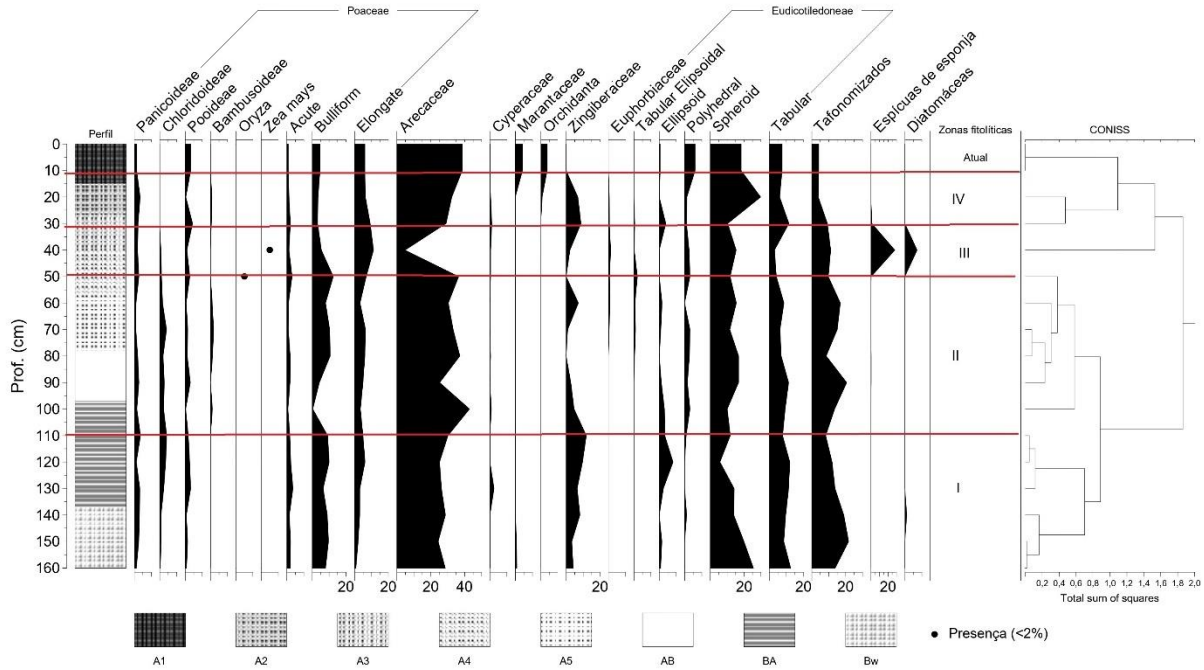


Figura 24.9. Distribuição vertical da assembleia de fitólitos do perfil PA-07 - Latossolo Amarelo Distrófico húmico.

A Zona III (horizontes A4 e A3) isola-se como um horizonte de transição, para o retorno de condições mais úmidas, marcado pela redução dos fitólitos de Arecaceae e de Chloridoideae e pela ocorrência de diatomáceas e espículas de esponja. A presença de fitólitos de *Oryza* e *Zea* assinala indícios de agricultura. A Zona IV (A3 e A2) assemelha-se às condições atuais e é marcada pela frequência de fitólitos de eudicotiledôneas (SPHEROID ORNATE) e de Arecaceae, bem como de famílias da ordem Zingiberales, indicando uma vegetação mais florestada que a Zona III.

PA-17 - Organossolo Háplico Hêmico típico:

O perfil PA-17 foi descrito em uma área de campo flúvio-lacustre holocênico, sob vegetação de pasto natural (Figura 24.8). Apresenta sequência de horizonte Hd1, Hd2, Hd3, 2Ho1 e 2Ho2. Possui 80 cm de espessura e textura argilosa/média/orgânica hêmica. Há presença de espículas de esponjas e de diatomáceas ao longo de todo o perfil, com maior concentração na base e no topo do perfil (Figura 24.10). A frequência desses corpos siliciosos é maior que a de fitólitos nas lâminas.

O perfil fitolítico é marcado pelo domínio dos morfotipos pertencentes às famílias da ordem Zingiberales (Heliconiaceae, Marantaceae, Orchidantha e Zingiberaceae), cujas plantas são encontras atualmente nas bordas do campo flúvio-lacustre, tanto em áreas inundáveis, como nos pontos mais bem drenados. Os morfotipos Spheroid ornate granulate (SPH_ORN_GRA) e Spheroid ornate microgranulate (SPH_ORN_MIC), identificados a partir do estudo de Chen e Smith (2013), representam, em média, respectivamente, 4% (±8) e 62% (±16) da assembleia identificada no perfil. Os morfotipos equinados das palmeiras, presentes ao longo de todo o perfil, variaram entre 3% (20-30 cm) e 18%, com tendência de redução do topo para a base do perfil. As células curtas de gramíneas são pouco representativas no perfil.

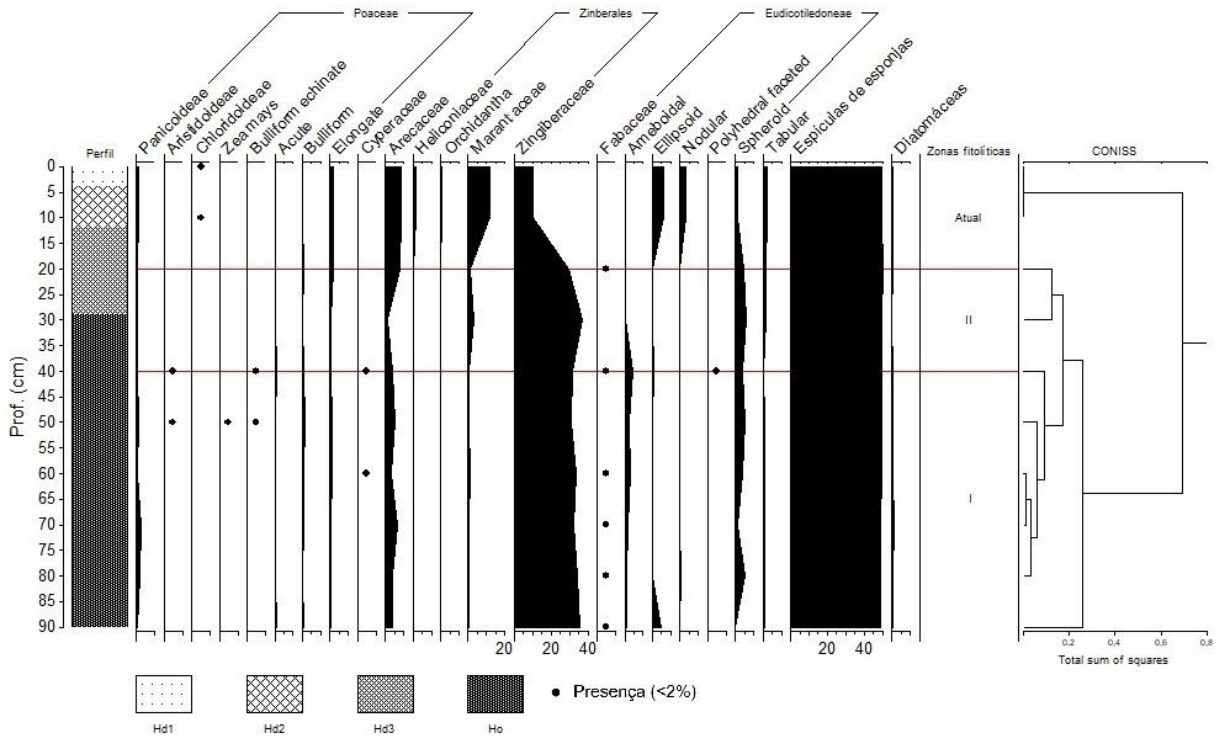


Figura 24.10. Distribuição vertical da assembleia de fitólitos do perfil PA-17 - Organossolo Háplico Hêmico típico.

A análise de agrupamento resultou na individualização de três grupos. A atual vegetação de campo é refletida na amostra superficial do horizonte Hd1 (0-10 cm), com ocorrência de fitólitos de gramíneas C4 (Panicoideae e Chloridoideae), Arecaceae e famílias da ordem Zingiberales.

A Zona I reúne as amostras fibrosas do horizonte Ho (90-40 cm). O material orgânico caracteriza-se pela forte presença de morfotipos produzidos por plantas da família Zingiberaceae e eudicotiledôneas de forma de vida arbórea (SPHEROID). Isso assinala um período úmido, com uma vegetação florestada com sub-bosque herbáceo, semelhante àquela observada na borda da área mais plana (campo de inundação), com presença de Aninga (*Montrichardia arborescens* Schott), uma Araceae que pode atingir 3 a 4 m de altura, estreitamente ligada a solos com hidromorfismo permanente (Cruz et al., 2008). A Zingiberaceae é uma família de plantas herbáceas e subarbustivas terrícolas, pantropicais, que têm sido usadas como indicadores de condições médias de meses frios acima de zero grau (Chen; Smith, 2013). Também na Zona I, foram identificados fitólitos de *Zea*, que podem ser indicativos de agricultura.

A Zona II, formada por amostras dos horizontes Hd3 e o topo do Ho (40-20 cm), apresenta redução de fitólitos de Arecaceae e aumento dos morfotipos de Marantaceae, Zingiberales (monocotiledôneas) e de eudicotiledôneas. Essa assembleia reforça a manutenção de condições de umidade, mas com possível abertura da vegetação, pois as Marantaceae são típicas de florestas úmidas tropicais e ocorrem próximo a rios, clareiras ou áreas de transição, onde já há maior chegada de luz.

4. Considerações finais

Os fitólitos apresentaram preservação variada entre os perfis estudados, cujos sinais de tafonomia estão associados à natureza e ao desenvolvimento pedogenético dos solos. Foram úteis para discriminar, sobretudo, mudanças de umidade no ambiente e na estrutura das formações vegetais. Foi possível identificar indícios de agricultura pretérita, principalmente dos perfis a jusante do trecho percorrido.

Este estudo fornece exemplos de aplicação da análise de fitólitos em áreas de planícies aluviais de grandes rios, levantando questões a respeito da área-fonte dos fitólitos e dos modelos de deposição in situ para composição de assembleias de fitólitos, auxiliando na compreensão do ambiente de formação dos solos estudados. Os resultados representam contribuições que podem auxiliar na definição de descontinuidade litológica (no caso, sedimentos de natureza e tempos diversos) de horizontes de solos oriundos de deposições numerosas trazidas pelo rio, como é o caso dos Gleissolos e outros solos analisados neste estudo.

Referências

BARROSO, G. M.; MORIN, M. P.; PEIXOTO, A. L.; ICHASO, C. L. F. Frutos e sementes: morfologia aplicada à sistemática de Dicotiledôneas. Viçosa: Ed. UFV, 2004.

BRIGHTLY, W. H.; CRIFÒ, C.; GALLAHER, T. J.; HERMANS, R.; LAVIN, S.; LOWE, A. J.; SMYTHIES, C. A.; STILES, E.; DEIBEL, P. W.; STRÖMBERG, C. A. E. Palms of the past: can morphometric phytolith analysis inform deep time evolution and palaeoecology of Arecaceae? Annals of Botany, v. 134, n. 2, p. 263-282, Aug. 2024. DOI: https://doi.org/10.1093/aob/mcae068.

CALEGARI, M. R. Ocorrência e significado paleoambiental do Horizonte A húmico em Latossolos. 2008. 259 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. Disponível em https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-11032009-093135/pt-br.php. Acesso em: 21 jan. 2025.

CALEGARI, M. R.; MADELLA, M.; BRUSTOLIN, L. T.; PESSENDA, L. C. R.; BUSO JUNIOR, A. A.; FRANCISQUINI, M. I.; BENDASSOLLI, J. A.; VIDAL-TORRADO, P. Potential of soil phytoliths, organic matter and carbon isotopes for small-scale differentiation of tropical rainforest vegetation: a pilot study from the campos nativos of the Atlantic Forest in Espírito Santo State (Brazil). Quaternary International, v. 437, Part B, p. 156-164, May 2017. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.01.023.

CALEGARI, M. R.; MADELLA, M.; VIDAL-TORRADO, P.; PESSENDA, L. C. R.; MARQUES, F. A. Combining phytoliths and $\delta^{13}C$ matter in Holocene palaeoenvironmental studies of tropical soils: an example of an Oxisol in Brazil. Quaternary International, v. 287, p. 47-55, Feb. 2013a. DOI: https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.11.012.

CALEGARI, M. R.; MADELLA, M.; VIDAL-TORRADO, P.; OTERO, X. L.; MACIAS, F.; OSTERRIETH, M. Opal phytolith extraction in Oxisols. Quaternary International, v. 287, p. 56-62, Feb. 2013b. DOI: https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.11.005.

CALEGARI, M. R.; SOUZA, E.; MOZER, J. H.; MARCOLIN, L.; FONSECA, C. F. da. Fitólitos - uma ferramenta para estudos de reconstituição paleoambiental. Derbyana, v. 43, p. e778, dez. 2022. DOI: https://doi.org/10.14295/derb.v43.778.

CALEGARI, M. R.; VIDAL-TORRADO, P. Memórias bióticas de solos selecionados da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: condições ambientais e pedogênese. In: SILVA, M. B. E.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de (ed.). Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC do Maranhão. Brasília, DF: EMBRAPA, 2020. p. 546-565.

CARNELLI, A. L. Long term dynamics of the vegetation at the subalpine-alpine ecocline during the Holocene: comparative study in the Aletsch region, Val d’Arpette, and Furka Pass (Valais, Switzerland). Genève: Université de Genève, 2002. 349 p. (Terre & environnement, 40).

CHEN, S. T.; SMITH, S. Y. Phytolith variability in Zingiberales: a tool for the reconstruction of past tropical vegetation. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 370, p. 1-12, Jan. 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/J.PALAEO.2012.10.026.

CHIAPINI, M.; SCHELLEKENS, J.; OLIVEIRA JUNIOR, J. C.; CALEGARI, M. R.; VIDAL-TORRADO, P. Pedogenesis in very deep autochthonous Ferralsols of the Paraná Igneous Province (Brazil). Catena, v. 224, p. 106981, May 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.106981.

CORDOVA, C. E.; SCOTT, L. The potential of Poaceae, Cyperaceae, and Restionaceae phytoliths to reflect past environmental conditions in South Africa. In: RUNGE, J. (ed.). Palaeoecology of Africa. London: CRC Press, 2010. v. 30, p. 107-135. DOI: https://doi.org/10.1201/b10542.

CRUZ, M. E. G. da; TEIXEIRA, W. G.; LIMA, H. N.; MACEDO, R. S. Os aningais: um tipo de vegetação "quase extinta nas cidades amazônicas". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 12., 2008, Manaus. Conservação e expansão dos espaços verdes: um desafio ao gerenciamento urbano: palestras, resumos e relatos de experiências. Manaus: Sociedade Brasileira de Arborização Urbana: International Society Arboriculture: Secretaria Municipal de Meio Ambiente, 2008. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/683935/1/51re.pdf. Acesso em: 8 maio 2025.

EPSTEIN, E. Chapter 1 Silicon in plants: facts vs. concepts. Studies in Plant Science, v. 8, p. 1-15, Jan. 2001. DOI: https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80005-7.

FENWICK, R. S. H.; LENTFER, C. J.; WEISLER, M. I. Palm reading: a pilot study to discriminate phytoliths of four Arecaceae (Palmae) taxa. Journal of Archaeological Science, v. 38, n. 9, p. 2190-2199, Sept. 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/J.JAS.2011.03.016.

FREDLUND, G. G.; TIESZEN, L. T. Modern phytolith assemblages from the North American Great Plains. Journal of Biogeography, v. 21, n. 3, p. 321-335, May 1994. DOI: https://doi.org/10.2307/2845533.

FREDLUND, G. G.; TIESZEN, L. L. Phytolith and carbon isotope evidence for late Quaternary vegetation and climate change in the southern Black Hills, South Dakota. Quaternary Research, v. 47, n. 2, p. 206-217, 1997. DOI: https://doi.org/10.1006/qres.1996.1862.

GE, Y.; LU, H.; WANG, C.; GAO, X. Phytoliths in selected broad-leaved trees in China. Scientific Reports, v. 10, n. 1, art. 15577, Sept. 2020. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-020-72547-w.

GRIMM, E. C. CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of the incremental sum of squares. Computer and Geosciences, v. 13, p. 13-35, 1987. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/0098-3004(87)90022-7.

HUAN, X.; LU, H.; ZHANG, J.; WANG, C. Phytolith assemblage analysis for the identification of rice paddy. Scientific Reports, v. 8, n. 1, art. 10932, Jul. 2018. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-018-29172-5.

HYLAND, E. G. Chapter 10 - Phytoliths as tracers of recent environmental change. In: HEMBREE, D. I.; PLATT, B. F.; SMITH, J. (ed.). Experimental approaches to understanding fossil organisms. Dordrecht: Springer, 2014. p. 207-225. (Topics in Geobiology, 41). DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-017-8721-5_10.

JATTISHA, P. I.; SABU, M. Foliar phytoliths as an aid to the identification of Paniceae (Panicoideae: Poaceae) grasses in South India. Webbia, v. 70, n. 1, p. 115-131, 2015. DOI: https://doi.org/10.1080/00837792.2015.1005908.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (pedogênese). In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (ed.). Pedologia: fundamentos. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 343.

KRAUSHAAR, S.; KONZETT, M.; KIEP, J.; SIEBERT, C.; MEISTER, J. Suitability of phytoliths as a quantitative process tracer for soil erosion studies. Earth Surface Processes and Landforms, v. 46, n. 9, p. 1797-1808, Mar. 2021. DOI: https://doi.org/10.1002/esp.5121.

LIMA, L. R.; PIRANI, J. R. Burseraceae. In: WANDERLEY, M. G. L.; SHEPHERD, G. J.; MELHEM, T. S.; MARTINS, S. E.; KIRIZAWA, M.; GIULIETTI, A. M. (ed.). Flora fanerogâmica do Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Botânica, 2005. v. 4, p. 163-168.

MACEDO, R. S. Pedogênese e indicadores pedoarqueológicos em terra preta de índio no município de Iranduba - AM. 2014. 184 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014. DOI: https://doi.org/10.11606/T.11.2014.tde-14042014-164952.

MADELLA, M.; POWERS-JONES, A. H.; JONES, M. K. A simple method of extraction of opal Phytoliths from sediments using a non-toxic heavy liquid. Journal of Archaeological Science, v. 25, n. 8, p. 801-803, Aug. 1998. DOI: https://doi.org/10.1006/jasc.1997.0226.

MAJUMDER, S.; MALLICK, T.; GHOSH, A. Morphological diversity of phytolith structures in six species of *Carex L.* and *Cyperus L.* (Cyperaceae Juss.) from West Bengal, India. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, v. 21, n. 8, p. 3471-3486, 2020. DOI: https://doi.org/10.13057/biodiv/d210808.

MARCOLIN, L.; CALEGARI, M. R.; SANTOS, L. J. C.; CAMARGO, P. B. Phytoliths, $\delta^{13}C$ and Charcoal: holocene environmental memories from a paleogully in northwestern Paraná State. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 24, n. esp., 3 jul. 2023. DOI: https://doi.org/10.20502/rbg.v24i00.2328.

McMICHAEL, C. H.; PIPERNO, D. R.; NEVES, E. G.; BUSH, M. B.; ALMEIDA, F. O.; MONGELÓ, G.; EYJOLFSDOTTIR, M. B. Phytolith assemblages along a gradient of ancient human disturbance in western Amazonia. Frontiers in Ecology and Evolution, v. 3, art. 141, Dec. 2015. DOI: https://doi.org/10.3389/fevo.2015.00141.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clays and Clay Minerals, v. 7, n. 1, p. 317-327, 1960. DOI: https://doi.org/10.1346/CCMN.1958.0070122.

MERCADER, J.; BENNETT, T.; ESSELMONT, C.; SIMPSON, S.; WALDE, D. Phytoliths in woody plants from the Miombo woodlands of Mozambique. Annals of Botany, v. 104, n. 1, p. 91-113, Jul. 2009. DOI: https://doi.org/10.1093/aob/mcp097.

MONTTI, L.; HONAINE, M. F.; OSTERRIETH, M.; RIBEIRO, D. G. Phytolith analysis of Chusquea ramosissima Lindm. (Poaceae: Bambusoideae) and associated soils. Quaternary International, v. 193, n. 1-2, p. 80-89, Jan. 2009. DOI: https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.11.024.

MULHOLLAND, S. C. Phytolith shape frequencies in North Dakota grasses: a comparison to general patterns. Journal of Archaeological Science, v. 16, n. 5, p. 489-511, Sep. 1989. DOI: https://doi.org/10.1016/0305-4403(89)90070-8.

MURUNGI, M. L.; BAMFORD, M. K. Revised taxonomic interpretations of Cyperaceae phytoliths for (paleo)botanical studies with some notes on terminology. Review of Palaeobotany and Palynology, v. 275, art. 104189, Apr. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/J.REVPALBO.2020.104189.

NEUMANN, K.; FAHMY, A. G.; MÜLLER-SCHEEβEL, N.; SCHMIDT, M. Taxonomic, ecological and palaeoecological significance of leaf phytoliths in West African grasses. Quaternary International, v. 434, part B, p. 15-32, Apr. 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.11.039.

NEUMANN, K.; STRÖMBERG, C. A. E.; BALL, T.; ALBERT, R. M.; VRYDAGHS, L.; CUMMINGS, L. S. International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN) 2.0. Annals of Botany, v. 124, n. 2, p. 189-199, 24 Sep. 2019. DOI: https://doi.org/10.1093/aob/mcz064.

OLIVEIRA, L. M. de; CALEGARI, M. R.; LELI, I. T.; ROMAGNOLO, M. B. Production of phytoliths in woody plants of the Atlantic Forest in islands of the Paraná River, Brazil. Quaternary International, v. 681, p. 24-32, Jan. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.quaint.2023.12.006.

PATTERER, N. I. Análisis fitolíticos de las principales especies de palmeras (Arecaceae) presentes en regiones subtropicales de América del Sur. Boletin de la Sociedad Argentina de Botánica, v. 49, n. 4, p. 491-502, Dic. 2014. DOI: https://doi.org/10.31055/1851.2372.v49.n4.9884.

PEARSALL, D. M. Phytolith analysis. In: PEARSALL, D. M. (ed.). Paleoethnobotany: a handbook of procedures. 3rd. ed. Routledge: Taylor & Francis Group, 2016. p. 572-754.

PIPERNO, D. R. Phytoliths: a comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists. 2nd. Lanham: Altamira Press, 2006.

PRYCHID, C. J.; RUDALL, P. J.; GREGORY, M. Systematics and biology of silica bodies in monocotyledons. The Botanical Review, v. 69, n. 4, p. 377-440, 2003. DOI: https://doi.org/10.1663/0006-8101(2004)069[0377:SABOSB]2.0.CO;2.

RUNGE, F. The opal phytolith inventory of soils in central Africa - quantities, shapes, classification, and spectra. Review of Palaeobotany and Palynology, v. 107, n. 1-2, p. 23-53, Sep. 1999. DOI: https://doi.org/10.1016/S0034-6667(99)00018-4.

SÁNCHEZ, M. V.; GONZÁLEZ, M. G.; GENISE, J. F. Phytolith analysis of *Coprinisphaer*a, unlocking dung beetle behaviour, herbivore diets and palaeoenvironments along the Middle Eocene-Early Miocene of Patagonia. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 285, n. 3-4, p. 224-236, Jan. 2010. DOI: https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.11.014.

SANGSTER, A. G.; HODSON, M. J.; TUBB, H. J. Chapter 5 Silicon deposition in higher plants. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (ed.). Silicon in agriculture. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2001. p. 85-113. (Studies in Plant Science, v. 8). DOI: https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80009-4.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf. Acesso em: 16 maio 2023.

SILVA NETO, E. C. da; PEREIRA, M. G.; CARVALHO, M. de A.; CALEGARI, M. R.; SCHIAVO, J. A.; SÁ, N. de P.; ANJOS, L. H. C. dos; PESSENDA, L. C. R. Palaeoenvironmental records of Histosol pedogenesis in upland area, Espírito Santo State (SE, Brazil). Journal of South American Earth Sciences, v. 95, art. 102301, Nov. 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102301.

SOBRAL-LEITE, M.; OLIVEIRA, J. B. A. A Família Marantaceae nos herbários do Estado de Pernambuco. Revista Brasileira de Biociências, v. 5, supl. 2, p. 789-791, jul. 2007.

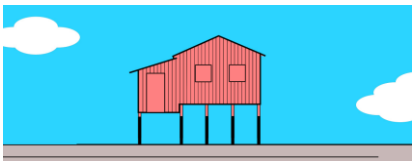
TWISS, P. C. Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths. In: RAPP, G.; MULHOLLAND, S. C. (ed.). Phytolith Systematics: emerging issues. Boston: Springer, 1992. p. 113-128. (Advances in Archaeological and Museum Science, 1). DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1155-1_6.

WATLING, J.; SCHMIDT, M.; HECKENBERGER, M.; LIMA, H.; MORAES, B.; WAURA, K.; KUIKURO, H.; KUIKURO, T. W.; KUIKURO, U.; KUIKURO, A. Assessing charcoal and phytolith signals for pre-Columbian land-use based on modern indigenous activity areas in the Upper Xingu, Amazonia. The Holocene, v. 33, n. 10, p. 1176-1185, Oct. 2023. DOI: https://doi.org/10.1177/09596836231183066.

WILDING, L. P.; SMECK, N. E.; DREES, L. R. Silica in soils: quartz, cristobalite, tridymite, and opal. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (ed.). Minerals in soil environments. Madison: Soil Science Society of America, 1977.

WITTEVEEN, N. H.; HOBUS, C. E. M.; PHILIPA, A.; PIPERNO, D. R.; McMICHAEL, C. N. H. The variability of Amazonian palm phytoliths. Review of Palaeobotany and Palynology, v. 300, art. 104613, May 2022. DOI: https://doi.org/10.14295/derb.v43.778.

Capítulo 25



Atividade enzimática dos solos da XV RCC: um enfoque bioquímico

Iêda de Carvalho Mendes
Maria do Rosário Lobato Rodrigues
Maria Inês Lopes de Oliveira
Maria de Lourdes Mendonça-Santos
José Francisco Lumbreras

1. Introdução

A Amazônia Legal representa 60% do território brasileiro, com aproximadamente 5.000.000 de km^2. Essa grande extensão geográfica resulta em grande diversidade de ambientes e de solos, decorrentes das diferentes interações entre os fatores de formação dos solos, a saber: clima, organismos, relevo, material de origem e tempo (Jenny, 1941).

Ante esses ambientes diversos e os potenciais impactos que as mudanças no uso das terras podem causar, não se pode falar em desenvolvimento sustentável na Amazônia sem o conhecimento de seus solos por meio de diagnósticos ambientais detalhados e estudos de atributos sensíveis às mudanças climáticas e de uso das terras. Nesse contexto, atenção especial deve ser dada às mudanças na sua biota, que refletirão na saúde dos solos, como um dos pilares para a chamada "Saúde Única" (*One Health*).

O funcionamento do solo tem base nos processos químicos e físicos, e a maquinaria biológica move essas engrenagens. Essa maquinaria é constituída por micro-organismos (cerca de 70%), raízes e fauna e apresenta uma estreita inter-relação com os componentes físicos e químicos, os quais influenciam em conjunto não só a produtividade primária mas também a sustentabilidade dos sistemas florestais e agrícolas.

Os processos biogeoquímicos, que resultam na ciclagem de nutrientes, são mediados pelos micro-organismos e animais do solo, atuando sobre as raízes e seus exsudatos, folhas e outros detritos orgânicos. Todas as reações bioquímicas envolvidas nesses processos são catalisadas por enzimas, que são proteínas com alto poder de ativação específica (Tabatabai, 1994). No solo, as enzimas catalisam todas as reações metabólicas intracelulares, que ocorrem nos seres vivos. Além disso, as enzimas extracelulares desempenham papel ecológico

fundamental, atuando em várias reações hidrolíticas e oxidativas que resultam na decomposição de resíduos orgânicos (ligninases, celulases, proteases, glucosidases, galactosidases), ciclagem de nutrientes (fosfatases, sulfatases, urease), formação da matéria orgânica do solo (MOS) e da estrutura do solo (Wallenstein; Burns, 2011). A maior parte das enzimas do solo são de origem microbiana, embora plantas e animais também contribuam como fontes.

Após 21 anos de estudos, em uma iniciativa pioneira no mundo, em julho de 2020 foi lançada a tecnologia Embrapa de Bioanálise de Solo (BioAS), que agrega o componente biológico às análises químicas tradicionais de rotina de solos (Mendes et al., 2019a, 2021, 2024). A BioAS tem como base a análise da atividade das enzimas arilsulfatase (ARIL) e β-glicosidase (GLI), associadas aos ciclos do enxofre e do carbono, respectivamente. GLI é uma exocelulase que atua na etapa final da decomposição da celulose, convertendo os resíduos de celobiose em duas moléculas de glicose, importante fonte de energia para as comunidades microbianas no solo. ARIL é uma enzima da classe das esterases que catalisa a hidrólise de ésteres-sulfatos com liberação do ânion sulfato ($R\text{-}O\text{-}SO_3^- + H_2O \rightarrow R\text{-}OH + H+ + SO_4^{2}$). Por estarem relacionadas ao potencial produtivo e à sustentabilidade do uso do solo, elas funcionam como bioindicadores, permitindo avaliar a saúde dos solos. As pesquisas desenvolvidas pela Embrapa permitiram estabelecer valores de referência para essas enzimas em diferentes solos, de modo a avaliar o estado do seu funcionamento biológico. Valores elevados de atividade enzimática indicam sistemas de produção e/ou práticas de manejo do solo adequadas e sustentáveis. Ao contrário, valores baixos servem de alerta ao agricultor para uma reavaliação do sistema de produção na direção da adoção de boas práticas de manejo.

Da mesma forma que todo sistema de uso ou manejo deixa sua impressão digital, sua assinatura biológica (Mendes et al., 2019a) no solo, as diferentes fitofisionomias também deixam suas marcas no solo (Mendes et al., 2012). As determinações de atividade enzimática são uma das vias de formação da memória do solo. Isso decorre do fato de que a atividade enzimática total de um solo é o somatório da atividade enzimática dos organismos vivos (micro-organismos, plantas e animais) e das enzimas abiônticas, que são enzimas associadas à fração não viva e que se acumulam no solo, protegidas da ação de proteases por meio de sua adsorção em partículas de argila e na matéria orgânica (Wallenstein; Burns, 2011).

A participação no PronaSolos da equipe de pesquisa envolvida no desenvolvimento da Tecnologia BioAS resultou na oportunidade única e inédita de caracterizar a atividade das enzimas beta-glicosidase (GLI) e arilsulfatase (ARIL) nos perfis de solo da *XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos*: RCC das várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno (XV RCC). É importante enfatizar que este estudo não teve a pretensão de avaliar a saúde do solo nos perfis da RCC, mas tão somente caracterizar os níveis de atividade enzimática.

Assim, neste capítulo são reportados os resultados da caracterização da atividade dessas enzimas na camada de 0-10 cm dos perfis de solos da XV RCC e sua relação com os teores de

matéria orgânica do solo (MOS), argila e algumas propriedades químicas (pH, H^++Al^{3+}, P, K^+ e Ca^{2+}). A atividade da enzima fosfatase ácida (FOS), uma fosfomonoesterase que atua na ciclagem do P orgânico (que constitui uma porcentagem significativa do P total do solo) com liberação do ânion fosfato, também foi avaliada. Dessa forma, essa perspectiva pioneira sobre o potencial bioquímico em perfis de solos da RCC serve como o início de uma base de dados de referência para valores de atividade biológica em solos brasileiros.

2. Material e métodos

2.1. Meio físico

As amostras de solos estudadas correspondem aos perfis descritos e amostrados para a XV RCC (vide Capítulo 9). Compreendem 16 perfis de solos (AM-01, AM-05, AM-06, AM-07, AM-08, AM-09, AM-11, AM-12, AM-15 e AM-16 e PA-05, PA-06, PA-07 e PA-13), conforme descrito na Tabela 25.1. O perfil AM-02 não foi coletado e, portanto, não faz parte deste trabalho.

