



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA — MA
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária — EMBRAPA
Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido — CPATU

1º Simpósio do Trópico Úmido

1st Symposium
on the Humid Tropics

1er Simposio
del Trópico Húmedo

ANAIS PROCEEDINGS ANALES

Volume I

CLIMA e SOLO

CLIMATE and SOIL

CLIMA y SUELO

BELEM - PARA - BRASIL

1986



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA — MA
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária — EMBRAPA
Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido — CPATU

1º Simpósio do Trópico Úmido

**1st Symposium
on the Humid Tropics**

**1^{er} Simpósio
del Trópico Húmedo**

Belém, Pará, 12 a 17 de Novembro de 1984

Belém, November 12 through 17, 1984

Belém, 12 a 17 de novembre de 1984

ANAIS PROCEEDINGS ANALE

Volume I

CLIMA e SOLO

CLIMATE and SOIL

CLIMA y SUELO

BELÉM - PARÁ - BRASIL

EMBRAPA-CPATU. Documentos, 36

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à
EMBRAPA-CPATU

Trav. Dr. Enéas Pinheiro s/n

Telefone: 226-6622

Telex: (091) 1210

Caixa Postal, 48

66000 Belém, PA - Brasil

Tiragem: 1.000 exemplares

Observação

Os trabalhos publicados nestes anais não foram revisados pelo Comitê de Publicações do CPATU como normalmente se procede para as publicações regulares. Assim sendo, todos os conceitos e opiniões emitidos são de inteira responsabilidade dos autores.

Simpósio do Trópico Úmido, I, Belém, 1984.

Anais. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1986.

6v. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 36)

I. Agricultura — Congresso — Trópico. I. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido, Belém, PA, II. Título. III. Série.

CDD: 630.601

1.º SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO

COMISSÃO DE HONRA

Eliseu Roberto de Andrade Alves — Presidente da EMBRAPA

Lynaldo Cavalcante de Albuquerque — Presidente do CNPq

Raymundo Fonsêca Souza — Diretor da EMBRAPA

COMISSÃO EXECUTIVA

Mário Dantas - Coordenador

Ubaldino Dantas Machado

José de Brito Lourenço Júnior

Perácio Gama da Silva

Francisco José C. Figueirêdo

Jonas Bastos da Veiga

Rosa Edite Pedreira

José Carlos Nascimento

COMISSÃO TÉCNICA

Emanuel Adilson S. Serrão

— Coordenador

Paulo Choji Kitamura

Maria Elisabeth van den Berg

Mário Dantas

Ramendra Singh

José Furlan Júnior

Dietrich Michael Burger

Maria de Lourdes R. Duarte

Guido Ranzani

Paulo Souza Martins

COMISSÃO DE ANAIS

Emmanuel de Souza Cruz

— Coordenador

Mário Dantas

Emanuel Adilson S. Serrão

Francisco José C. Figueirêdo

Nazira Leite Nassar

Isanira Coutinho Vaz Pereira

COMISSÃO DE ADMINISTRAÇÃO

Francisco José C. Figueirêdo

— Coordenador

Luciano Carlos Tavares Marques

Noemi Vianna Martins Leão

Maria de Lourdes R. Duarte

Raimunda Fátima Ribeiro de Nazaré

Marluce Pereira Costa

José Francisco de Assis F. da Silva

Eniel David Cruz

Sérgio De Mello Alves

Antonio de Brito Silva

Rosemary Moraes F. Viégas

Irenice Alves Rodrigues

Sônia Helena M. dos Santos

Eloísa Maria R. Cardoso

Hugo Didonet Lau

Jorge Gazel Yared

COMISSÃO DE DIVULGAÇÃO

Raimundo José de Faria Pinto

— Coordenador

Gustavo Tapioca Silva

Cristina Timpone

Ruth Rendeiro Palheta

COMISSÃO DE EXPOSIÇÃO

Cleómenes Barbosa de Castro
— Coordenador
José de Brito Lourenço Júnior
Luiz Octávio D. de Moura Carvalho

Nazira Leite Nassar
Célia Maria Lopes Pereira

COMISSÃO DE FINANÇAS

José de Brito Lourenço Júnior
— Coordenador
José Senna Gonzalez
Mário Dantas

Cristo Nazaré Barbosa do Nascimento
Ubaldo Dantas Machado

CAPA

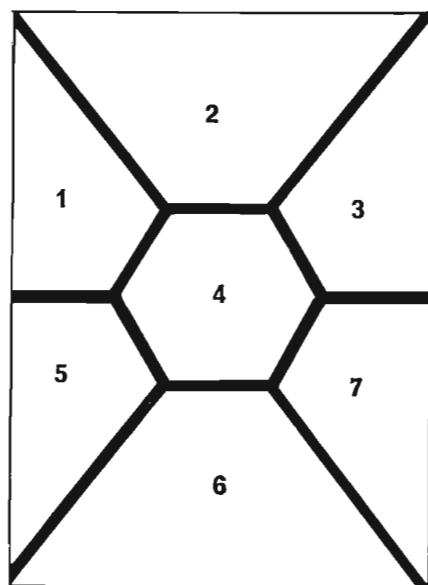
Alguns recursos naturais do trópico úmido

COVER

Some natural resources of the humid tropics

CAPA

Algunos recursos naturales de los trópicos húmedos



1. Guaranazeiro *
Guarana tree
Planta de Guaraná
2. Castanheira *
Brazil nut tree
Castañera de Brasil
3. Pastagem nativa + búfalo *
Native pasture + water buffalo
Pastura nativa + bufalo aquático
4. Floresta tropical úmida *
Tropical rainforest
Bosque tropical húmedo
5. Cacaueiro **
Cocoa tree
Planta de cacao
6. Dendzeiro *
African oil palm
Palma aceitera africana
7. Seringueira ***
Rubber tree
Planta de caucho

Fonte — Source — Fuente

- * Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)
** Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC)
*** Faculdade de Ciências Agrárias do Pará (FCAP)

PATROCINADORES

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária — EMBRAPA
Financiadora de Estudos e Projetos — FINEP
Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura — IICA
Sociedade Alemã de Cooperação Técnica — GTZ
Instituto Goethe
Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia — SUDAM
Banco da Amazônia S.A. — BASA
Banco do Brasil S.A.

AGRADECIMENTOS

A Comissão Organizadora do 1.º Simpósio do Trópico Úmido agradece a colaboração prestada para a realização deste Simpósio aos Coordenadores de Subcomissões Técnicas: Tatiana Deane de Abreu Sá Diniz (clima), Lúcio Salgado Vieira (solos), Pedro Lisboa (flora), Jorge Alberto Gazel Yared (floresta), William L. Overall (fauna), Solange F.F. de Aquino (culturas temporárias), Maria de Lourdes Reis Duarte (culturas perenes), Jonas Bastos da Veiga (pastagens), Luiz Octávio Danin de Moura Carvalho (produção animal) e Emanuel Adilson Souza Serrão (temas multidisciplinares); aos revisores: Francisco das Chagas Oliveira Freire, Milton Guilherme da Costa Mota, José Furlan Júnior, José Edmar Urano de Carvalho, Robert J. Buschbacher, Anthony B. Anderson, Ruth Rendeiro Palheta, Miguel Simão Neto e José de Brito Lourenço Júnior; aos bibliotecários: Sílvio Leopoldo Lima Costa e Anna de Souza Ayres Lopes; aos datilógrafos: Bartira Franco Aires Ewerton e Francisco José F. Pereira; e aos desenhistas: Eduardo Rodrigues da Silva e João dos Santos Carvalho.

APRESENTAÇÃO

Com satisfação apresentamos os Anais do 1.º Simpósio do Trópico Úmido, realizado em Belém, Estado do Pará, de 12 a 17 de novembro de 1984, o qual teve como objetivo maior reunir e sistematizar a maior quantidade de informações disponíveis, sobre os recursos naturais e socioeconômicos do Trópico Úmido, bem como sobre o acervo de tecnologias geradas pela comunidade científica, visando a mobilização racional desses recursos, tanto para o uso agrícola como para fins de preservação.

Participaram do evento mais de 700 pesquisadores de 23 países, os quais apresentaram e debateram cerca de 300 trabalhos, cobrindo diferentes áreas do conhecimento. O Simpósio abrigou também vários eventos especiais, destacando-se o 1.º Seminário Internacional sobre a Agricultura da Amazônia — reunindo delegações dos países do Pacto Amazônico — além do Encontro Regional de Pecuária de Corte da Região Norte e as mesas redondas sobre As Perspectivas de Utilização dos Recursos Naturais na Agricultura da Amazônia, Recursos Genéticos, Ciência e Tecnologia e Sistemas de Documentação e Informação em Pesquisa.

O sucesso do Simpósio deveu-se sobretudo ao empenho da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária — EMBRAPA, através do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido — CPATU, a quem coube a organização e a coordenação, tendo contado com o apoio do CNPq, FINEP, SUDAM, BASA, GTZ, Instituto Goethe, IICA e de empresas privadas.

Os anais que ora editamos em seis volumes — o primeiro versando sobre Clima e Solo, o segundo sobre Flora e Floresta, o terceiro sobre Culturas Temporárias, o quarto sobre Culturas Perenes, o quinto sobre Pastagens e Produção Animal e o sexto sobre Temas Multidisciplinares — reúnem a quase totalidade dos trabalhos apresentados no Simpósio. Ressalvamos que o conteúdo técnico e as opiniões emitidas são de inteira responsabilidade dos autores.

Esperamos que os Anais contribuam de forma decisiva para que grande parte do acervo de informações sobre os recursos naturais e socioeconômicos do Trópico Úmido, orientados ao uso agrícola, seja realmente difundido no meio da comunidade científica e a todos que estudam e se interessam pelos problemas das regiões Tropicais Úmidas.

EMELECÍPIO BOTELHO DE ANDRADE

Chefe do CPATU

INTRODUÇÃO

Em 1982, o "Committee on Selected Biological Problems in the Humid Tropics" definiu o trópico úmido como "aquelas áreas da superfície terrestre onde a biotemperatura média anual nas terras baixas é superior a 24°C e a precipitação anual se iguala ou excede o potencial de retorno de água para a atmosfera pela evaporação".

O trópico úmido, segundo os conceitos geográfico e climatológico, é a região da Terra entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, com altos índices de temperatura e umidade do ar, grande quantidade de radiação solar e capaz de ser coberta por florestas perenifólias de folhas largas.

Em geral, no trópico úmido ocorrem áreas de solos com baixa fertilidade natural, nas quais a principal atividade agrícola é representada por uma agricultura migratória, embora também se observe uma agricultura com elevada tecnologia praticada em alguns países, principalmente usando culturas perenes como o dendê, cacau e a seringueira, e pastagem, ou culturas anuais como o arroz. As maiores florestas do mundo se encontram nessa região e constituem o mais importante recurso natural renovável.

O trópico úmido abrange regiões da África, Ásia, América Central, América do Sul e Oceânia, incluindo áreas de 63 países e de ilhas diversas. E, apesar da alta produtividade biológica que geralmente ocorre em áreas do trópico úmido, a maioria dos países subdesenvolvidos localiza-se nessas áreas.

O 1.º Simpósio do Trópico Úmido surgiu da necessidade de se reunir o máximo possível de informações existentes — até o momento, de maneira difusa — referentes a recursos naturais do trópico úmido e às tecnologias disponíveis para a utilização racional desses recursos, visando a produção agropecuária necessária ao bem-estar das comunidades dessa região e aos excedentes para exportação.

A realização desse evento concretizou-se graças ao empenho da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária — EMBRAPA através do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido — CPATU, em promovê-lo, com o apoio da Financiadora de Estudos e Projetos — FINEP, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit — GTZ, Instituto Goethe, Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura — IICA, Banco do Brasil, Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia — SUDAM, Banco da Amazônia S.A. — BASA e empresas privadas. A este empenho juntou-se o interesse da comunidade técnico-científica pela região, como foi demonstrado através da inscrição de 312 trabalhos e da participação de 700 pessoas de diversas partes do Brasil e de 23 outros países.

Em geral, esses trabalhos, quer de estado atual de conhecimentos, quer inéditos, apresentam informações técnico-científicas valiosas a respeito dos recursos solo, vegetação, clima, fauna, e das tecnologias agropecuárias, principalmente

no que se referem às culturas temporárias, semi-perenes e perenes, pecuária e floresta, bem como dos fatores bio-sócio-econômicos relacionados com a utilização dessas informações.

A Comissão Organizadora do Simpósio, através de suas Comissões Técnica e de Anais, tem a satisfação de apresentar os Anais do 1.º Simpósio do Trópico Úmido que constam de seis volumes: I — Clima e Solo; II — Flora e Floresta; III — Culturas Temporárias; IV — Culturas Perenes; V — Pastagem e Produção Animal e VI — Temas Multidisciplinares.

Os trabalhos aqui apresentados passaram por uma breve apreciação técnica feita por especialistas dentro de cada assunto. No entanto, a responsabilidade final dos conceitos e opiniões emitidos é inteiramente dos respectivos autores.

A Comissão Organizadora do 1.º Simpósio do Trópico Úmido agradece a todos que colaboraram, de qualquer forma, para a concretização desse Simpósio e, ao mesmo tempo, espera que este documento seja de grande utilidade para todos que trabalham no trópico úmido.

A Comissão Organizadora

INTRODUCTION

In 1982, the "Committee on Selected Biological Problems in the Humid Tropics" defined the humid tropics as "those areas of the earth's land surface where the mean annual biotemperature in the lowlands is greater than 24°C and where annual rainfall equals or exceeds potential evaporative return of water to the atmosphere".

The humid tropics, by the geographic and climatological concepts, are the regions of the Earth between the Tropics of Cancer and Capricorn, with high temperature and air humidity, with large amount of solar radiation and, in general, covered by broad-leaf evergreen forests.

Generally, the humid tropics have soils with low natural fertility where the main agricultural activity is based on shifting cultivation, even though technological agriculture is practiced in some countries, mainly using perennial crops such as cocoa, oil palm, rubber and pasture or annual crops such as rice. The largest forested areas of the world are found in the humid tropics, the forest being the most important renewable resource.

The humid tropical areas are of the world spread over four continents: Africa, Asia, South-Central America And Oceania, including 63 countries and small islands. In spite of the high biological productivity which generally occurs in the humid tropical areas, most of the underdeveloped countries are included in those areas.

The 1st Symposium on the Humid Tropics emerged from the necessity to collect the maximum possible amount of information — presently available in a scattered manner — on natural resources of the ecological region of the humid tropics and technologies on available for rational utilization of these resources for agricultural production which is necessary for the well-being of the communities of the region and for exporting.

The organization of this event materialized with the efforts of the Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária — EMBRAPA, through its Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido — CPATU, with the help of Financiadora de Estudos e Projetos — FINEP, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit — GTZ, Instituto Goethe, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura — IICA, Banco do Brasil, Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia — SUDAM, Banco da Amazônia S.A. — BASA and other private organizations. A very significant response from the scientific and technical community to this effort can be observed from the fact that 312 papers were submitted to the Symposium with the participation of 700 researchers from several states of Brazil and from 23 other countries.

In general, those papers, whether invited or voluntary, give valuable technical and scientific information on resources such as soil, vegetation, climate and fauna, on agricultural technology, especially with reference to annual, semi-

perennial and perennial crops, pasture and animal production and forestry, and on bio-socio-economic factors related to the use of these resources.

The Symposium Organizing Committee along with the Technical and Proceeding Committes are pleased to present the Proceedings of the 1st Symposium on the HumidTropics which consist of six volumes as follows: I — Climate and Soil; II — Flora and Forestry; III — Temporary Crops; IV — Perennial Crops; V — Pasture and Animal Production and VI — Multidisciplinary Themes.

The papers included in the Proceedings were briefly reviewed by specialists on the different subjects. However, the authors are fully responsible for the concepts and opinions expressed in their respective papers.

The Organizing Committee of the Symposium is grateful to all those who collaborated in any way for this great achivement and hopes that this document will be of great usefulness for those who deal with agricultural development in the humid tropics.

The Organizing Committee

INTRODUCCIÓN

Durante el año 1982, el "Committee on Selected Biological problems in the Humid Tropics" definió el trópico húmedo como, "Aquellas áreas de la superficie terrestre, donde la biotemperatura media anual en las tierras bajas es superior a 24°C, y la precipitación anual se iguala o excede al potencial de retorno de agua para la atmósfera por la evaporación".

El trópico húmedo, según, los conceptos geográficos y climatológicos, es una región de la Tierra entre los trópicos de Cáncer y de Capricornio, con altos índices de temperatura y humedad del aire, gran cantidad de radiación solar y capaz de ser cubierta por selvas perennifolias de hojas largas.

En general, en el trópico húmedo ocurren áreas de suelos con baja fertilidad natural, en las cuales la principal actividad agrícola está representada por una agricultura migratoria aunque también se observa una agricultura con elevada tecnología practicada en algunos países, principalmente usando cultivos perennes tales como la palma africana, el cacao y el caucho, pasturas, o cultivos anuales tales como el arroz. Las mayores selvas del mundo se encuentran en esta región y constituyen el más importante recurso natural renovable.

El trópico húmedo incluye regiones de África, América Central, América del Sur y Oceanía, incluyendo áreas de 63 países y diversas islas. Apesar de la alta productividad biológica que generalmente ocurre en las áreas del trópico húmedo, la mayoría de los países subdesarrollados se encuentran localizados en esta área.

El I^{er} Simposio del Trópico Húmedo surgió de la necesidad de reunir el máximo posible de las informaciones existentes, actualmente dispersas sobre los recursos naturales de la región ecológica del trópico húmedo y sobre las tecnologías disponibles para la utilización regional de esos recursos, con miras a la producción agropecuaria necesaria para el bienestar de las comunidades de esa región y con miras a la producción de excedentes para exportación.

La realización de este acontecimiento se concretó gracias al interés de la Empresa Brasileira de Investigación Agropecuária — EMBRAPA a través del Centro de Investigación Agropecuária del Trópico Húmedo — CPATU, promoviéndolo con el apoyo de la Financiadora de Estudios y Proyectos — FINEP, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit — GTZ, Instituto Goethe, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura — IICA, Banco do Brasil, Superintendencia de Desarrollo de la Amazônia — SUDAM, Banco de la Amazônia S.A. — BASA y empresas privadas. A este empeño se unió el interés del medio técnico-científico en la región como es demostrado por la inscripción de 312 trabajos y por la participación de 700 personas de diferentes localidades de Brasil y de 23 países.

En general, estos trabajos ya sean de estado actual de conocimientos ó inéditos, presentan informaciones técnico-científicas valiosas sobre los recursos del suelo, vegetación, clima, fauna, y tecnologías agropecuarias, principalmente en lo que se refiere a los cultivos temporales, semiperennes, perennes, pecuaria y montes, así como también a los factores bio-socio-económicos relacionados con la utilización de esos recursos.

La Comisión Organizadora del Simpósio a través de sus Comisiones Técnica y de los Anales, tienen la gran satisfacción de presentar los anales del Primer Simposio del trópico Húmedo, los anales constan de seis volúmenes así: I — Clima y Suelo; II — Flora y Floresta; III — Cultivos Temporales; IV — Cultivos Perennes; V — Pasturas y Producción Animal; VI — Temas Multidisciplinarias.

Los trabajos aquí presentados pasaron por una breve apreciación técnica hecha por especialistas dentro de cada campo científico. No obstante, la responsabilidad final de los conceptos y opiniones emitidos, es enteramente de los respectivos autores.

La Comisión Organizadora del Primer Simposio del trópico Húmedo, agradece a todos los que colaboraron su de alguna forma para realización, al mismo tiempo, espera que este documento sea de gran utilidad para todas aquellas personas que trabajan en el trópico húmedo.

La Comisión Organizadora

SUMÁRIO

CLIMA

O estado ATUAL DOS CONHECIMENTOS DE CLIMA DA Amazônia brasileira com finalidade agrícola. T.X. Bastos, E.J.P. da Rocha, P.A.M. Rolim, T.D. de A. S. Diniz, E.C.R. dos Santos, R.A.A. Nobre e E.M.C. Cutrim.....	19
Flutuação das chuvas na região de Belém em distintos intervalos de tempo. Período 1967—1983. T.X. Bastos, H. Chaib Filho, T.D. de A.S. Diniz e V.H.B. Lobato.....	37
Estimativa de precipitação para diferentes níveis de probabilidade em quatro períodos de tempo segundo a distribuição gama — Belém, Pará, H. Chaib Filho, T.X. Bastos e T.D. de A.S. Diniz.....	44
Variação sazonal das perdas por interceptação no <i>Theobroma cacao</i> . R.A.C. Miranda	51
Avaliação da evapotranspiração potencial da região de Belém, PA. H.T. Maltez, M.G. Maltez, T.X. Bastos e T.D. de A.S. Diniz.....	56
Relação entre radiação solar global e insolação para a região de Belém, Pará, T.D. de A.S. Diniz, D.A. Cardon, T.X. Bastos e M.G.L. Maltez.....	68
Modelo de radiação para a região metropolitana de Belém. G. Rendeiro, M.X. Ponte, A. gomes e S. da S. Lima Filho.....	75
Resultados preliminares do experimento micrometeorológico na floresta amazônica. L.C.B. Molion, A.O. Mauzi, C.A. Nobre, L.D. de A. Sá de P.S. Filho, A. de O. Marques Filho, G. Fisch, M.N.G. Ribeiro, M. Januário, O.M.R. Cabral, S. P. Patel, J.C. de Moraes e L.F. de Aguiar.....	79
Climatologia da dinâmica da troposfera sobre a Amazônia. L.C.B. Molion e V.E. Koushy.	87
Encuesta agroclimatical del tropico húmedo de America del Sur. I.N. Dobrea.....	97

SOLO

Soils of the humid tropics; state of knowledge and research priorities. W.G. Sombroek	104
Contribuição do SNLCS para o conhecimento dos solos do trópico úmido brasileiro. R.D. dos Santos e P. Séchet.....	117
Solos da gleba Carajás II (Setores V, VI e VII), I.C. Falesi.....	126
Solos do projeto Tucumã. I.C. Falesi.....	141
Estado atual de conhecimentos de solos da Amazônia brasileira. I.C. Falesi.....	168
Matéria orgânica e algumas propriedades físico-químicas de Latossolos e Podzólicos da Amazônia. T.W. Wollersen e S. Dutra.....	192
Soil sampling for estimation of micronutrient availability and physico-chemical properties of a representative soil type of Marajó Island, Pará. R. Singh, W. de A. Ferreira e J.F. Teixeira Neto.....	200

Amostragem de solo para fins de fertilidade em áreas de mata e pastagem na Amazônia. L.B. Teixeira, J.R. Escobar e G. Ranzani.....	206
Mineralogia de argilas de solos da região amazônica brasileira. M.R.F. Möller.....	214
Eficiência agronômica de fosfatos naturais da Amazônia Oriental. E. de S. Cruz, R.F. de Oliveira, R. Singh, N.P. de Oliveira, A. de O. Matos e W. de A. Ferreira.....	224
Resposta à aplicação de fosfato da Flórida em Latossolo Amarelo do município de Capitão-Poço, Estado do Pará. D.A.C. Frazão, P.F. da S. Martins e P.J. de C. Genu...	236
Micronutrient availability in dominant soil types of brazilian humid tropics. III. Copper. R. Singh.....	245
Micronutrient availability in dominant soil types of brazilian humid tropics. IV. Iron. R. Singh.....	258
O solo de um ecossistema natural de floresta localizada na Amazônia Oriental. I. Caracterização química e física. P.F. da S. Martins e C. Cerri.....	271
Ocorrência de nodulação espontânea em leguminosas florestais nativas de Capitão-Poço, PA. A. de O. Matos.....	287
Efeito da Inoculação com micorriza (VA) em duas cultivares de caupi (<i>Vigna unguiculata</i>), em casa-de-vegetação. E.Y. Chu e A. de O. Matos.....	295
Interaction of VA-Mycorrhiza and Rhizobium in <i>Pueraria phaseoloides</i> . E. Blu and H. Hoting.....	302
Quantificação de gêneros de micorriza vesicular-arbuscular nas culturas de pimenta-do-reino, guaraná e dendê na Amazônia Oriental. E.Y. Chu.....	311
Nutrient cycling in shifting cultivation, preliminary results and evaluation of a comparative study under various climatic conditions. J. P. Andriesse.....	318
Lowland amazon forests, bioelements and geochemistry. H. Klinge.....	333
Modelos de los elementos nutritivos em sistemas de produccion agroforestales del trópico húmedo, H.W. Fassbender, J.H.G. Enriquez y L.A.H. Folster.....	347
Soil and vegetation dynamics in shifting cultivation fallows. L.T. Szott and C.A. Palm.....	360
Land clearing and soil management in the lowland humid tropics. N.R. Hulugalle and R. La.....	380
Opciones tecnologicas para el manejo racional de suelos en la selva Peruana. P.A. Sánchez e J.R. Benites.....	399
Características físicas em um Latossolo Amarelo muito argiloso do Estado do Amazonas sob diferentes métodos de preparo do solo. J.C. Corrêa.....	437
Influência de dois métodos de preparo de área na compactação de um Latossolo Amarelo no Estado do Amazonas. B.F. Medina.....	446
Efeitos de sistemas de cultivo sobre propriedades físicas de um Latossolo Amarelo textura média. E.F. Boulhosa, A.R.C. Baena, I. de F. da Silva e R. de S. Chaves.....	456

Teor de umidade em solo Latossolo Amarelo textura média sob diferentes tipos de cobertura utilizando-se sonda de nêutrons. A.R.C. Baena e S. Dutra.	466
Effects of different mulch materials on soil properties and yield of maize (<i>Zea mays</i> L.) and cowpea (<i>Vigna unguiculata</i>) in an eastern Amazon Oxisol. E. Schöningh and J. Alkämper.....	474
Pesquisas de revestimento vegetal de taludes na Amazônia. H.M. Saito, C.C. Shock e P.P. Bosshart.....	486
Quaternary geology of Amazonian Lowlands. G. Irion.....	494
O estado atual do conhecimento sobre fixação biológica de nitrogênio na Amazônia. F.M.M. Magalhães.....	499

O ESTADO ATUAL DOS CONHECIMENTOS DE CLIMA DA AMAZÔNIA BRASILEIRA COM FINALIDADE AGRÍCOLA

Therezinha Xavier Bastos¹, Edson José Paulino
da Rocha², Pedro Alberto Moura Rolim³, Tatiana
Deane de Abreu Sá Diniz¹, Evandro Carlos Rabelo
dos Santos³, Roberio Aleixo Anselmo
Nobre⁴, Elen Maria Câmara Cutrim⁵ e
Rizio Luiz Dejard de Mendonça⁶

RESUMO: Este trabalho aborda de maneira resumida as pesquisas ligadas à climatologia e meteorologia que vêm sendo conduzidas na Amazônia brasileira, tendo como objetivo principal fornecer um quadro geral dos principais aspectos do clima da região para fins agrícolas. São discutidos aspectos ligados à praticabilidade da terminologia de Trópico Úmido para a Amazônia e características gerais da climatologia dinâmica e descritiva da região. É também apresentada uma relação de entidades que atuam no campo de climatologia e meteorologia regional.

Termos para indexação: Clima, Trópico Úmido, Amazônia legal, elementos meteorológicos, sistemas atmosféricos, potencial agroclimático.

THE CLIMATE OF THE BRAZILIAN AMAZON REGION FOR AGRICULTURAL PURPOSES. A STATE-OF-THE-ART

ABSTRACT: This paper synthesizes the climatological and meteorological research being carried out in the Brazilian part of the Amazon region. The main objective is to provide an overview of the principal aspects of the climate of the region with respect to their impact on the agriculture of the area. The applicability of the terminology of Humid Tropics for Amazonia, as well as general characteristics of the dynamic and descriptive climatology of the region are also discussed. A list of the agencies that deal with regional climatology and meteorology is presented.

Index terms: Climate, Humid Tropics, Brazilian Amazon basin, meteorological elements, atmospheric systems, agroclimatic potentiality.

¹ Eng. Agr. M. Sc. EMBRAPA-CPATU. Caixa Postal 48. CEP 66000. Belém, PA.

² Meteorologista. SUDAM. Av. Almirante Barroso, 426. CEP 66000. Belém, PA.

³ Analista de Sistema. SUDAM.

⁴ Meteorologista. Bolsista. EMBRAPA-CPATU.

⁵ Eng. Civil e Meteorologista Ph. D. UFPA. Campus Universitário do Guamá. CEP. 66000. Belém, PA.

⁶ Eng. Civil e Meteorologista. 2º Diaze — INEMET. Belém, PA.

INTRODUÇÃO

Informações englobando o maior número possível de segmentos do clima são imprescindíveis para a pesquisa e sistemas agrícolas, principalmente na tentativa de compatibilizar a tecnologia gerada com a realidade local, uma vez que, o entendimento do clima não pode ser ignorado nas diversas etapas da agricultura.

Na Amazônia brasileira, os estudos climáticos vêm se ampliando e, a partir da década de 70 até a presente data, têm-se verificado certo avanço nas observações sistemáticas, estudos realizados e pesquisas em desenvolvimento, envolvendo diversas entidades, gerando considerável acervo de informações sobre aspectos ligados à climatologia e à meteorologia da região.

Paralelamente a essa ampliação de informações climáticas, motivada principalmente pelo interesse voltado aos estudos ligados a pesquisas ambientais ou atividades diretamente relacionadas ao clima, como é o caso da agricultura, a região passou também pelo processo de expansão de suas fronteiras geográficas, ocupando hoje uma área de aproximadamente 3.000.000 km² do território nacional, havendo assim necessidade de atualização do nível de informações disponíveis no momento.

Por outro lado, vem crescendo o interesse do público em geral, por informações climáticas da Amazônia, e um dos problemas atuais, nessa área de estudo, é a falta de um documento acessível que reúna de maneira clara e objetiva as informações climáticas disponíveis na região.

Este trabalho aborda de maneira resumida as pesquisas ligadas à climatologia e à meteorologia que vêm sendo conduzidas, na Amazônia brasileira. O objetivo principal é fornecer um quadro geral dos aspectos mais importantes do clima da região para fins agrícolas, a fim de que o usuário deste setor e a comunidade técnico-científica possam utilizar essas informações de forma objetiva, possibilitando assim novas fontes de pesquisa.

A AMAZÔNIA LEGAL NO CONTEXTO DE TRÓPICO ÚMIDO

O Conceito de Trópico Úmido e suas limitações

As regiões tropicais têm sido amplamente conhecidas como áreas situadas entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, correspondentes, respectivamente, às latitudes aproximadamente de 23° Norte e Sul do Equador, limites do deslocamento do sol em relação ao planeta Terra, correspondentes aos pontos que culminam com o máximo de declinação solar nos respectivos hemisférios.

O termo trópico, em geral, dá a conotação de clima quente, em que a temperatura é elevada o ano inteiro, sem registro de estação fria e a precipitação é considerável, pelo menos durante uma parte ao ano (Gorou 1953, citado por Nieuwolt 1977). Em termos de total anual, a precipitação excede a perda de água por evapotranspiração e, biologicamente falando, admite-se que essas áreas devem possuir clima favorável para o cultivo de plantas que necessitam do ano completo para alcançar a maturidade sem necessidade de irrigação (Williams & Joseph 1974).

Samson (1980) estabelece ainda que as áreas tropicais apresentam pouca variação do comprimento do dia ao longo do ano, sendo o dia mais longo inferior a 13 horas.

Atualmente, as regiões rotuladas como tropicais situam-se na África, Américas Central e do Sul, Caribe, parte da Austrália, Ásia e muitas ilhas agrupadas nos oceanos Pacífico e Índico. Nieuwolt (1977) atribuiu que a abrangência geográfica das áreas tropicais corresponde a uma faixa variando de 40° a 60° de latitude, não havendo, entretanto, um critério genérico para definir as características climáticas que melhor identifiquem estas áreas, faltando, por conseguinte, um consenso na delimitação da área de abrangência tropical.

Nieuwolt (1977) e outros, analisando as áreas tropicais distribuídas no globo terrestre quanto às suas condições térmicas, abordam os seguintes aspectos: os paralelos 23° norte e sul não correspondem na prática, aos limites para definir ou englobar todas as áreas do globo terrestre que apresentam as características climáticas peculiares ao cultivo de espécies tropicais, uma vez que regiões com evidentes características de clima tropical são encontradas em latitudes maiores que 23°, enquanto que, por outro lado, regiões com características não tropicais (com presença de estação fria) podem ser encontradas nos limites tropicais, em áreas de elevadas altitudes, algumas até muito próximas do Equador. A utilização do critério de Köppen, que estabelece a média de temperatura de 18°C para definir estação fria, é impraticável, pois esse critério exclui as áreas tropicais muito elevadas, onde a temperatura frequentemente permanece abaixo deste limite, embora sendo caracteristicamente tropicais, por não ficarem submetidas à ocorrências de inverno estacional.

Em termos de pluviometria, pode-se dizer que a simples comparação entre a precipitação e a evapotranspiração potencial, bem como os critérios de classificação climática que utilizam apenas temperatura e precipitação, estabelecidos por alguns autores para indicação de climas tropicais úmidos, como a de Papadakis (1965), citado por Williams & Joseph (1974), e a de Nieuwolt (1977), não evidenciam os diferentes níveis de umidade que possam ocorrer nas regiões tropicais.

Para corrigir as limitações de caracterização das áreas tropicais úmidas relativas à temperatura, tem sido estabelecido novo critério, consistindo de comparações entre as amplitudes médias de temperatura anual e diária para detectar a ocorrência de estação fria (Nieuwolt 1977, Samson 1980 e Ayoade 1983). Tal critério considera ocorrência de estação "fria invernal", se a amplitude de temperatura média anual for superior à amplitude de temperatura

média diária, no caso inverso, não haverá presença de estação fria, sendo as condições térmicas peculiares às das regiões tropicais.

Para a precipitação pluviométrica, o critério de classificação climática de Thornthwaite, que utiliza o método de balanço hídrico contábil, possibilita identificar diferenças de disponibilidade hídrica, em tipos climáticos que apresentam idênticos índices de umidade, parece ser, no momento, o critério mais aceitável para evidenciar diferentes níveis de umidade e de aridez nas regiões tropicais e estabelecer nítida diferenciação entre as diversas categorias de clima que possam ocorrer nessas regiões.

Aplicabilidade do termo "Trópico Úmido Brasileiro" para a Amazônia Legal.

A Amazônia Legal, ou Amazônia brasileira, também conhecida recentemente como trópico úmido brasileiro, Relatório ... (1983), abrange cerca de 60% do território nacional, é constituída pelos Estados do Acre, Amazonas, Pará, Rondônia e Mato Grosso, Territórios Federais do Amapá e Roraima e parte dos Estados de Goiás a norte do paralelo 13° e Maranhão, à oeste do meridiano 44°. Está limitada praticamente pelos paralelos 5° norte e 16° sul e pelos meridianos 44° e 74° a oeste de Greenwich, apresenta em geral elevações pouco acentuadas, com altitudes predominando em torno de 150 m, verificando-se, entretanto, elevações consideráveis em alguns pontos da região, como Pico da Neblina, Monte Roraima e Serra do Cachimbo, com alturas em torno de 3.000 m, 2.700 m e 600 m, respectivamente.

Aplicando-se na Amazônia, o critério térmico de Nieuwolt (1977) e a classificação climática de Thornthwaite para o estabelecimento de índices térmicos, pode-se dizer que não se tem registrado características térmicas que indiquem a presença de estação fria na região.

Em termos hídricos, a análise espacial de índices efetivos de umidade, de acordo com o método de Thornthwaite, tem revelado que a região apresenta acentuadas variações mostrando, além da ocorrência de tipos climáticos super úmido e úmido, a presença de tipos climáticos semi-úmido e seco, o que evidencia que em relação às condições hídricas, a conotação "trópico úmido" não deve ser atribuída a toda a Amazônia Legal.

A Fig. 1 mostra resultados de balanços hídricos e respectivos tipos climáticos para algumas localidades da região, onde se pode verificar a ocorrência na Amazônia, de áreas em que predominam condições de clima semi-úmido e seco.

Por outro lado, a aplicação da terminologia "trópico úmido brasileiro" para a Amazônia Legal, subentende que toda área tropical úmida do Brasil está incluída nessa região, gerando a interpretação incorreta de que não existem outras áreas, no País, com características de clima tropical úmido, quando é evidente que, vários locais fora dos limites da Amazônia Legal, notadamente as áreas próximas do litoral sul baiano e da zona da mata de Pernambuco, apresentam características climáticas peculiares de áreas de clima quente e úmido, da Amazônia brasileira.

PESQUISAS CLIMATOLÓGICAS DESENVOLVIDAS NA AMAZÔNIA

Até o final da década de 60, as informações sobre a climatologia da Amazônia brasileira se referiam a dados de pressão atmosférica, temperatura e umidade do ar, precipitação pluviométrica e insolação, provenientes de 57 municípios contidos principalmente em Normais Climatológicas e Atlas Climatológicos do Brasil (Brasil 1968, 1969). Os aspectos descritivos e dinâmicos da climatologia da região foram abordados por vários autores, porém sob condições muito gerais, abrangendo todo o Brasil, sendo poucos os trabalhos específicos para a região. Brasil (1984) apresenta uma relação

de autores que escreveram artigos sobre o clima da região envolvendo período anterior a 1970.

A partir da década de 70, até a presente data, tem-se verificado acentuado progresso nas observações sistemáticas, estudos realizados e pesquisas em desenvolvimento. As observações sistemáticas provenientes de estações de superfície têm sido ampliadas em diversas Unidades Federativas da região, principalmente no campo da pluviometria que, de 1970 até 1984, se elevou de 57 para 900 estações. Certo progresso tem sido também verificado no tocante à expansão de observações de vento, insolação e evaporação. Em relação à radiação solar, pode-se dizer que o monitoramento preciso da radiação solar global data nesta região, da segunda metade da década de 70.