2.2. Amostragem e análises de solo

As amostras de solo para as determinações de atividade de arilsulfatase (ARIL), β-glicosidase (GLI), fosfatase (FOS) e matéria orgânica do solo (MOS) foram coletadas no período de 15/10 a 27/10/2023 na camada de 0-10 cm. Foram utilizados cinco pontos próximos ao perfil do solo, para constituir uma amostra composta. A amostragem seguiu o conceito de amostra de solo FertBio, descrito em Mendes et al. (2019b). Resumidamente, após a coleta, as amostras de solo foram secas ao ar à temperatura ambiente por pelo menos duas semanas, passadas por uma peneira de 2 mm e armazenadas à temperatura ambiente até a realização das análises, em dezembro de 2023. As atividades de ARIL e GLI foram determinadas conforme Tabatabai (1994), omitindo o tolueno. O método é baseado na determinação colorimétrica do *p*-nitrofenol liberado por essas enzimas, quando o solo é incubado por uma hora, com uma solução tamponada de substratos específicos para cada enzima (*p*-nitrofenil-β-D-glicopiranosídeo, *p*-nitrofenil sulfato de potássio e *p*-nitrofenil fosfato para determinação das atividades de GLI, ARIL e FOS, respectivamente). Os dados são expressos em mg de *p*-nitrofenol kg^{-1} solo h^{-1} (mg PNF kg^{-1} solo h^{-1}). Uma curva padrão com concentrações conhecidas de *p*-nitrofenol (0, 10, 20, 30, 40 e 50 µg) foi utilizada para determinar a quantidade do produto liberado pelas amostras de solo.

Os teores de MOS foram determinados utilizando o método de Walkley e Black (Nelson; Sommers, 1996) e calculados de acordo com Jackson (1958). Os parâmetros químicos de solo (pH, H^++Al^{3+}, P, K^+ e Ca^{2+}) foram avaliados conforme metodologia proposta pelo *Manual de métodos de análise de solo* da Embrapa (Teixeira et al., 2017).

Tabela 25.1. Localização e descrição dos 16 perfis de solos e pontos de coleta da XV RCC. Coletas realizadas em maio e outubro de 2023.

Número	Base apoio	Classificação do solo[(1)]
AM-01	Manaus, CE Caldeirão	Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico, textura média/argilosa/muito argilosa, epieutrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.
AM-05	Itacoatiara, planície interna	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura siltosa, A moderado, Tma, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano.
AM-06	Itacoatiara, dique da planície	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média e siltosa, A moderado, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.
AM-07	Manaus, CE Caldeirão, dique da planície	Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, textura média/siltosa, A moderado, Tma, hipoférrico, fase floresta tropical higrófila de várzea, relevo plano.
AM-08	Manaus, AM-070 km 42 (Iranduba)	Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico, textura média/argilosa/muito argilosa, A moderado, epiálico, Tmoa, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.
AM-09	Manaus, BR-174	Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa, A fraco, endodúrico, fase campinarana equatorial arbórea, relevo plano.
AM-11	Parintins, barra de acreção do Amazonas	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico, textura siltosa-média/média-siltosa, A moderado, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano.
AM-12	Parintins, planície interna	Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico, textura média, A moderado, álico, epialumínico, Tmoa, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano.
AM-15	Parintins, dique da planície (ilha)	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/arenosa/siltosa, A fraco, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.
AM-16	Parintins, várzea interna (ilha)	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa, A moderado, mesoendossolódico, Tma, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.
PA-05	Santarém, Belterra	Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.
PA-06	Santarém, Ponta de Pedras	Neossolo Quartzarênico Órtico húmico, textura arenosa-média, álico, fase cerrado equatorial subcaducifólio, relevo plano.
PA-07	Santarém, Belterra	Latossolo Amarelo Distrófico húmico, textura muito argilosa, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.
PA-13	Parintins, barra de acreção, Fazenda São Joaquim	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa/siltosa, A moderado, endossódico, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.
PA-14	Parintins, várzea interna, Fazenda São Joaquim	Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico, textura argilosa/siltosa, A fraco, endossolódico, eutrófico, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano.
PA-17	Santarém, planície flúvio-lagunar, Comunidade Tiningu	Organossolo Háplico Hêmico típico, textura argilosa/média/orgânica fíbrica, distrófico, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.

[1] Classificação segundo Santos et al. (2018).

2.3. Abordagem estatística

As atividades de ARIL, GLI, relação ARIL/GLI, FOS, MOS e os teores de argila dos 16 perfis de solos foram analisados por representações em *box plot* para obtenção de medidas estatísticas de dispersão (média, mediana, valores máximos e mínimos, valores do primeiro e do terceiro quartil e dados discrepantes).

As relações entre as atividades enzimáticas, granulometria (teores de argila, silte e areia) e algumas variáveis de química de solo (pH, H^{+}+Al^{3+}, P, K^{+} e Ca^{2+}) foram determinadas por correlação linear de Pearson. As correlações significativas foram submetidas à análise de regressão. As análises foram realizadas utilizando o software R (R Core Team, 2022).

3. Resultados e discussão

Os dados de atividade enzimática, MOS e as propriedades químicas de 16 perfis de solos coletados para a XV RCC são apresentados nas Tabelas 25.2 e 25.3. Visando o aproveitamento das análises de granulometria e química de solo realizadas na Embrapa Solos, apenas para essas variáveis foram utilizadas as médias aritméticas ponderadas pelas espessuras de horizontes mais próximos à camada diagnóstica das enzimas e MOS (0-10cm), conforme descrito na Tabela 25.3.

A distribuição dos valores de atividade enzimática (Figura 25.1), matéria orgânica do solo e teores de argila (Figura 25.2) foi analisada por representações em *box plot*. Os perfis correspondentes às amostras de AM-15 (Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/arenosa/siltosa) e PA-17 (Organossolo Háplico Hêmico típico, textura argilosa/média/orgânica fíbrica) constituíram dados discrepantes (*outliers*), cujos resultados representaram os extremos inferiores e superiores, respectivamente, entre os 16 perfis avaliados. As medianas para os valores de ARIL, GLI e FOS foram de 93, 23,5 e 275 mg PNF kg^{-1} solo h^{-1}, respectivamente. A mediana para os valores de MOS foi de 31,6 g kg^{-1}. Os solos que apresentaram maior concentração de MOS foram um Organossolo Háplico (PA-17, 165,6 g kg^{-1}), com acúmulo de matéria orgânica resultante da decomposição lenta de material vegetal em condições úmidas e frequentemente anaeróbicas, um Latossolo Amarelo Distrófico húmico (PA-07, 95,0 g kg^{-1}), dois Gleissolos Háplicos (AM-12, 58,5 g kg^{-1}; e PA-13, 49,0 g kg^{-1}) e um Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico (AM-01, 47,6 g kg^{-1}).

Tabela 25.2. Atividade das enzimas arilsulfatase (ARIL), β-glicosidase (GLI), relação ARIL/GLI, fosfatase ácida (FOS) e teores de matéria orgânica (MO) dos 16 pontos de coleta da XV RCC.

Amostra	ARIL	GLI	FOS	ARIL/GLI	MO
	---------- mg PNF kg solo h^{-1} ---------				g kg^{-1}
AM-01	293	24	345	12,4	47,6
AM-05	96	17	158	5,7	21,4
AM-06	58	45	161	1,3	14,6
AM-07	82	15	138	5,6	16,2
AM-08	90	20	328	4,6	28,4
AM-09	25	15	113	1,7	18,2
AM-11	25	7	11	3,8	14,2
AM-12	381	77	515	5,0	58,5
AM-15	4	1	22	3,1	2,6
AM-16	89	23	234	3,8	31,9
PA-05	556	40	411	13,9	41,5
PA-06	46	14	106	3,3	31,2
PA-07	680	72	680	9,4	95,0
PA-13	249	53	420	4,7	49,0
PA-14	132	45	317	2,9	33,4
PA-17	1173	86	872	13,6	165,6

Tabela 25.3. Profundidades utilizadas e médias aritméticas da distribuição granulométrica e das propriedades químicas dos 16 pontos de coleta, da XV RCC.

Amostra	Profundidade[(1)]	Argila	Silte	Areia	pH	P	K^+	Ca^{2+}	$H^+ + Al^{3+}$
	cm	---------- g kg^{-1} -------			H_2O	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	-- $cmol_c$ kg^{-1} --	
AM-01	0-8	304	144	552	5,2	134	27,4	6,6	7,6
AM-05	0-5/5-13	214	747	39	4,5	46,5	100	7,3	11
AM-06	0-5/5-17	145	661	194	5,1	87	146,6	8,5	4,8
AM-07	0-4/4-15	107	476	417	5,3	69	103,6	10	4
AM 08	0-6/6-30	145	624	231	4,2	2	31,2	0,4	6,5
AM-09	0-8	16	10	974	4,1	2	15,6	0,1	2,3
AM-11	0-5/5-17	182	703	115	5,2	54	72	10	4,3
AM-12	0-5/5-11	291	270	439	4,5	8,5	52,8	1,1	11,8
AM-15	0-4/4-11	29	24	946	5,7	68	18,1	4	1,8
AM-16	0-4/4-14	211	752	37	4,4	36	93,9	6,4	9,1
PA-05	0-8	753	197	50	4,2	7	35	1,1	11,5
PA-06	0-6/6-22	88	47	865	4,5	6,5	23	0,1	14,2
PA-07	0-15	675	269	56	4,6	3	39	2,0	22
PA-13	0-5/5-15	337	642	21	4,6	38	105	6,5	9
PA-14	0-3/3-20	514	455	31	4,5	11,5	193,5	11	12
PA-17	0-4/4-12	403	424	173	4,5	5,5	101	7,5	31,4

[(1)] Visando o aproveitamento das análises de granulometria e química de solo, realizadas na Embrapa Solos, apenas para esses parâmetros foram utilizadas as médias aritméticas ponderadas pelas espessuras de horizontes mais próximos à camada diagnóstica das enzimas (0-10cm).

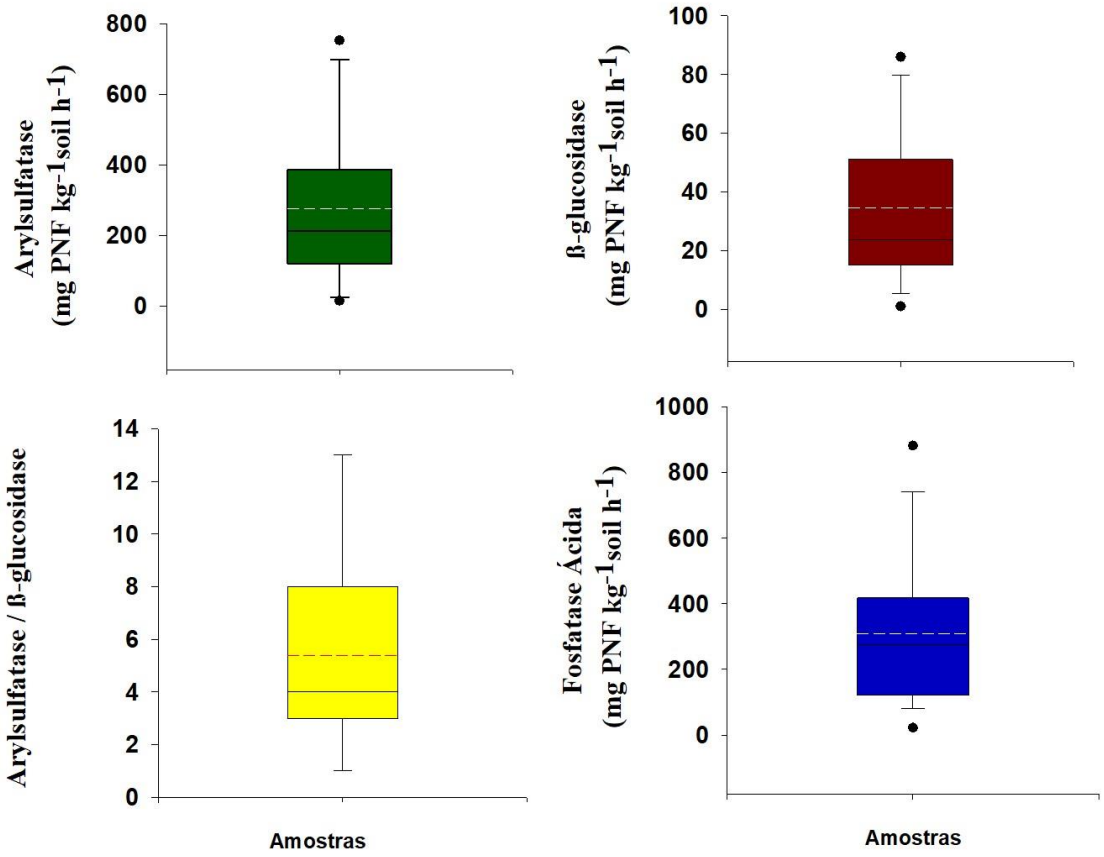


Figura 25.1. Representação *box plot* da atividade das enzimas arilsulfatase, β-glicosidase, fosfatase ácida e da relação arilsulfatase/ β-glicosidase nos solos da XV RCC.

As linhas tracejadas representam os valores médios, as linhas sólidas representam os valores medianos, os *whiskers* representam os percentis 10 e 90, e as caixas representam os percentis 25 e 75.

As relações entre os níveis de atividade das enzimas ARIL/GLI variaram de 1,5 (médias dos perfis AM-09 e AM-06) até 13,7 (perfis PA-05 e PA-17), com mediana de 5,3 evidenciando predominância de ARIL em relação a GLI nos solos amazônicos.

As correlações entre os níveis de atividade enzimática, granulometria e alguns parâmetros de química de solo (pH, H^++Al^{3+}, P, K^+ e Ca^{2+}) são apresentadas no correlograma da Figura 25.3.

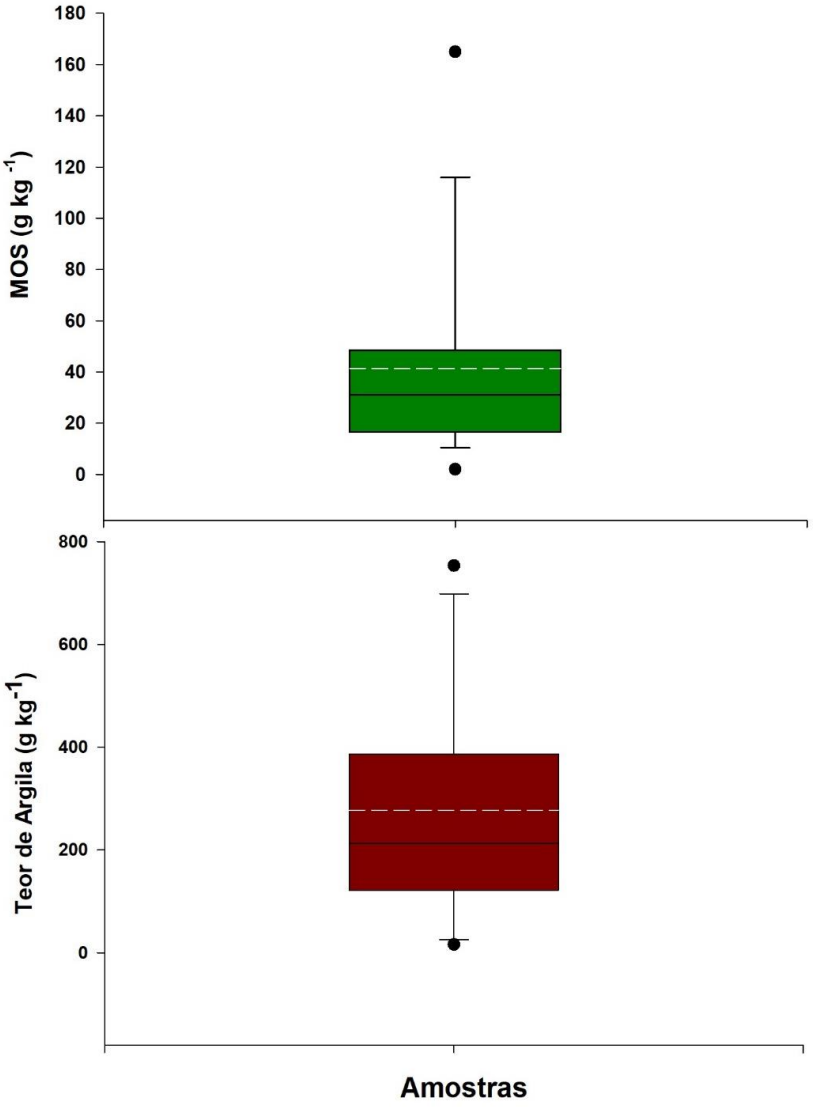


Figura 25.2. Representação *box plot* dos teores de matéria orgânica e argila nos solos da XV RCC.

As linhas tracejadas representam os valores médios, as linhas sólidas representam os valores medianos, os *whiskers* representam os percentis 10 e 90, e as caixas representam os percentis 25 e 75.

Correlações significativas e positivas foram observadas entre os níveis de atividade de ARIL e FOS com os teores de MOS, argila, $H^{+}+Al^{3+}$ e Ca^{2+}. Resultados semelhantes foram obtidos para a GLI, com exceção de ausência de correlação com o Ca^{2+}. Em geral, nota-se que as atividades enzimáticas foram mais correlacionadas (0,81 a 0,94) com a MOS, a qual contém os substratos passíveis de serem metabolizados. Embora possa parecer conflitante que enzimas como a arilsulfatase e a fosfatase ácida estejam positivamente correlacionadas tanto com Ca^{2+} como com $H^{+}+Al^{3+}$, essas correlações podem ser entendidas considerando-se resultantes da covariância dessas variáveis químicas do solo com a matéria orgânica. Dessa forma, é importante considerar as interações complexas resultantes das adaptações das comunidades microbianas e das plantas com os teores de nutrientes, componentes de acidez e matéria orgânica nesses solos.

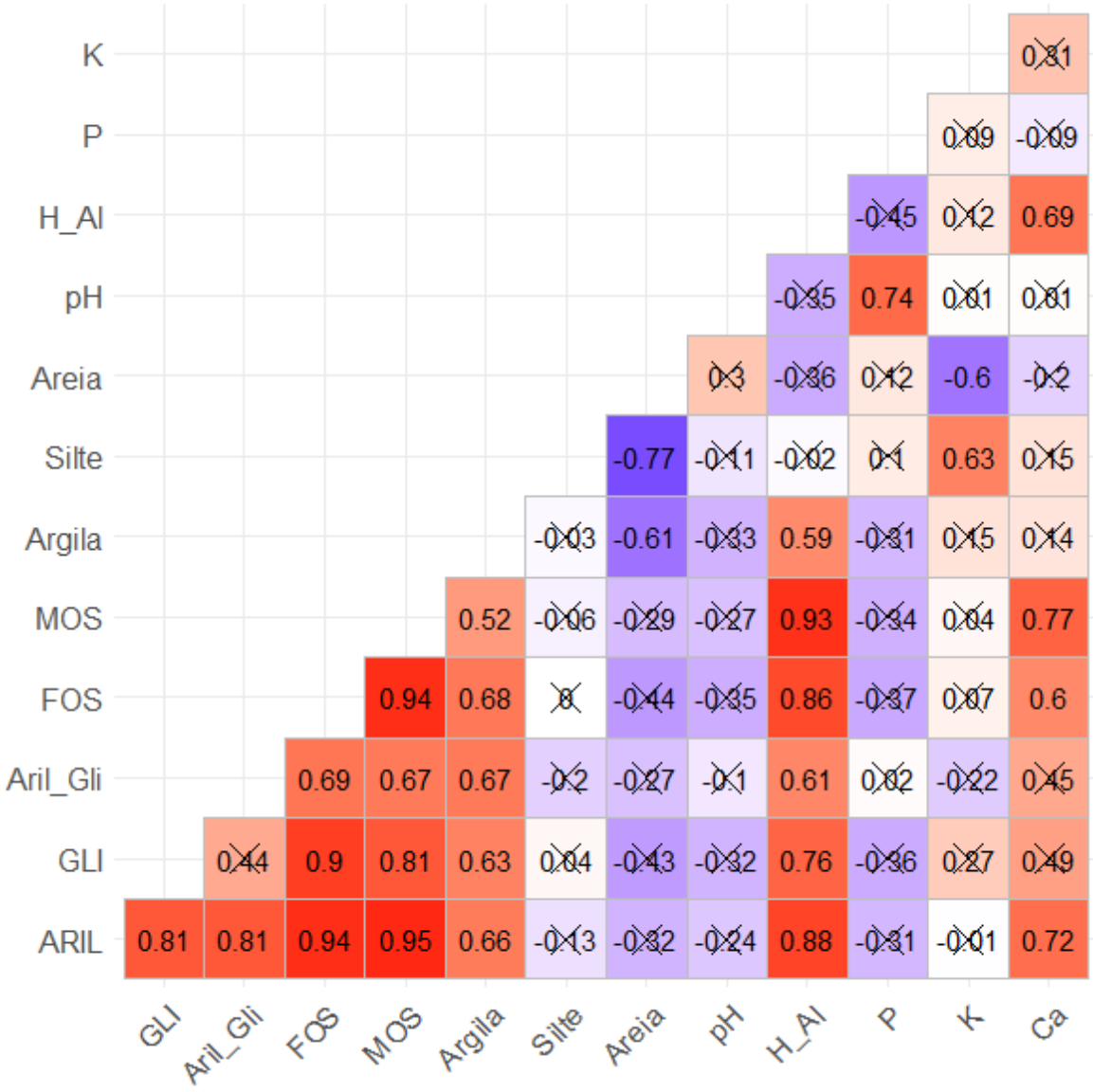


Figura 25.3. Matriz de correlação com as interações entre os atributos biológicos, os teores de argila, silte e areia e os atributos químicos nos 16 perfis de solo da XV RCC.

Tons vermelhos indicam correlações positivas e tons azuis indicam correlações negativas. Tons claros representam ausência de correlação. 'X' indica correlações não significativas ($p > 0.05$). Siglas: ARIL (arilsulfatase), GLI (β-glicosidase), ARIL_GLI (relação arilsulfatase/β-glicosidase), FOS (fosfatase ácida), MOS (matéria orgânica do solo).

De fato, no correlograma apresentado na Figura 25.3, se e significativas correlações da MOS com o Ca^{2+} e $H^{+}+Al^{3+}$. O Ca^{2+}, por exemplo, é importante para a agregação do solo e a estabilização da MOS, e o seu aumento diminui a toxicidade do Al^{3+}. Esse efeito pode favorecer o crescimento das raízes das plantas e, consequentemente, da atividade microbiana, com reflexos na atividade enzimática. Por outro lado, a relação significativa entre a matéria orgânica e $H^{+}+Al^{3+}$ (acidez potencial) explicada pela dissociação de íons hidrogênio (H^{+}) em grupamentos do material húmico ou húmus (frações humina, ácidos húmicos e fúlvicos). Portanto, o maior teor de Ca^{2+} pode estabilizar a matéria orgânica, a qual eleva o poder (ou potencial) de atividades de enzimas, ao mesmo tempo que contribui para o teor de $H^{+}+Al^{3+}$. Isso explica a correlação positiva de atividade enzimática com a acidez potencial e o teor de Ca^{2+}.

Os níveis de atividade das três enzimas não se correlacionaram com o pH, P, K^+ e nem com os teores de silte e areia. Também não foram observadas correlações com o Ca^{2+}+Mg^{2+} (dados não apresentados).

Deve ser destacado que, na faixa de pH contemplado para os 16 perfis de solos avaliados (4,1 a 5,7), não houve nenhuma relação significativa desse indicador com os níveis de atividade enzimática e nem com os teores de MOS. Por exemplo, as maiores atividades de ARIL e GLI, observadas no perfil PA-17, ocorreram num pH 4,5. Esse dado contrasta com dados de solos de climas temperados que indicam reduções na atividade GLI em solos ácidos. Por outro lado, é necessário ressaltar que o perfil PA-17 é um Organossolo, com maior concentração de material orgânico metabolizável em relação aos outros perfis estudados. Assim, mesmo com pH baixo, a disponibilidade de substrato foi suficiente para aumentar a atividade enzimática em relação aos outros solos.

Os diferentes fatores de formação e processos pedogenéticos agindo em cada solo resultam em diferentes propriedades físicas, químicas e biológicas que acabam por definir o pH, a qualidade e a quantidade de matéria orgânica. Por exemplo, entre a diversidade dos solos avaliados, há os perfis de solos cauliníticos, ácidos pela dessilicação, ferralitilização e decomposição da matéria orgânica, como o Argissolo Amarelo Distrófico latossólico (AM-01), o Latossolo Amarelo Distrófico típico (PA-05) e o Latossolo Amarelo Distrófico húmico (PA-07). Por outro lado, há solos formados a partir de sedimentos aluviais, e com profundo redoximorfismo, como os Gleissolos e o Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico (AM-08). E ainda há o Organossolo Háplico Hêmico típico, com paludização - acúmulo de matéria orgânica devido à estagnação de água e diminuição da atividade microbiana imposta pela anaerobiose. Dessa forma, os processos que influenciam o pH, o acúmulo e a diversificação de moléculas orgânicas do solo, mesmo considerando apenas a camada 0-10 cm, são variados, próprios de cada solo, o que resultou em ausência de correlação entre teores de MOS e pH quando se utilizam os dados dos diferentes perfis da RCC. Outro ponto a ser observado é que os solos de várzeas às margens do Rio Amazonas recebem sedimentos periódicos nos ciclos de cheias do rio, sofrendo cumulização relativamente rápida. Essa entrada de material predominantemente mineral e a saída de parte da serrapilheira no fluxo da água nas cheias do rio diminuem a capacidade de acumular material orgânico ao longo do tempo. Nas várzeas do Médio Rio Amazonas, esse processo gera solos com material mineral pouco intemperizado e, por vezes, com relativo baixo teor de matéria orgânica. Esse efeito também pode contribuir para a redução do impacto da matéria orgânica sobre o pH dos solos avaliados na RCC.

A relação causal entre os níveis de atividade enzimática com os teores de MOS e argila foi avaliada por meio de regressões entre esses parâmetros. Valores elevados de R^2 (0,91, 0,89 e 0,66, para ARIL, FOS e GLI, respectivamente) evidenciaram a forte correlação dessas enzimas com a MOS nos solos amazônicos (Figuras 25.4A, B e C). Os menores valores de R^2 nas regressões com os teores de argila (0,43, 0,47 e 0,36, para ARIL, FOS e GLI, respectivamente) indicam ajustes moderados (Figuras 25.4D, E e F), sugerindo que a relação das três enzimas com o teor de argila não é tão forte quanto com a matéria orgânica do solo (MOS).

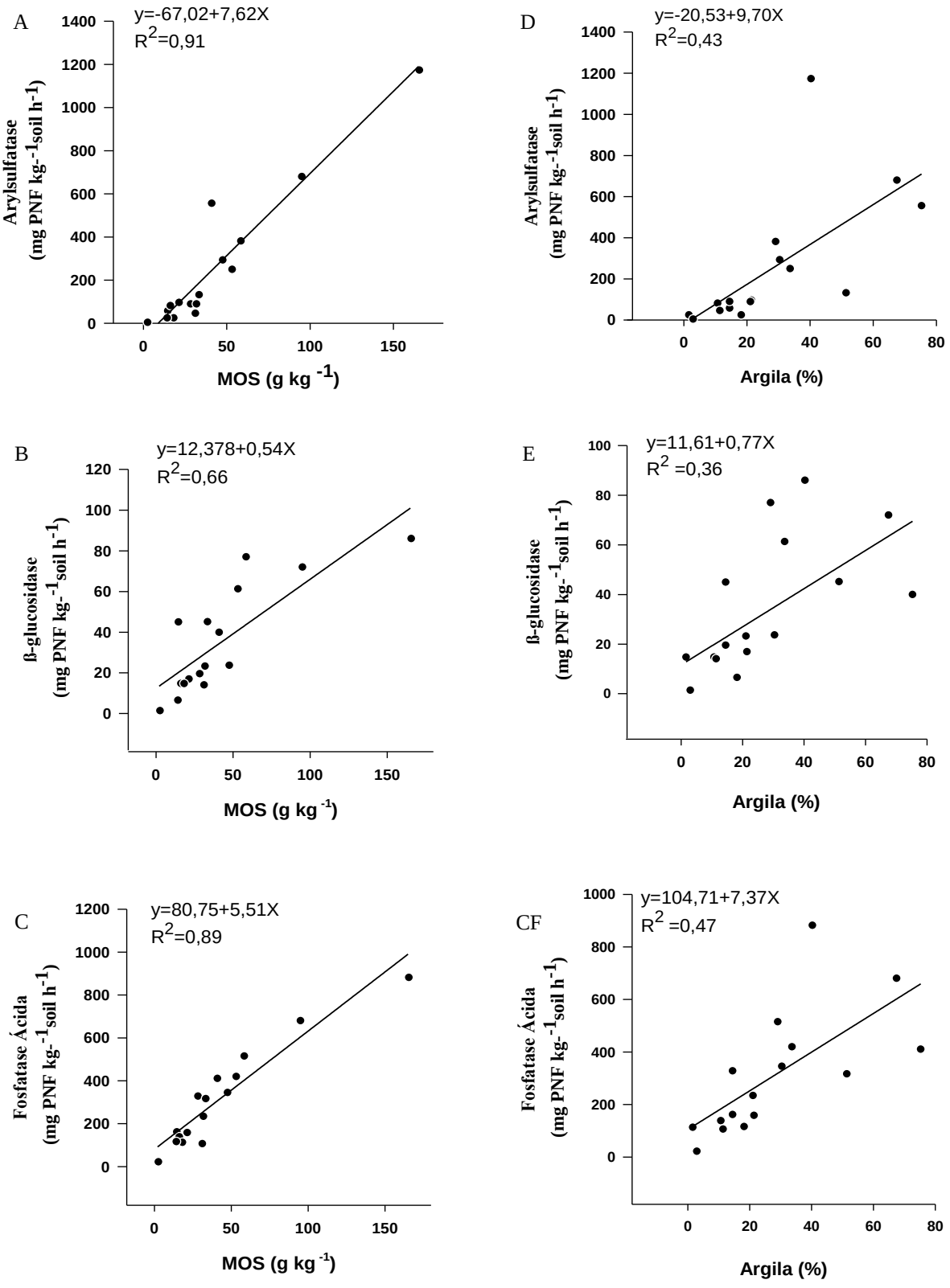


Figura 25.4. Regressões entre os níveis de atividade das enzimas Arilsulfatase, β-glicosidase e fosfatase ácida com os teores de MOS e argila nos 16 perfis de solo da XV RCC.

A textura do solo, definida pela fração granulométrica, influencia o funcionamento do solo e promove, em geral, maior retenção de carbono por meio de associações organominerais (Lützow et al., 2006; Razafimbelo et al., 2013). Assim, solos com concentrações mais altas de argila estão associados à maior atividade enzimática (Vinhal-Freitas et al., 2017) e à matéria orgânica (Amsili et al., 2021). Entretanto, a ausência de relações positivas entre GLI e ARIL e o teor de argila também tem sido reportada na literatura (Gianfreda et al., 2005; Passinato et al., 2021; Carneiro et al., 2024), assim como correlações negativas, efeito atribuído à alta afinidade das enzimas pelas superfícies de argila, resultando em redução da atividade catalítica (Bonanomi et al., 2011).

Por fim, as atividades enzimáticas na camada de 0-10 cm dos perfis de solo constituem-se no início da construção de bases de dados de potencial bioquímico que servirão de padrão de comparação e monitoramento futuro. Esses padrões e futuras análises podem constituir um banco de dados de potencial enzimático do solo em diferentes condições. Apesar de não terem sido avaliados nos horizontes pedogenéticos, os dados bioquímicos da camada superficial do solo podem ser um indicador ou marcador das condições ambientais encontradas em determinado *pedon*.

4. Considerações finais /Perspectivas futuras

O presente estudo, realizado no âmbito da XV RCC, marca a inclusão pioneira de parâmetros bioquímicos (representados pelas enzimas ARIL, GLI e FOS) junto aos parâmetros químicos, físicos e mineralógicos tradicionalmente utilizados na caracterização e descrição dos perfis de solo.

Essa "estreia" adquire ainda mais relevância por se tratar de solos do bioma amazônico, cujo funcionamento é crucial para a sustentabilidade ambiental global.

O Brasil foi o primeiro país no mundo a incorporar parâmetros biológicos (enzimas GLI e ARIL) nas rotinas de análise de solo e agora se destaca também na utilização desses parâmetros em estudos de pedologia.

Como enfatizado na introdução, o objetivo deste estudo não foi avaliar a saúde dos solos nos perfis selecionados, mas, sim, fornecer subsídios para uma melhor compreensão da biogeoquímica dos solos amazônicos. Solos vivos e biologicamente ativos desempenham um papel crucial no ciclo da água e dos nutrientes e na regulação do clima, absorvendo e armazenando grandes quantidades de carbono. Assim, diante do atual cenário de mudanças climáticas e mudanças no uso da terra, o melhor entendimento dos processos biogeoquímicos dos solos amazônicos será essencial para prever e mitigar esses impactos, não apenas para a Amazônia, mas para o planeta como um todo.