As informações obtidas a partir de 1970 abordam vários segmentos da climatologia descritiva e dinâmica e de micro-meteorologia, atingindo mais de 100 trabalhos publicados, envolvendo principalmente os seguintes aspectos: caracterização geral do clima da região como um todo, ou por Unidades Federativas e Municipais, envolvendo conjuntamente temperatura e umidade do ar, insolação, precipitação pluviométrica, balanço hídrico e classificação climática (Nimer 1972, Vieira et al. 1971, Bastos 1972 e 1980, Ribeiro, 1976, Brasil 1974, Bastos & Diniz, 1982, Brasil ... 1984, Serra 1976); análises de elementos climáticos isolados provenientes de mensurações ou de estimativa relacionando principalmente vento e precipitação (Cutrim et al. 1980, Cutrim 1983, Nechet 1983, Bastos et al. 1984); estimativa e mensuração de radiação solar global e seus componentes, coeficiente de transmissão da radiação, distribuição espectral e luminosidade, bem como estimativas de evapotranspiração potencial e balanço hídrico (Brinkmann, 1971, Villa Nova et al. 1976 e 1978, Hancock et al. 1979, Almeida et al. 1979, Ribeiro & Villa Nova 1979, Diniz et al. 1983 e 1984); resultados de temperatura do ar e do solo,

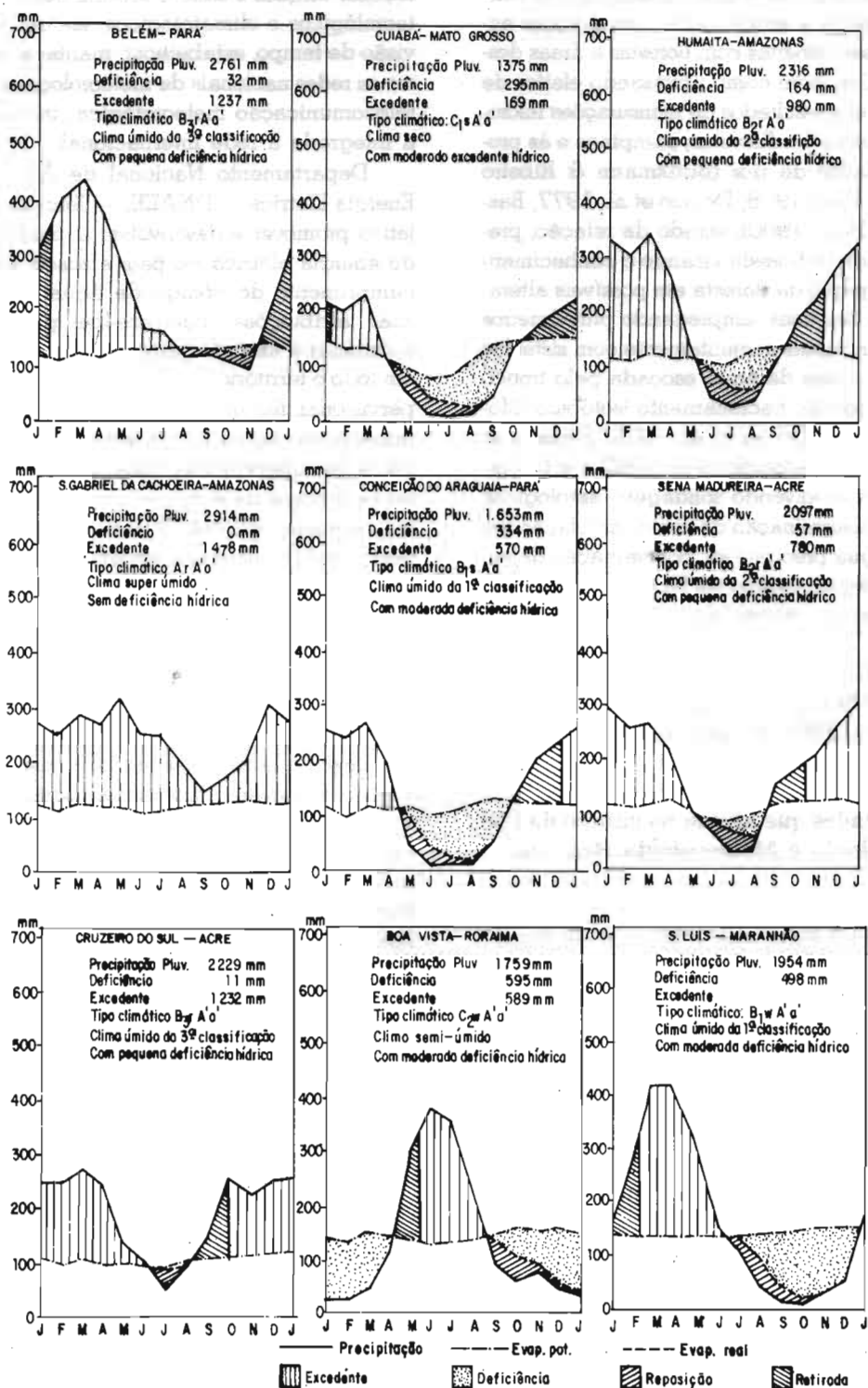


FIG. 1. Balanço hídrico segundo Thornthwaite & Mather 1955, para retenção hídrica de 125 mm e respectivos tipos climáticos.

provenientes de postos meteorológicos convencionais e envolvendo comparações entre áreas cobertas com florestas e áreas desmatadas, bem como abordando efeitos de friagem e resultados de mensurações microclimáticas em florestas, campinas e às proximidades de rios (Brinkmann & Ribeiro 1972, Leite 1978, Decico et al. 1977, Bastos & Diniz 1980); estudo da relação, precipitação e floresta visando o conhecimento do papel da floresta em possíveis alterações climáticas, empregando pluviômetros convencionais conjuntamente com sistemas de coletores de água escoada pelo tronco e método de fracionamento isotópico (Molion 1975, Lettau et al. 1979, Franken et al. 1982, Leopoldo et al. 1982 a e b); trabalhos envolvendo sondagens aerológicas para determinação de vento, circulação geral, água precipitável, concentração de vapor d'água, campo de fluxo de vapor, evapotranspiração real e modelos de fracionamento isotópico em água da chuva (Reis et al. 1977, Dall'Olio et al. 1979, Marques et al. 1979 e 1980, Kagano 1979, Kousky & Kagano 1981, Kousky & Molion 1981).

Entidades que atuam no campo da Climatologia e Meteorologia Regional

Neste tópico é apresentado um resumo de atividades desenvolvidas pelas instituições que mais diretamente vêm atuando nesses ramos de pesquisa na região. As informações apresentadas foram, em grande parte, obtidas em trabalhos publicados, sendo a maioria proveniente do Documento Nacional Brasileiro apresentado no Seminário Internacional de Hidrologia e Climatologia da Amazônia, realizado em Manaus entre 23 e 27 de julho de 1984, Brasil (1984).

Instituto Nacional de Meteorologia — INMET. — Órgão responsável oficialmente pela rede de estações meteorológicas do Brasil, atua na região através de quatro distritos sediados em Manaus, Belém, Cuiabá e Goiânia. O Instituto tem por finalidade

realizar estudos e efetuar levantamento meteorológicos e climatológicos, efetuar previsão de tempo, estabelecer, manter e operar as redes nacionais de meteorologia e de telecomunicação meteorológica, inclusive a integrada à rede internacional.

Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica — DNAEE. — Tem por objetivo promover e desenvolver a produção de energia elétrica no país e assegurar o cumprimento do código de águas. Entre suas atribuições, compete-lhe planejar, coordenar e executar estudos hidrológicos em todo o território nacional, bem como supervisionar, fiscalizar e controlar o aproveitamento das águas que alteram o seu regime, e de supervisionar, fiscalizar e controlar os serviços de eletricidade. Na Amazônia brasileira, o DNAEE vem efetuando, a partir de 1976, planejamento, análise e operação de redes hidrometeorológicas, armazenamento e disseminação das informações e estudos de diagnósticos e planejamento da utilização de recursos hídricos.

Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia — SUDAM. — Tem por objetivo básico planejar, coordenar e controlar a ação do governo federal na região, tendo em vista o desenvolvimento do espaço físico sob sua jurisdição. Sua atuação se desenvolve nos Estados do Acre, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Territórios Federais do Amapá e Roraima, e ainda pelas áreas do Estado de Goiás ao norte do paralelo 13°S e do Estado do Maranhão à oeste do meridiano de 44°W, abrangendo uma área de quase 5.000.000 km², aproximadamente 60% do território brasileiro. A SUDAM atualmente realiza estudos na área de hidrometeorologia, através de três programas: Programa de Recursos Naturais, Programa de Desenvolvimento da bacia Araguaia Tocantins — PRODIAT e Projeto Hidrologia e Climatologia da Amazônia — PHCA, o qual foi criado com a finalidade de contribuir para o melhor conhecimento da hidrologia e climatologia da região, com assessoria do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento — PNUD.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária — EMBRAPA. — Tem por finalidade promover, estimular, coordenar e executar atividades de pesquisa agropecuária com o objetivo de produzir conhecimentos e tecnologias para o desenvolvimento agrícola do País, bem como dar apoio técnico administrativo a órgãos do poder público, com atribuições de formulação, orientação e coordenação de políticas de ciência e tecnologia no setor agrícola. Na região amazônica, a EMBRAPA conta com uma rede de oito unidades de pesquisa, visando a realização de estudos e pesquisas para geração de tecnologia adequadas às peculiaridades da região, dentre as quais, o Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido — CPATU, com sede em Belém, que é a unidade de pesquisa voltada também para avaliação e aproveitamento de recursos naturais. Apresenta em sua programação os projetos a seguir mencionados, voltados para climatologia e agrometeorologia na região: Avaliação do Clima do Trópico Úmido para fins Agrosilvopastoris, Fatores Meteorológicos e a Produtividade de Culturas no Trópico Úmido, Zoneamento Agrosilvopastoril do Trópico Úmido Brasileiro (Zoneamento climático), Desenvolvimento de Métodos de Armazenamento de Dados Agrometeorológicos como parte de Sistemas de Informações Geoambientais, Avaliação do Clima em Áreas Agrícolas Representativas dos Ecossistemas de Terra Firme na Amazônia Brasileira, Avaliação do Comportamento Edafo-Climático do Guaranzeiro na Região de Belém e Utilização de Imagens de Satélites Meteorológicos para fins Agrícolas no Leste Paraense.

Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia — INPA. Unidade subordinada ao Conselho Nacional Científico e Tecnológico — CNPq. — Na área de pesquisa, o INPA está voltado para estudos de Botânica, Ecologia, Biologia Aquática, Limnologia e Química de Produtos Naturais. Desde 1971, através da Divisão de Ciências do Ambiente, vem desenvolvendo estudos hidrometeorológicos na Amazônia, tendo si-

do desenvolvidos trabalhos voltados para o ciclo de elementos, concentração isotópica em águas dos rios Negro e Solimões, estudos climatológicos e medidas microclimáticas em áreas de campina e floresta. A partir de 1972, o INPA vem desenvolvendo trabalhos com o Centro de Energia Nuclear na Agricultura — CENA, na área de isótopos, e a partir de 1976, pesquisadores de outras instituições, interessados em desenvolver trabalhos científicos na Amazônia, através de projetos de colaboração com o INPA, intensificaram os estudos hidrometeorológicos na região.

Instituto de Pesquisas Espaciais — INPE. — Órgão vinculado ao CNPq, tem-se destacado pela sua atuação na área de desenvolvimento de tecnologia espacial e aplicações dessa tecnologia para a coleta de dados ambientais, principalmente dados hidrometeorológicos, e levantamento de recursos naturais. Os estudos e pesquisas hidrometeorológicos realizados e em realização na Amazônia pelo INPE abordam problemas hidrometeorológicos em níveis de macro, meso e microescalas.

Na macroescala estão incluídos estudos que relacionam a Amazônia com o clima do globo e a circulação geral da atmosfera. Na mesoescala estão incluídos os estudos relacionados às variações de parâmetros hidrometeorológicos e os mecanismos dinâmicos específicos à região, e na classe de microescala estão os estudos em micro-meteorologia que englobam interação vegetação atmosfera, camada limite superficial e o uso da terra.

Diretoria Eletrônica de Proteção ao Vôo — DEPV. — Tem por finalidade coordenar e controlar as atividades de proteção ao vôo e as telecomunicações do Ministério da Aeronáutica. Como nas demais regiões do país, na Amazônia a meteorologia aeronáutica, destina-se a apoiar a navegação aérea civil e militar, embora forneçam dados sinóticos, climatológicos e outros, para o Instituto Nacional de Meteorologia e entidades interessadas, quando solicitados. O Serviço de Meteorologia da Aeronáutica na

região está assim distribuído: Centros de previsão localizados em Manaus (Aeroporto Eduardo Gomes) e em Belém (Aeroporto de Val-de-Cans), estações meteorológicas de superfície em Manaus, Belém, Porto Velho, Boa Vista, Rio Branco e Santarém.

Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Pará — IDESP. — Desde 1968, o instituto vem efetuando estudos de hidrometeorologia e recursos florestais na ilha de Marajó, através da Divisão de Recursos Naturais. No campo de hidrometeorologia tem desenvolvido trabalhos relativos a coleta de dados hidrológicos, estudos climatológicos e hidrológicos daquela ilha, contribuindo para a instalação da rede de estações existentes, composta atualmente de 23 estações pluviométricas e quatro evapoclimatológicas.

Universidade Federal do Pará — UF-Pa. — Desde 1974 vem desenvolvendo trabalhos em climatologia, hidrometeorologia e hidrologia no Departamento de Meteorologia do atual Centro de Geociências. Os trabalhos em desenvolvimento estão contidos nos seguintes projetos: Levantamento e Utilização dos Recursos Hídricos da Ilha de Marajó, Programa de Especialização em Meteorologia Tropical; Implantação de um Centro Regional de Treinamento em Meteorologia Tropical e Estudos de Micrometeorologia de Barcarena, PA.

Universidade de São Paulo — Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" — ESALQ, situada em Piracicaba, SP. — Tem participado ativamente em vários projetos de pesquisa orientados para elucidar aspectos hidrológicos e climatológicos da região amazônica brasileira resultando assim, teses e artigos científicos, bem como através de realizações de trabalhos em colaboração com o INPA.

Centro de Energia Nuclear da Agricultura — CENA. Instituto especializado da Universidade de São Paulo, localizado em Piracicaba, SP. — Em convênio com a Comissão Nacional de Energia Nuclear — CNEN, vem desenvolvendo desde 1970

pesquisas na região amazônica. A linha principal de pesquisa tem sido estudar possíveis modificações climáticas na Amazônia e regiões circunvizinhas, em função da mudança do uso da terra. As técnicas utilizadas incluem a utilização de métodos convencionais de técnicas isotópicas e especialmente a variação natural das composições de O^{18} e P no vapor d'água, nas águas das chuvas e dos rios. Os trabalhos têm sido desenvolvidos em colaboração com o INPA, IDESP e o Centro Técnico Aeroespacial — CTA. Envolvendo mais especialmente a área de climatologia, o CENA atualmente desenvolve os programas: Projeto POLONOROESTE/CENA/INPA/DNAEE — visa estudar as alterações ecológicas na região noroeste do Brasil, em função da colonização intensiva e Estudos do Efeito das Modificações do Uso da Terra na Ecologia e Clima da Amazônia Brasileira, Mediante Técnicas Isotópicas visa explorar ao máximo as técnicas de pesquisa isotópica, e complementares, na avaliação do ambiente regional.

Empresas de Energia Elétrica — As empresas de energia elétrica que atuam na região amazônica como ELETROBRÁS, ELETRONORTE E FURNAS desenvolvem, principalmente através de contratos com empresas de consultoria, estudos e pesquisas de hidrologia e climatologia, objetivando o aproveitamento dos recursos hidroelétricos da Amazônia. Esses estudos servem de base ao planejamento e à implantação de sistemas hidroelétricos.

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais — CPRM. — Foi instituída para viabilizar uma política vigorosa por parte do governo no campo da pesquisa mineral e hídrica. Na área de hidrologia, executa serviços prioritariamente para o DNAEE, podendo também atender outros órgãos do governo ou entidades privadas. Os serviços executados estão voltados para manutenção e operação da rede hidrométrica do DNAEE referentes à: coleta de níveis de água, medição de descargas líquida e sólida, altura de chuva, evaporimetria, parâ-

metros de qualidade das águas, análises laboratoriais de granulometria e de concentração de sedimentos, instalação de estações hidrometeorológicas, implantação de redes telemétricas, análise de consistência de dados hidrológicos e instalação, operação e manutenção de bacias experimentais e representativas.

RADAMBRASIL — Vinculado atualmente ao Ministério das Minas e Energia, o RADAMBRASIL constitui um projeto multidisciplinar integrado de recursos naturais, abrangendo os campos da cartografia, da geologia, da geomorfologia, dos solos, de vegetação, do uso potencial da terra e da informática. Utiliza técnicas avançadas de percepção remota sobre imagens de radar, de satélites e fotos aéreas, com controle sistemático de campo. Os estudos realizados pelo RADAM, no campo de hidrologia e climatologia, se referem basicamente à rede de drenagem, estudos bioclimáticos e de climatologia descritiva.

Departamento Nacional de Obras de Saneamento — DNOS. — Vinculado ao Ministério do Interior, o DNOS tem competência de executar a política nacional de saneamento geral básico, atuando no saneamento rural e urbano, na defesa contra inundações, controle de enchentes, recuperação de áreas para aproveitamento agrícola ou instalação de indústrias e fábricas, combate à erosão, controle de poluição de águas, instalação de sistema de abastecimento de água e esgotos. Para esses trabalhos, o órgão tem efetuado estudos hidrológicos que atendem aos projetos das obras, geralmente a partir de dados hidrológicos obtidos em outras entidades e, quando necessário, o DNOS instala e opera redes hidrométricas para tal fim.

CARACTERÍSTICAS GERAIS DO CLIMA DA AMAZÔNIA

Este tópico é baseado em estudos meteorológicos e climatológicos já realizados

para a Amazônia brasileira, bem como em dados climatológicos atualmente disponíveis na região.

Característica do Sistema Atmosférico Dominante na Região

As massas de ar que predominam na Amazônia são: a equatorial continental (Ec), a equatorial marítima (Em), a tropical marítima (Tm) e a polar marítima (Pm) (Ratisbona 1976, Tubelis & Nascimento s.d.).

A massa equatorial continental origina-se na região amazônica, onde calmarias e ventos fracos predominam, e os valores de evapotranspiração atingem uma faixa de 1.300 a 1.600 mm/ano, gerando assim uma massa de ar muito úmida e convectivamente instável (Ratisbona 1976, Tubelis & Nascimento s.d.). Em julho, essa massa de ar atua na região do alto Amazonas e o restante da bacia amazônica é dominado pela massa tropical marítima formada no Atlântico sul, a qual é menos úmida. Em janeiro, entretanto, com a volta do anticiclone para o oceano, e com a formação de um centro de baixa pressão causada pelo acúmulo de calor no continente, o ar da região amazônica é bombeado para todo o interior do país, e até mesmo para o sul (Ratisbona 1976). Esse fenômeno é considerado por Ratisbona análogo ao das monções.

A massa equatorial marítima é formada na zona de baixa pressão, onde as calmarias predominam sobre o oceano Atlântico. Nessa região, o efeito de "tampa" da camada de inversão dos ventos alísios desaparece. O vapor d'água penetra a grandes altitudes, a instabilidade é forte e qualquer convergência local pode produzir cúmulos de grande desenvolvimento vertical. Essa massa de ar domina a parte oriental da Amazônia de dezembro a abril. Tubelis & Nascimento (s.d) referem-se à massa equatorial marítima como CIT (zona de convergência intertropical). Em janeiro, a CIT atinge o norte do Amapá (4°N),

desloca-se para o hemisfério sul atingindo o Estado de Pernambuco (8°S) em março, retornando, em seguida, para atingir o extremo norte da Amazônia em junho. Serra (1974) menciona que a zona de convergência intertropical atinge a porção ocidental do Amazonas e Acre no período correspondente ao verão estacional (dezembro a fevereiro).

Ratisbona (1976) mostra a posição média do eixo da zona intertropical de convergência estendendo-se da Guiana Francesa à noroeste do Estado do Ceará, e penetrando no interior do Pará e Maranhão nos meses de janeiro a abril, e no Território do Amapá nos meses de junho a dezembro.

A massa polar é originária da Antártica, frequentemente atinge a parte sul e central do Brasil, podendo ocasionalmente atingir a região oeste da Amazônia, no inverno do hemisfério sul. É a parte oeste da massa polar que segue a trajetória continental na direção norte entre a Cordilheira dos Andes e o Planalto Central brasileiro. Com a passagem da frente fria existe uma acentuada queda de temperatura, atingindo abaixo de 10°C. Esse fenômeno é chamado de "friagem" e ocorre na Amazônia de uma a três vezes por ano (Ratisbona 1976).

Características dos Principais Elementos Climáticos

Temperatura do Ar

De modo geral, a Amazônia brasileira é conhecida em termos de temperatura, como região de clima quente, onde não se percebe a presença de variações estacionais no decorrer do ano, sendo portanto a região caracterizada pela uniformidade térmica. Entretanto, trabalhos voltados para caracterização de regimes de temperatura na região têm evidenciado que a idéia generalizada de domínio das temperaturas

elevadas e uniformidade térmica não se aplica a todas as áreas da região, Bastos (1972), Ribeiro (1976), Molion (1980), Noé-Dobrea & Santos (1979), Bastos & Diniz (1982), Cutrim (1983), Brasil ... (1984).

Recentemente, Brasil ... (1984), tendo por base dados de temperatura de 92 estações da Amazônia brasileira e de estações de áreas circunvizinhas, evidencia através de isotermas, as seguintes condições para a região: temperaturas médias, máximas e mínimas anuais oscilando, respectivamente, entre 22°C e 27°C, 28°C e 33°C e 17°C e 23°C. Áreas de temperaturas mais elevadas (médias de máximas) ocorrendo principalmente na parte central da bacia do rio Branco, norte de Rondônia, sudoeste do Pará, norte de Goiás e Mato Grosso. Área de temperaturas mais baixas (médias de mínimas) ao sul dos Estados do Pará, Acre, Rondônia, norte de Goiás e parte central de Mato Grosso.

Os dados analisados, referentes a temperaturas médias, máximas e mínimas anuais, e temperaturas máximas e mínimas absolutas, para vários locais da região, mostram a ocorrência de acentuada flutuação térmica durante os dias, e inexpressiva flutuação anual.

Insolação

Embora até recentemente os dados de insolação, ao lado dos de nebulosidade, se constituíssem nas únicas fontes de referência sobre a variabilidade espacial e temporal da energia solar na região, poucos são os trabalhos que abordam sua distribuição, nos limites da Amazônia Legal, podendo-se citar: Brasil (1968), Bastos (1972), Serra (1977), Noé-Dobrea & Santos (1979), Brasil... (1984).

A informação ora disponível sobre a distribuição em espaço e tempo de insolação, associada ao conhecimento atual dos processos de dinâmica atmosférica existentes na região, evidencia o seguinte:

os valores médios anuais de duração de brilho solar situam-se entre 1.400 h e 2.500 h, com distintas faixas de concentração, assim distribuídas:

— Faixa de valores mais reduzidos (1.400h a 1.800h), que corresponde principalmente à porção ocidental dos Estados do Amazonas e Acre, que durante todos os meses do ano exibe reduzidos valores médios de insolação, provavelmente devido à ocorrência da zona de convergência intertropical, no período de dezembro a fevereiro e, no período que engloba principalmente os meses de junho a setembro, pela ação da massa continental equatorial e em parte, pela penetração da massa polar.

— Faixa de totais anuais mais elevados (2.200 a 2.500h), que engloba as seguintes áreas:

- Litoral do Pará, Amapá e Maranhão, ilha de Marajó e nordeste do Pará, onde os totais reduzidos no verão se devem, provavelmente, à presença da zona de convergência intertropical (CIT), e os totais mais elevados de julho a setembro, devido à redução da nebulosidade.

- Porção central e setentrional do Território Federal de Roraima e parte do Território Federal do Amapá, áreas sujeitas à influência da zona de convergência intertropical e a sistemas do hemisfério norte, incluindo o anticiclone estacionário do Atlântico norte. São áreas onde, a velocidade do vento na superfície se mostra relativamente elevada, reduzindo o desenvolvimento de cúmulos à tarde, resultando em maior número de horas de insolação.

- Área compreendida pelo Estado do Mato Grosso, porção amazônica do Estado de Goiás, porção sul da Amazônia maranhense e sul, sudeste e centro oeste do Pará, e que, no período entre agosto e novembro, fica submetida à influência da alta subtropical do Atlântico, que ocasiona valores mais reduzidos de nebulosidade.

— Faixa intermediária (1.800 h a 2.200h), que engloba as áreas restantes

dos Estados do Acre, Amazonas, Pará, Maranhão e Território Federal de Roraima, e o Estado de Rondônia, e que se constituem em áreas de transição entre as faixas anteriormente descritas.

Radiação Solar

Embora o conhecimento sobre a radiação solar na Amazônia Legal ainda se mostre incipiente, é notório o progresso alcançado nessa área de estudo nos últimos dez anos. Inicialmente, em razão da carência de informações confiáveis sobre radiação solar na Amazônia brasileira, diversos autores têm adotado modelos, na maioria dos casos gerados em outras regiões, para o cálculo da radiação solar global nesta região, como mostram os trabalhos de Löf et al. (1966), Mota et al. (1977), Nunes et al. (1978), Macedo et al. (1978), Hancock et al. (1979).

Recentemente, vêm sendo realizados trabalhos com vistas ao aprimoramento das análises e estimativas desse elemento na região, mediante utilização de séries de dados provenientes de sensores periodicamente calibrados e/ou de maior precisão. Dentre os voltados à análise de radiação solar global, destacam-se os trabalhos de Villa Nova et al. (1978), Ribeiro (1980) e Diniz et al. (1983), enquanto que dentre os dirigidos à estimativa deste parâmetro, pode-se mencionar os de Ribeiro et al. (1982), Carmo Filho (1981), Nirenberg (1981), Machado & Rocha (1983), Fisch et al. (1983), Diniz et al. (1984) e Rendeiro et al. (1984).

A análise da informação ora disponível sobre a distribuição da radiação solar sobre a área compreendida pela Amazônia Legal evidencia a ocorrência de valores médios anuais entre 350 ly/dia e 450 ly/dia, sendo que os valores mais elevados (420 ly/dia), são encontrados no Território Federal de Roraima, Estados do Mato Grosso e Goiás e porção norte dos Estados do Pará e Maranhão, enquanto que os menos elevados (400 ly/dia) no Amazonas e Acre.

Em termos mensais, os valores médios mais elevados (entre 500 ly/dia e 525 ly/dia) se observam em Roraima, nos meses de setembro e outubro, e os menos elevados (entre 300 ly/dia e 325 ly/dia) são observados no Amazonas, em dezembro.

Umidade do Ar

Os trabalhos relacionados com caracterização da umidade atmosférica na região, a nível de superfície, em geral abordam apenas o aspecto da umidade relativa. Bastos (1972), a partir de dados de 45 estações, atribui à região variação espacial das médias anuais entre 64% e 91% e mostra que a distribuição da umidade nos meses apresenta estreita relação com o regime pluviométrico, registrando-se valores mais elevados na época de maior pluviosidade. Noé-Dobrea & Santos (1979), estudando parte da região, compreendendo os Estados do Acre e Amazonas, estabelecem o limite entre 80% e 90% para as médias anuais. Brasil ... (1984), a partir de 90 estações, evidencia para a região variação espacial entre 65% e 90% da média anual, com as áreas de menor umidade (abaixo de 75%) concentradas principalmente no norte de Roraima e sudoeste do Maranhão e Mato Grosso.

Os dados mensais e anuais de umidade relativa analisados para várias localidades da região, mostram a ocorrência de valores mensais mais elevados entre dezembro e maio, que coincide, para a maioria das estações, com o período mais chuvoso do ano.

Vento

As informações sobre direção e velocidade de vento na região são bastante reduzidas. A rede de observações do ar superior por meio de rádios sondas se restrin-

ge a poucos locais na Amazônia: Belém, Manaus e Vilhena, porém, de um modo geral, pode-se dizer que os ventos na superfície e próximos à superfície ao longo da costa amazônica sopram de nordeste, leste e sudeste, dependendo da altitude e da época do ano. A velocidade é baixa na superfície e atinge até 9 m/s numa altitude de 15m, e a brisa marinha prevalece, penetrando algumas centenas de quilômetros no interior da bacia amazônica.

Na região do médio e alto Amazonas, os ventos sopram em todas as direções, com ligeira predominância dos ventos de leste, e as calmarias são freqüentes, registrando-se 40% a 60% das vezes (Ratisbona 1976). Sobre o Território de Roraima, entretanto, os ventos dominantes são os de leste. Noé-Dobrea & Santos (1979), estudando os ventos e no Acre e no Amazonas, encontraram valores médios mensais entre 0,5 e 3 km/hora, não detectando variações ao longo do ano, somente agrupamento de valores menores entre abril e agosto, e valores mais elevados entre setembro e outubro. Os baixos valores de velocidade de vento comprovam uniformidade do regime eólico nos locais estudados.

Kousky & Kagano (1981), utilizando dados das rádios sondas de Belém, Manaus e Vilhena, concluíram que nos baixos níveis (850 mb), a componente zonal do vento permanece no sentido de leste durante o ano inteiro, enquanto a componente meridional é positiva (ventos do sul) durante o período de maio a agosto e negativa (ventos de norte) no resto do ano. A componente do vento soprando de norte é mais forte de janeiro a março.

Precipitação Pluviométrica

A precipitação pluviométrica na Amazônia brasileira é conhecida como o elemento climático que apresenta maior variabilidade. Estudos voltados para a caracterização da variabilidade espacial da pre-

precipitação mostram que a região apresenta locais com total anual de chuva oscilando entre 1.000 mm e 3.600 mm, e que os regimes pluviométricos apresentam duas épocas de chuva bem definidas, a mais chuvosa iniciando entre dezembro e janeiro, podendo ter duração de cinco a seis meses, e a menos chuvosa, atingindo os demais meses do ano (Bastos 1972, Née-Dobrea & Santos 1979, Bastos & Diniz 1982, Cutrim 1983). Recentemente Brasil... (1984), baseando-se em dados pluviométricos de 354 estações da Amazônia e áreas circunvizinhas, evidencia, através de isoietas anuais, oscilando entre 1.500 mm e 3.500 mm, os seguintes regimes pluviométricos: áreas com totais pluviométricos acima de 3.000 mm, ocorrendo a noroeste (em torno da cidade de Iauaretê, AM) e a nordeste (litoral do Amapá e Pará) da região; áreas com totais anuais oscilando entre 3.000 mm e 2.500 mm, ocorrendo principalmente a nordeste (sem atingir o litoral) e a oeste da região; áreas com precipitação oscilando entre 2.500 mm e 2.000 mm, abrangendo a maior parte da região, concentrando-se principalmente na parte central; e áreas com precipitação total inferior a 2.000 mm, abrangendo o norte do Território de Roraima e o nordeste e o sul da região, abaixo do paralelo 14.

Através da análise de dados de precipitação pluviométrica mensal para várias localidades na região, pode-se observar a ocorrência nítida de pelo menos dois períodos de chuva durante o ano, caracterizados pela frequência abundante de chuvas (período mais chuvoso) e pela ocorrência de chuvas pouco frequentes ou raras, podendo ocasionar, inclusive, período de expressiva estiagem (período menos chuvoso ou seco). Os dados mostram ainda que, com exceção de Boa Vista, RR, onde o período mais chuvoso se estende de abril a agosto, para as demais áreas da região, o período se inicia a partir de novembro ou dezembro, estendendo-se até maio ou junho havendo, porém, variabilidade bastante acentuada da época de ocorrência do tri-

mestre mais chuvoso. com relação ao período menos chuvoso, percebe-se que se estende de julho a novembro, observando-se variabilidade bastante acentuada no tocante à época de ocorrência do trimestre menos chuvoso ou seco, nas diferentes áreas da região.

Balanço Hídrico

O balanço hídrico mencionado neste trabalho refere-se a propósitos agrícolas, como o de indicação de possibilidade de uma área para determinado cultivo, em relação ao seu potencial de água fornecido pela precipitação. O cálculo leva em consideração, a perda de água através da evapotranspiração e a retenção de água no solo. Entre os resultados que apresenta, destacam-se a dimensão e a época de ocorrência de excedentes e deficiências de água necessários para estimativa de irrigação.

Na Amazônia, o método que vem sendo utilizado para o cálculo de balanços hídricos tem sido principalmente o de Thornthwaite e Mather 1955, e os trabalhos realizados têm demonstrado que os excedentes e deficiências hídricas apresentam amplitudes bastante elevadas. Considerando o nível de 125 mm de retenção hídrica, Bastos (1972) constatou que, na região, os excedentes podem atingir valores reduzidos, em torno de 100 mm, como em Cáceres, MT, e de até 2.400 mm em Clevelândia, AP, e as deficiências podem ser nulas, como em vários locais do Estado do Amazonas, como em Benjamin Constant, Fonte Boa e Iauaretê e alcançar valores próximos de 600mm em Boa Vista, RR. Santos (1980), utilizando vários níveis de retenção hídrica, encontrou para a região, a nível de 100 mm de retenção de água no solo, excedentes oscilando entre 82 mm em Cuiabá, MT e 1.299 mm em Carauari, AM e deficiências nulas em Cruzeiro do Sul, AC e atingindo valores em torno de 600 mm em Coroatá, MA.

Na Fig. 1 são apresentados os resultados de balanços hídricos para algumas localidades da região, na qual pode-se verificar nítidas variações no caminhamento anual da disponibilidade de água, a nível de 125 mm de retenção hídrica.

Tipos Climáticos

A classificação climática, qualquer que seja o sistema utilizado, tem por objetivo principal a organização e o ordenamento dos dados, de tal maneira que se possam inferir generalizações analíticas e descritivas sobre o clima de uma região. Na Amazônia brasileira, o sistema de classificação que tem sido mais utilizado é o de Köppen, seguido de Thornthwaite (Bastos, 1972 e 1982, Ribeiro 1976, Trewartha 1968). Bastos (1972), em primeira aproximação, atribui à região três tipos climáticos de Köppen (Afi, Ami e Awi) e quatorze combinações de tipos climáticos segundo Thornthwaite, utilizando retenção hídrica de 125 mm, assim distribuídos: dez variações do tipo úmido, duas variações do tipo semi-úmido e duas variações do tipo seco. Bastos (1982), posteriormente, reaplicando o sistema de Köppen para a região e utilizando maior número de dados, confirma para a região os tipos climáticos acima mencionados. Recentemente, Brasil ... (1984) efetuou novo esboço de distribuição climática para a região, aplicando os dois sistemas convencionais, identificando a presença dos tipos climáticos Afi, Ami e Awi para a região, segundo o sistema de Köppen, e oito combinações de tipos climáticos aplicando a classificação de Thornthwaite, utilizando retenção hídrica de 300 mm. O reduzido número de tipos climáticos detectados no trabalho mais recente aplicando o sistema de Thornthwaite, foi em função da utilização de 300 mm de reserva útil de água, para os cálculos de balanços hídricos. Tal nível de retenção subestima os valores de deficiência hídrica e, por

consequente, reduz a variabilidade existente em termos de ocorrências de aridez nos tipos de clima úmido.

CONCLUSÃO

Embora se observe atualmente certo avanço nas pesquisas climatológicas em desenvolvimento na Amazônia brasileira, comparado ao obtido nos últimos 20 anos, as informações disponíveis na região ainda não atingem um nível desejado para torná-las mais efetivas na compatibilização da tecnologia gerada com a realidade climática local. Dessa forma, há necessidade de aumentar os esforços principalmente nos seguintes aspectos: ampliação da rede de observação de superfície e de altitude; estimular a verificação e o processamento de dados com vistas à obtenção de consistência, facilidade e manutenção de bancos de dados de modo a assegurar o atendimento aos usuários; proceder maior divulgação por parte das entidades envolvidas no tocante às metodologias geradas para agilizar o intercâmbio de informações; consolidar um centro regional de disseminação de sensores remotos capaz de permitir melhor exploração do potencial de informações contidas; incentivar a área de instrumentação eletrônica de modo a possibilitar a automatização das mensurações e otimização no processo eletrônico dos dados.