Agradecimentos

Os autores agradecem as valiosas sugestões do revisor anônimo, que contribuíram significativamente para a redação deste capítulo.

Referências

AMSILI, J. P.; VAN ES, H. M.; SCHINDELBECK, R. R. Cropping system and soil texture shape soil health outcomes and scoring functions. **Soil Security**, v. 4, 100012, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.soisec.2021.100012.

BONANOMI, G.; D'ASCOLI, R.; ANTIGNANI, V.; CAPODILUPO, M.; COZZOLINO, L.; MARZAIOLI, R.; PUOPOLO, G.; RUTIGLIANO, F. A.; SCELZA, R.; SCOTTI, R.; RAO, M. A.; ZOINA, A. Assessing soil quality under intensive cultivation and tree orchards in Southern Italy. **Applied Soil Ecology**, v. 47, n. 3, p. 184-194, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.12.007.

CARNEIRO, R. G.; FIGUEIREDO, C. C.; MALAQUIAS, J. V.; MENDES, I. C. A soil health assessment tool for vegetable cropping systems in tropical soils based on beta-glucosidase, arylsulfatase, and soil organic carbon. **Applied Soil Ecology**, v. 198, 105394, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105394.

GIANFREDA, L.; ANTONIETTA, R. M.; PIOTROWSKA, A.; PALUMBO, G.; COLOMBO, C. Soil enzyme activities as affected by anthropogenic alterations: intensive agricultural practices and organic pollution. **Science of the Total Environment**, v. 341, n. 1/3, p. 265-279, 2005. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.10.005.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1958. 498 p.

JENNY, H. **Factors of soil formation**: a system of quantitative pedology. New York: McGraw-Hill, 1941. 281 p.

LÜTZOW, M. von; KÖGEL-KNABNER, I.; EKSCHMITT, K.; MATZNER, E.; GUGGENBERGER, G.; MARSCHNER, B.; FLESSA, H. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions: a review. **European Journal of Soil Science**, v. 57, n. 4, p. 426-445, 2006. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00809.x.

MENDES, I. de C.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B. dos; SILVA, O. D. D. da; MALAQUIAS, J. V.; OLIVEIRA, M. I. L. de; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Soil Bioanalysis (SoilBio): a sensitive, calibrated, and simple assessment of soil health for Brazil. In: MENDES, I. C.; CHERUBIN, M. R. (ed.). **Soil health and sustainable agriculture in Brazil**. Nova York: SSSA; London: Willy, 2024. v. 3, cap. 10, p. 292-326. DOI: https://doi.org/10.1002/9780891187448.ch10.

MENDES, I. de C.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B. dos; SOUSA, D. M. G. de; SILVA, O. D. D. da; OLIVEIRA, M. I.; MALAQUIAS, J. V. **Tecnologia BioAS**: uma maneira simples e eficiente de avaliar a saúde do solo. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021. 50 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 369). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1133109. Acesso em: 24 jun. 2025.

MENDES, I. de C.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B. dos. Biological functioning of Brazilian Cerrado soils under different vegetation types. **Plant and Soil**, v. 359, n. 1/2, p. 183-195, 2012. DOI: https://doi.org/10.1007/s11104-012-1195-6.

MENDES, I. de C.; SOUSA, D. M. G. de; REIS JUNIOR, F. B. dos; LOPES, A. A. de C.; SOUZA, L. M. de; CHAER, G. M. Bioanálise de solo: aspectos teóricos e práticos. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 10, p. 399-462, 2019a.

MENDES, I. de C.; SOUZA, L. M. de; SOUSA, D. M. G. de; LOPES, A. A. de C.; REIS JUNIOR, F. B. dos; LACERDA, M. P. C.; MALAQUIAS, J. V. Critical limits for microbial indicators in tropical Oxisols at post-harvest: The FERTBIO soil sample concept. **Applied Soil Ecology**, v. 139, p. 85-93, 2019b. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.025.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (ed.). **Methods of soil analysis**: part 3: chemical methods. Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, 1996. cap. 34, p. 961-1010. DOI: https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c34.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: https://www.R-project.org. Acesso em: 31 ago. 2024.

RAZAFIMBELO, T.; CHEVALLIER, T.; ALBRECHT, A.; CHAPUIS-LARDY, L.; RAKOTONDRASOLO, F. N.; MICHELLON, R.; RABEHARISOA, L.; BERNOUX, M. Texture and organic carbon contents do not impact amount of carbon protected in Malagasy soils. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 3, p. 204-208, 2013. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000300009.

PASSINATO, J. H.; AMADO, T. J. C.; KASSAM, A.; ACOSTA, J. A. A.; AMARAL, L. de. P. Soil health check-Up of conservation agriculture farming systems in Brazil. **Agronomy**, v. 11, n. 12, 2410, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy11122410.

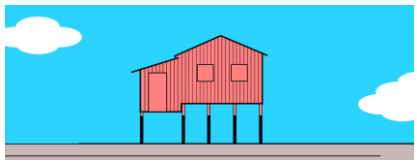
TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A. (ed.). **Methods of soil analysis**: part 2: microbiological and biochemical properties. Madison: Soil Science Society of America, 1994. cap. 37, p. 775-833. DOI: https://doi.org/10.2136/sssabookser5.2.c37.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085209. Acesso em: 24 jun. 2025.

VINHAL-FREITAS, I. C.; CORREA, G. F.; WENDLING, B.; BOBULSKÁ, L.; FERREIRA, A. S. Soil textural class plays a major role in evaluating the effects of land use on soil quality indicators. **Ecological Indicators**, v. 74, p. 182-190, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.020.

WALLENSTEIN, M. D.; BURNS, R. G. Ecology of extracellular enzyme activities and organic matter degradation in soil: a complex community-driven process. In: DICK, R. P. (ed.). **Methods of soil enzymology**. Madison: Soil Science Society of America, 2011. cap. 2, p. 35-55. DOI: https://doi.org/10.2136/sssabookser9.c2.

Capítulo 26



Comparação da classificação taxonômica dos solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos no SiBCS e nos Sistemas Internacionais WRB e Soil Taxonomy

Lúcia Helena Cunha dos Anjos
Peter Schad
João José Lelis Leal de Souza

1. Introdução

Os sistemas de classificação *World Reference Base* (WRB) (IUSS Working Group WRB, 2022) e o *Soil Taxonomy* (ST) (Estados Unidos, 1999, 2022) são os sistemas aprovados pela International Union of Soil Science (IUSS) como internacionais. Tais sistemas possuem distintas bases e critérios para a categorização de solos em função de seu propósito original, entre outros aspectos que os diferenciam; porém, em ambos, os atributos (características e propriedades do solo) que levam em consideração (i) sua relação com os processos de formação dos solos e (ii) potencialidades e fragilidades para o manejo dos solos são dominantes.

O *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* (SiBCS) (Santos et al., 2018) foi desenvolvido para a classificação de solos no território brasileiro. É estruturado em forma de chave taxonômica até o nível categórico de subgrupo, contendo 13 classes de primeiro nível (ordem) e algumas bases e critérios, atributos, definições e conceitos que se originaram ou foram adaptados de definições correlatas do ST ou do WRB. No entanto, alterações diversas foram feitas de forma a melhor expressar as variações de classes de solos no território brasileiro.

A comparação da classificação taxonômica dos solos da *XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos* (XV RCC) no SiBCS e nos Sistemas Internacionais WRB e *Soil Taxonomy* contribui para divulgar os sistemas internacionais no Brasil e, em alguns casos, aperfeiçoá-los quanto à identificação de solos tropicais. Ainda que existam limitações em termos de comparação entre os referidos sistemas devido a diferenças de metodologias de análises e de critérios diagnósticos, essa comparação pode ser relevante também para o SiBCS.

Este capítulo tem como objetivo estudar os 16 perfis de solos da XV RCC, que ocorreu nos estados da Amazônia e Pará, quanto à sua classificação no SiBCS e correspondência nos sistemas WRB e ST.

2. Material e métodos

Foram avaliados 16 perfis de solos em trajeto selecionado nos estados do Amazonas e Pará para representar a diversidade pedológica desses estados (vide Capítulo 9) nos ambientes de várzeas e terra firme. O roteiro começou na cidade de Manaus, AM (oeste), pelo interflúvio Solimões-Negro, e finalizou na cidade de Santarém, PA (leste), com itinerário por terra e água ao longo do Rio Amazonas, de montante para jusante.

Aproximadamente 1.400 km foram percorridos ao longo das rodovias AM-070, BR-174, AM-010, BR-163, estradas vicinais e trechos fluviais. Os perfis foram selecionados de modo a representar solos desenvolvidos a partir de materiais de diversas origens inseridos no Domínio Morfoclimático das Terras Baixas Equatoriais da Amazônia, segundo Ab'Saber (2003). A descrição da geomorfologia do Médio Rio Amazonas é apresentada em detalhes no Capítulo 3, em que a área ao longo do roteiro da XV RCC, entre as cidades de Manaus, AM, e Santarém, PA, foi compartimentada em duas unidades geomorfológicas, a Planície Amazônica e os Baixos Platôs da Amazônia Centro-Oriental. O relevo dominante nos locais de observação dos perfis é plano, com declives inferiores a 3%, embora o perfil AM-02, um Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico, assente-se em relevo forte ondulado, relação solo-paisagem pouco conhecida na região amazônica.

A vegetação nas áreas percorridas na XV RCC é característica do bioma Amazônia e de suas Terras Baixas Equatoriais, variando pouco entre a floresta equatorial perenifólia, a floresta equatorial hidrófila ou higrófila de várzea e o campo equatorial/tropical hidrófilo de várzea. Divergem dessas a do perfil AM-09, sob vegetação de campinarana equatorial arbórea, e a do PA-06, com cerrado equatorial subcaducifólio (vide Capítulo 9).

Os perfis foram descritos segundo Santos et al. (2015), e as amostras de solos foram caracterizadas química e fisicamente nos laboratórios da Embrapa Solos, segundo métodos de rotina utilizados em levantamentos de solos (Teixeira et al., 2017). Análises complementares foram realizadas no Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Consistiram na caracterização do grau de decomposição da matéria orgânica, segundo critérios para solos orgânicos (PA-17) descritos em Santos et al. (2018). Os dados morfológicos e analíticos de cada horizonte e a descrição geral dos perfis são apresentados no Capítulo 9 desta obra. A classificação de cada perfil nos três sistemas (Estados Unidos, 1999, 2022; Santos et al., 2018; Galbraith, 2022; IUSS Working Group WRB, 2022) baseou-se na análise da descrição morfológica e nos dados analíticos fornecidos naquele capítulo, bem como na observação in loco dos perfis.

3. Resultados e discussão

Os horizontes superficiais dos perfis examinados na *XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos* (XV RCC) apresentaram classificação relativamente similar entre os sistemas taxonômicos (Tabela 26.1). Foram identificados cinco diferentes horizontes diagnósticos superficiais de acordo com o SiBCS (antrópico, moderado, fraco, húmico e hístico), quatro diferentes epipedons no *Soil Taxonomy* (Estados Unidos, 1999, 2022)

e quatro horizontes superficiais ou qualificadores (principais ou suplementares) no WRB (IUSS Working Group WRB, 2022).

Em virtude da elevada similaridade de critérios entre os sistemas de classificação, o horizonte A moderado registrado na maioria dos perfis encontra associação com o *ochric epipedon*, de acordo com o ST, e com o *ochric qualifier*, de acordo com o WRB. O horizonte A fraco (SiBCS), observado nos perfis AM-09 (Espodossolo Humilúvico), AM-15 (Gleissolo Háplico) e PA-14 (Vertissolo Hidromórfico), também corresponde ao *ochric epipedon* (ST) e ao *ochric qualifier* (WRB), já que os sistemas internacionais não possuem a subdivisão correspondente. Assim, o A moderado e o A fraco (SiBCS) correspondem ao *ochric* (ST e WRB).

O perfil AM-01 (Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico) teve seu horizonte superficial classificado como A antrópico (SiBCS), apresentando correspondência de classificação com o *pretic epipedon* (ST) e o *pretic horizon* (WRB). Ressalta-se que o *pretic epipedon* foi identificado conforme proposta recente de modificação do ST (Galbraith, 2022). A presente proposta de *pretic epipedon* possui como critérios (Galbraith, 2022): a) teor de carbono orgânico igual ou superior a 0,6%; b) cor úmida com valor igual ou inferior a 4 e croma igual ou inferior a 3; c) teor de Ca e Mg trocáveis, somados, superior a 2 $cmol_c\ kg^{-1}$; d) teor de P extraído por Mehlich-3 igual ou superior a 100 $mg\ kg^{-1}$; e) 1% ou mais de artefatos e materiais produzidos por humanos. No caso da não adoção do *pretic epipedon*, o *anthropic epipedon* (Estados Unidos, 1999, 2022) é reconhecido alternativamente pela presença de artefatos, estrutura e espessura. Os perfis PA-06 (Neossolo Quartzarênico) e PA-07 (Latossolo Amarelo) apresentam A húmico (SiBCS) e são identificados como tendo *umbric epipedon* no ST; no WRB, o *umbric* é complementado pelo *humic qualifier*. Cabe notar que o *umbric epipedon* no ST compreende os horizontes A húmico e A proeminente do SiBCS. Já no WRB, o qualificador suplementar *humic* expressa o teor de carbono orgânico (superior a 1%) observado no perfil até a profundidade de 73 cm.

O perfil PA-17 (Organossolo Háplico) teve o seu horizonte superficial classificado como hístico (SiBCS). No WRB, os maiores teores de carbono orgânico (Corg) em profundidade (2Ho3 e 2Ho4) atendem aos critérios para *organic material* (mais de 20% de Corg) e *histic horizon* (saturado com água por 30 dias consecutivos ou mais na maioria dos anos), complementado pelo *hemic qualifier*, que denota o grau intermediário de decomposição do material orgânico. No ST, o horizonte superficial do perfil PA-17 é classificado como *histic epipedon.* No perfil PA-17, os horizontes Hd1 e Hd2 não atendem ao critério do ST para materiais orgânicos e seriam identificados como minerais (Ap), embora o horizonte Hd3 e os subsequentes atendam ao critério de teor de Corg maior que 12% para materiais orgânicos (Estados Unidos, 2022). Ressalta-se a alteração dos critérios relativos ao teor de Corg (Estados Unidos, 2022) para a identificação de epidepdon *histic* em relação à versão anterior das chaves para o ST (Estados Unidos, 2014). Na versão atual é admitida, na definição de *histic epipedon*, a presença de horizonte mineral com teor mínimo de Corg de 8%; portanto, os horizontes identificados como Hd1 e Hd2 também estão identificados como *histic* na Tabela 26.1.

Tabela 26.1. Análise comparativa dos perfis da XV RCC, estados do Amazonas e Pará, quanto aos tipos de horizontes diagnósticos superficiais do SiBCS em relação aos epipedons do *Soil Taxonomy* e aos horizontes superficiais ou qualificadores, segundo o WRB.

Perfil	SiBCS[(1)]	Soil Taxonomy[(2)]	WRB[(3)]
AM-01	A antrópico	*Pretic epipedon*[(4)]	*Pretic qualifier (principal)*
AM-02	A moderado	*Ochric epipedon*	*Ochric qualifier (suplementar)*
AM-05	A moderado	*Ochric epipedon*	*Ochric qualifier (suplementar)*
AM-06	A moderado	*Ochric epipedon*	*Ochric qualifier (suplementar)*
AM-07	A moderado	*Ochric epipedon*	*Ochric qualifier (suplementar)*
AM-08	A moderado	*Ochric epipedon*	*Ochric qualifier (suplementar)*
AM-09	A fraco	*Ochric epipedon*	*Ochric qualifier (suplementar)*
AM-11	A moderado	*Ochric epipedon*	*Ochric qualifier (suplementar)*
AM-15	A fraco	*Ochric epipedon*	*Ochric qualifier (suplementar)*
AM-16	A moderado	*Ochric epipedon*	*Ochric qualifier (suplementar)*
PA-05	A moderado	*Ochric epipedon*	*Ochric qualifier (suplementar)*
PA-06	A húmico	*Umbric epipedon*	*Humic qualifier (suplementar)*
PA-07	A húmico	*Umbric epipedon*	*Humic qualifier (suplementar)*
PA-13	A moderado	*Ochric epipedon*	*Ochric qualifier (suplementar)*
PA-14	A fraco	*Ochric epipedon*	*Ochric qualifier (suplementar)*
PA-17	Hístico	*Histic epipedon*	*Hemic qualifier (principal)*

(1) SiBCS: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018);
(2) Estados Unidos (1999, 2022);
(3) World Reference Base (WRB) (IUSS Working Group WRB, 2022);
(4) Galbraith (2022).

Para os horizontes subsuperficiais (Tabela 26.2), foram identificados sete horizontes de acordo com o SiBCS (textural, latossólico, glei, incipiente, plíntico, espódico e vértico), quatro horizontes de acordo com o ST (Estados Unidos, 1999, 2022) e três horizontes, além de *gleyic properties* e *organic material*, descritos de acordo com o WRB (IUSS Working Group WRB, 2022). Os perfis AM-02 (Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico), PA-05 (Latossolo Amarelo Distrófico típico) e PA-07 (Latossolo Amarelo Distrófico húmico) apresentaram correspondência entre todos os horizontes subsuperficiais (latossólico, *oxic* e *ferralic*, respectivamente, no SiBCS, ST e WRB). O perfil PA-14 (Vertissolo) também exibiu correspondência entre todos os sistemas (vértico no SiBCS e *vertic* no ST e WRB). O perfil AM-08 (Plintossolo Argilúvico) apresentou correspondência entre o horizonte B plíntico (SiBCS) e o *plinthic horizon* no WRB; mas não no ST, uma vez que este sistema não possui um horizonte diagnóstico específico para registrar a expressão da plintita. O perfil AM-09 (Espodossolo) não indicou haver correspondência entre o horizonte B espódico (SiBCS) e os demais sistemas, na seção de controle utilizada pelo ST e o WRB.

Nos demais perfis, houve maior divergência de correspondência entre os horizontes diagnósticos subsuperficiais entre os diferentes sistemas taxonômicos. Os perfis AM-05, AM-06 e AM-15 (todos classificados como Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico) foram identificados como tendo horizonte glei no SiBCS e *cambic horizon* no ST, enquanto o WRB utiliza *gleyic properties,* não existindo um horizonte glei. O perfil PA-06 (Neossolo Quartzarênico) não possui horizonte diagnóstico subsuperficial nem no SiBCS nem nos demais sistemas, o que é inerente à classe de solo desse perfil.

Tabela 26.2. Horizontes diagnósticos subsuperficiais identificados segundo o SiBCS, *Soil Taxonomy* e o WRB dos perfis da XV RCC, estados do Amazonas e Pará.

Perfil	SiBCS[(1)]	Soil Taxonomy[(2)]	WRB[(3)]
AM-01	B textural	*Oxic*	*Ferralic horizon*
AM-02	B latossólico	*Oxic*	*Ferralic horizon*
AM-05	Glei	*Cambic*	*Gleyic properties*
AM-06	Glei	*Cambic*	*Gleyic properties*
AM-07	B incipiente	*Cambic*	*Gleyic properties*
AM-08	Plíntico	*Argillic, Petroferric contact*	*Plinthic horizon*
AM-09	B espódico	Não possui horizonte diagnóstico subsuperficial (na seção de controle).	Não possui horizonte diagnóstico subsuperficial (na seção de controle).
AM-11	Glei	*Cambic*	*Gleyic properties*
AM-15	Glei	*Cambic*	*Gleyic properties*
AM-16	Glei	*Cambic*	*Gleyic properties*
PA-05	B latossólico	*Oxic*	*Ferralic horizon*
PA-06	Não possui diagnóstico subsuperficial	Não possui diagnóstico subsuperficial.	Não possui diagnóstico subsuperficial.
PA-07	B latossólico	*Oxic*	*Ferralic horizon*
PA-13	Glei	*Cambic*	*Gleyic properties*
PA-14	Vértico	*Vertic*	*Vertic horizon*
PA-17	Não identificado na profundidade avaliada.	Não possui horizonte diagnóstico subsuperficial (na seção de controle).	*Organic material*

(1) SiBCS: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018);
(2) Estados Unidos, (1999, 2022);
(3) World Reference Base (IUSS Working Group WRB, 2022).

Quando comparada a classificação dos solos da XV RCC no SiBCS em relação aos sistemas internacionais utilizados, observa-se boa correspondência (Tabela 26.3). Nos níveis categóricos de ordem ou subordem no SiBCS, Grupos de Solos Referência (RSG) no WRB e ordem no ST, sete (7) perfis apresentaram equivalência nos três sistemas. Entre esses, os perfis AM-02, PA-05 e PA-07, todos classificados como Latossolos no SiBCS, corresponderam aos *Ferralsols* no WRB e *Oxisols* no ST. O perfil AM-05, classificado como Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico no SiBCS, apresentou correspondência ao *Gleysol* no WRB e no ST foi classificado como *Aquent.* Embora não exista no ST uma ordem correspondente para os Gleissolos, a subordem *Aquent* possui atributos similares. O perfil PA-06, classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico húmico no SiBCS, demonstrou correspondência ao *Arenosol* no WRB e no ST foi classificado como *Psamment.* O perfil PA-14, classificado como Vertissolo no SiBCS, corresponde ao *Vertisol* no WRB e no ST. O perfil PA-17 foi classificado como Organossolo no SiBCS e *Histosol* no ST. Já no WRB, o critério de Corg para *Histosol* é atendido considerando os horizontes orgânicos subsuperficiais 2Ho3 e 2Ho4 (vide Capítulo 9).

São os seguintes perfis que apresentaram correspondência em nível de ordem taxonômica entre o SiBCS e pelo menos um dos sistemas internacionais: AM-05, AM-06, AM-11, AM-15, AM-16 e PA-13, todos classificados como Gleissolo Háplico no SiBCS e *Gleysol* no WRB, distinguindo-se no ST, onde são classificados como *Inceptisols*. Já o perfil AM-07 (Cambissolo Flúvico) exibiu correspondência com o ST (*Inceptisols*) e no WRB foi classificado como *Gleysol*. O perfil AM-08, um Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico no SiBCS corresponde ao *Plinthosol* no WRB, mas não possui correspondência em nível de ordem taxonômica no ST, onde é classificado como *Ultisol*, subgrupo *Aeric Epiaquults*; ou seja, mesmo nos níveis categóricos inferiores do ST, não é identificada a presença de plintita.

Nos perfis identificados como Gleissolos no SiBCS e *Gleysols* no WRB, observa-se que no ST o desenvolvimento de estrutura e a manifestação de cor condiz com a identificação de *cambic horizon* e a classificação deles como *Inceptisols;* embora, nos perfis AM-11, AM-16 e PA-13, o regime *aquic* seja utilizado no nível de subordem. Esses perfis foram identificados na subordem *Aquepts* no ST, já que o regime de umidade *aquic* corresponde às condições de formação do horizonte glei.

Cabe destacar alguns critérios relevantes e divergentes entre os sistemas taxonômicos estudados: a presença de plintita, mesmo que em quantidade expressiva, não conduz a uma classe de solo em nível de ordem ou mesmo subordem no ST; o desenvolvimento de estrutura com agregação e os padrões de cores são critérios importantes e prioritários para a identificação de *cambic horizon* e dos *Inceptisols* no ST em solos sujeitos ao hidromorfismo temporário; e a seção de controle para o *spodic horizon* possui limite superior menor que no SiBCS. Por essa razão, o perfil AM-09 (Espodossolo Humilúvico) foi classificado como *Arenosol* no WRB, tendo como qualificador suplementar o *Bathyspodic*, e como *Quartzpsamment* no ST (Tabela 26.3).

Nos demais níveis taxonômicos do SiBCS, subordem, grande grupo e subgrupo, variações de atributos e critérios diagnósticos utilizados entre os diferentes sistemas dificultam comparar as classes de mesmo nível categórico, embora seja possível analisar esses critérios para avaliar se determinados atributos ou classes de solos têm potencial para serem ajustados ou incorporados, sobretudo no SiBCS.

Tabela 26.3. Classificação dos solos da XV RCC nos sistemas SiBCS (até 4º nível categórico), WRB (com os qualificadores principais e suplementares) e *Soil Taxonomy* (até família, 5º nível categórico).

Perfil	SiBCS	WRB[(1)]	Soil Taxonomy[(2)]
AM-01	Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico	*Ferralic Pretic **Anthrosol** (Katoclayic, Lixic, Hypereutric)*	*Clayey, kaolinitic, hyperthermic, Humifactart*[3]
AM-02	Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico	*Katohypergeric Xanthic **Ferralsol** (Pantoclayic, Hyperdystric, Epic, Bathyferric, Ochric)*	*Clayey, kaolinitic, hyperthermic, Xanthic Hapludox*
AM-05	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico	*Hypereutric Oxygleyic **Gleysol** (Polysiltic, Amphiloamic, Ochric, Amphiraptic, Bathystagnic)*	*Fine-silty, mixed, superactive, hyperthermic Typic Fluvaquent*
AM-06	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico	*Hypereutric Oxygleyic **Gleysol** (Pantosiltic, Ochric, Amphiraptic, Endouterquic)*	*Fine-silty, mixed, superactive, hyperthermic, Aquic Eutrudept*
AM-07	Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico	*Hypereutric Oxygleyic **Gleysol** (Anoloamic, Bathysiltic, Ochric, Endoraptic, Endouterquic)*	*Very fine clay, kaolinitic, hyperthermic, Fluventic Eutrudept*
AM-08	Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico	*Albic Stagnic **Plinthosol** (Episiltic, Katoclayic, Alic, Hyperdystric, Epic, Ochric)*	*Fine, mixed, semiactive, hyperthermic, Aeric Epiaquult*
AM-09	Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico	*Oligoeutric Sideralic **Arenosol** (Katoclaric, Nechic, Ochric, Bathyspodic, Bathyortsteinic)*	*Hyperthermic Typic Quartzpsamment*
AM-11	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico	*Hypereutric Oxygleyic **Gleysol** (Pantosiltic, Ochric)*	*Siltic, mixed, superactive, hyperthermic, Fluventic Endoaquept*
AM-15	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico	*Hypereutric Anofluvic Oxygleyic **Gleysol** (Katosiltic, Ochric, Endouterquic)*	*Fine, mixed, superactive, hyperthermic, Fluvaquentic Endoaquept*
AM-16	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico	*Hypereutric Oxygleyic **Gleysol** (Polysiltic, Amphiloamic, Ochric, Amphiraptic, Endosodic, Pantouterquic, Amphiprotovertic)*	*Fine, mixed, superactive, hyperthermic Typic Endoaquept*

Continua …

Tabela 26.3. Continuação...

Perfil	SiBCS	WRB[(1)]	Soil Taxonomy[(2)]
PA-05	Latossolo Amarelo Distrófico típico	*Pantogeric Xanthic Ferralsol (Pantoclayic, Hyperdystric, Epic, Humic)*	*Clayey, kaolinitic, hyperthermic Humic Xanthic Hapludox*
PA-06	Neossolo Quartzarênico Órtico húmico	*Hyperdystric Arenosol (Humic, Nechic)*	*Hyperthermic, Typic Quartzipsamment*
PA-07	Latossolo Amarelo Distrófico húmico	*Anoumbric Katogeric Xanthic Ferralsol (Pantoclayic, Hyperdystric, Epic, Humic)*	*Clayey, kaolinitic, hyperthermic, Humic Xanthic Hapludox*
PA-13	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico	*Hypereutric Oxygleyic Gleysol (Pantoloamic, Amphisiltic, Ochric, Amphiraptic, Endosodic, Endouterquic)*	*Fine, mixed, superactive, hyperthermic, Typic Endoaquept*
PA-14	Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico	*Endosodic Vertisol (Bathyprotocalcic, Endic, Hypereutric, Anogleyic, Katomagnesic, Ochric, Bathystagnic)*	*Mixed, hyperthermic, Typic Endoaquert*
PA-17	Organossolo Háplico Hêmico típico	*Rheic Hemic Histosol (Dystric, Mulmic)*	*Dysic, hyperthermic Fibric Haplohemist*

(1) No WRB, o RSG é indicado pela palavra terminada em *–sol* (com destaque em negrito feito pelos autores na tabela), antecedida de um ou mais prefixos que indicam os qualificadores principais, e é seguida (entre parênteses) de qualificadores suplementares indicativos de outros atributos relevantes.

(2) No ST, a ordem de solo é indicada pelos seus elementos formativos (p. ex., PA-07, ox = *Oxisol*), ao qual se somam prefixos indicativos de subordem (+ *ud* = regime de umidade údico) e grande grupo (+ *Hapl*, por exemplo), antecedidos do primeiro prefixo (*Xanthic*, por exemplo) indicativo do subgrupo.

(3) Proposta de classificação segundo Galbraith (2022).

Apenas um perfil entre os estudados foi identificado em ordens distintas, ou sem correspondência de critérios nesse nível taxonômico, nos três sistemas: o AM-01 foi classificado como Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico no SiBCS, *Pretic Antrhosol* no WRB e *Humifactart*, conforme proposto por Galbraith (2022) para uma nova ordem no ST. Tal divergência explica-se pelos critérios requeridos por cada sistema para a caracterização de solos com forte influência antrópica.

Cabe ressaltar que o *pretic horizon*, descrito no WRB conforme a seguir, tem como origem os solos da região amazônica, conhecidos como Terra Preta de Índio (TPI) ou *Amazonian Dark Earths (ADE).*

> O horizonte prético (do português preto) é um horizonte superficial mineral que resulta de atividades humanas com adição de carbono pirogênico, especialmente carvão. Caracteriza-se pela cor escura, geralmente com presença de artefatos (fragmentos cerâmicos, instrumentos líticos, ferramentas de osso ou de concha, etc.) e elevados teores de Corg, fósforo, cálcio, magnésio e micronutrientes (principalmente zinco e manganês), geralmente contrastantes com solos naturais na área circundante (IUSS Working Group WRB, 2022, tradução nossa).

No ST, o perfil AM-01 foi identificado como *Humifactart*. O elemento formativo *art* refere-se à ordem *Artesols* (do latim *arte factum*, feito com habilidade), que compreende solos formados por materiais alterados ou transportados por humanos (tradução do autor) (Galbraith, 2022). Ainda que a ordem *Artesols* esteja atualmente em discussão no comitê deliberativo do ST, optou-se pela sua adoção uma vez que é importante ressaltar os avanços desse sistema internacional, e todos os critérios para sua identificação são atendidos, quais sejam: a) epipedons antrópico, plágico ou prético; b) artefatos humanos, material transportado por humanos, material alterado por humanos ou camadas produzidas por humanos (geomembranas, camadas concretadas etc.).

A ordem *Artesols* contempla solos que foram submetidos a atividades humanas relativamente recentes, bem como aqueles resultantes do uso por comunidades tradicionais antigas (Galbraith, 2022), à semelhança com o que ocorre na formação da TPI ou ADE do bioma amazônico. Assim, o perfil AM-01 foi classificado na subordem *Factart* em função da abundância de artefatos presentes nos primeiros 2 m abaixo da superfície do solo. O elevado teor de carbono orgânico identifica o grande grupo *Humifactart* (Galbraith, 2022). Essa proposição, segundo Galbraith (2022), é muito importante dada a identificação desse perfil como de referência para as TPI ou ADE na Amazônia, sendo assim registrada em destaque neste documento.

4. Conclusões

De forma geral, a comparação entre ordens taxonômicas no SiBCS e nos sistemas internacionais ST e WRB mostrou que, entre os 16 perfis estudados, sete (7) apresentaram equivalência nos níveis taxonômicos de ordem ou subordem para todos os três sistemas; sete (7) entre o SiBCS e pelo menos um dos sistemas internacionais (WRB ou ST); um (1) perfil (AM-09, Espodossolo) possui classificação similar em nível de ordem taxonômica entre o WRB e o ST, mas distinta do SiBCS.

Ainda, um (1) perfil (AM-01), que apresenta forte influência antrópica, teve classes distintas nos três sistemas. Nesse perfil, representativo de solos da região amazônica, conhecidos como Terra Preta de Índio (TPI) ou *Amazonian Dark Earths* (ADE), o WRB permite a correlação com as propriedades distintivas desses solos já em nível hierárquico elevado, o que não acontece no SiBCS, onde a atividade antrópica é registrada apenas em nível taxonômico de grande grupo. Já no sistema norte-americano, lançou-se mão da recente proposta de Galbraith (2022) para classificá-lo, enquadrando-o como *Humifactart* em referência à classe *Artesols*. Tal classe abrange atividades humanas relativamente recentes e aquelas produzidas por comunidades tradicionais antigas (Galbraith, 2022), à semelhança do que ocorre nas TPIs ou ADEs.

A ordem de maior similaridade entre os sistemas foi a dos Latossolos, coincidindo em todos os três perfis dessa classe com *Ferralsols* no WRB e *Oxisols* no ST. Registra-se que apesar de informações generalizadas sobre os solos da região amazônica, que podem identificar os *Oxisols* que nela ocorrem no regime de umidade *perudic* (regime de umidade do solo extremamente úmido) e, portanto, na subordem *Perox*, segundo o ST, este não foi constatado segundo as informações climáticas da área abrangida pela RCC. Esse fato é relevante para futuras correlações de solos nesse ambiente com esse sistema internacional. A ST considera o

regime perúdico apenas para a ordem dos *Oxisols*, possivelmente devido ao reconhecimento da maior e ampla ocorrência dessa taxa em condições amazônicas de elevada precipitação, enquanto, para as demais classes, o elemento formativo *ud* é utilizado tanto para indicar o regime de umidade do solo údico como o perúdico (Estados Unidos, 2022).

As maiores divergências de classificação para o ST ocorreram nos perfis identificados no SiBCS como Gleissolos ou *Gleysols* no WRB. Tal se deve à definição do horizonte glei no SiBCS e de *gleyc properties* no WRB, e a prioridade dada ao desenvolvimento de estrutura e desenvolvimento de padrões de cores no ST para identificar o *cambic horizon* e, portanto, a ordem dos *Inceptisols*. Destaca-se que no perfil classificado como Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico no SiBCS, o principal critério de divergência foi a seção de controle em que ocorre o horizonte espódico (*spodic horizon*), havendo correspondência entre os sistemas internacionais, mas não com o SiBCS.

Referências

AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil**: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 160 p.

ESTADOS UNIDOS. Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Staff. **Keys to soil taxonomy**. 12th ed. Washington, DC, 2014. 360 p. Disponível em: https://nrcspad.sc.egov.usda.gov/DistributionCenter/pdf.aspx?productID=1059. Acesso em: 18 jul. 2025.

ESTADOS UNIDOS. Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Staff. **Keys to soil taxonomy**. 13th ed. Washington, DC, 2022. 401 p. Disponível em: https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/Keys-to-Soil-Taxonomy.pdf. Acesso em: 18 jul. 2025.

ESTADOS UNIDOS. Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Staff. **Soil taxonomy**: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd ed. Washington, DC, 1999. 886 p. (USDA. Agriculture handbook, 436). Disponível em: https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-06/Soil%20Taxonomy.pdf. Acesso em: 18 jul. 2025.

GALBRAITH, J. M. **Soil order proposal - HAHT soils (Artesols) 22th draft**. 2022. Disponível em: https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2023-01/Artesols-Order-Proposal.docx. Acesso em: 18 jul. 2025.

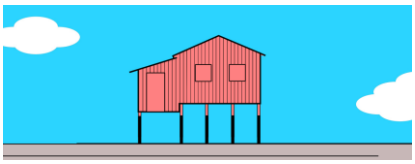
IUSS WORKING GROUP WRB. **World reference base for soil resources**: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th ed. Vienna: International Union of Soil Sciences, 2022. 236 p. Disponível em: https://www.isric.org/sites/default/files/WRB_fourth_edition_2022-12-18.pdf. Acesso em: 18 jul. 2025.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003. Acesso em: 18 jul. 2025.

SANTOS, R. D. dos; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101 p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085209. Acesso em: 18 jul. 2025.

Capítulo 27



Avaliação da aptidão agrícola dos solos da XV RCC

Raimundo Cosme Oliveira Junior

1. Introdução

Entre os distintos levantamentos da potencialidade natural de uma região, o estudo sistemático das condições de solo constitui, reconhecidamente, um instrumento básico na definição de seu possível aproveitamento agrícola. O inventário dos recursos edáficos e suas correlações com o meio ambiente, notadamente clima e vegetação, recebem, genericamente, o nome de levantamento de solos.

Os levantamentos pedológicos constituem estudos básicos onde as diferentes unidades de solos são normalmente descritas em termos dos seus atributos (físicos, químicos e mineralógicos) e de características do meio ambiente. Entretanto, o espectro de aplicação desses estudos é bastante amplo, e torna-se necessário expressar os conhecimentos adquiridos, em função da modalidade de uso que se pretende dar a esse acervo de informações. Assim, quando se pretende determinar qual o fator ou fatores limitantes à produção agrícola, tendo como base as características do solo relacionadas com o meio ambiente, diz-se que se está fazendo a avaliação da aptidão agrícola das terras.

A necessidade de indicações de opções de uso das terras para produção agrícola com lavouras, pastagens, exploração florestal e áreas de preservação conduziu ao desenvolvimento do *Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras* (Ramalho Filho; Beek, 1995), adotado pela Embrapa. Deve ser ressaltado que o planejamento agrícola necessita de informações mais diversificadas sobre as possibilidades de uso das terras, para ser fundamentado em bases amplas, no nível dos conhecimentos tecnológicos já atingidos no país. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a aptidão agrícola dos solos da XV RCC utilizando a metodologia de Ramalho Filho e Beek (1995).

O acervo de informações de levantamentos pedológicos e de estudos climáticos existentes assim como a experiência agrícola na região são de grande valia para auxiliar na avaliação do potencial agrícola dos solos da *XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos* (XV RCC). Não se almeja prover soluções imediatas para os problemas de utilização dos solos, mas, sim, delinear uma diretriz geral para um aproveitamento mais racional dos recursos edáficos, que venha servir de orientação aos planejadores e aos técnicos, os quais podem influir no processo de desenvolvimento agrícola.

2. Material e métodos

Como base para a interpretação da aptidão agrícola dos solos da XV RCC, foram utilizadas as informações referentes à descrição e aos resultados analíticos dos perfis de solo, classificados segundo o *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* (Santos et al., 2018) e apresentadas no Capítulo 9 deste Guia de Campo, complementadas por observações das condições ambientais e de uso da terra efetuadas durante a descrição dos solos. Foram também utilizadas informações sobre as condições climáticas regionais, como subsídio à interpretação das relações ecológicas vigentes no meio natural.

Segundo informações disponibilizadas na caracterização climática da área de abrangência da XV RCC (vide Capítulo 4), o padrão climático na região é regido pelo subtipo Am_3 cuja pluviosidade média anual varia entre 2000 e 2500 mm, mas com uma estação seca de curta duração, de aproximadamente 2 a 3 meses, durante a qual as chuvas são significativamente reduzidas, tendo no mês menos chuvoso índices pluviométricos inferiores a 60 mm (Martorano et al., 2017, 2021). Ocorre pouca variação espacial de temperatura média anual (Tmed), que se situa entre 26,5 °C e 28,5 °C. No entanto, a deficiência hídrica anual (DHA) varia de 23 a 155 mm, com menores valores a oeste do trajeto da RCC (Manaus e arredores, exceto na área do perfil AM-09, com DHA de 11 a 23 mm) e mais elevados a leste da área (Santarém e vizinhanças).

A metodologia do sistema de interpretação adotada recomenda que a avaliação da aptidão agrícola das terras seja baseada em resultados de levantamentos sistemáticos de recursos naturais, realizados com base nos vários atributos das terras, clima, vegetação, topografia, posição na paisagem etc.

A classificação da aptidão agrícola das terras é um processo interpretativo, por isso, seu caráter é efêmero, podendo sofrer variações com a evolução tecnológica. Portanto, ela está em função da tecnologia vigente na época de sua realização.

A avaliação da aptidão agrícola, em síntese, consiste em estimar as condições das terras levando-se em consideração as características do meio ambiente, as propriedades físicas e químicas dos solos e a viabilidade de melhoramento de cinco qualidades básicas que interferem no uso agrícola das terras: fertilidade natural, excesso de água, deficiência de água, suscetibilidade à erosão e impedimentos ao uso de implementos agrícolas.

A classificação da aptidão agrícola baseia-se em um posicionamento das terras dentro de seis grupos que visam mostrar as alternativas de uso mais intensivo de determinada extensão de terra, em função da viabilidade de melhoramento das qualidades básicas das terras e da intensidade da limitação que persistir após a utilização de práticas agrícolas, inerentes ao sistema de manejo, considerando três níveis de tecnologia (baixo nível tecnológico - sistema de manejo A; médio nível tecnológico - sistema de manejo B; alto nível tecnológico - sistema de manejo C).

A avaliação da aptidão agrícola das áreas de ocorrência dos perfis de solo visitadas na XV RCC foi realizada de acordo com os princípios metodológicos preconizados pelo *Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras* (Ramalho Filho; Beek, 1995), descritos de forma resumida a seguir, com algumas adaptações, entre elas a incorporação do fator limitante ao desenvolvimento radicular (Ramalho Filho et al., 2010) e a avaliação da aptidão para

silvicultura também no nível de manejo C, conforme apresentado em Carvalho Filho et al. (2023).

2.1. Níveis de manejo considerados

Tendo em vista as práticas agrícolas ao alcance da maioria dos agricultores, em um contexto específico, técnico, social e econômico, são considerados três níveis de manejo, visando diagnosticar o comportamento das terras em diferentes níveis tecnológicos. Sua indicação é feita pelas letras A (primitivo), B (pouco desenvolvido) e C (desenvolvido), as quais podem aparecer, na simbologia da classificação, escritas de diferentes formas, segundo as classes de aptidão que apresentam as terras, em cada um dos níveis adotados.

Os níveis B e C envolvem melhoramentos tecnológicos em diferentes modalidades, contudo, não levam em conta a irrigação na avaliação da aptidão agrícola das terras.

As terras consideradas viáveis de melhoramento total ou parcial, mediante a aplicação de fertilizantes e corretivos ou o emprego de técnicas como drenagem, controle da erosão, proteção contra inundações, ou remoção de pedras etc., são classificadas de acordo com as limitações ainda persistentes, tendo em vista os níveis de manejo considerados. No caso do nível de manejo A, a classificação é feita de acordo com as condições naturais da terra, uma vez que nesse nível as técnicas de melhoramento não são consideradas.

2.2. Classificação da aptidão agrícola

Um aspecto relevante no desenvolvimento desse sistema é o fato de poder ser apresentada em um só mapa a classificação da aptidão agrícola das terras para diversos tipos de utilização, sob os três níveis de manejo considerados. O sistema utiliza-se de uma estrutura organizada em termos de grupos, subgrupos e classes de aptidão agrícola, para facilitar a representação gráfica das diferentes aptidões das terras em um único mapa.

Grupos de aptidão agrícola - A representação dos grupos é feita pelos algarismos de 1 a 6, em escalas decrescentes, segundo as possibilidades de utilização das terras. As limitações que afetam os diversos tipos de utilização aumentam do grupo 1 para o grupo 6, diminuindo, consequentemente, as alternativas de uso e a intensidade com que as terras podem ser utilizadas. Os grupos 1, 2 e 3, além da identificação de lavouras como tipo de utilização, desempenham a função de representar, no subgrupo, as melhores classes de aptidão das terras indicadas para lavouras, conforme os níveis de manejo. Os grupos 4, 5 e 6 apenas identificam o tipo de utilização mais intensivo possível (pastagem plantada, silvicultura e/ou pastagem natural e preservação da flora e da fauna, respectivamente), independentemente da classe de aptidão.

Subgrupo de aptidão agrícola - Consiste na indicação do tipo de utilização das terras, baseada no resultado conjunto da avaliação da classe de aptidão relacionada com o nível de manejo adotado. No exemplo 1(a)bC, o algarismo 1, indicativo do grupo, representa a melhor classe de aptidão dos componentes do subgrupo, tendo em vista que as terras pertencem à classe de aptidão boa no nível de manejo C (grupo 1); classe de aptidão regular no nível de manejo B (grupo 2) e classe de aptidão restrita no nível de manejo A (grupo 3). Há casos em que o subgrupo se refere somente a um nível de manejo relacionado a uma única classe de aptidão agrícola.

Classe de aptidão agrícola - No sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras, as classes de aptidão constituem-se no último nível categórico. As classes de aptidão são denominadas de Boa, Regular, Restrita e Inapta, para cada tipo de utilização considerado.

As classes expressam a aptidão agrícola das terras para um determinado tipo de utilização, num nível de manejo definido, dentro do subgrupo de aptidão. Elas refletem o grau de intensidade com que as limitações afetam as terras.

Dos graus de limitação atribuídos a cada uma das unidades de terras, resulta a classificação de sua aptidão agrícola. As classes são representadas pelas letras A, B e C, que expressam a aptidão das terras para lavouras, e P, S e N, que se referem a pastagem plantada, silvicultura e pastagem natural, respectivamente. As letras indicativas das classes de aptidão podem aparecer nos subgrupos em maiúsculas, minúsculas ou minúsculas entre parênteses (indicando, respectivamente, as classes de aptidão boa, regular ou restrita), para os diferentes tipos de utilização e níveis de manejo (Tabela 27.1).

Tabela 27.1. Simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola das terras.

Classes de aptidão agrícola	**Tipo de utilização**					
	Lavoura			**Pastagem plantada**	**Silvicultura**	**Pastagem natural**
	Nível de manejo A B C			**Nível de manejo B**	**Nível de manejo B e C**	**Nível de manejo A**
Boa	A	B	C	P	S	N
Regular	A	b	c	p	s	n
Restrita	(a)	(b)	(c)	(p)	(s)	(n)
Inapta	-	-	-	-	-	-

Fonte: Ramalho Filho e Beek (1995).

A ausência de letras representativas das classes de aptidão agrícola, na simbologia dos subgrupos, indica não haver aptidão para uso mais intensivo. Essa situação não exclui, necessariamente, o uso da terra para um tipo de emprego menos intensivo. No presente trabalho, além da indicação do uso mais intensivo, são acrescidos na representação do subgrupo os símbolos correspondentes aos demais usos considerados, quando pertinente. Assim, numa classificação hipotética, em vez da representação simplificada, o subgrupo 3(ab) poderia ser representado como 3(ab) p S_n, indicando classes de aptidão Restrita para lavouras nos níveis de manejo A e B e Inapta no nível C, Regular para pastagem plantada, Boa para silvicultura no nível de manejo B e Inapta no nível C, e Regular para pastagem natural.

As classes de aptidão agrícola das terras são definidas em função da presença de propriedades limitantes ao uso (FAO, 1976) e compreendem as classes boa, regular, restrita e inapta.

O enquadramento das terras em classes de aptidão resulta da interação de suas condições agrícolas, do nível de manejo considerado e das exigências dos vários tipos de utilização. As terras de uma mesma classe de aptidão são similares quanto ao grau, mas não quanto ao tipo de limitação ao uso agrícola. Cada classe inclui diferentes tipos de solo, muitos destes requerendo tratamento distinto.

2.3. Avaliação das condições agrícolas das terras

Para a análise das condições agrícolas das terras, usa-se, hipoteticamente, como referência, um solo que não apresente problemas de fertilidade, deficiência de água, excesso de água ou deficiência de oxigênio, que não seja suscetível à erosão e nem ofereça impedimentos à mecanização. Como, normalmente, as condições das terras fogem a um ou a vários desses aspectos, são estabelecidos diferentes graus de limitação em relação ao solo de referência para indicar a intensidade dessa variação. Além dos cinco fatores tradicionais para avaliar as condições agrícolas das terras: deficiência de fertilidade; deficiência de água; excesso de água ou deficiência de oxigênio; suscetibilidade à erosão; impedimentos à mecanização (Ramalho Filho; Beek, 1995), foram também considerados os impedimentos ao enraizamento, para o caso específico do uso com silvicultura (Ramalho Filho et al., 2010). Todos esses seis fatores podem ser escalonados em graus de limitações como nulo – N, ligeiro – L, moderado – M, forte – F e muito forte – MF.

Além das características inerentes ao solo implícitas nesses seis fatores, como textura, estrutura, profundidade efetiva, capacidade de troca de cátions, saturação por bases, teor de matéria orgânica e pH, outros fatores ecológicos (temperatura, umidade, pluviosidade, topografia e cobertura vegetal) devem ser considerados na estimativa dos graus de limitação das terras. Em fase posterior, na análise de adequação do uso das terras, os fatores socioeconômicos deverão ser considerados. De modo geral, a avaliação das condições agrícolas das terras é feita em relação a vários elementos, muito embora alguns deles atuem de forma mais determinante, como a declividade, a pedregosidade ou a profundidade, que por si já restringem certos tipos de utilização, mesmo com tecnologia avançada.

2.4. Estabelecimento das classes de aptidão agrícola das terras

O estabelecimento das classes de aptidão agrícola das terras é feito pelo estudo comparativo entre os graus de limitação atribuídos a elas e os estipulados em um quadro-guia (Tabela 27.2). O quadro-guia, ou tabela de conversão, fornece uma orientação geral para a classificação da aptidão agrícola das terras, em função de seus graus de limitação, relacionados com os níveis de manejo A, B e C. Assim, a classe de aptidão agrícola, de acordo com os diferentes níveis de manejo, é obtida em conformidade com o grau limitativo mais forte referente a qualquer um dos fatores que influenciam a sua utilização agrícola, como a deficiência de fertilidade, a deficiência de água, o excesso de água (deficiência de oxigênio), a suscetibilidade à erosão e aos impedimentos à mecanização.

2.5. Viabilidade de melhoramento das condições agrícolas das terras

A viabilidade de melhoramento das condições agrícola das terras, mediante a adoção de tecnologias preconizadas para os níveis de manejo B e C, é expressa por algarismos sublinhados que acompanham as letras representativas dos graus de limitação estipulados no quadro-guia (Tabela 27.2). Os graus de limitação são atribuídos às terras em condições naturais e, também, após o emprego de práticas de melhoramentos compatíveis com os níveis de manejo B e C. Da mesma forma, no quadro-guia estão as classes de aptidão de acordo com a viabilidade ou não de melhoramento da limitação. A irrigação não está incluída entre as práticas de melhoramento previstas para os níveis de manejo B e C.

Tabela 27.2. Quadro-guia de avaliação da aptidão agrícola das terras para a região de clima tropical úmido.

Aptidão agrícola			Graus de limitações das condições agrícolas das terras para os níveis de manejo A, B e C																	Tipo de utilização indicado
			Deficiência de fertilidade			Deficiência de água			Excesso de água			Suscetibilidade à erosão			Impedimentos à mecanização			Impedimentos ao enraizamento			
Grupo	**Subgrupo**	**Classe**	**A**	**B**	**C**	**A**	**B**	**C**	**A**	**B**	**C**	**A**	**B**	**C**	**A**	**B**	**C**	**A**	**B**	**C**	
1	1ABC	Boa	N/L	N/L1	N2	L/M	L/M	L/M	L	L1	N/L2	L/M	N/L1	N2	M	L	N				
2	2abc	Regular	L/M	L1	L2	M	M	M	M	L/M1	L2	M	L/M1	N/L2	M/F	M	L				Lavouras
3	3(abc)	Restrita	M/F	M1	L/M2	M/F	M/F	M/F	M/F	M1	L/M2	F+	M1	L2	F	M/F	M				
4	4P	Boa		M1			M			F1			M/F1			M/F					Pastagem plantada
	4p	Regular		M/F1			M/F			F1			F1			F					
	4(p)	Restrita		F1			F			F1			MF1			F					
5	5S	Boa		M/F1	N/L2		M	L		L1	N/L2		F1	L2		M/F	L		N/L	N	Silvicultura
	5s	Regular		F1	L2		M/F	M		L1	L2		F1	L/M2		F	L/M		L/M	L	
	5(s)	Restrita		F/MF 1	M2		F	M/F		L/M1	L/M2		MF1	M2		F	M/F		M/F	M	e/ou
	5N	Boa	M/F			M/F			M/F			F			MF						Pastagem natural
	5n	Regular	F			F			F			F			MF						
	5(n)	Restrita	MF			MF			F			F			MF						
6	6	Sem aptidão agrícola																			Preservação da flora e da fauna

- Os algarismos sublinhados correspondem aos níveis de viabilidade de melhoramento das condições agrícolas das terras.
- Terras sem aptidão para lavouras em geral, devido ao excesso de água, podem ser indicadas para arroz de inundação.
- F^+ - No caso de grau forte por suscetibilidade à erosão, o grau de limitação por deficiência de fertilidade não deve ser maior que ligeiro a moderado (L/M) para a classe Restrita - (a).
- A ausência de algarismos sublinhados acompanhando a letra representativa do grau de limitação indica não haver possibilidade de melhoramento naquele nível de manejo.
- Grau de Limitação: N – Nulo; L – Ligeiro; M – Moderado; F – Forte; MF - Muito forte; / - Intermediário.

Fonte: Ramalho Filho e Beek (1995) e adaptado de Carvalho Filho et al. (2023).

Estão previstas quatro classes de melhoramento, mas apenas as duas primeiras são consideradas no quadro-guia, conforme as condições especificadas para os níveis de manejo B e C:

- Classe 1 - Melhoramento viável com práticas simples e pequeno emprego de capital. Essas práticas são suficientes para atingir o grau indicado.
- Classe 2 - Melhoramento viável com práticas intensivas e mais sofisticadas e considerável aplicação de capital. Essa classe, correspondente às condições do nível de manejo C, ainda é considerada economicamente compensadora.
- Classe 3 - Melhoramento viável somente com práticas de grande vulto, aplicadas a projetos de larga escala, que estão normalmente além das possibilidades individuais dos agricultores.
- Classe 4 - Sem viabilidade técnica ou econômica de melhoramento.

A ausência de algarismo sublinhado acompanhando a letra representativa do grau de limitação indica não haver possibilidades de melhoramento daquele fator limitativo.

3. Resultados e discussão

3.1. Classificação da aptidão agrícola dos solos da XV RCC

A classificação técnica dos solos é feita por meio de uma comparação do solo em condições naturais de fertilidade, deficiência hídrica, deficiência de oxigênio, suscetibilidade à erosão e impedimentos ao uso de implementos agrícolas, com os parâmetros preconizados pelo sistema de avaliação para enquadramento das terras nas classes de aptidão agrícola mais adequadas, visando o uso agrícola mais intensivo do solo, sem causar prejuízos irrecuperáveis aos ecossistemas.

Comparando-se os graus de limitações atribuídos às terras, em relação aos diversos fatores adotados na classificação técnica, definidos pelas propriedades dos solos, clima, relevo e sistema de manejo, foi possível estabelecer as classes de aptidão agrícola das áreas de ocorrência dos solos estudados na XV RCC, conforme mostrado na Tabela 27.3. Para complementar o exame das classes de aptidão agrícola, as análises químicas e físicas dos diferentes perfis estudados são mostradas na Tabela 27.4.

Tabela 27.3. Avaliação da aptidão agrícola das terras correspondentes aos perfis de solos da XV RCC.

Grau de limitação (1)												Classe de aptidão agrícola
Deficiência de fertilidade			Deficiência de água	Deficiência de oxigênio			Suscetibilidade à erosão			Impedimentos à mecanização	Impedimentos ao enraizamento	
A	B	C	A/B/C	A	B	C	A	B	C	A/B/C	A/B/C	
AM-01 – Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico, textura média/argilosa/muito argilosa, epieutrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.												
N/L	N	N	N/L	N	N	N	N/L	N1	N1	N	N	1ABC P SSN
AM-02 – Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico, textura muito argilosa, A moderado, endoconcrecionário, álico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo forte ondulado.												
F	M	N	N/L	N	N	N	M/F	M1	L/M2	F	N/L	4p s_n
AM-05 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura siltosa, A moderado, Tma, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano.												
N/L	N	N	N	MF	F	F	N/L	N/L1	N2	MF	N	6
AM-06 – Gleissolos Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média e siltosa, A moderado, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.												
N/L	N	N	N	M	L/M	L/M	N	N	N	N/L	N	2ab(c)* P ssN
AM-07 – Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, textura média/siltosa, A moderado, Tma, hipoférrico, fase floresta tropical higrófila de várzea, relevo plano.												
N/L	N	N	N	M	L/M	L/M	L	N/L1	N2	N/L	N	2ab(c)* P ssN
AM-08 – Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico, textura média/argilosa/muito argilosa, A moderado, epiálico, Tmoa, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.												
F	M	L	L	M/F	M	M	N/L	N	N	L	N/L	3(b)* P n
AM-09 – Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa, A fraco, endodúrico, fase campinarana equatorial arbórea, relevo plano.												
MF	MF	MF	L/M	L	L	N/L	M/F	M1	L/M2	M	N	6
AM-11 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico, textura siltosa-média/média-siltosa, A moderado, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano.												
L/M	L	N/L	N/L	F	M/F	M	N/L	N/L1	N2	F	M/F	4p* n
AM-12 – Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico, textura média, A moderado, álico, epialumínico, Tmoa, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano.												
M/F	L/M	N	N/L	F	M	L/M	N	N	N	L/M	N	3(bc)* P n

Continua...

Tabela 27.3. Continuação...

Grau de limitação (1)												Classe de aptidão agrícola
Deficiência de fertilidade			Deficiência de água	Deficiência de oxigênio			Suscetibilidade à erosão			Impedimentos à mecanização	Impedimentos ao enraizamento	
A	B	C	A/B/C	A	B	C	A	B	C	A/B/C	A/B/C	
AM-15 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/arenosa/siltosa, A fraco, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.												
N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
AM-16 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa, A moderado, mesoendossolódico, Tma, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.												
N/L	N/L	N/L	N/L	N/L	N/L	N/L	N/L	N/L	N/L	N/L	N/L	N/L
PA-05 – Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.												
N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
PA-06 – Neossolo Quartzarênico Órtico húmico, textura arenosa-média, álico, fase cerrado equatorial subcaducifólio, relevo plano.												
M/F	M/F	M/F	M/F	M/F	M/F	M/F	M/F	M/F	M/F	M/F	M/F	M/F
PA-07 – Latossolo Amarelo Distrófico húmico, textura muito argilosa, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.												
N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
PA-13 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa/siltosa, A moderado, endossódico, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.												
N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
PA-14 – Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico, textura argilosa/siltosa, A fraco, endossolódico, eutrófico, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano.												
N/L	N/L	N/L	N/L	N/L	N/L	N/L	N/L	N/L	N/L	N/L	N/L	N/L
PA-17 – Organossolo Háplico Hêmico típico, textura argilosa/média/orgânica fíbrica, distrófico, epissáprico e mesoendofíbrico, muito lenhosa, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.												
L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L

(1) A - nível de manejo A, B - nível de manejo B e C - nível de manejo C (para deficiência de água, impedimentos à mecanização e impedimentos ao enraizamento não há distinção entre os níveis de manejo quanto ao grau de limitação); Graus de limitação: N - nulo, L - ligeiro, M - moderado, F - forte, MF - muito forte e /=intermediário; 1 - classe 1 de viabilidade de melhoramento, 2 - classe 2 de viabilidade de melhoramento.

Convenções adicionais: * terras aptas para culturas especiais ou pastagens tolerantes a restrição de drenagem interna e não indicadas para culturas de ciclo longo sensíveis ao excesso de umidade estacional.

Fonte: Ramalho Filho e Beek (1995).

Tabela 27.4. Resultados analíticos dos perfis da XV RCC.

Horizonte	Profundidade	Composição granulométrica					pH		Valor S	Valor T	Valor V	Saturação Al	P disponível	C orgânico	Saturação Na
		Areia fina	Areia grossa	Areia total	Silte	Argila	H_2O	KCl							
Símbolo	cm	g kg^{-1}							cmol$_c$ kg^{-1}			%	mg kg^{-1}	g kg^{-1}	%
AM-01 – Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico, textura média/argilosa/muito argilosa, epieutrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.															
Au1	0 - 8	351	202	553	144	304	5,2	4,8	8,2	15,8	52	1	134	21,7	<1
Au2	8 - 18	329	208	537	134	328	5,1	4,6	6,0	13,8	43	2	121	16,5	<1
Au3	18 - 37	319	195	514	115	371	5,1	4,5	4,7	13,5	35	4	104	13,1	<1
Au4	37 - 54	257	140	398	103	499	5,0	4,3	4,2	13,5	31	7	334	12,7	<1
Au5	54 - 73	253	145	398	107	495	5,1	4,4	4,2	13,3	32	5	308	11,0	<1
ABu	73 - 95	253	150	403	102	495	5,0	4,3	3,3	11,8	28	8	260	8,7	<1
BAu1	37 - 78	225	121	346	75	579	4,9	4,4	2,3	7,2	32	8	117	4,7	<1
BAu2	78 - 119	169	107	276	68	656	4,9	4,6	1,8	5,9	31	5	157	2,1	<1
Bt	119 - 153	169	94	263	51	686	4,9	4,5	1,7	5,6	30	6	177	1,4	<1
AM-02 – Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico, textura muito argilosa, A moderado, endoconcrecionário, álico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo forte ondulado.															
A	0 - 7	178	57	235	179	586	4,6	4,0	2,2	11,8	19	33	2	17,8	<1
BA1	7 - 15	124	48	173	181	646	4,5	4,2	0,6	4,8	12	54	2	8,4	<1
BA2	15 - 26	116	47	163	128	709	4,5	4,1	0,2	3,7	5	80	2	6,0	<1
Bw1	26 - 42	83	36	118	124	758	4,5	4,1	0,1	2,9	3	89	1	4,1	<1
Bw2	42 - 80	97	33	131	83	786	4,6	4,2	0,1	2,6	4	87	3	2,9	<1
Bw3	80 - 108	95	37	133	96	771	4,7	4,2	0,1	2,2	5	86	3	2,3	<1
Bw4	108 - 163	93	37	130	59	811	4,8	4,4	0,1	1,8	6	83	3	1,7	<1
Bwc1	163 - 177	98	40	138	80	781	4,9	4,4	0,1	1,8	6	80	1	1,4	<1
Bwc2	177 - 200	112	39	151	86	762	5,0	4,4	0,1	1,1	9	80	1	1,0	<1
AM-05 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura siltosa, A moderado, Tma, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano.															
Ag	0 - 5	8	34	42	743	214	4,5	3,7	11,5	22,0	52	19	49	15,7	<1
2CAg	- 13	7	29	36	751	214	4,5	3,6	10,3	21,4	48	24	44	14,5	<1
3Cg1	- 33	4	34	38	751	212	4,7	3,6	8,3	18,0	46	34	33	7,9	<1
3Cg2	- 65	1	7	8	659	333	4,8	3,6	14,0	21,6	65	17	11	7,4	<1
4Cg3	- 115	5	14	18	717	265	5,1	3,9	18,4	22,6	81	4	8	2,1	<1
4Cg4	- 150	2	11	14	726	260	5,5	4,4	20,6	23,5	88	1	9	2,1	<1
AM-06 – Gleissolos Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média e siltosa, A moderado, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.															
Apg	0 - 5	2	238	240	629	131	5,1	4,4	12,7	17,1	74	2	96	9,0	<1
2ACg	- 17	1	146	148	693	160	4,9	4,0	11,3	16,4	69	8	79	5,3	<1
3Cg1	- 42	2	207	210	654	137	5,3	4,3	12,0	15,4	78	2	73	3,2	<1
4Cg2	- 73	6	103	109	687	203	5,4	4,2	13,6	16,8	81	1	26	2,9	1
5Cg3	- 105	6	171	177	645	177	5,8	4,5	14,5	16,7	87	1	19	1,7	1
6Cg4	- 156	4	216	220	642	137	6,0	4,6	14,3	16,4	87	1	81	0,7	<1
7Cg5	- 192	3	81	84	744	172	6,0	4,6	16,2	18,3	89	1	51	1,2	<1

Continua...

Tabela 27.4. Continuação.