No que se concerne a estudos relacionados com a potencialidade do clima da região para a agricultura, somente a partir da década de 70, é que vêm sendo desenvolvidos trabalhos voltados para avaliar estes aspectos mediante informações geradas na região. Assim pode-se dizer que embora não se disponha ainda de sistemas de classificação capazes de identificar com elevado grau de precisão, zonas agroclimáticas homogêneas na Amazônia brasileira, as informações obtidas sobre a variabilidade espacial dos principais elementos meteorológicos associadas ao conhecimento sobre o comportamento de culturas e essên-

cias florestais de interesse regional, permitem diferenciar áreas com distintos níveis de potencialidade para os principais produtos agrícolas desta região. Entretanto, para que se alcance maior progresso na identificação de potencialidade agroclimática de áreas amazônicas para as culturas em geral, essências florestais e forrageiras, e na definição de sistemas de produção, há necessidade de se ampliar estudos, dentre outros, nos seguintes aspectos: avaliação estatística da distribuição espacial e temporal das variáveis meteorológicas; levantamento das características de retenção hídrica dos solos da região; ecofisiologia de culturas, essências florestais e forrageiras de interesse para a região; epidemiologia vegetal; avaliação do consumo de água pelas culturas; monitoramento micrometeorológico em "stands" de espécies de interesse agrosilvopastoril; definição da época de plantio de modo a melhor aproveitar os recursos hídricos e de energia solar; incrementação dos estudos de dinâmica populacional de pragas; desenvolvimento de modelos de produção para culturas, essências florestais e forrageiras e elaboração de classificação agroclimática adaptada à região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, R. de; SALATI, E. & VILLA NOVA, N.A. Distribuição espectral e coeficientes de transmissão da radiação solar para condições de céu limpo em Manaus. *Acta Amaz.*, 9(2): 279-85, 1979.
- AYOADE, J.O. *Introduction to climatology for the tropics*. Chichester, John Wiley, 1983. 258p.
- BASTOS, T.X. *O clima da Amazônia brasileira segundo Köppen*. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1982. 4p. (EMBRAPA-CPATU. Pesquisa em Andamento, 87).
- BASTOS, T.X. *O estudo atual dos conhecimentos das condições climáticas da Amazônia brasileira*. Belém, IPEAN, 1972. p.68-122. (IPEAN. Boletim Técnico, 54)
- BASTOS, T.X. & DINIZ, T.D. de A.S. *Microclima ribeirinho um controle de Microcylus ulei em seringueiras*. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1980. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 13).
- BASTOS, T.X. & DINIZ, T.D. de A.S. *Avaliação do clima do Estado de Rondônia para desenvolvimento agrícola*. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1982. 28p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 44)
- BASTOS, T.X.; DINIZ, T.D. de A.S.; CHAIB FILHO, & LOBATO, V.H.B. *Flutuação das chuvas na região de Belém em distintos intervalos de tempo*. Período 1967-1983. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1984, 16p. Trabalho apresentado no 1.º Simpósio do Trópico Úmido, Belém, 1984.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Meteorologia, Rio de Janeiro, RJ. *Normais climatológicos* (Pará - Amazonas - Acre - Maranhão). Rio de Janeiro, 1968. 39p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. ECEPLAN. Escritório de Meteorologia, *Atlas climatológico do Brasil*; (reedição de mapas selecionados). Rio de Janeiro, 1969.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. *Folha SA. 22 Belém*; Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1974. 93p. (MME.DNPM. Levantamento de Recursos Naturais, 5).
- BRASIL. Ministério das Relações Exteriores. *Hidrologia e climatologia na região amazônica brasileira*; informação disponível e atividades em desenvolvimento. Brasília, 1984. 323p. Documento nacional brasileiro apresentado no Seminário Internacional de Hidrologia e Climatologia da Amazônia, Manaus, 1984.
- BRASIL. SUDAM, Projeto de Hidrologia e Climatologia da Amazônia., Belém, PA. *Atlas Climatológico da Amazônia Brasileira*. Belém, 1984. 125p. (SUDAM, Publicação, 39)
- BRINKMANN, W.L.F. Light environment in tropical rain forest of central amazonia. *Acta Amaz.* 1(2): 27-49, 1971.
- BRINKMANN, W.L.F. & RIBEIRO, de N.G. Air temperatures in central amazonia III - Vertical temperature distribution on a

- central area and in a secondary forest near Manaus (cold front conditions, July 10th 1969). *Acta Amaz.*, 2(3): 25-30, 1972.
- CARMO FILHO, F. do. A determinação da radiação solar global diária através de dados de insolação e transmissividade atmosférica estimada. Piracicaba, ESALQ, 1981, 86p. tese de Mestrado.
- CUTRIM, E.M.C. Estimating monthly rainfall from geostationary satellite imagery over amazonia, Brazil. Michigan, University of Michigan, 1983. Tese de Doutorado - Meteorologia.
- CUTRIM, E.M.C.; SAUCK, W.A. & SOUZA, A.M. Rainfall intensity and frequency at a coastal station on Marajó Island. s.n.t. (Relatório datilografado NCGG/UF-Pa 1980.
- DALL'OLIO MATSUI, E.; SALATI, E. & TATAGIH, G. Modelo de fracionamento isotópico da água na bacia amazônica (primeira aproximação). *Acta Amaz.*, 9(4): 675-87, 1979.
- DECICO, A.; SANTOS, H.M.; RIBEIRO, M. de N.G. & SALATI, E. Estudos climatológicos da reserva florestal Ducke, Manaus, AM. *Acta Amaz.*, 7(4): 485-94, 1977.
- DINIZ, T.D. de A.S.; BASTOS, T.X.; KOBAYASHI, L.T.; SILVA, M.M.M. da & ARAÚJO, J.A. Avaliação do potencial de energia solar no trópico úmido brasileiro - resultados parciais. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1983. 15p. Trabalho apresentado no III Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Campinas, jul. 1983.
- DINIZ, T.D. de A.S.; CARDON, D.A.; BASTOS, T.X. & MALTEZ, M.G.L. Relação entre radiação solar global e insolação para a região de Belém, Pará. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1984. 22p. Trabalho apresentado no 1º Simpósio do Trópico Úmido, Belém, 1984.
- FISCH, G.; SILVA FILHO, V. & SANTOS, J.M. dos. Estimativa da distribuição de radiação solar para Tucuruí (Pará), utilizando-se dados convencionais. Manaus, INPA-1983. Trabalho apresentado no III Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Campinas, jul. 1983.
- FRANKEN, W.; RIBEIRO, M.N.G.; LEOPOLDO, P.R. & MATSUI, E. Intercepção das precipitações em floresta amazônica de terra firme. *Acta Amaz.*, 12(3): 15-22, 1982.
- HANCOCK, J.K.; HILL, R.W. & HARGREAVES, G.H. Potential evapotranspiration and precipitation deficits for Tropical America. CALI, CIAT, 1979, 398p.
- KAGANO, M.T. Um estudo climatológico e sinótico utilizando dados de radiossonda, (1968-1976) de Belém e Manaus. São José dos Campos, Instituto de Pesquisas Espaciais, 1979, 82p, Tese Mestrado.
- KOUSKY, V.E. & KAGANO, M.T. Agroclimatological study of the tropospheric circulation over the Amazon Region. *Acta Amaz.*, 11(4): 743-58, 1981.
- KOUSKY, V.E. & MOLION, L.C.B. Uma contribuição à climatologia da dinâmica da atmosfera sobre a Amazônia. São José dos Campos, Instituto de Pesquisas Espaciais, 1981. (INPE-2030-RPE/O30).
- LEITE, A. de C. Normais de temperatura máxima, média, e mínima estimadas em função de latitude, longitude e altitude para o Estado do Maranhão. São Luiz, EMAPA, 1978. 17p (EMAPA, Boletim Técnico, 1).
- LEOPOLDO, P.R.; MATSUI, E.; SALATI, E.; FRANKEN, W. & RIBEIRO, M.N.G. Composição isotópica da água da chuva e da água do solo em floresta amazônica do tipo terra firme, região de Manaus. *Acta Amaz.*, 12(3): 7-13, 1982a.
- LEOPOLDO, P.R.; FRANKEN, W.; MATSUI, E. & SALATI, E. Estimativa da evapotranspiração da floresta amazônica de terra firme, região de Manaus. *Acta Amaz.*, 12(3): 23-8, 1982b.
- LETTAU, H.; LETTAU, K. & MOLION, L.C.B. Amazonia hydrologic cycle and the role of atmospheric recycling on assessing deforestation effects. *Mon. Weather Rev.*, 107(3): 227-38, 1979.
- LÖF, O.G.; DUFFIE, J.A. & SMITH, C.O. World distribution of solar radiation. Madison, University of Wisconsin, Solar Energy Laboratory, 1966. 59p. (University of Wisconsin, Engineerin, Experiment Station, Report, 21).
- MACEDO, I. de C.; PEREIRA, J.J.V. & MILANEZ, L. F.A. Aplicação de um método indireto de solarimetria para a energia incidente na região amazônica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 1, Rio de Janeiro, 1978. *Amais ... Rio de Janeiro*, s.ed. p. 127-37.

- MACHADO, C.A.C. & ROCHA, E.A.A. da. **Modelo matemático para a radiação solar global na região metropolitana de Belém**. Belém, UFPA, 1983. 167p.
- MARQUES, J.; SANTOS, J.M. dos. & SALATI, E. O Armazenamento atmosférico de vapor d'água sobre a região amazônica. *Acta Amaz.*, 9(4): 715-21, 1979.
- MARQUES, J.; SALATI, E. & SANTOS, J.M. dos. A divergência do campo de fluxo de vapor d'água na região amazônica. *Acta Amaz.*, 10(1): 133-40, 1980.
- MOLION, L.C.B. A climatologic study of the energy moisture fluxes of the Amazon Basin with considerations of deforestation effects. Madison, University of Wisconsin, 1975. Tese de Doutorado.
- MOLION, L.C.B. & BETANCURT, J.J.V. O Clima e o uso da terra nos trópicos úmidos. *Roesslária*, Porto Alegre, 3(2):165-87, 1980.
- MOTA, F.S. da; BEIRSDORF, M.I.C. & ACOSTA, M.J. C. Estimativa preliminar da radiação solar no Brasil. *B. Téc. Dep. Nac. Meteorol.*, (14): 42-58, 197.
- NECHET, D. Variabilidade diurna da precipitação em Belém, Pará. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 35, Belém, 1983. *Resumos ...*, Belém, SBPC, 1983. p.577.
- NIMER, E. Climatologia da Região Norte: Introdução à climatologia dinâmica. *R. Bras. de geog.* 34(3):124-53, 1972.
- NIEUWOLT, S. *Tropical climatology*, an introduction to the climates of the low latitude. Chichester, John Wiley, 1977. 207p.
- NIRENBERG, N. Atividades solarimétricas do Instituto Nacional de Meteorologia. In: SIMPÓSIO SOBRE ENERGIA SOLAR, 2., São Paulo, 1981. *Anais ...* São Paulo, Sec. Ind. Com. Ciência e Tecnologia. Acad. de Ciências de São Paulo, 1981. p.112-22.
- NOÉ-DOBREA, I. & SANTOS, O.C. de O. **Esboço para uma zonificação climática da bacia amazônica brasileira**. Belém, SUDAM/PHCA, 1979, 254p. (PHCA. Publicação, 33) mimeog.
- NUNES, G.S.S.; ANDRÉ, R.G.B.; VIANELLO, R.L. & MARQUES, V.S. **Estudo da distribuição de radiação solar incidente sobre o Brasil**. São José dos Campos, Instituto de Pesquisas Espaciais, 1978. 45p.
- RATISBONA, L.R. **The climate of Brazil**. s.l., Elsevier, 1976, p. 219-69. (World Survey of Climatology, 12).
- REIS, C.M. dos; TANCREDI, A.C.F.N.S.; MATSUI, E. & SALATI, E. Caracterização das águas da região de Marajó através da concentração de O18 e P. *Acta Amaz.* 7(2):209-22, 1977.
- RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL CPATU. Belém. 1983. 349p.
- RENDEIRO, G.; PONTE, M.X.; GOMES, A. & LIMA FILHO, S. da S. **Modelo de radiação para a região metropolitana de Belém**. Belém, s. ed. 1984. 10p Trabalho apresentado no 1º Simpósio do Trópico úmido, Belém, 1984.
- RIBEIRO, A.M. de A. **Estudo das relações entre radiação solar global (Qg) e razão insolação n/N em algumas regiões do Brasil**. Piracicaba, ESALQ. 1980. 88p. Tese de Mestrado.
- RIBEIRO, M. de N.G. Aspectos climáticos de Manaus. *Acta Amaz.* 6(2):229-33. 1976.
- RIBEIRO, M. de N.G. & VILLA NOVA, N.A. Estudos climatológicos da reserva florestal Ducke. Manaus, AM, III. Evapotranspiração. *Acta Amaz.*, 9(2):305-9, 1979.
- RIBEIRO, M. de N.G.; SALATI, E.; VILLA NOVA, N.A. & DEMETRIO, C.G.B. Radiação disponível em Manaus, AM, e sua relação com a duração do brilho solar. *Acta Amaz.*, 12(2): 339-46, 1982.
- SAMSON, J.A. **Tropical Fruits**. New York, Longman, 1980. 250p. (Tropical Agriculture).
- SANTOS, O.C. de O. **Balanço hídrico para a região amazônica segundo o método de Thornthwaite**. Belém, SUDAM/PNUD/WMO, 1980. 323p. (SUDAM/PNUD/WMO. Projeto de hidrologia e climatologia da Amazônia. Publicação, 36).
- SERRA, A. Climatologia do Brasil. *B. geogr.* 33 (243):53-119, 1974.
- SERRA, A. Climatologia - 7 Ventos. *B. geogr.* 34(249):89-133, 1976.
- SERRA, A. Climatologia do Brasil - 10 - Nebulosidade e insolação. *B. geogr.*, 35(252):77-151, 1977.

- TREWARTHA, G.T. **An introduction to climate.** 4. ed. New York, McGRAW-HILL, 1968, 408p.
- TUBELIS, A. & NASCIMENTO, F.J. **Meteorologia descritiva; fundamentos e aplicações brasileiras.** São Paulo, NOBEL, s.d. 374 p.
- VIEIRA, L.S.; OLIVEIRA, N.V.C. & BASTOS, T.X. **Os solos do Estado do Pará.** Belém, IDESP, 1971.
- VILLA NOVA, N.A.; SALATI, E.; SANTOS, J.M. & RIBEIRO, M. de N.G. Coeficiente de transmissão de radiação solar em Manaus em junho. *Acta Amaz.*, 6:319-22, set. 1976.
- VILLA NOVA, N.A.; RIBEIRO, M. de N.G.; NOBRE, C. A. & SALATI, E. Radiação solar em Manaus. *Acta Amaz.*, 8(3):417-21, 1978.
- WILLIAMS, C.N. & JOSEPH, K.T. **Climate, soil and crop production in the humid Tropics.** London, Oxford, University, 1974. 177 p.

FLUTUAÇÃO DAS CHUVAS NA REGIÃO DE BELÉM EM DISTINTOS INTERVALOS DE TEMPO, PERÍODO 1967-1983

Therezinha Xavier Bastos¹, Homero Chaib Filho², Tatiana Deane de Abreu Sá Diniz¹,
e Virgínia Helena de Barros Lobato³

RESUMO: Neste trabalho é analisada a variabilidade das chuvas na região de Belém, área tipicamente chuvosa do trópico úmido brasileiro, durante o período 1967-1983, em distintos intervalos de tempo. O principal objetivo é proporcionar uma visão clara sobre a distribuição da chuva durante diversos períodos de tempo, para aplicações agrícolas como as ligadas a operações de plantio e colheita. A informação inclui parâmetros que descrevem variabilidade, distribuição de frequência e ocorrência de chuvas a 5, 25, 50, 75 e 95 por cento de probabilidade, durante períodos mensais e anuais. Os resultados mostram que as distribuições de frequência foram assimétricas. A assimetria foi maior para curto período de tempo, quando os totais de chuvas foram baixos. A média não indicou o total de precipitação que pode ser esperado com a probabilidade de 50 por cento. Há pelo menos 25 por cento de possibilidade de ocorrerem totais de chuva baixos, insuficientes para atender às necessidades hídricas de muitas culturas, em intervalos de cinco e sete dias, no período chuvoso.

Termos para indexação: Belém, Amazônia, precipitação pluviométrica, regime pluviométrico, frequência de chuva.

RAINFALL VARIABILITY IN BELÉM-PARÁ-BRAZIL IN DIFFERENT INTERVALS OF TIME, PERIOD 1967-1983

ABSTRACT: In this study rainfall variability during the period 1967-1983, in Belém, a typical rainy area of the Brazilian Humid Tropics, was analyzed. The main objective is to give a clear picture of rainfall distribution within several periods of time, for agricultural purposes, like planting and harvesting operations. The information includes parameters to describe rainfall variability and frequency occurrence at 5, 25, 50, 75 and 95 per cent of probability during five, seven and fifteen days and monthly and annual periods. The results show that rainfall frequency distributions were skewed. The skewness was strongest for short periods where rainfall totals were low. The means do not indicate rainfall amount that can be expected with a probability around 50 per cent. There is at least 25 per cent probability of occurring low rainfall totals, not enough for many crops, at five and seven day periods, during the rainy season.

Index terms: Belém - Brazilian Amazon, rainfall, rainfall distribution, rainfall frequency.

¹Eng. Agr. M.Sc. EMBRAPA-CPATU, Caixa Postal, 48, CEP 66000, Belém, PA.

²Matemático M.Sc. EMBRAPA-DMQ, Caixa Postal APT 040315, CEP 70312, Brasília, DF.

³Eng. Agr. Bolsista PIEPCNq, EMBRAPA-CPATU.

INTRODUÇÃO

A precipitação pluviométrica em regiões tropicais é o elemento climático que apresenta maior variabilidade, sendo o principal fator utilizado na subdivisão dos climas. Sua importância se reflete em todos os ramos das atividades humanas e particularmente na agricultura, atuando como reguladora do calendário agrícola.

A região de Belém abriga grande contingente de pesquisa agrícola do Estado do Pará e é conhecida como uma das regiões mais chuvosas da Amazônia brasileira. Apresenta média anual de 2.761mm (Brasil 1968, Bastos 1972), concentrando 42% do total pluviométrico no trimestre janeiro, fevereiro e março e apresenta o tipo climático Af de Köppen (Bastos 1982). Em todos os meses o total pluviométrico está acima de 60mm.

Como em outras áreas tropicais úmidas, as chuvas nessa região apresentam variabilidade bastante acentuada, em termos anuais, mensais e diários, sendo o início, duração e término do período chuvoso decisivo para diversas atividades econômicas como: produção de alimentos, saneamento, construção de estradas, construção civil, etc.

Entretanto, até o presente, os trabalhos envolvendo dados pluviométricos de Belém apresentam-se, em sua maioria, sob a forma de anuários meteorológicos, sendo o aspecto relacionado à variabilidade temporal, muito pouco abordado, podendo-se citar, nesse sentido, apenas os trabalhos de: Cunha & Bastos (1973) que analisam esta variável no período 1896-1922, em comparação ao período 1931-1960, Nechet (1983) que analisa estatisticamente o horário de chuvas na cidade e Moraes et al. (1983), que analisam a variabilidade de totais pluviométricos mensais no período 1931-1982, não tendo sido ainda desenvolvidos trabalhos voltados à caracterização de chuvas envolvendo intervalos diários, e estimativa de totais pluviométricos, característica de

grande interesse para a orientação a diversas atividades agrícolas.

Considerando tal situação, e a crescente demanda por informações pluviométricas da região, envolvendo a distribuição de chuva em diversos períodos de dias e de estimativas prováveis de precipitação, elaborou-se este trabalho, apesar da curta série de dados contínuos disponíveis, com a finalidade de atender aos usuários interessados sobre o regime pluviométrico de Belém em níveis mais detalhados e de ampliar as informações existentes.

Embora os resultados obtidos não apresentem o nível de exatidão desejado, em função da disponibilidade de dados existentes, possibilitam atualmente melhor orientação a tomada de decisões, principalmente em se tratando de projetos de irrigação para culturas exigentes de suprimento contínuo de água, como hortaliças e plantas em viveiros, escolha de épocas mais adequadas aos plantios, colheita, aplicação de fertilizantes e defensivos, bem como de orientação a outras atividades fora do setor agrícola, como realização de obras de saneamento, construção de estradas, edificações, etc.

MATERIAL E MÉTODOS

Face à falta de dados pluviométricos diários contínuos, envolvendo longa série, os dados analisados corresponderam ao período 1967-1983 e foram provenientes da estação agrometeorológica do CPATU, localizada em sua sede, apresentando como coordenadas geográficas 1°28' de latitude sul, 48°27' de longitude oeste de Greenwich e situada a 12,8m de altitude. (Anuário Agrometeorológico ... 1968-73, Anuário Meteorológico ... 1974 e Boletim Agrometeorológico ... 1975-82).

Os valores de precipitação diária foram agrupados em períodos: quinqüidial, semanal, quinzenal, mensal e anual, tendo sido considerado o ano de 365 dias. Nos anos

bissextos, os valores do dia 29 de fevereiro foram adicionados aos valores do dia 28.

Os critérios estabelecidos para os três primeiros períodos foram os seguintes: período quinquidial ou de cinco dias, o ano foi dividido em 73 períodos; período semanal, o ano foi dividido em 52 períodos, sendo que o valor da precipitação pluviométrica do dia 31 de dezembro foi adicionado ao do dia 30; período quinzenal, o ano foi dividido em 24 períodos, sendo que ao último período adicionaram-se os valores dos últimos dias restantes.

Para a obtenção das principais características da distribuição de frequência univariada para os diferentes períodos estudados, utilizam-se a análise estatística descritiva, empregando-se a metodologia do Statistical Analysis System — SAS, utilizando-se o computador IBM-434 da EMBRAPA.

RESULTADOS

As Tabelas de 1 a 5 mostram os dados obtidos referentes à precipitação média, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria ou grau de afastamento de uma distribuição de frequência e ocorrência máxima de precipitação a níveis de 5%, 25%, 50%, 75% e 95% de probabilidade para períodos quinquidial, semanal, quinzenal, mensal e anual em Belém.

DISCUSSÃO

O nível de variabilidade dos montantes pluviométricos para a região de Belém, no período 1967-1983, em intervalos de tempo de cinco, sete e quinze dias e mensal e anual, é apresentado nas Tabelas de 1 a 5, onde pode-se observar as seguintes ocorrências.

Períodos quinquidial, semanal e quinzenal: As Tabelas de 1 a 3 mostram que as médias pluviométricas oscilaram entre 13 mm e 82 mm; 19 mm e 114 mm, e 51 mm e 222 mm, respectivamente, para os períodos

de cinco, sete e quinze dias, tendo os correspondentes desvios e coeficientes de variação assinalado valores de doze e 89, e 47 e 58, para as médias extremas de cinco dias; 20 e 102, e 50 e 44 para as médias extremas de sete dias e 33 e 66, e 65 e 29 para as médias extremas de quinze dias.

Como era de se esperar, em todos os períodos, os valores de assimetria mostraram que a distribuição dos totais pluviométricos apresentou características de marcada assimetria, notadamente para o período de cinco dias, e as médias pluviométricas dos períodos não representam os 50% de probabilidade de ocorrência de totais de precipitação para a região, tendo superestimado os valores na grande maioria das vezes, principalmente no intervalo de cinco dias.

Houve predominância de reduzidos somatórios de chuva a partir da segunda metade do ano, notadamente, entre os períodos 55° e 66° do intervalo de cinco dias; 43° e 47° do intervalo de sete dias e 20° e 21° do intervalo de quinze dias, havendo porém também ocorrências de reduzidos somatórios em períodos correspondentes ao primeiro trimestre do ano que assinalou, como era de se esperar o maior percentual sobre o total pluviométrico anual, o que mostra a necessidade do produtor agrícola ficar atento para eventuais ocorrências de estiagens em pleno período chuvoso, e que resultarão em necessidade de irrigação, para garantir o suprimento contínuo de água para culturas intolerantes a pequenas deficiências hídricas, como hortaliças e plantas em viveiros. Em se tratando de viveiros, a ausência de chuvas no período mais chuvoso também reveste-se de elevada importância econômica, uma vez que os plantios de culturas perenes iniciam-se nessa época, e os produtores de mudas em geral encontram-se despreparados para as necessidades de irrigação que possam ocorrer, por desconhecimento do grau de variabilidade pluviométrica nesse período.

TABELA 1. Precipitação média (PM), desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV), assimetria e ocorrência máxima de precipitação a diferentes níveis de probabilidade para períodos de cinco dias (1967-1983), em Belém, PA.

Período	PM (mm)	DP	CV (%)	Assi- metria	Valor máximo de precipitação esperada (mm)				
					5%	25%	50%	75%	95%
01	41	31	75	1,9	2	22	39	53	140
02	62	34	55	1,3	8	44	52	83	158
03	55	44	79	2,3	4	26	49	65	198
04	66	46	70	2,0	12	38	56	82	210
05	66	40	60	0,8	16	34	52	98	150
06	51	24	47	0,8	19	29	57	64	114
07	64	33	52	0,0	2	42	58	93	122
08	76	36	48	0,8	21	54	67	96	160
09	82	47	58	3,4	46	57	76	79	254
10	71	34	47	1,6	31	51	58	91	168
11	68	30	44	0,7	27	45	61	83	128
12	77	32	42	0,3	13	56	67	104	136
13	76	44	58	0,6	7	42	75	92	164
14	62	33	52	0,9	22	35	55	83	140
15	66	41	62	0,7	9	39	53	100	146
16	63	48	76	0,8	3	24	56	87	161
17	65	38	58	1,0	16	40	58	87	155
18	72	26	36	0,5	37	46	68	86	123
19	95	39	70	0,6	4	24	39	92	132
20	90	23	47	0,6	9	32	47	66	105
21	70	33	47	0,0	18	44	66	86	122
22	60	37	61	1,2	20	30	55	76	143
23	58	32	54	1,0	21	31	51	79	136
24	68	41	61	1,2	25	36	61	81	152
25	68	34	50	1,0	27	39	60	90	150
26	52	41	78	0,7	7	16	38	92	130
27	59	24	40	-0,3	13	47	61	73	103
28	58	31	53	0,4	13	34	55	88	116
29	33	17	53	1,2	2	23	29	38	78
30	30	16	53	-0,3	0,7	16	31	41	53
31	34	27	81	0,6	2	11	21	62	84
32	31	26	85	2,0	5	12	27	39	112
33	29	19	67	0,5	1	13	30	42	72
34	20	17	85	1,9	0	6	20	24	72
35	20	16	82	2,2	1	11	13	26	71
36	25	26	104	1,4	0	5	16	38	90
37	31	22	72	0,4	4	9	25	53	71
38	34	33	99	1,4	0	8	20	54	124
39	33	28	84	2,4	4	13	32	42	128
40	25	15	81	-0,1	0	15	24	40	46
41	20	16	80	1,0	0	6	17	30	60
42	22	20	90	1,2	0	8	18	28	65
43	21	18	84	0,6	0	6	14	36	54
44	13	12	89	1,0	0	4	9	22	39
45	23	23	121	2,5	1	8	14	30	111
46	25	22	87	1,1	0	6	22	38	78
47	33	30	93	1,1	1	10	24	56	105
48	16	11	67	1,0	0	8	13	25	45
49	27	18	66	0,6	0	14	26	37	65
50	28	19	68	1,1	8	12	24	42	73
51	19	18	94	2,9	1	8	17	23	81
52	27	19	69	1,1	2	14	24	34	69
53	21	14	67	0,1	0	11	18	34	42
54	25	15	61	0,5	1	12	25	32	58
55	16	9	57	-0,3	0	10	17	23	28
56	19	16	87	1,1	0	7	16	29	61
57	16	22	136	2,9	0	5	10	17	90
58	17	17	96	0,9	0	3	13	30	50
59	19	14	72	0,2	2	6	21	34	45
60	21	20	92	1,0	0	5	19	32	66
61	14	25	177	3,2	0	1	8	12	103
62	20	20	99	0,9	0	3	13	38	64
63	17	24	138	1,8	0	2	9	24	76
64	18	14	76	0,7	0	5	18	28	51
65	20	23	113	1,3	0	1	14	33	74
66	16	16	102	0,8	0	1	9	26	47
67	14	14	93	0,6	0	2	10	24	40
68	23	26	114	1,8	0	3	13	40	100
69	26	25	98	1,6	1	7	21	41	98
70	31	32	103	1,8	0	11	20	43	118
71	34	35	104	1,0	0	8	14	62	110
72	37	20	53	0,5	0	25	37	48	86
73	47	21	45	0,4	18	29	43	68	87

TABELA 2. Precipitação média (PM), desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV), assimetria e ocorrência máxima de precipitação a diferentes níveis de probabilidade para períodos de sete dias (1967-1983), em Belém, Pa.

Período	PM (mm)	DP	CV (%)	Assi metria	Valor máximo de precipitação esperada (mm)				
					5%	25%	50%	75%	95%
01	70	39	56	1,9	2	50	59	89	194
02	74	43	58	0,4	8	49	63	122	144
03	87	52	60	1,6	26	49	77	121	237
04	86	40	46	0,4	26	50	92	109	162
05	86	40	47	0,4	30	57	78	115	106
06	114	50	44	0,5	41	71	108	145	214
07	100	41	41	1,6	40	79	90	120	221
08	99	30	31	0,1	44	77	87	124	154
09	114	50	44	0,0	39	60	124	154	198
10	86	40	46	0,9	31	61	79	111	185
11	86	42	50	0,9	12	59	72	112	192
12	98	55	56	1,1	28	59	86	118	216
13	93	31	33	0,4	48	66	86	122	150
14	70	42	60	0,4	8	36	54	109	155
15	94	33	35	-0,3	36	71	101	120	150
16	79	46	58	0,6	25	45	66	119	172
17	91	54	60	1,0	32	51	75	122	204
18	91	39	43	0,8	34	64	89	114	178
19	80	49	62	0,7	16	38	67	122	177
20	82	39	47	0,6	19	51	72	115	169
21	46	16	36	0,5	18	34	46	54	83
22	47	33	70	0,6	5	23	31	82	101
23	39	29	74	1,5	6	20	32	50	116
24	37	28	76	1,2	1	13	34	53	113
25	27	21	77	1,8	1	15	21	37	89
26	38	32	88	1,8	0	19	31	45	132
27	45	34	77	0,6	3	14	37	73	124
28	45	34	76	1,8	6	26	36	57	145
29	31	24	77	0,6	2	10	34	50	79
30	31	22	69	0,8	4	15	29	49	82
31	27	18	89	0,2	5	8	29	42	57
32	27	29	109	2,5	0	11	18	31	122
33	37	34	93	1,8	4	10	26	58	139
34	37	25	67	0,6	2	15	36	54	96
35	31	18	59	0,3	2	15	34	39	65
36	38	23	60	0,7	8	18	31	55	87
37	28	18	66	0,8	0	12	26	39	75
38	32	24	77	1,3	1	18	28	43	101
39	31	15	47	-0,1	9	17	34	42	58
40	25	19	78	0,8	0	10	25	35	64
41	22	23	104	1,9	0	8	16	32	91
42	23	19	81	0,9	2	8	20	35	60
43	31	27	89	1,1	0	9	25	43	99
44	23	35	155	3,2	0	6	12	23	150
45	26	36	138	2,1	0	4	10	32	122
46	30	29	98	1,6	0	13	19	32	101
47	19	20	102	1,5	0	4	13	31	73
48	30	31	104	1,1	0	5	16	53	104
49	33	29	88	1,2	0	10	26	52	110
50	36	35	96	1,7	1	13	28	46	120
51	46	40	86	0,9	1	18	26	81	132
52	71	28	39	1,3	41	47	70	81	145

TABELA 3. Precipitação média (PM), desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV), assimetria e ocorrência máxima de precipitação a diferentes níveis de probabilidade para períodos de quinze dias (1967-1983), em Belém, PA.

Período	PM (mm)	DP	CV (%)	Assi- metria	Valor máximo de precipitação esperada (mm)				
					5%	25%	50%	75%	95%
01	158	67	42	0,0	32	123	162	199	285
02	182	63	34	-0,1	67	142	195	214	288
03	222	65	29	0,6	131	172	199	285	341
04	216	55	26	1,0	148	174	202	251	339
05	205	73	36	0,0	77	150	214	265	337
06	200	81	41	1,2	76	153	186	216	392
07	174	54	31	-0,1	79	128	183	211	257
08	186	72	38	0,2	78	125	172	245	309
09	179	63	36	0,2	89	118	163	233	285
10	121	40	33	0,1	61	78	126	150	192
11	94	46	50	0,4	32	52	89	140	184
12	64	41	65	1,7	20	37	53	81	185
13	98	46	47	0,0	22	58	106	136	169
14	67	34	50	0,0	18	39	57	98	117
15	57	35	61	0,8	18	25	49	76	132
16	74	40	55	1,2	28	43	67	85	166
17	74	33	45	0,2	25	47	73	103	139
18	72	35	49	0,4	24	39	77	98	140
19	51	33	66	1,1	14	27	38	68	123
20	58	36	62	-0,1	4	23	70	87	108
21	52	56	108	1,5	4	13	29	59	174
22	54	40	75	1,3	13	28	40	83	148
23	63	46	73	0,6	6	20	48	102	165
24	148	60	41	0,2	43	94	147	199	276

TABELA 4. Precipitação média (PM), desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV), assimetria e ocorrência máxima de precipitação a diferentes níveis de probabilidade para período mensal (1967-1983), em Belém, PA.

Período	PM (mm)	DP	CV (%)	Assi- metria	Valor máximo de precipitação esperada (mm)				
					5%	25%	50%	75%	95%
01	357	79	22	0,3	218	311	340	415	535
02	406	100	25	1,0	253	346	384	473	650
03	420	108	26	0,6	243	338	375	505	635
04	361	90	25	0,1	222	273	373	431	548
05	305	86	28	0,3	192	234	277	383	478
06	160	70	44	1,5	71	107	158	188	370
07	163	57	34	0,2	65	130	156	207	290
08	135	45	33	0,2	44	101	138	166	239
09	141	47	33	0,9	83	107	128	172	243
10	111	68	61	1,4	14	66	113	127	305
11	106	74	70	1,3	16	51	91	136	289
12	199	78	39	0,3	59	144	188	252	362

TABELA 5. Precipitação média (PM), desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV), assimetria e ocorrência máxima de precipitação a diferentes níveis de probabilidade para período anual (1967-1983), em Belém, PA.

PM (mm)	DP	CV (%)	Assi- metria	Valor máximo de precipitação esperada (mm)				
				5%	25%	50%	75%	95%
2869	325	11	-0,4	2189	2611	2932	3140	3338

Período mensal: A Tabela 4 mostra que as médias mensais oscilam entre 106 mm e 420 mm, com os respectivos desvios e coeficientes de variação assinalando valores de 74 e 70, e 108 e 26, respectivamente. Comparando-se os valores mensais do período em estudo com os valores das normais climatológicas da região, correspondentes ao período de 1931-1960 (Brasil ... 1969), verificou-se que quase todos os meses apresentaram desvios positivos sobre as médias do período normal, com exceção de fevereiro, março e abril que apresentaram reduzidos desvios negativos.

Os valores de assimetria oscilaram entre 0,1 e 1,5, tendo apenas a distribuição dos totais pluviométricos do mês de abril assinalado moderado grau de assimetria, enquanto que os demais meses tenderam para marcada assimetria, principalmente em junho, outubro e novembro.

Em termos de totais pluviométricos prováveis para a região, a Tabela 4 mostra os valores máximos que podem ser esperados a vários níveis de probabilidade, onde pode-se verificar que, em todos os meses, as médias não representaram os 50% de probabilidade de ocorrência de totais pluviométricos para a região, tendo superestimado os valores para mais, na maioria dos meses.

Período anual: A Tabela 5 mostra que a média anual do período foi de 2.868 mm apresentando o desvio padrão e o coeficiente de variação valores de 325 e onze, respectivamente, e de variação sobre a média do período normal da região de 108 mm positivos.

O valor do coeficiente de assimetria foi de -0,4, mostrando que a distribuição pluviométrica anual dentro do período estudado foi de marcada assimetria, e que a anormalidade apresentada deve-se, em parte, à curta série de dados utilizados. É possível que com série longa (em torno de 50 anos) a distribuição de frequência se aproxima da normal.

Em termos de ocorrência de totais pluviométricos anuais prováveis para a região,

a Tabela 5 mostra os valores máximos que podem ser esperados a níveis de 5%, 25%, 50%, 75% e 95% de probabilidade, podendo-se verificar que a média anual, ao contrário de outros intervalos de tempo, indica total abaixo do valor máximo que pode ser esperado para a região, com a probabilidade de 50%.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dr. Fernando L. Garagorry, Chefe da DPO/DMQ-EMBRAPA, pelas sugestões no processamento e análise dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANUÁRIO AGROMETEOROLÓGICO DO IPEAN, Belém, 1968-73.
- ANUÁRIO METEOROLÓGICO DO CPATU, Belém, 1974.
- BASTOS, T.X. **O Estado atual dos conhecimentos das condições climáticas da amazônia brasileira.** Belém, IPEAN, 1972. p.68-122. (IPEAN. Boletim Técnico, 54).
- BASTOS, T.X. **O clima da amazônia brasileira segundo Köppen.** Belém, EMBRAPA-CPATU, 1982. 4p. (EMBRAPA-CPATU). Pesquisa em Andamento, 87).
- BOLETIM AGROMETEOROLÓGICO DO CPATU. Belém, 1975-82.
- BRASIL, Ministério da Agricultura. Escritório de Meteorologia, Rio de Janeiro, R.J. **Normais Climatológicas** (Pará-Amazonas-Acre-Maranhão). Rio de Janeiro, 1968. 39p.
- CUNHA, O.R. da & BASTOS, T.X. **A contribuição do Museu Emílio Goeldi à meteorologia na Amazônia.** Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi, 1973. 69p. (Museu Paraense Emílio Goeldi. Publicações Avulsas, 23).
- MORAES, J.C.; COSTA, J.P.R. & SANTOS, M.A.R. Um estudo estatístico sobre as precipitações em Belém. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 35, Belém, 1983. **Resumos...**, Belém, SBPC, 1983. p.578.
- NECHET, D. Variabilidade diurna da precipitação em Belém, Pará. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 35, Belém, 1983. **Resumos...**, Belém, SBPC, 1983. p.577.

ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO PARA DIFERENTES NÍVEIS DE PROBABILIDADE EM QUATRO PERÍODOS DE TEMPO SEGUNDO A DISTRIBUIÇÃO GAMA — BELÉM, PARÁ

Homero Chaib Filho¹, Therezinha Xavier Bastos²
e Tatiana Deane de Abreu Sá Diniz²

RESUMO: Foram efetuadas estimativas de precipitação provável para a região de Belém, a diferentes níveis de probabilidade e períodos de tempo, utilizando-se a distribuição gama. O objetivo principal é auxiliar o planejador agrícola em estimativas concernentes à quantidade de precipitação esperada na região. Os dados utilizados foram obtidos na estação agrometeorológica da EMBRAPA-CPATU, em Belém, no período de 1967-1983. Como resultados, são apresentadas tabelas de precipitação provável para períodos de cinco, sete, quinze e 30 dias, em níveis de probabilidade de 5, 10, 20, 30, 50, 70, 80, 90 e 95 por cento para a região.

Termos para indexação: Estimativa de precipitação, distribuição gama, Amazônia.

EXPECTED RAINFALL ESTIMATES AT DIFFERENT PROBABILITY LEVELS IN FOUR PERIODS OF TIME BY GAMMA DISTRIBUTION. BELÉM, PARÁ

ABSTRACT: Expected rainfall estimates at different probability levels and periods of time are presented for the Region of Belém, State of Pará, Brazil, utilizing gamma distribution. The main purpose of the study was to help agricultural planning by providing expected rainfall distribution of the region. The data used were obtained at the Agrometeorological Station of EMBRAPA-CPATU, from 1967 to 1983. Expected precipitation tables for periods of five, seven, fifteen and thirty days, at probability levels of 5, 10, 20, 30, 50, 70, 80, 90 and 95 percent are presented.