Horizonte	Profundidade	Composição granulométrica					pH		Valor S	Valor T	Valor V	Saturação Al	P disponível	C orgânico	Saturação Na
		Areia fina	Areia grossa	Areia total	Silte	Argila	H_2O	KCl							
Símbolo	cm	g kg^{-1}							cmol$_c$ kg^{-1}			%	mg kg^{-1}	g kg^{-1}	%
AM-07 – Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, textura média/siltosa, A moderado, Tma, hipoférrico, fase floresta tropical higrófila de várzea, relevo plano.															
A1	0 - 4	5	396	401	479	121	5,2	4,3	12,9	17,1	75	2	67	6,2	1
A2	- 15	3	431	434	472	93	5,4	4,7	13,2	16,9	78	1	71	7,6	<1
BA	- 35	2	380	382	511	107	5,2	4,2	13,1	17,0	77	2	83	4,3	1
Bi	- 87	2	396	397	492	111	5,7	4,6	13,2	16,1	82	1	39	3,2	1
2C	- 126	6	236	242	611	147	5,8	4,6	14,6	17,2	85	1	67	3,1	2
2Cg	- 200	7	120	127	720	153	6,6	5,2	17,3	18,6	93	0	55	2,2	3
AM-08 – Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico, textura média/argilosa/muito argilosa, A moderado, epiálico, Tmoa, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.															
A	0 - 6	8	237	244	624	131	4,2	3,8	0,7	7,2	10	72	2	13,7	<1
Btg1	- 30	3	175	178	662	160	4,1	3,8	0,2	5,5	4	94	1	3,4	<1
2Btg2	- 49	4	101	105	531	365	4,2	3,8	0,3	8,8	3	95	1	2,9	<1
2Btgf1	- 73	34	98	131	407	461	4,5	3,9	0,3	11,3	3	96	0	3,1	<1
2Btgf2	- 101	25	102	127	406	467	4,6	3,9	0,2	13,4	1	98	0	1,5	<1
2Cg1	- 151	35	73	109	421	470	4,5	3,8	0,4	14,5	3	96	0	1,2	<1
3Cg2	- 175	30	18	49	163	789	4,4	3,6	1,1	28,5	4	95	0	1,2	<1
AM-09 – Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa, A fraco, endodúrico, fase campinarana equatorial arbórea, relevo plano.															
A1	0 - 8	853	121	974	10	16	4,1	3,1	0,2	2,5	8	71	2	4,7	2
A2	- 23	860	121	982	15	3	4,6	3,4	0,1	1,1	9	75	0	3,1	3
AE	- 57	800	178	977	22	1	4,5	3,3	0,1	2,2	5	75	1	3,8	2
E1	- 130	793	185	977	21	1	5,4	4,2	0,1	0,1	100	0	0	0,2	<1
E2	- 250	800	181	980	18	1	5,8	5,0	0,1	0,1	100	0	0	0,3	<1
2 E3	- 317	844	137	981	19	0	5,8	4,9	0,1	0,1	100	0	0	0,2	<1
3Bh	317 - 332	832	62	894	37	69	4,7	3,8	0,1	6,0	2	92	4	5,5	<1
4Bhsm	- 352	767	90	857	41	102	4,9	4,3	0,1	8,1	1	87	53	9,0	<1
4Bhs	- 380	847	42	889	30	81	5,0	4,4	0,1	7,8	1	83	43	9,9	<1
4Bs	- 396	824	52	876	28	96	5,0	4,6	0,1	4,1	2	75	13	3,9	<1
5C	- 410	328	377	705	107	188	5,1	4,6	0,1	2,9	3	75	4	2,8	1
AM-11 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico, textura siltosa-média/média-siltosa, A moderado, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano.															
A1	0 - 5	40	105	145	667	187	5,2	4,7	13,4	17,6	76	1	56	8,0	<1
A2	- 13	0	83	84	739	177	5,1	4,4	12,8	17,2	74	2	52	7,2	<1
Cg1	- 41	1	164	165	661	174	5,1	4,3	12,4	16,8	74	2	63	6,5	<1
Cg2	- 61	2	181	184	657	160	4,7	4,1	11,7	17,2	68	5	71	7,2	<1
2Cg3	- 70	5	235	240	598	162	4,8	4,2	10,5	16,0	66	5	59	5,3	<1
3Cg4	- 86	0	296	296	581	123	4,7	4,1	8,8	13,7	64	8	55	5,2	<1
4Cg5	- 115	0	224	224	634	143	5,2	4,5	10,5	14,9	70	2	61	6,5	<1
4Cg6	- 160	0	282	282	590	127	5,6	5,0	10,7	13,3	80	1	77	5,8	<1

Continua...

Tabela 27.4. Continuação.

Horizonte	Profundidade	Composição granulométrica					pH		Valor S	Valor T	Valor V	Saturação Al	P disponível	C orgânico	Saturação Na
		Areia fina	Areia grossa	Areia total	Silte	Argila	H_2O	KCl							
Símbolo	cm	g kg^{-1}							cmol$_c$ kg^{-1}			%	mg kg^{-1}	g kg^{-1}	%
AM-12 – Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico, textura média, A moderado, álico, epialumínico, Tmoa, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano.															
Apg1	0 - 5	74	219	293	371	336	4,5	3,8	3,7	18,1	20	52	12	22,4	5
2Apg2	- 11	119	363	483	270	248	4,4	3,8	1,9	11,0	17	65	5	9,8	3
3Cg	- 38	146	502	648	216	136	4,8	4,1	0,4	4,5	9	82	3	3,1	3
4Abg	- 63	152	537	689	173	138	5,2	4,3	0,4	3,2	12	75	4	1,9	3
4C'g1	- 99	146	518	664	238	98	5,4	4,4	0,3	2,6	12	77	6	0,6	3
5C'g2	- 150	150	516	666	188	146	5,1	4,4	0,3	2,6	12	79	7	0,4	4
AM-15 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/arenosa/siltosa, A fraco, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.															
Ag	0 - 4	5	627	631	328	40	5,5	4,9	7,1	9,7	73	0	68	5,2	<1
2C	- 11	2	779	781	200	19	5,9	5,0	4,6	5,6	82	0	68	1,1	1
3Cg	- 15	1	262	264	629	107	5,2	4,6	11,1	14,7	76	1	67	6,6	<1
4C	- 19	2	248	250	637	112	5,3	4,6	5,9	8,2	72	2	62	2,1	<1
5Abg	- 23	6	51	57	757	186	4,8	4,2	13,8	21,3	65	3	39	13,1	<1
5Cg1	- 41	2	188	191	697	113	5,9	5,0	10,9	12,9	84	0	61	3,5	<1
6Cg2	- 60	4	67	71	748	181	5,1	4,3	11,1	14,8	75	2	44	4,9	1
6Cg3	- 108	3	191	193	642	164	5,4	4,5	9,4	11,8	80	1	32	3,6	1
7Cg4	- 145	2	297	299	580	121	5,5	4,5	9,8	12,2	80	1	37	1,7	<1
AM-16 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa, A moderado, mesoendossolódico, Tma, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.															
Ag	0 - 4	2	35	37	753	210	4,4	3,6	9,7	19,1	51	21	37	12,3	1
CAg	- 14	2	35	37	751	212	4,5	3,6	10,0	18,9	53	21	35	11,8	1
2Abg	- 27	4	19	23	613	364	4,7	3,5	14,1	25,5	55	13	6	12,3	2
2Cg	- 51	1	24	24	668	307	5,5	3,9	14,1	17,7	80	3	2	3,1	4
2Cgn1	- 76	14	86	100	706	195	7,3	5,1	16,8	17,8	94	0	4	1,3	8
2Cgn2	- 119	4	16	20	713	267	7,9	5,6	21,3	22,1	96	0	4	1,1	9
2Cgn3	- 155	10	53	63	742	195	8,2	5,8	20,1	20,6	98	0	12	1,6	9
PA-05 – Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.															
A1	0 - 8	33	17	50	197	753	4,2	3,6	1,7	13,2	13	45	7	23,5	<1
A2	8 - 27	12	8	20	155	825	4,4	3,7	0,4	7,4	5	80	3	11,8	<1
BA	27 - 47	10	5	15	96	889	4,3	3,8	0,3	5,0	6	81	1	6,0	1
Bw1	47 - 72	10	6	16	69	915	4,4	3,9	0,3	4,4	7	80	1	5,0	1
Bw2	72 - 130	9	12	21	154	825	4,5	4,0	0,1	3,7	3	92	0	2,5	1
Bw3	130 - 190	9	31	41	214	745	4,7	4,2	0,3	2,9	10	67	0	1,9	1

Continua...

Tabela 27.4. Continuação.

Horizonte	Profundidade	Composição granulométrica					pH		Valor S	Valor T	Valor V	Saturação Al	P disponível	C orgânico	Saturação Na
		Areia fina	Areia grossa	Areia total	Silte	Argila	H_2O	KCl							
Símbolo	cm	g kg^{-1}							cmol$_c$ kg^{-1}			%	mg kg^{-1}	g kg^{-1}	%
PA-06 – Neossolo Quartzarênico Órtico húmico, textura arenosa-média, álico, fase cerrado equatorial subcaducifólio, relevo plano.															
A1	0 - 6	744	113	857	48	95	4,5	3,7	0,2	14,4	1	92	8	21,0	<1
A2	6 - 22	739	134	873	46	81	5,2	4,0	0,2	9,7	2	87	5	16,9	<1
A3	22 - 52	726	147	873	47	80	5,2	4,2	0,1	7,1	1	91	1	13,5	<1
A4	52 - 89	793	98	891	26	83	5,1	4,2	0,1	4,7	2	90	1	8,0	<1
A5	89 - 125	723	155	878	35	87	5,2	4,3	0,1	4,4	2	87	1	5,4	<1
AC	125 - 169	745	139	884	35	81	5,1	4,3	0,1	3,4	3	86	1	2,9	<1
C	169 - 205	785	94	879	26	95	5,0	4,3	0,1	2,1	5	83	2	1,5	<1
PA-07 – Latossolo Amarelo Distrófico húmico, textura muito argilosa, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.															
A1	0 - 15	31	26	57	269	675	4,6	3,9	2,9	24,9	12	42	3	33,6	<1
A2	15 - 27	19	24	43	349	608	4,7	4,0	0,5	17,6	3	76	1	28,5	<1
A3	27 - 40	19	26	45	220	735	4,6	4,0	0,3	15,6	2	89	1	24,2	<1
A4	40 - 58	16	17	33	140	827	4,6	4,0	0,1	11,4	1	95	0	16,4	<1
A5	58 - 78	15	17	32	119	849	4,5	4,0	0,1	9,3	1	95	0	13,1	<1
AB	78 - 97	14	14	27	99	874	4,6	4,0	0,1	6,5	2	93	0	7,7	<1
BA	97 - 137	11	14	25	160	816	4,6	4,1	0,1	5,2	2	91	0	5,4	<1
Bw	137 - 200	12	27	40	173	788	4,7	4,3	0,1	3,5	3	86	0	3,5	<1
PA-13 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa/siltosa, A moderado, endossódico, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.															
Apg	0 - 5	2	11	13	574	413	4,6	3,9	11,4	23,7	48	23	39	20,7	1
2CAg	- 15	2	26	28	710	262	4,6	3,9	10,1	17,8	57	23	37	7,2	1
2Cg1	- 32	2	22	24	750	226	5,2	4,1	12,3	16,5	75	7	32	4,3	2
2Cg2	- 55	7	23	30	716	254	5,3	4,1	12,8	16,5	78	5	12	3,3	5
3Cgn1	- 69	13	29	42	645	313	5,4	4,0	14,8	19,3	77	5	6	3,9	7
3Cgn2	- 101	4	12	16	699	285	5,5	4,0	12,4	16,8	74	9	3	2,4	11
3Cgn3	- 145	12	13	24	674	302	7,6	5,7	19,6	21,0	93	0	5	1,2	21
PA-14 – Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico, textura argilosa/siltosa, A fraco, endossolódico, eutrófico, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano.															
A	0 - 3	21	18	40	426	534	4,3	4,0	19,4	36,8	53	7	17	16,2	2
2CAvg	- 20	3	18	21	484	495	4,7	3,8	16,9	23,9	71	9	6	8,4	2
2Cvg1	- 43	2	4	6	620	374	4,8	3,8	14,2	19,0	75	8	2	2,3	4
2Cvg2	- 71	5	13	18	564	418	5,2	4,0	16,9	20,1	84	2	1	1,8	4
2Cvg3	- 113	9	17	26	587	388	6,9	5,6	24,8	25,9	96	0	1	1,0	5
2Cvgn	- 150	8	16	24	562	414	7,7	6,3	27,9	28,4	98	0	1	0,9	6
2C'vg1	- 170	13	16	30	671	299	8,2	7,2	21,6	21,6	100	0	3	0,6	5
2C'vg2	- 205	19	23	42	652	306	8,2	7,1	23,7	23,7	100	0	7	0,5	5

Continua...

Tabela 27.4. Continuação

Horizonte	Profundidade	Composição granulométrica					pH		Valor S	Valor T	Valor V	Saturação Al	P disponível	C orgânico	Saturação Na
		Areia fina	Areia grossa	Areia total	Silte	Argila	H_2O	KCl							
Símbolo	**cm**	**g kg^{-1}**							**cmol$_c$ kg^{-1}**			**%**	**mg kg^{-1}**	**g kg^{-1}**	**%**
PA-17 – Organossolo Háplico Hêmico típico, textura argilosa/média/orgânica fíbrica, distrófico, epissáprico e mesoendofíbrico, muito lenhosa fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.															
Hd1	0 - 4	104	102	206	408	386	4,5	3,8	11,4	40,1	28	10	7	94,4	<1
Hd2	- 12	80	60	140	439	420	4,5	3,7	6,8	40,9	17	31	4	88,6	<1
Hd3	- 29	254	54	308	411	281	4,1	3,4	3,7	68,6	5	65	2	129,0	<1

3.2. Descrição dos subgrupos de aptidão agrícola

Aptidão agrícola 1ABC P SSN – Aptidão Boa para lavouras de ciclo curto e de ciclo longo nos níveis de manejo A, B e C; Boa para silvicultura nos níveis B e C; Boa para pastagem plantada e para pastagem natural.

Essa classificação refere-se às áreas representadas pelo perfil AM-01 (Tabela 27.3). Corresponde às terras altas de relevo plano, com solos profundos, bem drenados e de textura argilosa e muito argilosa. Embora a saturação por bases trocáveis do solo não seja elevada (43 a 52% nos horizontes superficiais), são altos o Valor S (de 4,0 a 8,0 $cmol_c\ kg^{-1}$) e os teores de fósforo disponível (100 a 300 $mg\ kg^{-1}$), indicando uma elevada fertilidade química natural (construída pela atividade antrópica pré-colonial). O perfil AM-01 foi enquadrado na classe boa para lavouras nos três sistemas de manejo, portanto, sem limitações relevantes para uso com lavouras, silvicultura ou pastagens, com alto potencial para o desenvolvimento de culturas de ciclo curto ou longo adaptadas às condições climáticas da região.

Aptidão agrícola 1(b)C P SSn – Aptidão Boa para lavouras de ciclo curto e de ciclo longo no nível de manejo C, Restrita no nível de manejo B e Inapta no nível de manejo A; Boa para silvicultura nos níveis B e C; Boa para pastagem plantada e Regular para pastagem natural.

Essa classificação refere-se às áreas representadas pelos perfis PA-05 e PA-07. Corresponde às terras altas de relevo plano, com solos profundos, bem drenados e de textura muito argilosa, favoráveis portanto às atividades mecanizadas. No entanto, a saturação por bases trocáveis dos solos é muito baixa (inferior a 20%), e a saturação por alumínio, muito alta (superior a 75%, exceto no horizonte A1, com ≤ 15 cm de espessura e valores de 40% a 45%), indicando uma baixa fertilidade natural, necessitando, por conseguinte, de altas concentrações de insumos para correção da acidez e elevação do nível de nutrientes, de acordo com as necessidades das culturas. Conforme indicado na Tabela 27.3, os solos dessa classe não apresentam restrições para mecanização nem riscos à erosão. Desse modo, são boas as condições para o desenvolvimento de culturas de ciclo curto ou longo, adaptadas às características climáticas da região, no nível de manejo C, mas sem aptidão para lavouras no nível A, e apenas restrita no nível B, devido à deficiência de fertilidade. São também favoráveis as condições para exploração dessas terras com pastagem plantada e silvicultura.

Aptidão agrícola 2ab(c)* P ssN – Aptidão Regular para lavouras de ciclo curto tolerantes à restrição de drenagem interna nos níveis de manejo A e B e Restrita no nível de manejo C, não indicada para culturas de ciclo longo sensíveis ao excesso de umidade estacional; Boa para pastagem plantada, adaptada ao excesso de umidade estacional; Regular para silvicultura nos níveis de manejo B e C, com espécies adaptadas ao excesso de umidade estacional; Boa para pastagem natural.

Essa classificação refere-se às áreas representadas pelos perfis AM-06 e AM-07. Situadas em diques do Rio Amazonas, essas terras apresentam alta fertilidade natural, com saturação por bases trocáveis acima de 50%, mas com restrição de drenagem interna (os perfis são moderada e imperfeitamente drenados) e estão sujeitas a inundações periódicas, o que interfere grandemente na sua utilização para lavouras, principalmente as de ciclo longo, assim como para silvicultura. Apesar das limitações que apresentam, os solos podem ser utilizados para culturas de ciclo curto adaptadas às condições naturais da região e são indicados, preferencialmente, para desenvolver lavouras no modelo de agricultura familiar, sendo consideradas as melhores terras de várzea visitadas durante a RCC. Há que se verificar ainda a possibilidade de exploração comercial com espécies nativas (ou adaptadas) que se desenvolvem bem nessas áreas de diques, tais como: fruteiras (araçá da várzea, bacupari, caçari-arbóreo, cajuí, catoré, jenipapo, puruí-preto, socoró de várzea, taperebá), espécies florestais (castanha-de-macaco, castanha sapucaia, mulateiro, munguba, sumaúma, uxi-coroa, uxi-liso) e palmeiras (açaí-do-pará, bacaba, inajá, patauá, paxiúba, tucumã).

Vale ressaltar, todavia, que na área do perfil AM-07 aparecem fendas consideráveis na superfície do solo, o que indica a possibilidade da ocorrência futura de desbarrancamentos, como é comum na região.

Aptidão agrícola 3(abc)* P ssN – Aptidão Restrita para lavouras de ciclo curto tolerantes à restrição de drenagem interna nos níveis de manejo A, B e C, não indicada para culturas de ciclo longo sensíveis ao excesso de umidade estacional; Boa para pastagem plantada adaptada ao excesso de umidade estacional; Regular para silvicultura nos níveis de manejo B e C, com espécies adaptadas ao excesso de umidade estacional; Boa para pastagem natural.

Essa classificação corresponde às áreas representadas pelo perfil AM-15. Essas terras situam-se na Ilha Vila Nova, em dique do Rio Amazonas, têm elevado conteúdo de areia (632 a 781 g kg^{-1}) nos primeiros 11 cm a partir da superfície do solo, alta fertilidade natural, com saturação por bases trocáveis acima de 50%, e apresentam restrição de drenagem interna (o perfil AM-15 é moderada a imperfeitamente drenado), além de estarem sujeitas a inundações periódicas, o que interfere grandemente na sua utilização para lavouras, principalmente as de ciclo longo. Apesar das restrições que apresentam, os solos podem ser utilizados para culturas de ciclo curto adaptadas às condições naturais da região e são indicados, preferencialmente, para desenvolver lavouras no modelo de agricultura familiar.

Aptidão agrícola 3(bc)* P n – Aptidão Restrita para lavouras de ciclo curto tolerantes à restrição de drenagem interna nos níveis de manejo B e C, não indicada para culturas de ciclo longo sensíveis ao excesso de umidade estacional, e Inapta no nível de manejo A; Boa para pastagem plantada adaptada ao excesso de umidade estacional; Inapta para silvicultura nos níveis de manejo B e C; Regular para pastagem natural.

Essa classificação corresponde às áreas representadas pelos perfis AM-12 e PA-13. Essas terras apresentam limitações devido à baixa fertilidade natural, com saturação por bases

trocáveis inferior a 20% e moderados conteúdos de alumínio (álicos) ou presença de sódio trocável em subsuperfície, o que inviabiliza a exploração com lavouras no nível de manejo A, além de restrições de drenagem interna e de estarem sujeitas a inundação. Apesar dessas limitações (ver Tabela 27.3), esses solos podem ser utilizados para culturas de ciclo curto tolerantes à deficiência de oxigênio e adaptadas às condições climáticas da região, assim como para pastagem plantada tolerante à deficiência de oxigênio.

Aptidão agrícola 3(b)* P n – Aptidão Restrita para lavouras de ciclo curto tolerantes à restrição de drenagem interna no nível de manejo B, não indicada para culturas de ciclo longo sensíveis ao excesso de umidade estacional, e Inapta nos níveis de manejo A e C; Boa para pastagem plantada adaptada ao excesso de umidade estacional; Inapta para silvicultura nos níveis de manejo B e C; Regular para pastagem natural.

Essa classificação corresponde às áreas representadas pelo perfil AM-08. Esse solo apresenta baixa reserva de nutrientes e valores de alumínio trocável muito elevados (álico até 30 cm e alumínico abaixo dessa profundidade), necessitando da aplicação massiva de corretivos e fertilizantes para o desenvolvimento das lavouras. Além disso, a restrição de drenagem interna implica eventual presença de lençol freático próximo da superfície e risco de encharcamento no período das chuvas, inviabilizando o uso com silvicultura, assim como dificultando a mecanização agrícola. Apesar dessas limitações, essas terras ainda podem ser utilizadas para culturas de ciclo curto tolerantes à deficiência de oxigênio e adaptadas às condições climáticas da região no modelo de agricultura familiar.

Aptidão agrícola 4p s_n – Aptidão Regular para pastagem plantada; Regular para silvicultura no nível de manejo B e Inapta no nível C; Regular para pastagem natural; Inapta para lavouras.

Essa classificação corresponde às áreas representadas pelo perfil AM-02. Devido ao relevo acidentado em que ocorrem, essas terras apresentam fortes restrições à utilização para lavouras, principalmente para culturas de ciclo curto sob manejo intensivo, nas quais o uso de máquinas e de implementos agrícolas está presente em praticamente todas as fases do processo produtivo. Na avaliação da aptidão agrícola, constata-se que, além da fertilidade natural, a suscetibilidade à erosão e o impedimento à mecanização em grau forte praticamente inviabilizam a utilização dessas áreas para lavoura, sendo indicadas, mesmo com restrições, à silvicultura no nível de manejo B e à pecuária, com espécies florestais e forrageiras protetoras do solo contra os processos erosivos. Adicionalmente, a presença de elevado conteúdo de cascalhos lateríticos entre 163 e 177 cm de profundidade pode afetar o desenvolvimento de raízes de certas espécies arbóreas.

Aptidão agrícola 4(p) (s)_(n) – Aptidão Restrita para pastagem plantada, Restrita para silvicultura no nível de manejo B e Inapta no nível C; Restrita para pastagem natural; Inapta para lavouras.

Essa aptidão corresponde às áreas representadas pelo perfil PA-06. Essas terras apresentam fortes restrições à utilização para lavouras, principalmente para culturas de ciclo curto, por apresentarem textura arenosa até mais de 200 cm de profundidade, com reflexos negativos na disponibilidade de nutrientes, suscetibilidade à erosão e impedimentos à mecanização. São indicadas, com restrições, à silvicultura no nível de manejo B e à pecuária, com espécies florestais e forrageiras protetoras do solo contra os processos erosivos.

Aptidão agrícola 4p* n – Aptidão Regular para pastagem plantada adaptada ao excesso de umidade estacional; Regular para pastagem natural; Inapta para lavouras e para silvicultura.

Essa aptidão corresponde às áreas representadas pelos perfis AM-11, AM-16 e PA-14. Essas terras apresentam restrições à utilização para lavouras, principalmente por ocorrerem em áreas sujeitas a períodos prolongados de inundação ou com lençol freático elevado. Apesar de apresentarem alta fertilidade natural, na avaliação da aptidão agrícola, constata-se que os solos apresentam graus fortes por excesso de água ou deficiência de oxigênio e impedimento à mecanização. Apesar das restrições que esses solos apresentam, podem ser utilizados para pastagem plantada tolerante à deficiência de oxigênio, ou para pastagem natural.

Aptidão agrícola 5n – Aptidão Regular para pastagem natural; Inapta para lavouras, para pastagem plantada e para silvicultura.

Essa aptidão corresponde às áreas representadas pelo perfil PA-17. Essas terras constituem ecossistemas de grande importância ecológica e com fortes restrições ao uso agropecuário. Por essa razão, o emprego de práticas de melhoramento não foi considerado viável, sendo a avaliação realizada conforme as condições naturais das terras, o que resultou em classe de aptidão regular para pastagem natural. No entanto, devido aos riscos de degradação, são indicadas, preferencialmente, à preservação ambiental.

Aptidão agrícola 6 – Sem aptidão (classe Inapta). Terras Inaptas para uso agrícola, indicadas para a preservação de flora e de fauna.

Essa aptidão corresponde às áreas representadas pelos perfis AM-05 e AM-09. Essas terras constituem ambientes muito frágeis e com fortes restrições ao uso agropecuário, sendo indicadas, preferencialmente, à preservação ambiental. O perfil AM-05 situa-se em área de aningal, ecossistema de grande importância ecológica no contexto regional. No caso do perfil AM-09, os principais fatores limitantes são o baixo nível de fertilidade, a deficiência hídrica (em função da baixa capacidade de água disponível) e a suscetibilidade à erosão. Esses solos, quando ocorrem em grandes extensões, excluindo-se todas as restrições de natureza jurídica e/ou ambiental, são de grande importância como fonte de areia para o setor da construção civil.

4. Conclusões

A partir da interpretação realizada, tendo como base as características físicas, químicas e morfológicas dos solos, aliadas às condições ambientais em que ocorrem, foi possível chegar às seguintes conclusões, com respeito à área dos solos estudados na XV RCC:

- O excesso de água (deficiência de oxigênio) não é empecilho para a produção das áreas de várzea, desde que observado o período de plantio e de colheita. Todos os perfis situados em áreas de várzea com classes de aptidão regular para lavouras possuem potencial de alta produção para culturas de ciclo curto tolerantes à deficiência de oxigênio, especialmente melancia, melão, milho, feijão caupi, mandioca e macaxeira, além de verduras folhosas e legumes, do tipo pimentão verde e repolho.
- As terras indicadas para lavouras (no ambiente de terra firme) podem ser utilizadas para culturas de ciclo curto e/ou longo, considerando as condições do solo. Quanto ao clima, deve ser ressaltado que a estiagem de dois a três meses pode inviabilizar a utilização de plantas sensíveis à deficiência hídrica acentuada, tendo em vista o sistema de avaliação não considerar a irrigação.
- As terras aptas para lavouras (em áreas de terra firme) podem também ser utilizadas em atividades agrícolas menos intensivas, como pastagem, silvicultura (reflorestamento) e indicação de áreas para regeneração natural e preservação.
- As áreas dos diques fluviais (perfis AM-06, AM-07 e AM-15) são aptas para lavouras tolerantes ao excesso de umidade estacional nos três níveis de manejo e também para silvicultura nos níveis de manejo B e C. Há que se verificar ainda a possibilidade de exploração comercial com espécies nativas (ou adaptadas) que se desenvolvem bem nesse ambiente, tais como: fruteiras (araçá da várzea, bacupari, caçari-arbóreo, cajuí, catoré, jenipapo, puruí-preto, socoró de várzea, taperebá), espécies florestais (castanha-de-macaco, castanha sapucaia, mulateiro, munguba, sumaúma, uxi-coroa, uxi-liso) e palmeiras (açaí-do-pará, bacaba, inajá, patauá, paxiúba, tucumã).

Referências

CARVALHO FILHO, A. de; LUMBRERAS, J. F.; OLIVEIRA, A. P. de; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de; SILVA, E. F. da; UHLMANN, A.; EVANGELISTA, B. A.; ALMEIDA, R. E. M. de. Avaliação da aptidão agrícola das áreas de ocorrência dos solos da XIV RCC - estados de Goiás e Tocantins. In: SANTOS, G. G.; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, R. E. M. de; MADARI, B. E. (ed.). **Guia de campo da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Goiás e Tocantins. Brasília, DF: Embrapa, 2023. E-book. cap. 22. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1155338. Acesso em: 24 jun. 2025.

FAO. **A framework for land evaluation**. Rome: FAO. 1976. 72 p. (FAO soils bulletin, 32). Disponível em: https://www.fao.org/3/x5310e/x5310e00.htm. Acesso em: 24 jun. 2025.

MARTORANO, L. G.; SOARES, W. B.; MORAES, J. R. da S. C. de; NASCIMENTO, W.; APARECIDO, L. E. de O.; VILLA, P. M. Climatology of air temperature in Belterra: thermal regulation ecosystem services provided by the Tapajós National Forest in the Amazon. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 2, p. 327-337, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-77863620015.

MARTORANO, L. G.; VITORINO, M. I.; SILVA, B. P. P. C. da; MORAES, J. R. da S. C. de; LISBOA, L. S.; SOTTA, E. D.; REICHARDT, K. Climate conditions in the Eastern Amazon: rainfall variability in Belem and

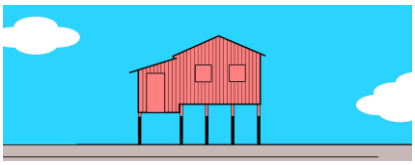
indicative of soil water deficit. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 21, p. 1801-1810, 2017. DOI: https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11801.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65 p.
Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330132. Acesso em: 24 jun. 2025.

RAMALHO FILHO, A.; MOTTA, P. E. F. da; NAIME, U. J.; BACA, J. F. M. Procedimento metodológico da avaliação da aptidão agrícola das terras para a cultura da palma de óleo nas áreas desmatadas da Amazônia Legal. In: RAMALHO FILHO, A.; MOTTA. P. E. F. da; FREITAS, P. L. de; TEIXEIRA, W. G. **Zoneamento agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. pt. 1, cap. 2, p. 23-45.
Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/879728. Acesso em: 24 jun. 2025.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003. Acesso em: 23 jun. 2025.

Capítulo 28



Monolitos de solos dos perfis das RCCs brasileiras

Luís Antônio Coutrim dos Santos
Fabrício de Araújo Pedron

1. Introdução

Os solos são recursos naturais de elevada importância para a manutenção dos ecossistemas terrestres e, consequentemente, para o desenvolvimento sustentável (social, ambiental e econômico) de toda a humanidade. Por esse motivo, a identificação e o reconhecimento dos solos e de suas propriedades sempre fizeram parte das atividades dos profissionais envolvidos com o uso e a gestão das terras. Nesse sentido, a formação profissional de qualidade é também fator fundamental para a adequada gestão dos solos. Umas das ferramentas utilizadas na qualificação do processo formativo de profissionais na área dos recursos naturais são os monolitos de solos (Pedron; Dalmolin, 2009).

Os citados monolitos são seções tridimensionais de perfis de solos coletadas no campo, geralmente de formato indeformado, com o objetivo de estudar, conservar e expor em coleções ou museus (Fontes; Fontes, 1992; Curi, 1993; Pedron; Dalmolin, 2009). Os monolitos de solos são ferramentas há muito utilizadas por instituições de ensino, pesquisa e extensão no mundo todo. No Brasil, foram introduzidas de forma ampla, sistemática e organizada em 1973, pelo Museu de Solos do Rio Grande do Sul, por ocasião da sua inauguração, durante o 14º Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, realizado em Santa Maria, no referido ano.

O uso de procedimentos adequados permite que os monolitos de solos se tornem uma representação morfológica fiel de campo. Essa possibilidade contribui significativamente para o processo educativo em todos os níveis, desde a educação fundamental até a superior, incluindo também a educação não formal da comunidade que acessa essas coleções em museus e salas de exposições. No ensino superior, as coleções de monolitos de solos expandem as possibilidades pedagógicas de reconhecimento de solos e identificação de estruturas pedogenéticas importantes para a interpretação de potencialidades e limitações de uso desses recursos, permitindo a aquisição de habilidades técnicas mais sólidas pelos usuários desses espaços.

A coleta de monolitos de solos nas Reuniões Brasileiras de Classificação e Correlação de Solos (RCCs) é uma oportunidade única que permitirá a organização de uma coleção valiosa em termos pedológicos para o país. As RCCs são eventos importantes que tratam da avaliação de solos e paisagens com o objetivo de avançar no conhecimento sobre esses recursos, com reflexos na evolução do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos e na disponibilização de dados importantes sobre nossos solos. A criação de uma coleção com os monolitos de solos

analisados por ocasião das RCCs tornará o Brasil um dos poucos países com uma coleção de alto nível de seus solos, com efeitos diretos na formação de novos profissionais na área de Pedologia e Ciência do Solo.

Dessa forma, os objetivos deste texto são apresentar a proposta de coleta e criação de coleções de monolitos de solos analisados nas RCCs, propor uma metodologia para a confecção dos monolitos de solos e discutir seus benefícios para a Ciência do Solo.

2. Material e métodos

2.1. Procedimentos para coleta e preparo de monolitos de solos

Há diversas opções para a realização da coleta e do preparo dos monolitos para a sua exposição em coleções e museus. Sugerimos, neste capítulo, alternativa para que seja avaliada e considerada na definição do procedimento mais adequado para cada situação e realidade de campo e de infraestrutura institucional. Muitas das opções disponíveis apresentam custo mais elevado, demandam logística mais elaborada para seu uso seguro e podem utilizar materiais nocivos à saúde. Os procedimentos que apresentamos neste capítulo são aqueles que entendemos como os mais práticos, baratos, de fácil utilização, seguros e eficientes para a confecção de monolitos de solos de alta qualidade.

O método da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), empregado desde 1973 e aprimorado ao longo dos anos em várias instituições brasileiras, será apresentado como procedimento metodológico para a criação da coleção de monolitos de solos. Os procedimentos apresentados a seguir podem ser obtidos em maior detalhamento no livreto sobre o tema de Pedron e Dalmolin (2009), disponível para download gratuito no site do Museu de Solos do Rio Grande do Sul (MSRS)[1].

2.2. Método da UFSM

O método da UFSM, também chamado de método de Lemos, foi criado pelo idealizador do MSRS, prof. Raimundo Costa de Lemos. Sua experiência nacional e internacional na Pedologia contribuiu para a criação inovadora da primeira coleção de monolitos de solos do Brasil, com um método também inovador, que substituiu o uso de tábuas com pregos por uma forma de metal e da resina epóxi por cola branca escolar (PVA – acetato de polivinila). Esse método também vem sendo usado pelos museus de solos da Amazônia dos estados do Amazonas, Roraima e Santa Catarina, do Museu de Solos do Brasil, da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme) e da Universidade Federal de Pelotas (UFPel).

2.2.1. Etapa 1: preparação do material para coleta do monolito de solo

O principal material para a coleta do monolito é a forma de metal. No MSRS as formas usadas para solos desenvolvidos têm as seguintes dimensões: 15 cm de largura por 120 cm de altura. Outros museus, como o da Amazônia, adotaram as dimensões de 18 cm de largura por 120 ou 70 cm de altura. São dimensões que permitem uma adequada visualização da morfologia do solo e, ao mesmo tempo, fazem melhor uso do espaço e facilitam a coleta no campo. O uso

[1] Informações disponíveis em: https://www.ufsm.br/museus/msrs/downloads.

de formas maiores eleva os custos de produção da peça, torna a coleta e o transporte mais difíceis e requer maior espaço para exposição, por isso não o recomendamos. As formas podem ser produzidas em aço inox, alumínio ou chapa galvanizada. Outros materiais necessários à confecção dos monolitos são ataduras de gaze para enrolar o monolito com a forma de metal e ferramentas como pás, enxós, picaretas, martelo pedológico, facas etc.

2.2.2. Etapa 2: coleta do monolito de solo no campo

Depois de selecionado o local, o perfil do solo deve ser exposto em uma trincheira ou em um barranco (Santos et al., 2015). Após a limpeza da face do perfil com uma pá reta, marca-se a área da forma de metal no perfil, utilizando-se a ponta de uma faca (Figura 28.1A). Na sequência, escava-se uns 2 cm da área externa da marcação para, posteriormente, encaixar a forma no perfil do solo. Antes do encaixe, unta-se generosamente a forma com a cola branca PVA, para realizar a colagem do monolito com o fundo da forma (Figura 28.1B).

Após encaixar a forma no perfil, inicia-se a escavação da superfície, sempre deixando de 15 a 20 cm de solo em contato com a forma. A cada 15-20 cm escavado, introduz-se uma ou duas ataduras de gaze para enrolar solo e forma, de maneira bem justa (Figura 28.2A). Repete-se o procedimento até a base da forma de metal, sempre com alguém segurando o conjunto para não haver deslocamento, conforme se avança na escavação. Aconselha-se introduzir uma espátula resistente na base do monolito para evitar possíveis deslocamentos. Após removido o monolito, ele se parecerá com uma múmia, todo enrolado em ataduras de gaze (Figura 28.2B). Deve ser colocado sobre uma tábua de pelo menos 2 cm de espessura, com tamanho levemente maior que a forma, para maior segurança no transporte.



Fotos: Luís Antônio Coutrim dos Santos.

Figura 28.1. Procedimento para coleta do monolito de solo: demarcação da área de coleta do monolito (A) e aplicação da cola PVA na forma metálica para coleta (B).

Fotos: Luís Antônio Coutrim dos Santos.



Figura 28.2. Procedimento para coleta de monolito de solos: enrolamento das ataduras (A) e processo de coleta finalizado (B).

2.2.3. Etapa 3: toalete do monolito

A toalete, limpeza fina, da escultura do monolito inicia-se com a retirada das ataduras e o rebaixamento do monolito, sempre observando o tamanho dos agregados e outras feições morfológicas eventualmente presentes, tais como fragmentos de rochas e minerais, raízes, concreções etc. Depois de rebaixado, o monolito precisa ser esculpido com cuidado para ficar o mais baixo possível e manter sua morfologia de campo. Para isso, usa-se uma ponta de prego pequeno e um compressor de ar para ajudar na limpeza dos fragmentos liberados (o jato de ar não poderá ser muito potente para não desagregar o solo). A pessoa responsável por essa etapa precisa conhecer muito bem a morfologia do solo e ter habilidades para esculpir naturalmente sem deixar marcas no monolito.

2.2.4. Etapa 4: impregnação do monolito

A impregnação é realizada com cola branca à base de água. Cada solo, dependendo de sua mineralogia, teor de matéria orgânica e textura, vai demandar uma receita própria, muitas vezes difícil de determinar. Por isso o processo de impregnação deve iniciar com o gotejamento leve de uma mistura 1:3 (uma parte de cola e três partes de água). A mistura deve ser manuseada até ficar homogênea. Recomenda-se passar a mistura em peneira de 0,005 mm ou filtrar em filtro de papel resistente, para a retirada de pequenas plastas de cola que podem se depositar na superfície do monolito, alterando sua aparência natural. Sempre que uma mistura não penetrar facilmente no monolito, ela deve ser removida, com papel-toalha macio, e a sua diluição, aumentada. A partir do segundo banho de cola, a mistura deve ser diluída na proporção cola:água de 1:5 ou 1:10, dependendo da infiltração que se observa quando se aplica a mistura.

Recomenda-se o uso de um borrifador para a aplicação da mistura sobre o monolito. O processo de impregnação estará concluído entre o terceiro e o décimo banho, quando a mistura apresentar dificuldade de infiltração no monolito. Após a finalização do processo de impregnação, deixa-se o monolito descansar por aproximadamente 30 dias para ficar "curado".

2.2.5. Etapa 5: exposição e conservação do monolito

Os monolitos de solos devem ser guardados em ambiente protegido e devidamente registrados, em uma reserva técnica. Recomenda-se que sejam ensacados, visando protegê-los da deposição de poeira. O processo de exposição é bastante diversificado. Entretanto, para a sua conservação efetiva, sugere-se que sejam mantidos em expositores fechados com vidro antirreflexo, protegidos da poeira e do contato direto com os usuários.

2.3. Procedimentos para coleta dos monolitos de solos da XV RCC

Os procedimentos seguiram o método da UFSM, com a utilização de formas de aço galvanizado com as seguintes dimensões: largura de 18 cm e altura de 120 cm, padronizado pelo Museu de Solos da Amazônia. Após a coleta, os monolitos foram transportados para o campus da Universidade do Estado do Amazonas, em Itacoatiara-AM, e realizados os procedimentos de limpeza, rebaixamento e impregnação dos monolitos.

3. Resultados e discussão

3.1. Coleta e preparo de monolitos de solos da XV RCC

Após a abertura das trincheiras para a coleta de amostras e a classificação dos solos da *XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos*: RCC das várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno (XV RCC), foram realizadas as coletas dos monolitos dos solos listados no Tabela 28.1. No monolito do perfil AM-05, podemos observar que o solo apresenta cor cinzenta (10YR 5/1,5) com mosqueados comum, médio e distinto, vermelhos (2,5YR 5/6), feições características dos Gleissolos, que ficam evidenciadas pela redução do elemento ferro provocada pelo processo de gleização (Figura 28.3). No perfil ainda podemos observar a manifestação do caráter flúvico expresso pela presença de quatro ou mais camadas estratificadas dentro de 100 cm a partir da superfície do solo, as quais se diferenciam, sobretudo, quanto à granulometria (Santos et al., 2018). O monolito ainda permite observar a presença de camadas com muitos fragmentos de folhas e raízes, muitas não decompostas, entre os horizontes Ag e 2ACg, que foram recobertas por sedimentos das inundações dessas áreas (Figura 28.3).

Os monolitos dos perfis AM-15, AM-16, PA-13 (todos Gleissolos Háplicos) e PA-14 (Vertissolo Hidromórfico) são apresentados na Figura 28.4. Podemos observar a diferença morfológica entre os perfis de solos apresentados. Pode-se observar estruturas mais prismáticas nos perfis AM-16, PA-13 e PA-14, várias camadas de sedimentação recente com espessura variável no perfil AM-15 (Figura 28.4B) e a presença de superfícies de compressão nos perfis AM-16 (Figura 28.4C) e PA-14. Por sua vez, o perfil PA-17 evidencia os horizontes de constituição orgânica com fragmentos vegetais pouco decompostos observados principalmente nos horizontes 2Ho1 e 2Ho2 (Figura 28.5).

Tabela 28.1. Relação dos solos da XV RCC usados na produção de monolitos.

Perfil	Classificação do solo[(1)]	Município	Coordenada geográfica
AM-05	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico	Itacoatiara-AM	03° 09' 11,5" S / 58° 25' 26,2" W
AM-06	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico	Itacoatiara-AM	03°09' 16,1" S / 58º25' 26,6" W
AM-08	Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico	Iranduba-AM	03° 09' 54,50" S / 60° 24' 11,5" W
AM-11	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico	Parintins-AM	02° 38' 08,3" S / 56° 45' 36,6" W
AM-12	Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvissólico	Parintins-AM	02° 38' 15,8" S / 56° 44' 55,6" W
AM-15	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico	Parintins-AM	02° 33' 03,1" S / 56° 31' 53,6" W
AM-16	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico	Parintins-AM	02° 32' 52,5" S / 56° 31' 52,5" W
PA-13	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico	Juruti-PA	02° 23' 10,6" S / 56° 24' 43,1" W
PA-14	Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico	Juruti-PA	02° 23' 13,4" S / 56° 24' 38,0" W
PA-17	Organossolo Háplico Hêmico típico	Santarém-PA	02º 35’ 35,9 S / 54º 29’ 34,5” W

(1) Classificação conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

Fonte: Santos et al. (2018).

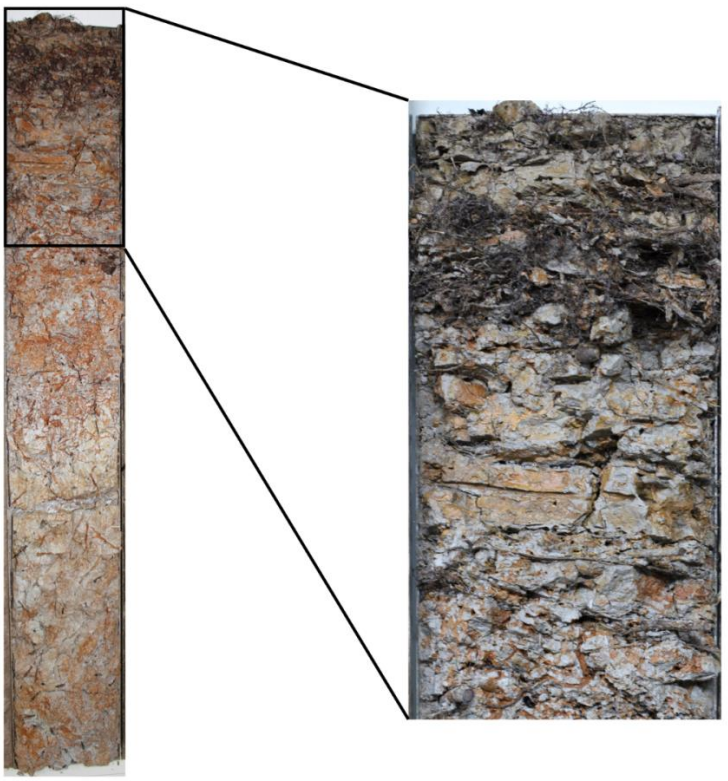


Foto: Luís Antônio Coutrim dos Santos.

Figura 28.3. Monolito do perfil AM-05 - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico.

Fotos: Luís Antônio Coutrim dos Santos.

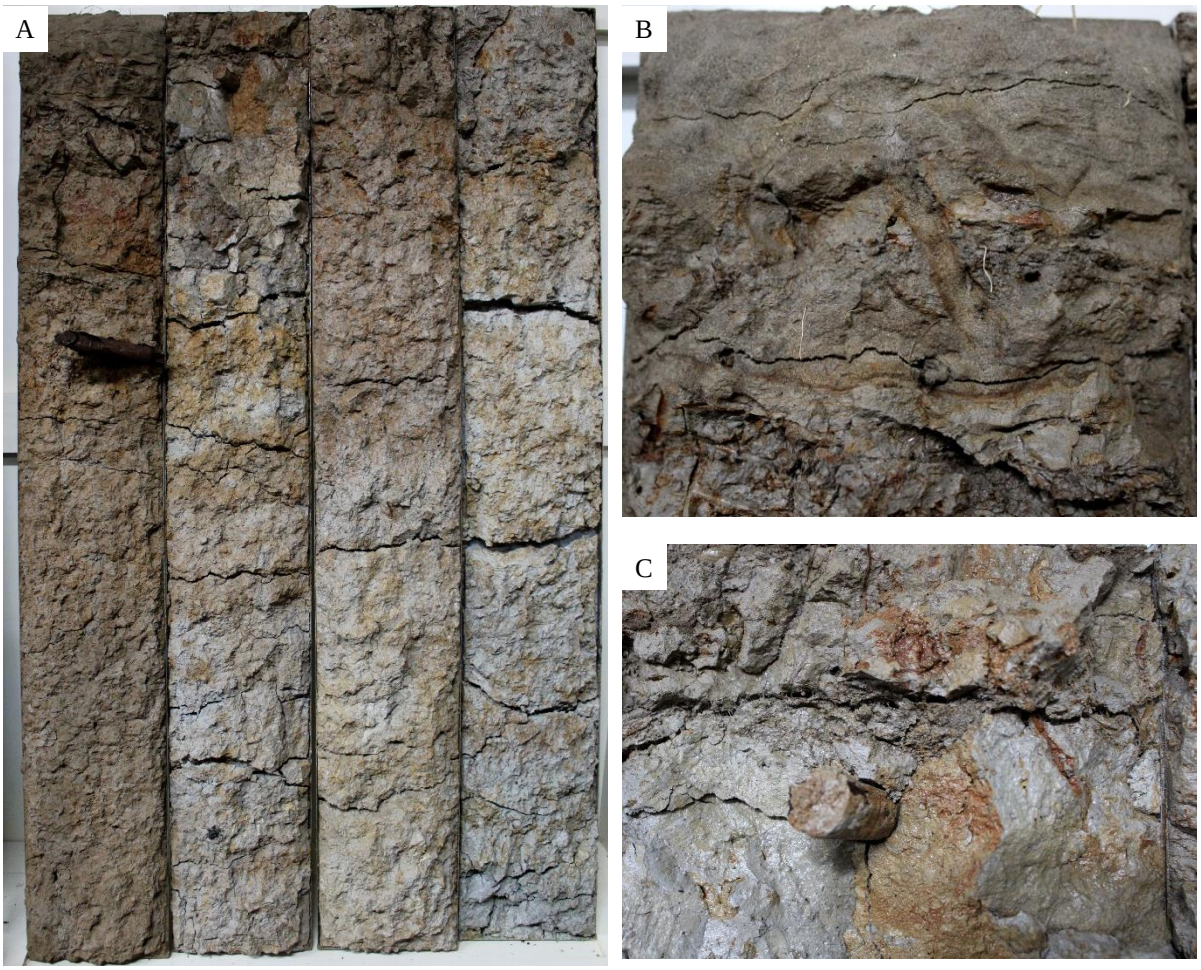


Figura 28.4. Monolitos, da esquerda para a direita, dos perfis AM-15, AM-16, PA-13 e PA-14 (A); camadas de sedimentação do perfil AM-15 (B) e superfícies de fricção (*slickensides*) do perfil PA-14 (C).

O perfil PA-17 permite ainda a visualização de um grande fragmento de tronco ocupando a parte inferior da chapa de aço galvanizado, evidenciando, dessa forma, a natureza do material fíbrico. Já na parte superior, é possível observar o material orgânico sáprico, estabelecendo, assim, um grande contraste com o grau de decomposição do material. As imagens (Figuras 28.3, 28.4 e 28.5) reproduzem de forma fidedigna a morfologia dos solos, observada no momento da descrição dos perfis, ressaltando a importância do emprego de monolitos. Os monolitos possibilitam ainda colocar lado a lado solos distintos e realizar comparações de perfis, para fins de pesquisas, aulas ou de exposições.



Fotos: Luís Antônio Coutrim dos Santos.

Figura 28.5. Perfil de solo PA-17, Organossolo Háplico Hêmico típico (A); monolito de solo evidenciando a diferença entre os horizontes hísticos (B).

3.2. Coleção de solos do Brasil provenientes das RCCs: proposta de criação

Muitas instituições de ensino, pesquisa e extensão possuem coleções de monolitos de solos, frequentemente acompanhadas de rochas e minerais associados à formação dos solos, e de banco de dados sobre os solos e as paisagens. Como exemplo, podem ser citadas as coleções de monolitos de solos presentes em um museu de solos do mundo do International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), na Holanda, no Museu Central de Solo Dokuchaev, em São Petersburgo, na Rússia, e nos diversos museus e coleções de solos existentes em universidades brasileiras. Essas coleções têm sido extensivamente utilizadas para o ensino da Ciência do Solo, especialmente em cursos de graduação e pós-graduação, contribuindo para uma maior qualificação dos estudantes na área de Pedologia (identificação, mapeamento e interpretação dos solos na paisagem).

A organização de uma ou várias coleções dos solos estudados nas RCCs disponibilizará um acervo valioso e de interesse de toda a sociedade brasileira, com reflexo direto na formação e atualização de técnicos das áreas de gestão dos recursos naturais, colocando o Brasil na

condição de poucos países com esse tipo de acervo. A coleção poderá ser organizada pela Embrapa Solos, instituição coordenadora das RCCs, juntamente com instituições parceiras, e cada coleta poderia ser duplicada, com monolitos destinados à coleção central da Embrapa e a coleções em museus de solos já estabelecidos na região de realização da RCC. Considerando que os dados de todos os pontos de trabalho das RCCs passadas estão disponíveis, facilmente poderiam ser resgatados visando à coleta de monolitos.

A empreitada demandará a criação de uma equipe técnica central e de colaboradores regionais. Essa equipe teria como missão viabilizar as coletas e o preparo dos monolitos de forma padronizada em todo o território nacional, garantindo a qualidade dos acervos e sua exposição à comunidade interessada. Nesse quesito, o Brasil possui recursos humanos especializados distribuídos nas diversas regiões do país, que fazem o uso de técnicas eficientes para a produção de monolitos de solos de elevada qualidade.

4. Considerações finais

Os monolitos de solos permitem a qualificação do processo de capacitação profissional em Ciência do Solo. Mas, por que o uso dos monolitos de solos é muito mais eficaz que o uso de imagens no processo formativo de profissionais? As imagens projetadas em aulas são apenas bidimensionais, muitas vezes com qualidade abaixo da desejada para permitir a percepção das feições morfológicas que seriam facilmente identificadas no campo. Os monolitos de solos são representações tridimensionais fiéis de campo, permitindo a visualização das feições morfológicas com uma percepção muito mais adequada ao aprendizado da informação desejada. O contato do usuário com um monolito de solo ocorre em vários ângulos e distâncias, permitindo o seu ajuste para melhor visualização e percepção. O uso de coleções de monolitos de solos também exige o deslocamento dos usuários para o ambiente da coleção, gerando um efeito positivo de ambiente. A saída da sala de aula, como se estivesse indo para o campo, em uma atividade que deixa de ser apenas teórica, também se tornando prática, faz com que o usuário troque o perfil passivo para o ativo no processo formativo.

Destaca-se, finalmente, que os perfis de solos coletados em monolitos favorecem o ensino e a divulgação da Ciência do Solo, pois se trata de um instrumento visual permanente que constitui uma forma de apresentação mais realista do que as fotografias, incentivando a educação em solos nos diversos níveis de ensino, podendo ainda ser utilizados no processo de qualificação profissional em Ciência do Solo, em projetos de pesquisa e de extensão.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Museu de Solos da Amazônia (UEA – Universidade do Estado do Amazonas), ao Museu de Solos do Rio Grande do Sul (UFSM – Universidade Federal de Santa Maria), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM, ao governo do estado do Amazonas, à Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia – SECT, à Embrapa Solos e às instituições parceiras da XV RCC pela oportunidade de introduzir o tema dos monolitos de solos nas RCCs.

Referências

CURI, N. (coord.). **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 89 p.

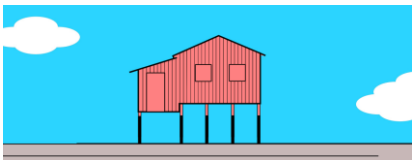
FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **Glossário de ciência do solo**. Viçosa, MG: UFV, 1992. 142 p.

PEDRON, F. de A.; DALMOLIN, R. S. D. **Procedimentos para confecção de monolitos de solos**. Santa Maria, RS: Pacartes, 2009. 32 p. Disponível em: https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/806/2020/02/Livreto_monolitos_final-1.pdf. Acesso em: 24 jun. 2025.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003. Acesso em: 24 jun. 2025.

SANTOS, R. D. dos; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101 p.

Capítulo 29



Síntese das discussões e recomendações da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos para o aprimoramento do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

Carmem Sueze Silva Miranda
Marlen Barros e Silva
Andrelisa Santos de Jesus
Diana Ferreira de Freitas
Jussara Silva Dantas

1. Introdução

A Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (RCC) tem-se mostrado, desde sua primeira edição, no estado do Rio de Janeiro em 1978 (Anjos et al., 2023), um evento central para o desenvolvimento e o aperfeiçoamento da taxonomia de solos do Brasil (Santos et al., 2018).

As 15 edições da RCC, organizadas pela Embrapa Solos (Centro Nacional de Pesquisa de Solos) em parceria com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), universidades e institutos de pesquisa, têm coberto boa parte do território nacional, conforme histórico detalhado no Capítulo 1 do presente Guia de Campo.

As RCCs, sem uma periodicidade prevista, mas que se tornaram bienal a partir de 2008, têm alcançado o objetivo de estudar solos em regiões do país que carecem de maior aprofundamento, principalmente considerando-se as informações e as escalas utilizadas nos levantamentos exploratório-reconhecimento disponíveis por estado brasileiro, em adição àqueles do Projeto Radambrasil, cobrindo todo o território nacional, presentemente incorporados ao IBGE.

A partir da pesquisa de solos que podem ter ou não enquadramento taxonômico na versão vigente do SiBCS é que se verificam necessidades de aperfeiçoamentos ou mesmo de criação de critérios novos para o sistema. Além disso, as RCCs viabilizam troca e aprimoramento do conhecimento pedológico proporcionado, sobretudo, pela análise e discussão de dados dos perfis coletados em cada edição da RCC. Outra contribuição importante desses eventos é o aperfeiçoamento na formação continuada de pedólogos e de professores em condições ideais, in loco, no ambiente de ocorrência dos solos pesquisados.

Cabe destacar que o SiBCS vem atendendo com maior precisão, em relação aos sistemas internacionais (*Soil Taxonomy* – ST e *World Reference Base for Soil Resources* - WRB) (Estados Unidos, 1999, 2022; IUSS Working Group WRB, 2022), às demandas de taxonomia no País. Tem-se estabelecido como um suporte às interpretações técnicas visando definir o uso adequado do bem natural, o solo, nos biomas brasileiros, proporcionando, consequentemente, informações relevantes para o desenvolvimento socioeconômico sustentável almejado para o País.

O Brasil desempenha papel estratégico nos debates da agenda global de mudanças climáticas, pela importância ambiental de seus biomas, produção e exportação de alimentos e geração de fontes limpas de energia, centrais para a soberania nacional. Em função desses aspectos, eleva-se ainda mais a importância da contínua evolução do SiBCS, proporcionada, principalmente, pelas contribuições das RCCs e conhecimentos advindos dos levantamentos de solos.

Por conseguinte, o objetivo deste capítulo é relatar as discussões conduzidas durante a XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC das várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno (XV RCC), nos estados do Amazonas e Pará. Por meio desse relato, ficam registradas as principais contribuições do evento, viabilizando aos participantes e aos leitores não participantes o acesso às informações do valioso momento de debate e construção de propostas para a atualização do SiBCS.

2. Material e métodos

A comissão organizadora de uma RCC seleciona previamente os perfis de solo que farão parte do roteiro de campo, a partir de demandas ou carências de informações que poderão subsidiar a validação e a atualização do SiBCS. Para os perfis de solos selecionados, é gerado um substancial banco de dados, disponibilizado em um dos volumes do Guia de Campo. Há ainda a importante contribuição das pesquisas coligadas que podem compor um segundo volume do Guia de Campo.

De posse dos resultados, as atividades de campo durante a RCC envolvem três momentos:

1) registro fotográfico e exame da morfologia do perfil de solo pelos participantes;

2) apresentação geral dos dados:

   a) morfológicos (Santos et al., 2015);

   b) físicos (Teixeira et al., 2017);

   c) químicos (Yeomans; Bremner, 1988; Carmo et al., 2000; Calegari et al., 2013; Brasil, 2017; Teixeira et al., 2017);

   d) mineralógicos (frações areia e argila) (Teixeira et al., 2017);

   e) micromorfológicos (Teixeira et al., 2017);

   f) físico-hídricos (Reynolds et al., 1985, 2002; Soil Moisture, 2008; Teixeira et al., 2017);

g) bioquímicos (Tabatabai, 1994), quando disponível;

h) interpretação da aptidão agrícola das terras (Ramalho Filho; Beek, 1995);

i) classificação do solo segundo o *Soil Taxonomy* (Estados Unidos, 2022);

j) classificação do solo segundo o *World Reference Base for Soil Resources* (WRB) (IUSS Working Group WRB, 2022).

3) discussão dos atributos do solo entre os participantes, com enfoque no enquadramento para a classificação do solo no sistema (Santos et al., 2018, 2025), o que tem conduzido à proposição de classes novas ou inclusões ou aperfeiçoamento de critérios no SiBCS.

As análises de solo podem ser complementadas ou refeitas após o evento e antes da publicação, a fim de aprofundar discussões conduzidas no local.

Com o propósito de servir de subsídio para novos membros de comissão de relatoria de RCCs vindouras, segue a apresentação dos procedimentos adotados pela comissão de relatoria da XV RCC.

Em uma primeira etapa, cabe à comissão de relatoria da RCC registrar, in loco, o conteúdo das apresentações e discussões propositivas para o SiBCS, bem como eventuais propostas de alteração da sequência de horizontes e classificação original, em adição a correções e outras demandas. Dessa forma, a primeira etapa das atividades internas da comissão constitui a coleta e a seleção das informações relevantes contidas nas discussões dos participantes, o que requer atenção redobrada e agilidade na anotação (manual). Como tal, é fundamental que todos os relatores anotem as colocações, que serão essenciais para rechecagem e elucidação de dúvidas na elaboração (pós-evento) da súmula.

A segunda etapa inclui a digitação dos registros ao mesmo tempo em que é realizada a RCC, o que leva à condução de atividades no período noturno de cada dia do evento. Para criar condições mais favoráveis para os trabalhos noturnos, sem sobrecarregar os relatores, a coordenação da relatoria optou por formar duas equipes com dois relatores em cada time. Cada dupla ficou responsável por digitar metade dos perfis do dia. As anotações de cada dupla de relatores são enviadas à coordenação da relatoria, que as revê, incluindo as suas próprias, a fim de assegurar que todas as observações em campo sejam processadas.

Os arquivos digitados pelas duplas foram enviados à coordenação da comissão de relatoria, que os processou durante a madrugada, para conversão do texto com traços de oralidade para formato de linguagem escrita, zelando-se pela fidedignidade do conteúdo das falas/colocações. Outra atribuição da coordenação da comissão foi separar os conteúdos mais importantes para o SiBCS, a fim de elaborar a apresentação da súmula na plenária no último dia do evento.

Por conseguinte, os textos são separados por natureza:

a) os que têm relação direta com o SiBCS como proposições: (i) de ajustes na classificação original ou de criar classes novas, (ii) de aperfeiçoar critérios taxonômicos, (iii) de alteração da sequência e/ou na nomenclatura de horizontes e (iv) de correções no Guia de Campo, destacadas como propostas para o SiBCS na seção Resultados deste capítulo e

b) os que constituem interpretações dos dados por pesquisadores que apresentam o perfil de solo ou são responsáveis pelas pesquisas coligadas, em adição às valiosas contribuições de pesquisadores e produtores locais, que expressam os contextos mediante os quais as propostas para o SiBCS podem ser construídas; essa parte da discussão, in loco, está contemplada como contextos na seção Resultados deste capítulo.

Após a RCC, a comissão de relatoria debruça-se sobre todo o material digitado, que pode compreender um grande volume de informações não apresentadas na plenária final. Nessa fase, nova análise dos conteúdos é realizada, a fim de garantir que as observações estejam respaldadas na literatura. Com isso, há, muitas vezes, necessidade de leitura das referências-chave e de outros capítulos do Guia de Campo para auxiliar no refinamento dos textos gerados nas colocações dos participantes.

Apesar de haver maior disponibilidade de tempo nessa última etapa, o compromisso com as demandas das instituições de origem de membros da comissão de relatoria também concorre para que o trabalho da comissão de relatoria seja um esforço orientado pelo princípio da coletividade. Por fim, o texto construído é submetido à comissão organizadora do evento para revisão, o que pode envolver troca de várias versões antes da publicação.

3. Resultados

A classificação dos solos, alterada segundo a 6ª edição do SiBCS (Santos et al., 2025), relativa aos perfis AM-06, AM-09, AM-15 e PA-17, foi inserida em adição àquela do item classificação final, que segue as normas e os critérios de Santos et al. (2018).

Perfil AM-01

Apresentador: Jaime Antonio de Almeida

Moderadora: Adriana Monteiro da Costa

Classificação original pré-RCC – Latossolo Amarelo Distrófico antrópico, textura média/argilosa/muito argilosa, epieutrófico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase endopedregosa, floresta equatorial perenifólia, relevo plano.

Proposta de classificação pré-RCC – Latossolo Amarelo Distrófico argissólico antrópico, textura média/argilosa/muito argilosa, epieutrófico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase endopedregosa, floresta equatorial perenifólia, relevo plano.

Classificação final – Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico, textura média/argilosa/muito argilosa, epieutrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.

Sequência de horizontes:

* **original pré-RCC**: Au1, Au2, Au3, Au4, Au5, ABu, BAu1, BAu2, Bw1, Bw2.

* **final**: Au1, Au2, Au3, Au4, Au5, ABu, BAu1, BAu2, Bt, Bw.

Propostas para o SiBCS:

1. Considerou-se que manter o qualificativo antrópico em quarto nível não representa a importância das TPIs. É necessário dar protagonismo aos solos antrópicos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos no primeiro nível categórico. Sugeriu-se citar e referenciar a pesquisa de Kampf et al. (2010).
2. Como introduzir no sistema de classificação a presença de artefatos do tamanho de cascalhos e calhaus? Como interpretar a descontinuidade onde cascalhos e calhaus são artefatos?
3. Criar uma comissão, por parte da SBCS, para inclusão do referido perfil como patrimônio da humanidade.

Contextos e outras considerações:

1. Questionou-se sobre o incremento de argila, se é advindo da argiluviação ou da atividade antrópica, tendo sido aventada a possibilidade da contribuição da atividade antrópica para possível transformação do Latossolo em Argissolo.
2. Salientou-se que o reconhecimento da ocorrência de fogo, antes ou depois da incorporação de material de origem antrópica, dá-se por tipo de marca de queima na cerâmica. A termorremanência levaria à assinatura irreversível na susceptibilidade magnética quando o solo fosse submetido a temperaturas entre 400 e 500 ^{o}C em ambiente anóxico. A susceptibilidade magnética, tal como observado em sambaquis, não se apresenta em geoglifos.
3. Destacou-se que o fósforo da apatita (osso), ligado ao cálcio, ocorre até o limite do topo do horizonte B, onde, a partir da profundidade BAu1: 37 - 78 cm, o fósforo associa-se ao alumínio. A acidificação contribuiria para a dissolução parcial do fósforo ligado ao cálcio, que então se liga ao alumínio. Os altos teores de fósforo em todos os horizontes, inclusive o Bw, mostram a grande mobilidade deste elemento mesmo em sistemas argilosos nesses ambientes.

Perfil AM-02

Apresentador: Davi Feital Gjorup

Moderador: Milton César Costa Campos

Classificação original pré-RCC – Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico, textura muito argilosa, A moderado, endoconcrecionário, álico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo forte ondulado.

Classificação final – manteve-se a original.