Index terms: Rainfall estimates, gamma distribution, Brazilian Amazon region.

INTRODUÇÃO

Sendo a agricultura uma das atividades humanas que mais se relacionam com o clima, a instabilidade climática se constitui num fator de risco para o produtor

Em função de sua grande variabilidade, a precipitação pluviométrica é o componente climático que mais afeta a produção agrícola, podendo tornar-se expressão daquele risco. Sendo assim, é de grande interesse para a agricultura o conhecimento de prognóstica da precipitação pluviométrica.

¹Matemático M.Sc. EMBRAPA-DMQ. Caixa Postal APT 040315. CEP 70312. Brasília, DF.

²Eng. Agr. M.Sc. EMBRAPA-CPATU. Caixa Postal 48. CEP 66000. Belém, PA.

trica em períodos de tempo curtos e longos, através de tratamento estatístico conveniente, na tentativa de se minimizar os riscos decorrentes da variabilidade das chuvas.

A região de Belém reúne grande contingente de pesquisa agrícola, envolvendo culturas de ciclo curto e longo, bem como de produção de mudas para plantas perenes. Em termos climáticos, a característica dominante da região é o regime pluviométrico elevado, e a grande variabilidade das chuvas em termos anual, mensal e diário (Bastos et al. 1984), sendo, portanto, relevante para a região, trabalhos voltados para estimativas de precipitação pluviométrica provável, com finalidade de orientar o calendário agrícola regional.

Até o presente, são poucos os trabalhos voltados para a caracterização das chuvas em Belém, podendo-se citar: Cunha & Bastos (1973), Moraes et al. (1983), Nechet (1983) e Bastos et al. (1984), não sendo conhecidas referências em relação à aplicação da distribuição gama a dados pluviométricos da região.

Além da grande utilidade em trabalhos teóricos, a distribuição gama fornece representações úteis em diversas situações físicas. O fato de que a soma de variáveis aleatórias independentes, exponencialmente distribuídas, tem uma distribuição gama, levou ao surgimento desta distribuição na teoria de tópicos associados com processos randômicos no tempo, em particular nos processos de precipitação pluviométrica (Johnson & Kotz 1970).

Crutcher et al. (1973) e Vivaldi (1982), em trabalhos envolvendo a precipitação pluviométrica e a distribuição gama, citam estudos anteriores que demonstram a utilidade do uso desta distribuição no cálculo da precipitação pluviométrica.

Autores brasileiros e estrangeiros como Ellis (1972), Sediya (1977), Arruda & Pinto (1980), Castro et al. (1981), Vivaldi (1982), Crutcher et al. (1973) e Strommen (1974) evidenciam que a distribuição gama tem sido mais adequada para determi-

nar a probabilidade de totais mensais de chuva e de períodos diários, que outros métodos usuais de estimativas de precipitação.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados pluviométricos utilizados foram provenientes da estação agrometeorológica do CPATU, localizada em Belém, à latitude de 01°28' Sul, longitude 48°27' à Oeste de Greenwich e a 12,8 m de altitude e correspondem a valores contínuos abrangendo o período de 1967 a 1983.

Os valores de precipitação diária foram agrupados em períodos: quinquidial, semanal, quinzenal e mensal, tendo sido fixado o ano em 365 dias. Para os anos bissextos, os valores do dia 29 de fevereiro, foram adicionados aos valores do dia 28. Os critérios estabelecidos para os três primeiros períodos foram os seguintes: período quinquidial, ou de cinco dias, o ano foi dividido em 73 períodos; período semanal, o ano foi dividido em 52 períodos, sendo que o valor de precipitação pluviométrica do dia 31 de dezembro foi adicionado ao do dia 30; período quinzenal, o ano foi dividido em 24 períodos, sendo que ao último período, adicionaram-se os valores dos últimos dias restantes.

Para a estimativa de precipitação, a níveis de 5, 10, 20, 30, 50, 70, 80, 90 e 95 por cento de probabilidade, utilizou-se a função de distribuição gama representada pela fórmula:

$$F(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t/\beta} dt$$

Onde:

$F(x)$ - função de probabilidade para a variável aleatória X , calculada para a ocorrência de uma precipitação inferior ou igual a x .

α, β - parâmetros de distribuição gama (α, β 0)

$\Gamma(\alpha)$ - função gama avaliada para o valor de α .

e - base do logaritmo neperiano.
t - variável de integração.

Os parâmetros do modelo foram estimados pelo método de máxima verossimilhança. A utilização deste método implica que os parâmetros não podem assumir o valor zero, tendo sido efetuada uma modificação no modelo segundo proposição de Vivaldi (1982), como segue:

$$H(X) = p + q F(X)$$

Onde:

$$p = \frac{\text{N}^\circ \text{ de valores nulos}}{\text{tamanho da amostra}}$$

$$q = (1-p)$$

$F(X)$ = como definido acima

$H(X)$ = probabilidade da ocorrência de uma precipitação X , dado que não existem valores nulos na amostra.

Todos os resultados foram obtidos através de um programa FORTRAN que, para os cálculos das probabilidades, utilizou-se do "software" oferecido pelo Institute of Mathematical and Statistical Library — IMSL.

O computador utilizado foi um IBM 4341 da EMBRAPA.

RESULTADOS

As Tabelas de 1 a 4 mostram os resultados referentes à precipitação média, aos parâmetros α e β e à ocorrência máxima de precipitação a níveis de 5, 10, 20, 30, 50, 70, 80 e 95 por cento de probabilidade para períodos quinquidial, semanal, quinzenal e mensal em Belém.

DISCUSSÃO

Analisando-se Tabelas 1, 2, 3 e 4, verifica-se que, em geral, ao se aumentar o tamanho do período estudando, cresce o

valor de α , o que indica um menor grau de assimetria* para períodos maiores. O menor valor de α , de 0,544, foi verificado no 63º período quinquidial, enquanto o seu maior valor, de 21,266, ocorreu no primeiro período mensal (janeiro).

Quanto ao parâmetro β , cujos valores dependem de α e da média, e expressam a variabilidade das precipitações, não se registra acentuada tendência com relação à variação do tamanho dos períodos estudados.

Pode-se observar que, de maneira geral, **independentemente** do tamanho, os períodos de menor variabilidade apresentam grande grau de assimetria (α e β pequenos), o que indica concentração das precipitações de um ou de outro lado da média do período.

Numa análise conjunta das tabelas, pode-se extrair as seguintes informações:

- a) Os meses mais chuvosos apresentam menor grau de assimetria, indicando melhor distribuição das precipitações nestes períodos, com ênfase para o mês de janeiro;
- b) Apesar da grande variabilidade das precipitações no mês de fevereiro, sua primeira quinzena apresenta uma distribuição bastante equilibrada;
- c) Dos meses menos chuvosos, o que apresenta melhor distribuição de precipitação é o mês de setembro;
- d) Os meses de outubro e novembro apresentam grande tendência para a ocorrência de precipitação na primeira quinzena de outubro e segunda quinzena de novembro, com as outras quinzenas podendo se caracterizarem pelo pequeno índice de pluviosidade;
- e) As Tabelas de 1 a 3 mostram ainda que se pode esperar somatórios de chuva reduzidos a partir da segunda metade do ano, notadamente entre os períodos 55º e 67º do intervalo de cinco dias, 39º e 47º do intervalo de sete dias e 19º e 22º do intervalo de quinze dias, bem co-

* Assimetria ou afastamento de uma distribuição de frequência.

TABELA 1. Valores de precipitação (mm) e suas médias, a diferentes níveis de probabilidade para períodos de cinco dias (Belém - período de 1967-1983).

Período	Média	Nível de probabilidade									Estimativa	
		95	90	80	70	50	30	20	10	5	Alfa	Beta
1	41.0	106.3	85.1	63.3	50.2	32.5	19.7	14.0	8.2	5.0	1.532	26.773
2	81.7	128.5	108.8	87.7	74.3	55.2	39.7	32.0	23.1	17.3	3.093	19.958
3	55.0	129.7	106.7	82.2	67.1	46.2	30.3	22.8	14.7	9.9	2.015	27.275
4	65.5	143.4	118.9	95.1	79.3	57.3	39.8	31.3	21.6	15.6	2.592	25.266
5	65.7	139.0	117.6	94.1	79.3	58.4	41.5	33.1	23.6	17.4	2.900	22.663
6	51.0	95.0	82.5	69.0	60.3	47.4	36.5	30.9	24.1	19.4	4.676	10.907
7	63.6	121.8	120.9	94.0	77.5	54.3	36.4	27.9	18.5	12.8	2.214	28.723
8	76.3	143.9	124.9	104.0	90.5	70.7	54.0	45.4	35.0	27.8	4.418	17.277
9	81.9	145.4	127.7	108.5	95.9	77.1	61.1	52.5	46.4	46.4	5.696	14.376
10	71.4	126.0	110.0	94.3	83.4	67.3	53.4	46.1	37.1	31.1	5.835	12.230
11	68.4	122.9	107.6	91.2	80.3	64.2	50.5	43.3	34.5	28.2	5.424	12.608
12	82.2	158.6	137.0	113.2	97.9	75.6	57.0	47.4	36.2	28.2	4.047	20.321
13	76.1	163.8	140.6	111.6	92.3	66.2	45.7	35.7	24.5	17.5	2.500	30.444
14	62.5	121.7	104.9	86.5	74.5	57.3	43.0	35.7	26.9	22.1	3.920	15.951
15	66.0	145.9	122.4	96.5	80.0	57.2	39.3	30.5	20.9	14.7	2.447	26.959
16	62.9	160.6	132.9	97.9	76.3	48.9	29.0	20.2	11.4	6.8	1.423	44.239
17	64.8	130.3	111.2	90.7	77.6	58.7	43.2	35.3	26.2	20.1	3.489	18.560
18	72.3	118.5	106.0	92.3	83.1	69.3	57.1	50.6	42.3	36.9	8.138	8.879
19	55.1	131.7	110.9	83.9	67.3	44.5	28.3	20.6	12.7	8.1	1.734	31.795
20	49.6	95.7	82.6	68.2	59.0	45.5	34.3	28.6	21.7	17.1	4.051	12.234
21	69.9	121.5	117.7	96.7	83.3	63.9	47.7	39.4	29.8	23.1	3.829	18.245
22	60.0	124.6	105.6	85.2	72.2	53.8	38.8	31.3	22.7	19.6	3.128	19.197
23	58.3	113.8	97.8	80.5	69.4	53.4	40.0	32.2	25.1	21.3	3.899	14.948
24	68.2	138.2	117.8	95.9	81.7	61.6	45.1	36.7	27.0	25.0	3.386	20.137
25	68.0	127.6	110.8	92.4	80.4	63.0	48.3	40.7	31.5	27.2	4.502	15.094
26	51.7	130.4	106.7	79.7	63.2	41.2	25.1	17.9	10.5	6.8	1.565	53.023
27	59.0	103.0	96.2	80.2	69.9	54.7	42.0	35.3	27.4	21.8	4.517	13.063
28	57.9	115.7	99.7	81.2	69.4	52.4	38.4	31.4	23.2	17.7	3.440	16.824
29	33.0	70.1	59.0	47.3	39.8	29.3	20.8	16.6	11.8	8.7	2.887	11.423
30	29.8	52.7	52.7	45.0	36.3	24.7	15.8	11.8	7.4	4.9	1.870	15.926
31	33.7	84.4	72.1	52.7	41.1	25.9	15.0	10.3	5.7	3.3	1.851	24.957
32	31.2	76.1	61.9	47.1	38.0	25.7	16.5	12.1	7.6	5.0	1.835	16.994
33	29.0	72.4	59.4	44.5	35.4	23.3	14.3	10.3	6.2	3.8	1.613	17.944
34	19.6	56.9	44.2	31.3	23.7	14.0	7.5	4.8	2.4	1.2	1.085	18.030
35	19.5	47.9	39.0	29.6	23.9	16.1	10.2	7.5	4.7	3.0	1.807	10.813
36	25.3	81.2	61.2	41.3	30.0	16.1	7.6	4.4	1.8	0.8	0.828	30.585
37	34.2	71.2	70.7	52.7	41.8	27.2	16.6	11.8	7.0	4.3	1.559	21.952
38	33.6	104.6	79.5	54.5	40.1	22.3	10.9	6.6	2.9	1.3	0.899	37.398
39	33.4	81.8	66.4	50.6	40.8	27.5	17.6	12.9	8.1	5.2	1.821	18.350
40	26.9	46.4	46.4	40.8	32.8	21.9	13.8	10.1	6.2	4.0	1.743	15.465
41	20.0	57.9	44.9	31.9	24.2	14.3	7.7	5.0	2.5	1.3	1.096	18.225
42	23.1	62.6	49.6	36.3	28.2	17.7	10.2	7.0	3.9	2.2	1.336	17.324
43	22.3	53.6	46.3	34.5	27.3	17.7	10.7	7.6	4.4	2.9	1.522	14.661
44	13.2	37.0	29.0	20.9	16.1	9.8	5.5	3.7	1.9	1.1	1.217	10.884
45	22.7	67.8	52.3	36.5	27.3	15.7	8.1	5.0	2.4	1.2	0.996	22.759
46	26.4	74.2	58.1	41.8	32.0	19.5	10.8	7.2	3.8	2.0	1.198	22.011
47	32.6	95.9	74.0	52.2	39.4	23.0	12.2	7.7	3.8	1.9	1.055	30.879
48	16.4	43.8	34.8	25.6	20.0	12.7	7.4	5.2	2.9	1.7	1.388	11.821
49	27.2	65.2	60.9	43.4	33.0	19.6	10.5	6.9	3.4	1.8	1.112	24.442
50	27.9	61.8	51.6	40.8	33.9	24.3	16.8	13.1	9.0	7.6	2.505	11.157
51	18.8	47.3	38.2	28.8	22.9	15.2	9.4	6.8	4.1	2.6	1.653	11.371
52	27.0	64.5	52.7	40.5	32.9	22.5	14.7	11.0	7.0	4.7	1.956	13.790
53	21.9	41.9	41.9	34.3	26.7	16.8	9.8	6.7	3.8	2.2	1.358	16.135
54	24.6	57.7	48.2	37.0	30.0	20.5	13.2	9.9	6.3	4.1	1.915	12.829
55	16.9	28.3	28.3	24.6	20.5	14.8	10.3	8.0	5.6	4.0	2.567	6.595
56	21.3	50.5	41.4	31.9	26.0	17.9	11.8	8.8	5.7	3.8	2.019	10.568
57	16.9	48.5	37.8	27.0	20.5	12.3	6.7	4.4	2.2	1.6	1.135	14.915
58	18.3	49.7	44.3	29.9	21.7	11.6	5.4	3.1	1.3	0.5	0.819	22.387
59	19.3	45.0	40.9	30.1	23.6	15.0	8.8	6.1	3.5	2.1	1.410	13.713
60	24.3	66.5	55.2	39.1	29.3	16.8	8.7	5.4	2.5	1.2	0.998	24.348
61	14.1	52.4	37.3	23.2	15.4	6.9	2.4	1.1	0.3	0.2	0.544	25.866
62	23.1	63.5	50.3	36.4	28.1	17.3	9.8	6.6	3.5	2.1	1.255	18.385
63	18.1	65.0	47.0	29.9	20.5	9.7	3.7	1.8	0.6	0.2	0.610	29.724
64	19.0	50.7	41.8	30.1	23.1	14.1	7.8	5.2	2.7	1.5	1.200	15.850
65	24.4	73.6	56.4	39.4	29.4	16.8	8.6	5.4	2.5	1.2	0.987	24.731
66	21.0	47.3	43.2	32.3	25.6	16.7	10.1	7.2	4.3	2.6	1.553	13.495
67	16.4	40.4	39.5	26.7	19.4	10.5	4.9	2.8	1.2	0.5	0.830	19.699
68	24.1	79.5	59.4	39.6	28.3	14.8	6.6	3.7	1.4	0.6	0.762	31.650
69	25.9	74.2	57.7	41.2	31.4	18.8	10.2	6.6	3.3	1.8	1.128	22.928
70	30.8	95.8	72.8	50.0	36.8	20.5	10.1	6.1	2.7	1.2	0.906	34.034
71	33.6	109.6	85.2	55.3	38.6	18.9	7.7	4.0	1.4	0.5	0.665	50.570
72	38.9	71.5	62.4	52.3	45.8	36.3	28.1	23.9	18.8	15.1	4.910	7.920
73	47.3	86.4	75.5	63.6	55.7	44.2	34.5	29.3	23.1	18.8	5.047	9.376

Obs.: Ajustamento de uma distribuição gama, com parâmetros alfa e beta, estimados pelo método da máxima verossimilhança.

TABELA 2. Valores de precipitação (mm) e suas médias, a diferentes níveis de probabilidade para períodos de sete dias (Belém, período 1967-1983).