Sequência de horizontes:

*** original pré-RCC:** A, BA1, BA2, Bw1, Bw2, Bw3, Bw4, Bwc1, Bwc2.

*** final:** manteve-se a original.

Propostas para o SiBCS:

1. Estudar melhor a presença de quartzo corroído coexistindo com caulinita preservada.

Contextos e outras considerações:

1. A ocorrência de grãos de quartzo alterados, corroídos de forma intensa, não vistos anteriormente, foi observada.
2. A dissolução in situ está associada à ocorrência de petroplintita. Observou-se a existência de fábricas birrefrigentes, pouco comuns em Latossolos, e a neoformação de caulinita como resultado da degradação policíclica da canga laterítica.
3. Em adição às altas porosidade e infiltração típicas desses solos, destacou-se a hidrodinâmica única pela presença de gigaporos (*bypass*), que permitem drenagem de água a 160 cm/h para conteúdo de argila em torno de 800 g kg^{-1}.

Perfil AM-05

Apresentador: Luís Antônio Coutrim dos Santos

Moderador: Fabrício de Araújo Pedron

Classificação original pré-RCC – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura siltosa, A moderado, Tma, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano.

Classificação final – manteve-se a original.

Sequência de horizontes:

* **original pré-RCC**: Ag, 2CAg, 3Cg1, 3Cg2, 4Cg3, 4Cg4.

* **final**: manteve-se a original.

Propostas para o SiBCS:

1. Incluir o critério material vegetal para indicar descontinuidade litológica para solos de várzea.
2. Analisar e rever a pertinência de se identificar o perfil AM-06 como Gleissolo após discussão do perfil AM-05, considerando que a diferença do ambiente ecológico (aningal) parece determinar a separação das classes de solos. Com isso, propôs-se rever a classe dos Gleissolos em áreas de dique (perfis AM-06 e AM-15), a partir da compreensão de que esse perfil serviu como referência para avançar na distinção das camadas para diferenciação no SiBCS.
3. Verificar a necessidade de incluir outros critérios para identificar materiais derivados de sedimentos aluviais de caráter neofluvissólico, sob maior atuação da pedogênese e com "suavização" das características erráticas de textura e carbono.
4. Contextualizar a importância do ambiente na avaliação da aptidão.
5. Analisar a adoção de critérios técnicos para sistemas ecológicos com maior grau de fragilidade socioambiental.
6. Reconhecer o valor social desses solos nesses sistemas ecológicos. A agricultura familiar mantém e protege o aningal. Senhor Manuel, ribeirinho que reside em local vizinho aos perfis AM-05 e AM-06, reconhece a fertilidade natural das terras que se renovam a cada ano com as cheias: "a área não cansa porque todo ano ela renova, diferente da terra firme". Também reconhece a degradação causada pela criação de búfalos em ambiente de aningal.

Perfil AM-06

Apresentadora: Lúcia Helena Cunha dos Anjos

Moderador: José João Lelis Leal de Souza

Classificação original pré-RCC – Neossolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, textura média e siltosa, A moderado, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.

Proposta de classificação pré-RCC – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média e siltosa, A moderado, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.

Proposta de classificação in loco – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico cambissólico neofluvissólico, textura média e siltosa, A moderado, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.

Classificação final (Santos et al., 2018) – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/siltosa/média, A moderado, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.

Classificação final (Santos et al., 2025) – Neossolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, textura média/siltosa/média, A moderado, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.

Sequência de horizontes:

* **original pré-RCC:** Ap, 2ACg, 3Cg1, 4Cg2, 5Cg3, 6Cg4, 7Cg5.

*** proposta in loco:** Ap, 2ABg, 3Big, 4Bg2, 5Cg1, 6Cg2, 7Cg3.

* **final:** Apg, 2ABg, 3Big, 4Bg2, 5Cg1, 6Cg2, 7Cg3.

Propostas para o SiBCS:

1. Analisar a definição de caráter vértico, visto que a redação atual permite que o perfil AM-05 seja enquadrado como tal.
2. Rever a definição da classe dos Gleissolos, uma vez que o SiBCS determina que seja mal ou muito mal drenado, sendo esse imperfeitamente drenado.
3. Apresentar proposta ao Comitê-Executivo do SiBCS (CE) para definição do B incipiente incluindo o critério estrutura, para além daqueles de cor ou textura.
4. Avaliar a pertinência de inclusão de critérios pautados na geomorfologia e morfologia, para casos em que o critério granulométrico não indique descontinuidade, observado, por exemplo, na classificação deste perfil pelo WRB.

Contextos e outras considerações:

1. A identificação manual do alto conteúdo de silte nesses solos é dificultada pela alta pegajosidade, a despeito do baixo conteúdo de argila.
2. A bacia amazônica é a maior área de solos aluviais eutróficos do mundo. São mais ricos que os solos eutróficos de outras partes do mundo, como os da Índia. Esses solos aluviais têm como característica principal alto conteúdo de silte, em torno de 500 a 750 g kg-1.

3. Apesar de haver variação de C, o enquadramento como neofluvissólico no quarto nível categórico não é atendido, uma vez que as descontinuidades não são muito destacadas. Foi proposto o enquadramento nesse nível categórico como típico ou cambissólico.
4. O silte contribui para a reserva mineral dada a presença da vermiculita, não tendo sido observados picos de pirofilita. A mineralogia da fração argila e silte é qualitativamente similar.
5. A fluorescência de raios-X e resultados analíticos de rotina revelaram que os teores de K2O nos solos de várzea são mais altos que os dos solos de terra firme.
6. A ferrólise não foi citada nesse solo, apesar de a micromorfologia demonstrar sua presença. Questionou-se o que seria mais importante expressar: a gênese ou a morfologia.
7. A alta biopedoturbação por minhocas foi observada nas micrografias.
8. A avaliação da aptidão agrícola deve levar em conta a prática local de agricultura familiar, que tem princípios técnicos do sistema agroflorestal (SAF).

Perfil AM-07

Apresentador: Ademir Fontana

Moderador: Bruno Nery Fernandes Vasconcelos

Classificação original pré-RCC – Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, textura média/siltosa, A moderado, Tma, fase floresta tropical higrófila de várzea, relevo plano.

Proposta de classificação pré-RCC – Neossolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, textura média/siltosa, A moderado, Tma, fase floresta tropical higrófila de várzea, relevo plano.

Classificação final – manteve-se a original.

Sequência de horizontes:

*** original pré-RCC:** A1, A2, BA, Bi, 2C, 2Cg.

* **proposta in loco:** A1, A2, BAg, Big, 2Cg1, 2Cg2.

*** final:** manteve-se a original.

Propostas para o SiBCS:

1. Avaliar a pertinência de se considerar a geomorfologia na análise de descontinuidade litológica, tendo sido proposto o uso do termo descontinuidade sedimentológica para ambientes de várzeas.
2. Incluir maior detalhamento dos critérios para diferenciação de Neossolo Flúvico e Cambissolo Flúvico. Discutiu-se o quanto a gleização impõe-se a critérios de classificação para categorizar esse solo como Gleissolo, Cambissolo ou Neossolo.

Contextos e outras considerações:

1. O mosqueado deve-se à ação biológica das raízes, acima de 60 cm.
2. A fração silte contribui para a CTC.

Perfil AM-08

Apresentador: Maurício Rizzato Coelho

Moderadora: Cristiane Rodrigues

Classificação original pré-RCC – Plintossolo Háplico Alumínico gleissólico, textura média/argilosa/muito argilosa, A moderado, epiálico, Tmoa, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.

Classificação final – Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico, textura média/argilosa/muito argilosa, A moderado, epiálico, Tmoa, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.

Sequência de horizontes:

*** original pré-RCC:** A, Cg1, Cg2, Cgf1, Cgf2, C'g1, C'g2.

*** proposta in loco:** A, Btg1, 2Btg2, 2Btgf1, 2Btgf2, 2Cg, 3Cgv.

*** final:** A, Btg1, 2Btg2, 2Btgf1, 2Btgf2, 2Cg1, 3Cg2.

Propostas para o SiBCS:

1. Considerar outros atributos, tais como cor e relações areia total/silte e areia grossa/areia fina em solos com formação de plintita, dada a dificuldade para interpretação das descontinuidades litológicas na fração areia desses solos.
2. Contextos e outras considerações:
3. A quantidade de nódulos (plintita) foi indicada nas observações como sendo muito pouca para os horizontes 2Btg2 e 2Cg1 e pouca para os horizontes 2Btgf1 e 2Btgf2, e, por isso, questionou-se a suficiência para identificar o horizonte plíntico. Contudo, pode haver poucos nódulos e atender ao limite de plintita > 15% para se enquadrar como Plintossolo. Nas micrografias, observou-se a formação e a degradação da plintita no mesmo horizonte. Apontou-se ainda a necessidade de maior detalhamento para quantificar o percentual de plintita.
4. O método de KCl extrai alumínio da pirofilita, que gera determinação de alto teor de alumínio. A alta produção agrícola nesses solos corrobora o "falso" alto teor de alumínio. A beidelita, apesar de ser 2:1, tem Al no lugar do Ca e Mg, daí a acidez do solo e o caráter alumínico.
5. A presença de espícula de esponja (sílica biogênica) não foi observada abaixo da profundidade de ocorrência do processo de plintização. A ciclagem vegetal da sílica contribui para a preservação da esmectita.

Perfil AM-09

Apresentador: Hedinaldo Narciso Lima

Moderador: Oldair Del'Arco Vinhas Costa

Classificação original pré-RCC – Espodossolo Ferri-Humilúvico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa, A fraco, endodúrico, fase campinarana equatorial arbórea, relevo plano.

Proposta de classificação pré-RCC – Espodossolo Háplico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa, A fraco, endodúrico, fase campinarana equatorial arbórea, relevo plano.

Classificação final (Santos et al., 2018) – Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa, A fraco, endodúrico, fase campinarana equatorial arbórea, relevo plano.

Classificação final (Santos et al., 2025) – Espodossolo Háplico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa, A fraco, endodúrico, fase campinarana equatorial arbórea, relevo plano.

Sequência de horizontes:

*** original pré-RCC:** A1, A2, AE, E1, E2, 2E3, 3Bh, 4Bhsm, 4Bhs, 4Bs1, 5Bs2.

*** final:** A1, A2, AE, E1, E2, 2E3, 3Bh, 4Bhsm, 4Bhs, 4Bs, 5C.

Propostas para o SiBCS:

1. Estudar a relação entre cor e composição por mapeamento microquímico, visto que as cores brunadas não parecem indicar presença de ferro, dado o baixo teor de ferro.
2. Incluir a classe de drenagem binária (já utilizada neste perfil).
3. Discutir a pertinência de incluir a drenagem na classificação do solo como uma fase.
4. Aprofundar a discussão quanto à seção de controle para a classe dos Espodossolos, uma vez que há duas correntes de pensamento nesse mister. Uma vertente preconiza que, para fins de mapeamento dos Espodossolos "gigantes" do Brasil, a seção de controle de 4 m deve ser mantida. As justificativas dessa vertente encontram respaldo na necessidade de o País dispor do conhecimento sobre os Espodossolos "gigantes", particularmente quanto ao sequestro de carbono como também no que se refere ao acúmulo de fósforo no horizonte B espódico mais profundo. Os serviços ecossistêmicos de conservação da biodiversidade ou recuperação ecológica que esses solos proporcionam, por meio de endemismo florístico (diversidade biológica) e da recarga de aquíferos, igualmente contribuem em favor da seção de controle de 4 m, em adição ao papel que a matéria orgânica desempenha na mobilidade de metais pesados complexados. Com isso, as funções do solo supracitadas podem ser mais bem retratadas na seção de controle de 4 m.
5. A outra corrente de pensamento argumenta que o SiBCS poderia adotar a seção de controle de 2 m para a cartografia dos Espodossolos. A dificuldade e os riscos inerentes à exequibilidade da abertura da trincheira dos Espodossolos constituem argumentos favoráveis à seção de controle de 2 m. Como tal, sugeriu-se a simplificação de horizonte espódico quanto à profundidade e à nomenclatura, e, por não haver correlação direta com a cor, destacou-se a necessidade de se identificar outras características para melhor enquadramento dessa classe.
6. Substituir o termo carbolúvico por humilúvico no Documento 244 (Santos et al., 2024).

Contextos e outras considerações:

1. A estimativa é que os Espodossolos da Amazônia sejam os mais antigos do Brasil, com cerca de 30 mil anos, e respondam pela maior distribuição espacial de Espodossolos do mundo, conforme o mapa do WRB.
2. A vegetação é condicionada pelo solo e sua dinâmica hídrica, em adição à influência do clima, e, com isso, mais de 80% da vegetação de campinarana é exclusiva desses ambientes de Espodossolo na região amazônica (composição botânica endêmica).
3. Destacou-se a discrepância entre a drenagem observada no campo e os dados de condutividade hidráulica do solo saturado (Ks) obtidos no campo pelo método do cilindro.
4. A matéria orgânica não entra e não cimenta onde há estratificação cruzada.
5. A susceptibilidade magnética no solo em questão é nula.
6. A relevância de estudo enzimático e microbiológico na profundidade de coleta de amostras (0 – 10 cm) para esta classe de solo foi debatida. Foi sugerido que essa amostragem deveria estar em conformidade com a espessura dos horizontes superficiais e não em uma camada de 10 cm.
7. Os Espodossolos são considerados inaptos ao uso agrícola, mas têm sido muito utilizados como fonte de areia para a construção civil e servem de suporte para vegetação nativa.

Perfil AM-11

Apresentador: José Francisco Lumbreras

Moderador: Jean Michel Moura Bueno

Classificação original pré-RCC – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico, textura siltosa-média/média-siltosa, A moderado, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano.

Proposta de classificação pré-RCC – Vertissolo Hidromórfico Órtico típico, textura siltosa-média/média-siltosa, A moderado, eutrófico, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano.

Classificação final – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvissólico, textura siltosa-média/média-siltosa, A moderado, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano.

Sequência de horizontes:

*** original pré-RCC:** Av1, Av2, Cvg1, Cvg2, 2Cvg3, 3Cg1, 4Cg2, 4Cg3.

*** final:** A1, A2, Cg1, Cg2, 2Cg3, 3Cg4, 4Cg5, 4Cg6.

Propostas para o SiBCS:

1. Aperfeiçoar critérios para definição do caráter vértico, com inclusão de dimensão e profundidade de fendas.
2. Analisar a pertinência do emprego de grupamento textural para solos de textura muito leve (até 2 metros), tendo sido proposto o uso da classe textural.
3. Incluir descrição de método para determinação de COLE no Manual de Métodos de Análise de Solo (Santos et al., 2015), por ser um dos critérios de identificação do horizonte vértico, particularmente em áreas irrigadas ou mal drenadas que não apresentam fendas aparentes.

Contextos e outras considerações:

1. A barra de acreção (margem convexa) no ambiente de ocorrência do perfil AM-11 é diferente das demais da XV RCC, em razão da declividade suave. O processo de sedimentação iniciou-se com sedimentos mais grossos e depois mais finos, em função da variação de energia de transporte dos rios.
2. O fendilhamento na superfície do solo foi destacado, particularmente considerando-se os baixos conteúdos de argila (abaixo de 200 g kg-1) e os altos conteúdos de silte (acima de 650 g kg-1). Contudo, não foram observados slickensides, superfície de compressão ou estruturas cuneiformes.
3. Foram destacadas as dificuldades, em Vertissolos, para avaliar as propriedades hidráulicas em campo, por causa da rápida infiltração da água nas rachaduras, e para determinar a densidade do solo, por haver variação de volume com o conteúdo de água.
4. A micromorfologia indicou a presença de microalgas eucarióticas.
5. A ocorrência de quase revestimentos de ferro pode ser resultante de processos de difusão.
6. A cor acinzentada do solo foi aventada como resultante de processos geogênicos (natureza do material depositado).
7. O método de fluorescência de raios-X (FRX) apresentou valores mais coerentes de Ki que o método de ataque sulfúrico para a fração argila. Por outro lado, a determinação do Ki por FRX para solos arenosos mostrou-se inadequada, tendo valor muito alto em relação ao método de ataque sulfúrico. Propôs-se aprofundar, em nível nacional, estudos acerca do emprego do método de FRX para determinação de elementos totais, com uso de equipamentos de várias instituições e adoção de padrões entre laboratórios.
8. A dificuldade de abertura de perfil em várzea pode levar à necessidade de tradagem para observação de horizontes mais profundos.
9. Sr. Manoel José Lobato, produtor rural de Parintins, informou que as barrancas do Rio Amazonas já foram muito cultivadas com juta, tendo sido o município de Parintins o maior produtor mundial. A juta é vista como uma atividade econômica mais justa do ponto de vista social. Indicou-se que culturas de subsistência também são exploradas nas áreas de várzea.

Perfil AM-15

Apresentador: Amaury de Carvalho Filho

Moderadora: Cristiane Valéria de Oliveira

Classificação original pré-RCC – Neossolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, textura média/arenosa/siltosa, A fraco, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.

Classificação final (Santos et al., 2018) – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/arenosa/siltosa, A fraco, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.

Classificação final (Santos et al., 2025) – Neossolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, textura média/arenosa/siltosa, A fraco, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.

Sequência de horizontes:

*** original pré-RCC**: Ag, 2C, 3Cg, 4C, 5Abg, 5Cg1, 6Cg2, 6Cg3, 7Cg4.

*** final:** manteve-se a original.

Propostas para o SiBCS:

1. Avaliar a pertinência de se elaborar critérios para a classificação de solos em ambiente hidromórfico que possibilitem a diferenciação entre Neossolos Flúvicos e Gleissolos (precedência taxonômica deposição ou gleização), de modo a distinguir os solos mal e muito mal drenados como Gleissolos. Foi mencionada a proposta de se separar, com base na drenagem, os solos em hidromórficos e semi-hidromórficos. Questionou-se se o tempo de permanência da inundação poderia ser considerado critério para a separação de unidades de mapeamentos de solos de várzea, a exemplo do levantamento de solos realizado pelo Cetec no município de Parintins.

Contextos e outras considerações:

1. Solo sob impacto de mudanças rápidas, em que o fluxo de água da várzea pode até remover a serrapilheira. No local, há estrangulamento do Rio Amazonas, e a planície fluvial fica cinco vezes mais estreita do que a montante, fazendo com que o rio corra numa várzea mais estreita. Como a área está numa ilha, há evidente aporte de sedimentos, com variação errática na fração areia fina.
2. A dissolução evidente da argila, observável na análise micromorfológica, associada a hiporrevestimento de ferro, demonstra a ocorrência de ferrólise.
3. O ineditismo de incluir a atividade enzimática nas pesquisas coligadas dos solos da XV RCC foi destacado. Sugeriu-se a realização de análise enzimática para todos os horizontes do perfil, assim como análises de biomassa e atividade microbiana, pois só a atividade enzimática, isolada na camada de 0-10 cm, não seria suficiente para determinar a qualidade do solo.
4. A análise de fitólitos indicou várias sucessões de deposição. Neste solo, foi detectada, pela primeira vez, uma assinatura de agricultura em até 50 cm de profundidade, sendo esse material proveniente de enchentes, dada a predominância de pastagem no local. A quantidade de fitólitos quebrados e não corroídos evidencia que há transporte fluvial.
5. A interpretação da drenagem do solo voltou a ser debatida, tendo sido apontada a manutenção do uso de uma só classe de drenagem (para o solo como um todo) e não binária (por horizontes).
6. As bases da classificação foram discutidas, e salientou-se a atenção a processos pedogenéticos (gênese e morfologia), em adição à análise do pedoambiente, e não à classificação utilitária (uso). Aspectos de uso para o agricultor podem estar contemplados nos níveis categóricos mais baixos (desde o quarto nível).
7. Alguns estudos, de acordo com Antônio Francisco Sá e Melo Marques, indicam a ocorrência de Planossolos com alto teor de Na+ em outras áreas da bacia amazônica (Marques et al., 1983).
8. A pecuária passou a ser dominante nas proximidades de Parintins, onde o manejo do pasto é dificultado pela propagação do “pariri”, uma espécie de trepadeira tóxica ao gado.

Perfil AM-16

Apresentador: Flávio Adriano Marques

Moderador: João Herbert Moreira Viana

Classificação original pré-RCC – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa, A moderado, mesoendossolódico, Tma, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.

Classificação final – manteve-se a original.

Sequência de horizontes:

*** original pré-RCC:** Avg, CAvg, 2Abvg, 2Cg, 2Cng1, 2Cgn2, 2Cgn3.

*** final:** Ag, CAg, 2Abg, 2Cg, 2Cng1, 2Cgn2, 2Cgn3.

Propostas para o SiBCS:

1. Avaliar a pertinência de não uso do caráter neofluvissólico em alguns Gleissolos, reservado para distinguir os solos mais estratificados. Debateu-se a ocorrência de gleização in situ como processo de formação nos solos das várzeas amazônicas, pois o rio deposita materiais de cores acinzentadas removidos de suas próprias margens. Esse cenário justificaria o emprego de outros critérios para a definição da classe dos Gleissolos nesse ambiente.
2. Aperfeiçoar o conceito de caráter vértico no SiBCS para solos siltosos, entre outros.

Contextos e outras considerações:

1. Foi discutida a pedogênese, condicionada pelo relevo (pedoforma côncava - ambiente conservador), como verificado nos perfis AM-05 e PA-14 localizados em várzeas internas que margeiam lagunas.
2. As esmectitas não são as únicas responsáveis pela alta atividade do solo, dada a contribuição das micas (ilitas) na fração silte, que o tornam ativo.
3. A ocorrência de altos teores de P em solução, por causa do predomínio de cargas negativas no solo (Ta), foi abordada nas discussões.
4. A micromorfologia apontou expressiva bioturbação por minhocas no perfil, bem como impregnações de Mn2+ diferentemente de outros Gleissolos da região.
5. A classe de drenagem está, de certa forma, implicitamente inserida no primeiro nível categórico, a exemplo das classes de solo formadas sob condições de restrição de drenagem, como os Gleissolos.
6. A presença de fendilhamento e microrrelevo suficientes para o reconhecimento do horizonte vértico foi questionada. Contudo, o enquadramento como Vertissolo foi descartado pelo fato de o conteúdo de argila ser inferior a 300 g kg-1 na maior parte do perfil. Ademais, há ausência de indícios micromorfológicos de superfícies de fricção (poros planares, estrutura paralelepipédica). No SiBCS, o caráter vértico é enquadrado a partir da ocorrência de slickensides ou fendas ou estruturas cuneiformes e não com "e", que implicaria a existência simultânea destas características morfológicas.
7. Foi ressaltado que os solos siltosos são os que apresentam a maior capacidade de água disponível (CAD), por causa da dimensão e da quantidade de poros que retêm água.
8. Alguns participantes questionaram o uso do sufixo b para solos de várzeas, contudo, outros julgaram pertinente.

Perfil PA-05

Apresentador: Glenio Guimarães Santos

Moderador: Emilio Carlos de Azevedo

Classificação original pré-RCC – Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.

Classificação final – Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.

Sequência de horizontes:

*** original pré-RCC:** A1, A2, BA, Bw1, Bw2, Bw3.

*** final:** manteve-se a original.

Contextos e outras considerações:

1. A área de análise do perfil encontra-se em ambiente de terra firme no município de Belterra, cuja paisagem representa transição climática, tendo maior evapotranspiração e maior estação seca em relação às áreas visitadas na XV RCC a partir de Manaus. As lavouras de soja e grãos em larga escala têm sido implantadas principalmente nesses solos, que podem atingir até 60 metros de profundidade na Floresta Nacional do Tapajós. Em algumas áreas o babaçu tem-se destacado como vegetação pioneira após o desmatamento.
2. Os perfis de Latossolos de Rondônia, Goiânia e Belterra no nível de subordem são semelhantes, mas possuem indicação de usos diferentes.
3. O alto conteúdo de argila (superior a 90%), chamado anteriormente de argila de Belterra, foi destacado.
4. A análise micromorfológica confirmou a presença de porosidade porfírica com poucos poros grandes e a intensa atividade biológica (cupins e formigas).
5. Apesar de a capacidade de infiltração ser alta (em torno de 1.500 mm h-1) e a umidade em ponto de murcha ser elevada, a capacidade de água disponível (CAD) não é elevada.
6. Após 10 anos com produção de grãos na região, observou-se compactação a 40 cm, por causa do pé do arado, não sendo conhecida, até o momento, a umidade ótima para passagem de maquinário agrícola sobre este solo. Possuem alta erodibilidade quando descobertos, em adição à alta erosividade das chuvas na região. Estes solos apresentam alta taxa de mineralização, o que demanda intervenção para a manutenção da matéria orgânica do solo.
7. O valor de Ki $\leq$ 2,2 foi padronizado para o horizonte B latossólico na nova edição do SiBCS, pois em algumas partes estava < 2,2.

Perfil PA-06

Apresentador: José Coelho de Araújo Filho

Moderador: Eduardo Osório Senra

Classificação original pré-RCC – Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico húmico, textura arenosa-média, álico, fase cerrado equatorial subcaducifólio, relevo plano.

Classificação final – Neossolo Quartzarênico Órtico húmico, textura arenosa-média, álico, fase cerrado equatorial subcaducifólio, relevo plano.

Sequência de horizontes:

*** original pré-RCC:** A1, A2, A3, A4, A5, AC, C.

*** final:** manteve-se a original.

Propostas para o SiBCS:

1. Avaliar a sugestão de alteração da seção de controle de 1,5 m para 2 m para a aplicação do qualificativo latossólico nas classes dos Argissolos, Cambissolos Háplicos, Neossolos Quartzarênicos, Nitossolos e Plintossolos Pétricos concrecionários.
2. Especificar melhor as indicações de drenagem associadas à posição na paisagem.
3. Averiguar a possibilidade de distinguir solos com características antrópicas sem fragmentos cerâmicos e que não se enquadram como tendo horizonte A antrópico, mas apresentam evidências da atividade antrópica pretérita. Citou-se o exemplo da taxonomia WRB para solos com características de antropização, na ausência de fragmentos de cerâmica. Destacou-se que no baixo Rio Negro existem diversas áreas de terras pretas semelhantes às observadas com escurecimento profundo e ausência de cerâmicas. A micromorfologia, contudo, não mostrou evidências de antropização. São os solos não antrópicos com maior acumulação de matéria orgânica natural encontrados em ambiente amazônico.
4. Destacar que o método de ataque sulfúrico para determinação de elementos totais não se aplica a solos arenosos, como os Neossolos Quartzarênicos, em razão da dissolução de silicatos na fração areia (quartzo) pelo ácido sulfúrico.

Contextos e outras considerações:

1. O perfil encontra-se em terraços arenosos do Rio Tapajós, que representam área de transição climática (Am/Aw). A estação seca mais longa está relacionada aos campos cerrados, que surgem quando a textura do solo fica mais leve.
2. Os critérios para enquadramento como latossólico não foram atendidos, em razão da ocorrência de classe textural areia franca não muito próxima da classe textural francoarenosa em todo o perfil.
3. Houve questionamento sobre o material de origem (coluvionar, aluvionar, colúvio-aluvionar ou outro), tendo sido indicado afloramento de arenito Alter do Chão.
4. O gradiente de C orgânico pode estar associado ao fogo, estabilizado pelo Al, que é alto e constitui sua assinatura.
5. Há predomínio de quartzo mais arredondado e subarredondado sem incrustações de ferro e baixa presença de nódulos. Contudo, a morfometria e a morfologia dos grãos de quartzo não são suficientes para indicar transporte fluvial.

6. A pedogênese não permitiu a fixação dos fitólitos, sobretudo na fração silte, e verificou-se a presença de microcarvões em todo o perfil. Notou-se a existência de família de fitólitos terrígenos, Catathea e Costacea, de ambiente sombreado, não condizentes com o encontrado atualmente. As fitofisionomias foram facilmente observáveis nas imagens de satélite. Foi sugerida a condução de análise de isótopos de C.

7. O perfil apresentou mais ácido húmico que outros perfis de TPI e assemelhou-se às TPIs quanto à relação ácido húmico/ácido fúlvico.

8. A abertura de trincheira em maior profundidade foi sugerida em razão da distinção de cor (amarela), o que poderia permitir encontrar variações nas características do solo.

Perfil PA-07

Apresentador: Raimundo Cosme de Oliveira Junior

Moderador: Arcângelo Loss

Classificação original pré-RCC – Latossolo Amarelo Distrófico húmico, textura muito argilosa, álico, epidistrófico, caulinítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.

Classificação final – manteve-se a original.

Sequência de horizontes:

*** original pré-RCC:** A1, A2, A3, A4, A5, AB, BA, Bw.

*** final:** manteve-se a original.

Propostas para o SiBCS:

1. Avaliar a pertinência do emprego do critério vigente (fósforo) para reconhecimento de horizonte A antrópico. Propôs-se a inclusão da presença de microcarvões para a definição de TPIs, visto que nem todos os perfis atendem a esse critério. Ademais, sugeriu-se realizar análise (disponibilidade de laboratório da ESALQ) por pirólise para identificação da origem do C orgânico e, assim, revisar o critério de P.

Contextos e outras considerações:

1. A área onde o perfil foi descrito encontra-se próxima da foz do Rio Tapajós, que tem a maior densidade populacional da região, sendo cultivada para produção de grãos. Há também extrativismo. A Embrapa dispõe de dados de mais de 50 anos de uso do solo na região, não havendo informação acerca do impacto do uso do solo sobre a floresta.

2. O estado do Pará é o maior produtor de madeira legal e o estado de São Paulo, o maior consumidor. Entretanto, o desmatamento ilegal é um dos maiores problemas da região, visto que o arco do desmatamento ainda é uma realidade. Com isso, o maior gargalo da pesquisa e do manejo florestal é competir com a madeira extraída ilegalmente.

3. Na BR-163, na altura dos quilômetros 70 e 114, há registro de muita erosão seletiva, resultando em solos com gradientes texturais expressivos.

4. À semelhança do perfil PA-05, este perfil apresenta expressiva atividade biológica (mesofauna - cupins, minhocas e formigas), mas, ao contrário daquele, este apresenta

consistência úmida friável. O espessamento do horizonte A húmico seria resultado dessa atividade biológica.

5. A mineralogia é caulinítica, muito bem cristalizada, havendo também outros minerais como anatásio, gibsita e VHE.

6. A micromorfologia indicou trama pórfiro-enáulica, com abundantes preenchimentos soltos. Os nódulos muito pequenos de Fe correlacionam-se ao material parental (Belterra).

7. A conectividade dos poros explica a elevada drenagem dos perfis PA-05 e PA-07, mais do que o tamanho dos poros.

8. A assembleia fitolítica é ampla, com identificação de 16 famílias de plantas; a presença das palmeiras é marcante. Nas várzeas, as assembleias fitolíticas são deixadas pelos rios, enquanto, nos perfis PA-05 e PA-07, estas resultam de deposição in situ. A análise fitolítica revelou três períodos: i) na base, um período mais úmido, subjacente ao segundo período, quando houve um pico de palmeiras, talvez indicando uma abertura da floresta (de causa antrópica?). O topo (terceiro período) corresponderia a um período mais úmido que perdura até os dias atuais. A linha de carvão pode estar indicando um período mais seco.

9. O perfil apresentou a segunda maior atividade enzimática, por causa de sua maior oxigenação e do elevado conteúdo de carbono orgânico. Os baixos teores de P podem ser resultantes de seu consumo pela microbiota, tendo sido observada elevada atividade de fosfatase. Apesar de a atividade enzimática ser determinada na camada superficial de 10 cm de espessura, foi comunicado que ela já está sendo avaliada como horizonte diagnóstico em outros estudos. Argumentou-se que utilizar a atividade enzimática como o indicador de qualidade do solo é relativamente vago, cabendo designar a que se refere esta qualidade.

10. A identificação de leiras em terras "mulatas" é possível até cerca de 40 anos após sua formação, e afirmar que estas áreas resultam de agricultura seria irreal. Nas áreas de terra firme pode provavelmente ter havido sistemas agroflorestais biodiversos (SAF).

Perfil PA-13

Apresentador: Norberto Cornejo Noronha

Moderador: João Santiago Reis

Classificação original pré-RCC – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico, textura argilosa/siltosa, A moderado, endossódico, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.

Proposta de classificação pré-RCC – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico neofluvissólico, textura argilosa/siltosa, A moderado, endossódico, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.

Classificação final – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa/siltosa, A moderado, endossódico, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.

Sequência de horizontes:

* **original pré-RCC**: Apg, 2CAg, 2Cg1, 2Cg2, 3Cgn1, 3Cgn2, 3Cgn3.

* **final**: manteve-se a original.

Propostas para o SiBCS:

1. Refletir sobre a contribuição de minerais da fração silte na alta atividade da argila nos solos amazônicos e sua consideração no SiBCS.
2. Rever a interpretação atual das descontinuidades no caso de solos ricos em silte com baixos conteúdos de areia, visto que esses índices são usados para indicar descontinuidade. O termo errático seria subjetivo e precisaria ser revisto. Considerar ainda a margem de erro de 3 a 5% na análise da granulometria (escala).
3. Rever o enquadramento como Gleissolo pelo critério de cor nos primeiros 50 cm nos ambientes amazônicos, caracterizado por sucessivas deposições/descontinuidades de materiais de cores acinzentadas (geogenicamente gleizado?). A micromorfologia, por outro lado, indica que o processo de gleização determina as características morfológicas do solo. Com isso, destacou-se que a posição na paisagem, e não somente a cor e as condições hídricas (regime de umidade), poderia ser considerada também para solos de várzeas.
4. Incluir "e/ou" para manifestação do caráter vértico, uma vez que, no SiBCS, o caráter vértico é enquadrado a partir da ocorrência de *slickensides* ou fendas ou estruturas cuneiformes e não com "e", que implicaria a existência simultânea destas características morfológicas, além disso, é muito vaga a condição de "apresentar fendas".

Contextos e outras considerações:

1. A área constitui-se de barra de acreção, alongada, que se forma conforme o rio deposita sedimentos por meio dos pequenos canais. Os fatores de formação hidrodinâmicos são centrais, pois ora sedimenta material fino ora grosso, apesar de terem a mesma origem. Nessa planície fluvial, ocorrem barras de acreção na faixa que margeia o rio e lagos nas porções interiores.
2. O fato de o método de ataque sulfúrico afetar não só os argilominerais, mas também minerais presentes na fração silte, muito comuns nos solos aluvionares amazônicos, foi enfatizado.
3. As lâminas da análise micromorfológica revelaram feições muito bonitas de preenchimento por minhocas. Os solos são formados por argila desferrificada, sem, contudo, indicar ausência de ferro, pois foram verificadas feições micromorfológicas redoximórficas indicativas de má drenagem no perfil. A análise micromorfológica mostrou precipitação de ferro de dentro para fora nos poros, apontando para uma intensa gleização. Como tal, a gleização sobrepor-se-ia à sedimentação flúvica.
4. Os solos apresentaram alta retenção de água, com valores da ordem de 200 L m^{-3}.
5. A condutividade elétrica aparente, determinada por indução magnética, constitui uma ferramenta de caracterização da heterogeneidade do solo, resultado de variação na composição granulométrica e mineralógica, no teor de C orgânico, e na porosidade, entre outros atributos.
6. Destacou-se a importância do procedimento de armazenamento de amostra, pois solos úmidos com elevada quantidade de matéria orgânica, quando armazenados em sacos plásticos em ambiente quente por um período mais longo, podem sofrer mineralização e decomposição, podendo levar à diminuição do pH. Sugere-se que seja realizada a lavagem com água destilada em 3 etapas, seguida de secagem (remoção de sal), para realizar a determinação de pH, quando as condições de armazenamento da amostra úmida levarem à redução do pH.

Perfil PA-14

Apresentador: Virlei Álvaro de Oliveira

Moderador: José Furtado de Miranda

Classificação original pré-RCC – Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico, textura argilosa/siltosa, A fraco, mesoendossolódico, eutrófico, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano.

Classificação final – Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico, textura argilosa/siltosa, A fraco, endossolódico, eutrófico, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano.

Sequência de horizontes:

* **original pré-RCC**: Ag, 2CAvg, 2Cvg1, 2Cvg2, 2Cvgn1, 2Cvgn2, 2Cvgn3, 2Cvgn4.

*** final**: A, 2CAvg, 2Cvg1, 2Cvg2, 2Cvg3, 2Cvgn, 2C'vg1, 2C'vg2.

Propostas para o SiBCS:

1. Rever a designação "v" para horizonte A no Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos et al., 2015), uma vez que há fendas desde o A (caráter vértico) neste horizonte.
2. Avaliar a pertinência de reconhecimento do horizonte B vértico dado o desenvolvimento de estrutura no perfil, vista a olho nu e na micromorfologia, em adição ao fato de *Soil Taxonomy* e WRB considerarem horizonte B para Vertissolo. Argumentou-se que a não identificação de horizonte B no perfil deveu-se à ausência de desenvolvimento de cor, quando comparado ao horizonte subjacente. Ademais, a estrutura prismática deve-se à natureza das argilas (e silte). Destacou-se que, em condição de solo úmido, tem-se estrutura maciça, e as fendas surgem somente quando o solo é exposto à secagem.

Contextos e outras considerações:

1. A área foi caracterizada geomorfologicamente como constituída de paleocanais, formada por uma sucessão de diques, estabelecendo uma várzea interna da planície de inundação, onde a água fica estagnada por muito tempo, condicionando o depósito de sedimentos mais finos (argila/silte). Esses solos são conhecidos como massapê ou salmourão.
2. A presença de feições vérticas foi observada na micromorfologia por meio da ocorrência de poros planares, típicos de solos expansíveis, microfeição de cunha, hiporrevestimentos de ferro e poros com feições redoximórficas. Há presença de argilominerais neoformados e não exclusivamente herdados. Observou-se bioturbação intensa por minhocas, em adição às feições pedológicas cristalinas de acumulações de CaCO3. Há inversão na relação Ca2+/Mg2+, precipitando carbonatos em profundidade e, com isso, elevando o pH para teores alcalinos. Recomendou-se a coleta de amostra ainda úmida, próximo à capacidade de campo, em solos vérticos, para condução da análise micromorfológica.
3. A presença de assembleia de feldspatos, micas e vermiculitas foi observada na fração areia.
4. Os valores do Ki em FRX foram maiores do que os de ataque sulfúrico, sendo compatível com a mineralogia, sobretudo pela presença de mica (ilita) na fração silte.
5. O Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 282 foi referenciado por destacar solos de alto valor econômico associados à fração silte (Araújo Filho et al., 2022).
6. A consulta ao mapa de água disponível nos solos do Brasil foi recomendada (Araújo Filho et al., 2022).

Perfil PA-17

Apresentador: Marcos Gervasio Pereira

Moderador: André Rodrigues Netto

Classificação original pré-RCC – Organossolo Háplico Fíbrico típico, textura argilosa/média/orgânica fíbrica, espesso-hístico, distrófico, muito lenhosa, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.

Classificação final (Santos et al., 2018) – Organossolo Háplico Hêmico típico, textura argilosa/média/orgânica fíbrica, distrófico, epissáprico e mesoendofíbrico, muito lenhosa, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.

Classificação final (Santos et al., 2025) – Organossolo Háplico Hêmico espesso-hístico, textura argilosa/média/orgânica fíbrica, distrófico, epissáprico e mesoendofíbrico, muito lenhosa, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.

Sequência de horizontes:

*** original pré-RCC:** Hd1, Hd2, Hd3, 2Ho1, 2Ho2.

*** final:** manteve-se a original.

Propostas para o SiBCS:

1. Avaliar a proposta do emprego de termo espesso-hístico no quarto nível categórico dos Organossolos, para enquadramento no SiBCS.
2. Analisar se a classe 6 de aptidão para uso agrícola pode admitir os usos feitos pelas comunidades tradicionais nas várzeas da Amazônia. Abordou-se o uso da área para horticultura orgânica pelas comunidades locais, que cultivam tomate, repolho e arroz nas várzeas alta e baixa na região. A planície é muito rica em açaizeiros. Foi sugerido comparar a atividade biológica dentro do mesmo ecossistema.

Contextos e outras considerações:

1. A área é de turfeira, influenciada pelo Rio Tapajós (antigamente ocupada por igapó), com cheias anuais que duram em torno de 6 meses. O Organossolo é o solo da turfeira, a turfa é o material, e a turfeira é o ecossistema. O ambiente de turfeira presta diversos serviços ecossistêmicos e ambientais. O serviço ambiental só existe se houver o serviço ecossistêmico preservado. Logo, somente a existência do solo já constitui um serviço. Por conseguinte, foi enfatizada a importância do carbono total para a obtenção de crédito de carbono, uma vez que o carbono total é exigido pelas certificadoras. Destacou-se ainda a importância do paleoambiente, pois áreas como esta começaram a ser represadas no Holoceno médio (entre 6 mil e 7 mil anos atrás).
2. O Quilombo Tiningu, segundo Sr. Junivaldo Mota, morador local, está titulado por meio de documento coletivo, fruto de luta que data de 1948. Na década de 1970, o governo permitiu a utilização de turfeiras para o aproveitamento energético. Tem-se registro de episódio em que a inundação levou todo o maquinário de uma grande produção, o que demonstra a necessidade de atenção quanto à incorporação das áreas de várzea por grandes produtores.
3. Área com diversidade de compartimentos geomorfológicos. Acima da planície, localiza-se uma rampa alúvio-coluvionar que conecta a planície com a borda escarpada do platô.

A área onde se localiza o solo é bem específica ao final de um ambiente deposicional, onde o contexto geral é de predominância de Gleissolos.

4. A determinação de textura em solos orgânicos (COT maior que 80 g kg-1) foi debatida, visto que o comportamento é determinado pela matéria orgânica e não por constituintes minerais. Como tal, é importante indicar o método de determinação da granulometria, particularmente porque o método de determinação do carbono orgânico do solo com queima pode gerar artefatos passíveis de serem confundidos na granulometria. Apontou-se que o método de granulometria não é adequado para solo não mineral, mas não há outro método disponível para essa separação. Destacou-se ainda o desafio de determinar a densidade de partículas em solos orgânicos, que podem ter até mais de 400% de umidade e características hidrofóbicas.

5. A questão levantada sobre ocorrência de tiomorfismo foi descartada, por causa da ausência de jarosita, do pH em água maior que 4,0 (na amostral total) e de odor característico dos ambientes com presença de enxofre. Com isso, destacou-se a necessidade de se ater aos aspectos morfológicos no exame do perfil para classificá-lo.

6. A presença de pedalidade nos três primeiros horizontes, onde a matéria orgânica encontra-se mais decomposta (uso do sufixo “d”), foi observada nas micrografias.

7. O perfil apresentou 50 morfotipos de fitólitos. A partir dos 20 cm, a análise de fitólitos revela mudança completa de vegetação, passando a predominar as lenhosas, corroborando a indicação de uma turfa florestada. A análise de fitólitos indicou sinal tímido de cultivo de milho, a menos de mil anos.

8. A atividade enzimática foi a maior in vitro entre todos os perfis da XV RCC, mas não in situ.

4. Considerações finais

Em adição às propostas específicas para o SiBCS e para ajustes do Guia de Campo, houve as de cunho mais geral, que podem contribuir para o aperfeiçoamento da organização das RCCs vindouras, bem como recomendações adicionais relativas ao uso dos solos, de importância regional. Essas considerações compreenderam:

- Inclusão de análise mineralógica da fração silte nas próximas RCCs;
- Confecção de monólitos dos solos estudados em toda RCC, para guardar sua memória;
- Aprofundamento da discussão em torno da aplicabilidade dos métodos de fluorescência de raios-X e ataque sulfúrico para determinação dos teores totais dos elementos componentes do solo, considerando as especificidades de composição de dadas classes de solo;
- Destaque quanto ao uso de dicromato de potássio em solos com presença de manganês, por esse ser rapidamente oxidado, bem como quanto ao emprego de extrator Olsen para determinação do P em solos alcalinos;
- Revisão da classificação de aptidão agrícola dos solos da XV RCC, de forma a contribuir para o uso dos solos amazônicos, com indicação de aptidão de áreas especiais, como os ambientes de várzeas do Rio Amazonas, visto que o sistema atual não se aplica da mesma forma em outros biomas;

- Ratificação do pedido do CE de submissão de propostas de atualização do SiBCS e da classificação de aptidão agrícola, em adição à proposição de critérios para definição de descontinuidades litológicas em solos com silte elevado;
- Destaque à importância de renovação dos participantes das RCCs.

Referências

ANJOS, L. H. C. dos; PEREIRA, M. G.; SILVA, M. P. G. Trajetória evolutiva dos participantes das Reuniões Brasileiras de Classificação e Correlação de Solos (RCC). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 38., 2023, Florianópolis. **Anais** […]. Florianópolis: EPAGRI, 2023. p. 62. Disponível em: https://ciram.epagri.sc.gov.br/ciram_arquivos/site/solosfloripa2023/anais_xxiii.pdf. Acesso em: 31 mar. 2025.

ARAÚJO FILHO, J. C. de; BARROS, A. H. C.; GALVÃO, P. V. M.; TEIXEIRA, W. G.; LIMA, E. de P.; VICTORIA, D. de C.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; XAVIER, J. P. de S.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; BACA, J. F. M.; MONTEIRO, J. E. B. de A.; OLIVEIRA, F. C. S. F. de; SILVA FILHO, A. D. da; BARROS, J. P. F. G. **Avaliação, predição e mapeamento de água disponível em solos do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2022. E-book. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 282). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1143345/1/CNPS-BPD-282-2022.pdf. Acesso em: 31 mar. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília, DF, 2017. 240 p. ISBN 978- 85-7991-109-5. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/manual-de-metodos_2017_isbn-978-85-7991-109-5.pdf. Acesso em: 31 mar. 2025.

CALEGARI, M. R.; MADELLA, M.; VIDAL-TORRADO, P.; OTERO, X. L.; MACIAS, F.; OSTERRIETH, M. Opal phytolith extraction in oxisols. **Quaternary International**, v. 287, p. 56-62, Feb. 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.11.005.

CARMO, C. A. F. de S.; ARAÚJO, W. S. de; BERNARDI, A. C. de C.; SALDANHA, M. F. C. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 41 p. (Embrapa Solos. Circular técnica, 6). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/337672/1/Metododeanalisedetecido.pdf. Acesso em: 12 maio 2025.

ESTADOS UNIDOS. Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Staff. **Keys to soil taxonomy**. 13th ed. Washington, DC, 2022. 401 p. Disponível em: https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/Keys-to-Soil-Taxonomy.pdf. Acesso em: 12 maio 2025.

ESTADOS UNIDOS. Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Staff. **Soil taxonomy**: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd ed. Washington, DC, 1999. 886 p. (USDA. Agriculture handbook, 436). Disponível em: https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-06/Soil%20Taxonomy.pdf. Acesso em: 12 maio 2025.

IUSS Working Group WRB. **World Reference Base for Soil Resources**: International Soil Classification System for naming soils and creating legends for soil maps. 4th ed. Vienna: Internacional Union of Soil Sciences, 2022. 236 p. Disponível em: https://www.isric.org/sites/default/files/WRB_fourth_edition_2022-12-18.pdf. Acesso em: 6 maio 2025.

KAMPF, N.; WOODS, W. I.; KERN, D. C.; CUNHA, T. J. F. Classificação das terras pretas de Índio e outros solos antrópicos antigos. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, I. W. (ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia**: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: EDUA: Embrapa Amazônia Ocidental, 2010. p. 87-103. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/888990/1/Tony.pdf. Acesso em: 6 maio 2025.

MARQUES, A. F. S. e M.; FLORES, C. A.; BELLINASO, I. F.; CARDOSO, J. D.; LEMOS, R. C de. **Levantamento de reconhecimento de solos e aptidão agrícola em áreas abrangidas pelo PDRI, AM,**

município de Parintins: relatório técnico final. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1983. 192 p.

RAMALHO FILHO, A.; MOTTA, P. E. F. da; NAIME, U. J.; BACA, J. F. M. Procedimento metodológico da avaliação da aptidão agrícola das terras para a cultura da palma de óleo nas áreas desmatadas da Amazônia Legal. In: RAMALHO FILHO, A.; MOTTA, P. E. F. da; FREITAS, P. L. de; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Zoneamento agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. pt. 1, cap. 2, p. 23-45. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/879728/1/Procedimento-metodologico-da-avaliacao-da-aptidao-agricola-2010.pdf. Acesso em: 6 maio 2025.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E.; CLOTHIER, B. E. The constant head well permeameter: effect of unsaturated flow. **Soil Science**, v. 139, n. 2, p. 172-180, Feb. 1985.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E.; YOUNGS, E. G. Ring or cylinder infiltrometers (vadose zone). In: DANE, J.; TOPP, G. C. (ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: SSSA Book, 2002. p. 818-843.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. E-book. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1094003/2/SiBCS2018ISBN9788570358004.pdf. Acesso em: 8 maio 2025.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; LIMA, H. N.; MARQUES, F. A. **Proposta de atualização da 5ª edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**: ano 2024. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2024. 212 p. (Embrapa Solos. Documentos, 244). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1167901/1/CNPS-DOC-244-2024.pdf. Acesso em: 8 maio 2025.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; LIMA, H. N.; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 6. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2025. 393 p. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1176834/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos. Acesso em: 10 jul. 2025.

SANTOS, R. D. dos; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101 p.

SOIL MOISTURE. **Guelph permeameter model 2800 (User manual)**. Santa Barbara: Soil Moisture Equipment Corporation, 2008. 55 p.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATAI, A.; WOLLUM, A. (ed.). **Methods of soil analysis, part 2**: microbiological and biochemical properties. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 778-833. (SSSA Book Series, 5).

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1085209/1/ManualdeMetodosdeAnalisedeSolo2017.pdf. Acesso em: 8 maio 2025.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

Apêndice A

Excursão

A XV RCC teve duração de oito dias. No dia seguinte à chegada dos participantes e à abertura do evento, que ocorreu na noite de sexta-feira, 18 de outubro de 2024, na cidade de Manaus, iniciou-se a excursão para o exame de 17 perfis de solo. O roteiro incluiu um percurso com deslocamento de oeste para leste dos estados do Amazonas e Pará, partindo-se da cidade de Manaus - AM (oeste), antes da confluência dos Rios Negro e Solimões para formar o Rio Amazonas, e finalizou-se na cidade de Santarém - PA (leste), com itinerário por terra e água ao longo do Rio Amazonas, de montante para jusante. Além de Manaus, o roteiro da XV RCC incluiu as cidades de Manaus, Iranduba, Rio Preto da Eva, Itacoatiara, Parintins, Juruti, Belterra e Santarém.

Aproximadamente 1.400 km foram percorridos ao longo das rodovias AM-070, BR-174, AM-010, BR-163, estradas vicinais e trechos fluviais (Figura B1). Na tarde de sexta-feira do dia 25 de outubro de 2024, realizou-se a plenária de encerramento da XV RCC na cidade de Santarém.

Programação da XV RCC

Sexta-feira (18/10/2024)
16h30 às 18h45 – Distribuição de material aos participantes do evento.
18h45 às 20h30 – Solenidade de abertura da XV RCC.
20h30 às 22h – Coquetel.

Sábado (19/10/2024) (percurso de 152 km em rodovia asfaltada)
7h – Saída do hotel em Manaus.
8h às 10h – Exame do 1º perfil (AM-07) no Campo Experimental do Caldeirão - Embrapa, Iranduba (a 40 km).
10h15 às 12h15 – Exame do 2° perfil (AM-01) no Campo Experimental do Caldeirão - Embrapa, Iranduba (a 2 km).
12h45 às 14h15 – Almoço no restaurante em Iranduba (a 25 km).
15h às 17h – Exame do 3° perfil (AM-08), no km 42 da rodovia AM-070, Iranduba (a 30 km).
17h às 18h – Deslocamento até o hotel e pernoite em Manaus (a 55 km).

Domingo (20/10/2024) (percurso de 350 km em rodovia asfaltada)
7h – Saída do hotel em Manaus.
8h30 às 10h30 – Exame do 1° perfil (AM-09), no km 46 da rodovia BR-174, Manaus (a 60 km).
12h30 às 13h30 – Almoço em Rio Preto da Eva (a 100 km).
14h15 às 16h – Exame do 2º perfil (AM-02), no km 124/125 da rodovia AM-010, Rio Preto da Eva (42 km).
16h às 18h30 – Deslocamento até o hotel e pernoite em Itacoatiara (a 140 km).

Segunda-feira (21/10/2024) (percurso de 260 km, sendo 240 km de lancha a jato)
6h30 – Saída do hotel em Itacoatiara.
7h às 9h – Exame do 1° perfil (AM-06), Itacoatiara (a 5 km).
9h15 às 11h15 – Exame do 2º perfil (AM-05), Itacoatiara (a 0,2 km).
11h15 às 12h30 – Translado até o porto fluvial (a 5 km).
12h30 às 18h – Deslocamento até Parintins (240 km) na lancha a jato (incluiu almoço).
18h às 18h30 – Desembarque e deslocamento até o hotel e pernoite em Parintins (a 5 km).

Terça-feira (22/10/2024) (percurso de 60 km, sendo 54 km de lancha a jato)
7h – Saída do hotel em Parintins.
8h30 às 10h30 – Exame do 1º perfil (AM-16), Ilha Vila Nova, Parintins (a 27 km de lancha a jato).
10h45 às 12h45 – Exame do 2º perfil (AM-15), Ilha Vila Nova, Parintins (a 0,35 km).
13h15 às 14h15 – Deslocamento até Parintins (a 27 km) na lancha a jato (incluiu almoço).
14h30 às 16h30 – Exame do 3º perfil (AM-11), Parintins (a 2,5 km).
16h30 às 16h45 – Deslocamento até o hotel e pernoite em Parintins (a 2,5 km).

Quarta-feira (23/10/2024) (percurso de 290 km na lancha a jato)
7h – Saída do hotel em Parintins.
8h45 às 10h45 – Exame do 1º perfil (PA-13), Fazenda São Joaquim, Juruti (a 50 km).
11h às 13h - Exame do 2º perfil (PA-14), Fazenda São Joaquim (a 0,2 km).
13h30 às 19h30 – Deslocamento até Santarém (a 240 km) na lancha a jato (incluiu almoço).
19h30 às 20h – Desembarque e deslocamento até o hotel e pernoite em Santarém (a 2 km).

Quinta-feira (24/10/2024) (percurso de 182 km, sendo 54 km em estrada de terra)
7h – Saída do hotel em Santarém.
8h30 às 10h30 – Exame do 1º perfil (PA-17), Quilombo Tiningu, Santarém (a 46 km, sendo 13 km em estrada de chão).
11h30 às 12h45 – Almoço na Churrascaria Gaúcha (a 37 km, sendo 13 km em estrada de terra).
13h30 às 15h30 – Exame do 2º perfil (PA-05), Belterra (a 35 km, sendo 6 km em estrada de terra).
16h às 18h – Exame do 3º perfil (PA-07), Belterra (a 8 km em estrada de terra).
18h às 19h15 – Deslocamento até o hotel e pernoite em Santarém (a 56 km, sendo 14 km em estrada de terra).

Sexta-feira (25/10/2024) (percurso de 75 km, sendo 24 km em estrada de terra)
7h – Saída do hotel em Santarém.
8h às 10h – Exame do 1º perfil (PA-06), Ponta de Pedra, Santarém (a 32 km, sendo 12 km em estrada de terra).
11h às 12h30 – Almoço em Santarém (a 32 km, sendo 12 km em estrada de terra).
13h30 às 16h30 – Reunião de encerramento no auditório da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), em Santarém (a 5 km).
16h30 às 17h – Deslocamento até o hotel em Santarém (a 6 km) e encerramento do evento.

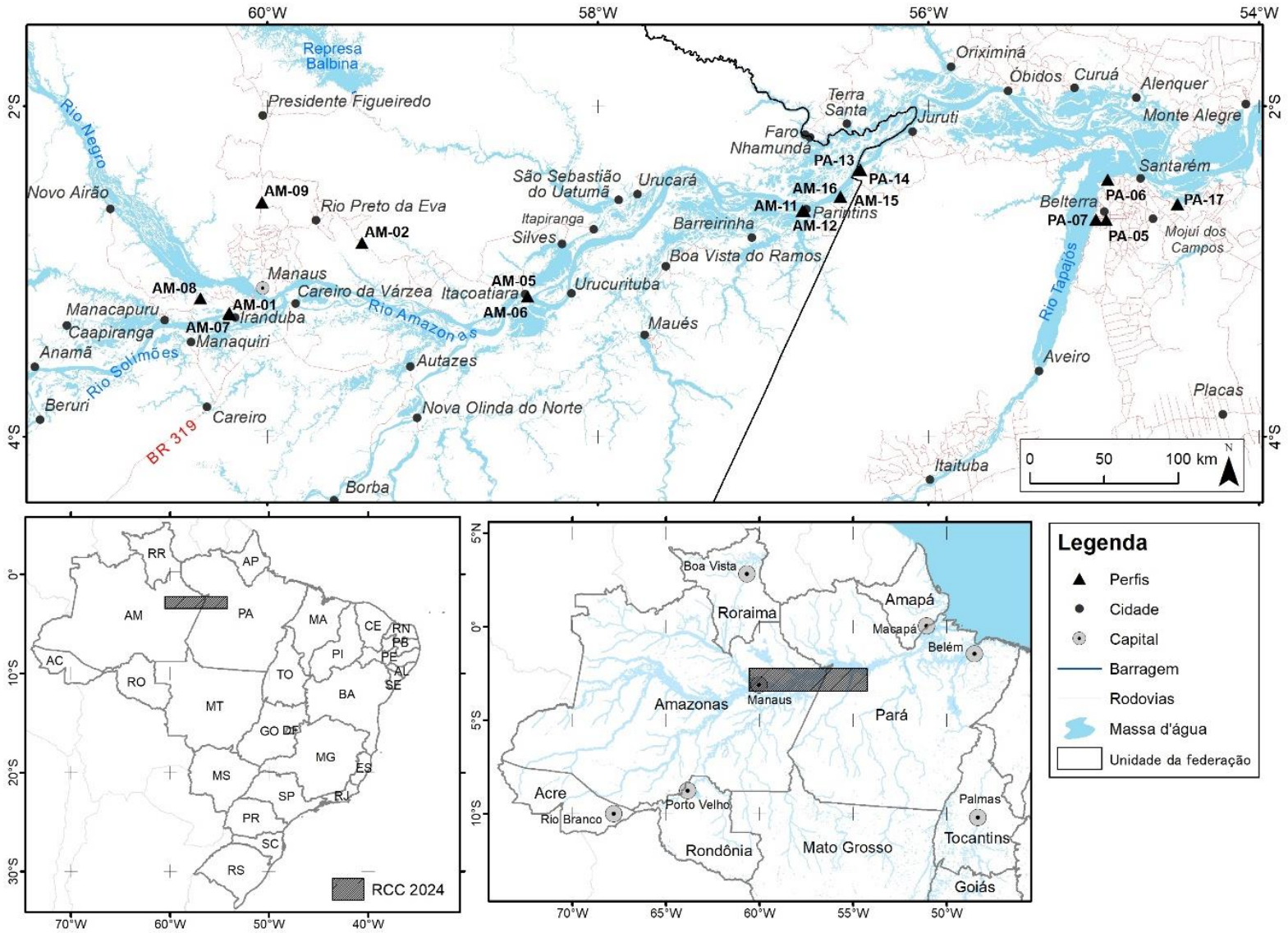


Figura A1. Localização dos perfis de solo da XV RCC, estados do Amazonas e Pará.

Apêndice B

Participantes da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC das várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno

Participante	Instituição
Ademir Fontana	Embrapa Gado de Corte
Adriana Aparecida Ribon Ogera	Universidade Estadual de Goiás
Adriana Monteiro da Costa	Universidade Federal de Minas Gerais
Alan Silveira	Universidade Federal de Uberlândia
Amaury de Carvalho Filho	Embrapa Solos
Ana Maria Souza dos Santos Moreau	Universidade Estadual de Santa Cruz
André Rodrigues Netto	Universidade Federal da Bahia
Andrelisa Santos de Jesus	Universidade Federal de Goiás
Arcângelo Loss	Universidade Federal de Santa Catarina
Bruna Botin Nascimento	Instituto Federal do Rio Grande do Sul
Bruno Nery Fernandes Vasconcelos	Universidade Federal de Viçosa
Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer	Universidade Federal do Rio de Janeiro
Carlos Henrique Lima de Matos	Instituto Federal de Roraima
Carmem Sueze Silva Miranda	Universidade Federal do Vale do São Francisco
Caroline Delpupo	Instituto Federal de Minas Gerais
Cristiane Rodrigues	Agropecri Consultoria Ltda.
Cristiane Valéria de Oliveira	Universidade Federal de Minas Gerais
Davi Feital Gjorup	Universidade Federal de Viçosa
Deyvid Diego Carvalho Maranhão	Universidade Federal do Amazonas
Diana Ferreira de Freitas	Universidade Federal do Ceará
Edson Alves de Araújo	Universidade Federal do Acre
Eduardo Osório Senra	Universidade Federal de Uberlândia
Emilio Carlos de Azevedo	Universidade Federal de Mato Grosso
Enio Fraga da Silva	Embrapa Solos
Fabio Soares de Oliveira	Universidade Federal de Minas Gerais
Fabrício de Araújo Pedron	Universidade Federal de Santa Maria
Felipe Haenel Gomes	Universidade Federal de Lavras

Apêndice B. Continuação.

Participante	Instituição
Fernando Cesar Bertolani	Centro Universitário Central Paulista
Flávio Adriano Marques	Embrapa Solos
Glenio Guimarães Santos	Universidade Federal de Goiás
Grace Bungenstab Alves	Universidade Federal da Bahia
Guilherme Resende Corrêa	Universidade Federal de Uberlândia
Hedinaldo Narciso Lima	Universidade Federal do Amazonas
Iris Celeste Nascimento Bandeira	Serviço Geológico do Brasil (CPRM)
Ivan Carlos Carreiro Almeida	Instituto Federal do Norte de Minas Gerais
Ivanildo Amorim de Oliveira	Instituto Federal de Rondônia
Jaime Antonio de Almeida	Universidade do Estado de Santa Catarina
Jean Michel Moura Bueno	Universidade de Cruz Alta
Jeferson Luís Vasconcelos de Macedo	Embrapa Amazônia Ocidental
João Fernandes da Silva Júnior	Universidade Federal Rural da Amazônia
João Herbert Moreira Viana	Embrapa Milho e Sorgo
João Santiago Reis	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Jolimar Antônio Schiavo	Universidade do Estado do Mato Grosso do Sul
José Coelho de Araújo Filho	Embrapa Solos
José Francisco Lumbreras	Embrapa Solos
José Furtado de Miranda	Universidade Federal do Amazonas
José João Lelis Leal de Souza	Universidade Federal de Viçosa
Juberto Babilônia de Sousa	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso
Jussara Silva Dantas	Universidade Federal de Campina Grande
Lucas Carvalho Basilio de Azevedo	Universidade Federal de Uberlândia
Lúcia Helena Cunha dos Anjos	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Lucieta Guerreiro Martorano	Embrapa Amazônia Oriental
Luís Antônio Coutrim dos Santos	Universidade do Estado do Amazonas
Marcelo Eduardo Dantas	Serviço Geológico do Brasil (CPRM)
Marcia Regina Calegari	Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Marcio Rocha Francelino	Universidade Federal de Viçosa
Marcio Rossi	Instituto de Pesquisas Ambientais (SP)

Apêndice B. Continuação.

Participante	Instituição
Marcos Gervasio Pereira	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Maria Aparecida Pereira Pierangeli	Universidade do Estado de Mato Grosso
Maria do Rosário Lobato Rodrigues	Embrapa Amazônia Ocidental
Maria Eloisa Cardoso da Rosa	Universidade Federal da Bahia
Marlen Barros e Silva	Universidade Estadual do Maranhão
Maurício Rizzato Coelho	Embrapa Solos
Milson Evaldo Serafim	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Milton César Costa Campos	Universidade Federal da Paraíba
Norberto Cornejo Noronha	Universidade Federal Rural da Amazônia
Oldair Del'Arco Vinhas Costa	Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Pablo Vidal-Torrado	Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/Universidade de São Paulo
Patrícia Mara Lage Simões	Serviço Geológico do Brasil (CPRM)
Peter Schad	Technical University of Munich
Raimundo Cosme de Oliveira Junior	Embrapa Amazônia Oriental
Ricardo Simão Diniz Dalmolin	Universidade Federal de Santa Maria
Rilner Alves Flores	Universidade Federal de Goiás
Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida	Embrapa Pesca e Aquicultura
Sergio Hideiti Shimizu	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Sheila Aparecida Correia Furquim	Universidade Federal de São Paulo
Valdinar Ferreira Melo	Universidade Federal de Roraima
Valdomiro Severino de Souza Júnior	Universidade Federal Rural de Pernambuco
Vanda Moreira Martins	Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Virlei Álvaro de Oliveira	Profissional liberal (aposentado do IBGE)
Wenceslau Geraldes Teixeira	Embrapa Solos

Apêndice C

Foto da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC das várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno



Foto: Sérgio Hideiti Shimizu.



Promoção

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Núcleo Regional Amazônia Ocidental

Organização

UFAM

Apoio financeiro

ISBN 978-65-5467-118-7
CGPE 19234