Período	Média	Nível de probabilidade									Estimativa	
		95	90	80	70	50	30	20	10	5	Alfa	Beta
1	69.9	155.4	129.5	102.1	84.8	60.6	41.7	32.4	22.2	15.7	2.455	28.472
2	74.5	143.5	137.7	108.5	90.3	64.8	44.7	34.9	23.9	17.0	2.500	29.786
3	86.6	174.6	149.1	121.4	103.7	78.4	57.5	47.1	34.8	26.6	3.459	25.030
4	86.5	161.3	140.3	117.2	102.3	80.4	61.9	52.3	40.7	32.7	4.650	18.609
5	86.0	162.3	140.7	117.1	101.9	79.7	60.9	51.2	39.6	31.5	4.440	19.380
6	114.1	207.0	181.0	152.8	134.2	106.9	83.6	71.3	56.4	45.9	5.195	21.963
7	99.9	168.1	149.8	129.3	115.6	95.2	77.3	67.8	55.8	47.2	7.117	14.031
8	99.1	154.4	139.9	123.6	112.6	96.0	81.0	72.7	62.4	54.6	10.410	9.520
9	119.7	211.5	198.0	163.9	142.2	110.4	83.8	70.0	53.6	42.5	4.218	28.376
10	86.1	157.1	137.3	115.5	101.3	80.4	62.7	53.4	42.0	34.1	5.053	17.037
11	85.5	169.2	145.2	119.0	102.1	77.9	58.0	47.8	35.8	27.7	3.699	23.120
12	97.7	193.5	166.2	136.2	116.8	89.0	66.1	54.3	40.6	31.4	3.671	26.622
13	93.3	147.4	133.2	117.2	106.4	90.2	75.6	67.6	57.5	49.9	9.656	9.665
14	70.3	154.8	131.6	103.3	85.4	60.6	41.3	31.9	21.6	15.1	2.357	29.822
15	93.6	150.0	141.2	121.5	108.6	89.1	72.2	63.1	51.9	43.8	6.913	13.544
16	79.5	165.0	139.9	112.8	95.7	71.1	51.2	41.3	29.8	24.9	3.103	25.607
17	90.6	184.8	157.3	127.6	108.7	81.7	59.5	48.4	35.5	32.5	3.317	27.308
18	91.0	159.8	141.1	120.1	106.3	86.0	68.3	58.9	47.5	39.3	5.912	15.394
19	79.9	173.5	145.2	115.6	96.7	70.3	49.2	38.8	27.2	19.7	2.688	29.747
20	82.0	155.1	134.3	111.8	97.3	76.0	58.0	48.8	37.7	30.0	4.419	18.568
21	45.7	75.8	67.8	58.7	52.7	43.8	35.9	31.6	26.3	22.3	7.682	5.954
22	47.3	101.4	92.7	71.1	57.7	39.4	25.5	19.0	12.1	8.0	1.924	24.571
23	38.8	90.2	74.3	57.6	47.2	32.9	21.9	16.6	11.0	7.5	2.141	18.111
24	37.0	97.1	77.6	57.4	45.1	29.0	17.3	12.1	6.9	4.1	1.458	25.364
25	27.0	67.0	54.3	41.1	33.0	22.0	13.8	10.0	6.2	3.9	1.721	15.680
26	41.9	118.2	92.6	66.5	51.0	30.9	17.1	11.4	5.9	3.2	1.191	35.219
27	44.7	120.7	95.7	69.9	54.6	34.2	19.8	13.6	7.5	4.3	1.340	33.374
28	45.0	103.8	85.7	66.6	54.8	38.5	25.7	19.7	13.1	9.0	2.206	20.408
29	30.8	79.0	66.0	48.2	37.5	23.6	13.7	9.4	5.2	3.0	1.343	22.946
30	31.1	74.4	61.0	46.7	38.0	26.0	16.9	12.6	8.1	5.3	1.945	18.016
31	26.8	56.7	54.0	40.9	32.8	21.9	13.8	10.1	6.2	4.8	1.738	15.443
32	26.7	78.1	60.5	42.8	32.3	19.1	10.2	6.5	3.2	1.7	1.081	24.740
33	36.9	98.0	78.0	57.5	45.1	28.7	17.0	11.8	6.7	4.4	1.415	26.102
34	36.8	91.0	73.7	56.0	45.0	30.1	19.0	13.9	8.6	5.5	1.751	21.007
35	30.6	65.2	59.6	45.9	37.3	25.6	16.7	12.5	8.1	5.4	1.989	15.369
36	37.8	80.6	67.9	54.3	45.7	33.5	23.7	18.9	13.4	9.9	2.853	13.251
37	28.1	75.4	59.8	44.0	34.3	21.6	12.6	8.7	4.9	2.8	1.369	20.526
38	31.7	89.0	69.5	50.1	38.5	23.4	13.1	8.7	4.6	2.5	1.203	26.325
39	31.4	57.7	53.0	43.5	37.4	28.7	21.4	17.7	13.3	10.3	3.812	8.232
40	26.2	64.4	54.0	40.5	32.1	20.9	12.8	9.1	5.4	3.3	1.569	16.727
41	23.8	61.3	49.2	36.7	29.1	19.0	11.6	8.3	4.9	4.5	1.564	15.238
42	23.4	80.4	49.2	36.3	28.5	18.2	10.8	7.5	4.3	2.5	1.433	16.314
43	30.7	97.6	73.8	50.0	36.4	19.7	9.3	5.4	2.3	1.0	0.840	36.552
44	24.3	74.6	57.0	39.4	29.2	16.4	8.2	5.0	2.3	1.8	0.936	25.977
45	26.1	91.4	66.7	42.9	29.7	14.4	5.7	2.9	1.0	0.3	0.642	40.614
46	29.8	89.1	68.6	47.9	35.8	20.7	10.6	6.7	3.2	1.5	1.004	29.659
47	20.5	57.4	44.9	32.4	25.0	15.3	8.5	5.7	3.0	2.2	1.226	16.721
48	31.7	104.3	79.5	52.0	36.6	18.5	7.8	4.2	1.5	0.6	0.702	45.105
49	32.9	100.1	75.5	53.1	39.5	22.5	11.4	7.0	3.2	1.5	0.963	34.196
50	36.1	105.7	82.0	57.8	43.6	25.6	13.6	8.7	4.3	2.1	1.066	33.875
51	46.5	129.7	102.1	73.5	56.6	34.6	19.4	12.9	6.8	3.7	1.219	38.156
52	71.0	116.7	104.5	90.8	81.7	68.1	56.0	49.5	41.3	40.9	7.993	8.884

Obs: Ajustamento de uma distribuição gama, com parâmetros alfa e beta, estimados pelo método da máxima verossimilhança.

mo certa ocorrência de reduzidos somatórios no período mais chuvoso da região. Tais condições mostram que, no primeiro caso, se pode contar com pouca possibilidade de manutenção de culturas sensíveis à deficiência de água durante alguns estádios fenológicos, sem irrigação suplementar. Por outro lado, essa época demonstra ser mais indicada

para a execução de operações ligadas à limpeza do solo e secagem de grãos. Nos demais períodos pode-se esperar, com 70 por cento de chance, que não haja problema de carência de água para as culturas em geral, podendo porém ocorrer eventuais necessidades de irrigação suplementar para culturas mais sensíveis e pequenas deficiências hídricas,

TABELA 3. Valores de precipitação (mm) e suas médias, a diferentes níveis de probabilidade para períodos de quinze dias (Belém, período 1967-1983).

Período	Média	Nível de probabilidade									Estimativa	
		95	90	80	70	50	30	20	10	5	Alfa	Beta
1	157.7	285.2	256.5	214.2	186.7	146.4	112.5	94.8	73.6	59.0	4.571	34.503
2	182.2	288.5	270.8	234.4	210.4	174.1	142.3	125.3	103.9	88.3	7.507	24.272
3	221.8	331.4	303.5	271.2	249.5	216.2	186.0	169.1	147.5	131.3	12.991	17.074
4	222.0	323.5	297.2	268.0	248.0	217.2	189.0	173.2	152.8	147.6	15.203	14.602
5	204.6	337.0	308.0	265.3	237.1	194.9	158.0	138.2	113.6	95.5	6.953	29.428
6	200.0	336.7	299.6	258.4	231.4	190.7	155.3	136.1	112.3	94.8	7.184	27.834
7	174.5	256.7	247.7	218.4	198.8	158.9	142.1	127.4	108.9	94.9	10.066	17.341
8	186.5	309.1	282.9	243.2	216.5	177.2	143.0	124.6	102.1	85.6	5.670	27.962
9	178.7	284.8	262.2	228.2	205.6	171.4	141.3	124.9	104.4	89.3	8.112	22.025
10	120.6	192.4	174.9	152.8	138.2	110.1	96.5	85.9	72.4	62.3	8.812	13.690
11	93.9	181.0	156.1	129.2	111.7	86.3	65.1	54.3	41.4	32.5	4.073	23.047
12	64.4	134.7	113.9	91.7	77.6	57.6	41.4	33.2	24.0	20.3	3.054	21.099
13	101.3	203.4	173.8	141.9	121.3	91.8	67.5	55.2	41.0	31.4	3.499	28.939
14	67.0	117.0	115.8	94.3	80.4	60.6	44.4	36.2	26.6	20.2	3.401	19.710
15	56.9	120.0	101.4	81.4	68.7	50.6	36.1	28.9	20.7	18.0	2.947	19.313
16	73.8	142.9	123.0	101.8	87.8	67.7	51.1	42.5	32.2	27.8	4.019	18.361
17	73.9	137.8	119.8	100.2	87.4	68.7	52.9	44.6	34.7	27.9	4.651	15.892
18	72.2	138.2	119.5	99.0	85.7	66.5	50.3	42.0	32.1	25.4	4.169	17.310
19	50.7	108.9	91.4	73.0	61.3	44.8	31.5	25.0	17.7	14.1	2.780	18.237
20	58.0	108.1	108.1	88.2	70.5	47.4	29.9	21.9	13.4	8.6	1.747	33.215
21	51.5	148.2	115.3	82.0	62.4	37.2	20.2	13.1	6.6	3.9	1.122	45.896
22	54.0	123.0	101.9	79.7	65.7	46.4	31.3	24.1	16.2	12.6	2.277	23.737
23	63.0	162.1	130.3	97.2	77.0	50.0	30.4	21.6	12.7	7.8	1.544	40.791
24	148.4	263.7	231.9	196.6	173.7	139.7	110.5	95.1	76.2	62.8	5.666	26.184

Obs: Ajustamento de uma distribuição gama, com parâmetros alfa e beta, estimados pelo método da máxima verossimilhança.

TABELA 4. Valores de precipitação (mm) e suas médias a diferentes níveis de probabilidade para períodos mensais (Belém, período de 1967-1983).

Período	Média	Nível de probabilidade								Estimativa		
		95	90	80	70	50	30	20	10	5	Alfa	Beta
1	357.1	493.2	459.2	420.2	393.3	351.5	312.8	290.8	262.1	240.1	21.266	16.794
2	411.0	588.2	543.4	492.0	457.0	402.8	353.2	325.4	289.3	261.4	16.876	24.356
3	420.1	603.4	556.7	504.0	467.7	411.7	360.3	331.6	294.1	265.5	16.490	25.476
4	361.1	519.8	479.4	433.2	402.0	353.7	309.4	284.4	252.1	227.6	16.298	22.154
5	304.8	454.8	416.1	372.4	342.7	297.1	255.9	233.0	203.3	191.5	13.191	23.107
6	162.9	289.7	254.6	216.0	190.8	153.5	121.3	104.3	83.7	70.8	5.657	28.800
7	168.5	274.7	246.1	214.6	193.5	161.8	133.8	118.5	99.4	85.5	8.355	20.166
8	135.4	220.7	197.8	172.5	155.5	130.0	107.5	95.3	79.9	68.7	8.363	16.192
9	141.1	220.0	199.4	176.0	160.4	136.6	115.4	103.7	88.8	82.9	10.429	13.532
10	110.6	240.1	201.5	160.0	133.8	97.2	67.9	53.5	37.3	27.0	2.665	41.493
11	106.0	238.5	198.5	155.5	128.8	91.5	62.3	48.3	32.7	23.0	2.369	44.753
12	199.0	347.4	306.5	261.8	232.2	188.2	150.1	130.0	105.1	87.3	6.088	32.677

Obs: Ajustamento de uma distribuição gama, com parâmetros alfa e beta, estimados pelo método da máxima verossimilhança.

como mudas em viveiro e hortaliças em geral.

Como outro exemplo do uso das Tabelas de 1 a 4 pode-se dizer que o produtor, interessado em conhecer a pluviosidade máxima de um certo período do ano, a um nível de 5% de probabilidade, observará

na tabela referente àquele período que, segundo o conjunto de dados pluviométricos estudados, de 100 totais de precipitação para o período apenas cinco terão valores iguais ou abaixo do indicado na tabela. Analogamente, se o nível desejado é o de 95% de probabilidade, de 100 totais de

precipitação para o período, 95 ocorrerão com valores iguais ou menores que aquele dado pela tabela.

Assim, caso o período seja mensal, no mês de março, por exemplo, pode-se esperar que em 100 ocorrências do total da precipitação nesse mês, ao nível de 5%, cinco totais tenham valores iguais ou menores que 265,5 mm, ou que 90 (correspondente ao nível de 90 por cento) sejam iguais ou menores que 556,7 mm.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dr. Fernando L. Garagorry, Chefe do DPO/DMQ, pelas sugestões no processamento e análise dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARRUDA, H.V. & PINTO, H.S. A simplified gamma probability model for analysis of the frequency distribution of rainfall in the region of Campinas-SP, Brazil. *Agric. Meteorol.*, 22:101-8, 1980.
- BASTOS, T.X.; CHAIB FILHO, H.; DINIZ, T.D. de A.S. & LOBATO, V.H.B. **Flutuação das chuvas na região de Belém em distintos intervalos de tempo. Período 1967-1983.** Belém, EMBRAPA-CPATU, 1984. 16p. Trabalho apresentado no 1.º Simpósio do Trópico Úmido, Belém, 1984.
- CASTRO, L.L.F., SEDIYAMA, C.G. GUIDONI, A.L. **Probabilidade de precipitação mensal e anual para o Estado do Espírito Santo.** Cariacica-ES., EMCAPA, 1981. 84p. (EMCAPA. Boletim Técnico, 7).
- CRUTCHER, R.H.L.; BARGEN, G.L. & McKAY, G.F. **A note on a gamma distribution computer program and graph paper.** Washington, Department of Commerce Environmental Data Service, 1973. 92p. (NOAA. Technical Report EDS 11).
- CUNHA, O. R. da & BASTOS, T.X. **A Contribuição do Museu Emílio Goeldi à meteorologia na Amazônia.** Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi, 1973. 69p. (Museu Paraense Emílio Goeldi. Publicações Avulsas, 23).
- ELLIS, J. **Análise estatística das alturas de chuvas anuais e mensais em Manaus, Amazonas.** Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Meteorologia, 1972. p.1-12.
- JOHNSON, N.L. & KOTZ, S. **Continuous univariate distribution-1.** Boston, Houghton Mifflin, 1970. 300p.
- MORAES, J.C. de S.; COSTA, J.P.R.C. & SANTOS, M. A.R. Um estudo estatístico sobre as precipitações em Belém. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 35; Belém, 1983. **Resumos ...** Belém, 1983. p.578.
- NECHET, D. Variabilidade diurna da precipitação em Belém-Pará. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 35, Belém, 1983. **Resumos ...** Belém, 1983. p.577.
- SEDIYAMA, C.G. **Simulation of subtropical environmental parameters for modeling irrigation requirements machinery timeliness factors and production response of soybeans.** Califórnia, University of California 1977. Tese doutorado.
- STROMMEN, **Monthly precipitation probabilities for climatic divisions in Michigan.** East Lansing, Michigan Department of Agriculture. Michigan Weather Service, 1974. 32p.
- VIVALDI, L.J. **Utilização da distribuição gamma em dados pluviométricos.** Brasília, EMBRAPA-DMQ, 1982. 53p. (EMBRAPA-DMQ/A/64).

VARIAÇÃO SAZONAL DAS PERDAS POR INTERCEPÇÃO DE CHUVA NO *Theobroma cacao*

Ricardo Augusto Calheiros de Miranda¹
e Luiz Carlos Eduardo Milde²

RESUMO: Um estudo microclimático, cujo objetivo é conhecer os índices sazonais da interceptação de chuva em cacaueiro, vem sendo conduzido em uma área do Centro de Pesquisas do Cacau (14°45'S e 39°14'W) em Ilhéus, Bahia. Neste estudo, utilizaram-se dez pluviômetros, em forma de funil, instalados sobre mastros a 80 cm do topo da copa do cacaueiro e outros 24 coletores construídos com tubo de PVC, distribuídos sob dois cacaueiros e posicionados ortogonalmente a distâncias fixas do tronco de 30, 90 e 150 cm. Coletores construídos em alumínio e instalados em quinze árvores mediram a quantidade de água de chuva escoada pelo tronco. O total precipitado sobre a área experimental foi medido por dois coletores de PVC instalados em duas clareiras adjacentes à parcela experimental. Pelos resultados, verificou-se que as perdas por interceptação variam sazonalmente e que, em média, 18% do total precipitado sobre o cacaueiro fica retido em sua cobertura vegetal, cerca de 80% chega ao solo diretamente por percolação através da copa do cacaueiro, restando a fração de 2% para escoamento superficial pelo tronco.

Termos para indexação: Interceptação de chuva, chuva percolada, escoamento pelo tronco, balanço hídrico.

SEASONAL VARIATION OF RAINFALL LOSSES BY INTERCEPTION IN *Theobroma cacao*

ABSTRACT: A microclimatological study aiming at evaluating seasonal indices of rainfall interception by a cocoa tree is underway at the Cocoa Research Center (14°45'S and 39°14'W), at Ilhéus, Bahia, Brazil. In this study, funnel shaped raingauges were used over masts 80 cm higher than the top of the cocoa tree canopy as well as other twenty four collectors made of PVC pipe, distributed under two cocoa trees, orthogonally arranged at fixed distances from the trunk, namely 30, 90 and 150 cm. The stemflow water was measured with aluminum-made collectors placed in fifteen trees. Total rain fallen over the experimental area was measured by two PVC collectors placed in two clearings located near the experimental plot. The results show that the losses by interception changed seasonally, and that, in average, 18% of the rain fallen over the cocoa tree, is retained by its canopy, around 80% reaches the ground directly by percolation through the cocoa tree canopy, remaining 2% for stemflow.

Index terms: Rainfall interception, throughfall, stemflow, water balance.

¹Meteor. M.Sc. CEPLAC-CEPEC. Caixa Postal 7. CEP 45600. Itabuna, BA.

²Eng. Agr. M.Sc. CEPLA-CEPEC. Caixa Postal 7. CEP 45600. Itabuna, BA.

INTRODUÇÃO

Do volume de chuva precipitado sobre uma determinada comunidade vegetal, a parcela que é interceptada pela copa das árvores, para posteriormente ser evaporada para a atmosfera, é de 20% a 40% em sistemas formados por coníferas e de 10% a 20% para decíduas (Zinke 1967).

Índices médios de 29% e 19% foram citados por Odum (1967) e Golley et al. (1975), respectivamente, para comunidades de clima tropical. Franken et al. (1982) verificaram, em uma parcela da floresta amazônica brasileira, que do total de chuva precipitado, cerca de 78% chega diretamente ao solo e 22% é referente às perdas por interceptação.

Com relação aos estudos direcionados ao aspecto da sazonalidade das perdas por interceptação da chuva, embora a bibliografia seja restrita, Glebb (1963) demonstrou que as perdas por interceptação variam diretamente com a densidade foliar e inversamente com o total precipitado. Delf (1967), sem qualquer alusão ao regime pluviométrico local, verificou que, em florestas de abetos, do total precipitado, 42% foi interceptado no verão e somente 16% foi interceptado no inverno. Burger (1932), citado por Molchanov (1963), observou que pinheirais de 45 anos de idade retêm sobre suas copas no inverno, quase tanta chuva quanto no verão.

METODOLOGIA

Este estudo foi conduzido em área do Centro de Pesquisas do Cacau, localizado no município de Ilhéus, Bahia.

As observações correspondem a um período de um ano e foram analisadas por pancada de chuva, em uma parcela central de uma área ocupada por cacaueiros híbridos de oito anos de idade, plantados no espaçamento de 3m x 3m, parcialmente sombreados com *Erythrina glauca* L., plantada no espaçamento de 24 m x 24 m e apresentando altura da copa oscilando

entre 8 e 10 metros.

Na qualificação das perdas por interceptação no cacaueiro, observaram-se os seguintes componentes: parcela do total precipitado que chega ao topo da copa do cacaueiro; parcela do total precipitado que atinge o solo através das gotas que penetram diretamente pelos espaços entre a copa do cacaueiro ("throughfall"); e escoamento superficial ao longo do tronco ("stemflow").

Para a estimativa do total precipitado que atinge o topo da copa do cacaueiro, utilizaram-se dez coletores em forma de funil com 12,7 mm de diâmetro, construídos em latão e instalados a aproximadamente 80 cm da copa.

Quanto à fração desse total, relativa à percolação direta pela copa do cacaueiro, foi medida por pluviômetros posicionados sob a copa de um cacaueiro, sendo um fixo e outro móvel (intervalo de troca de uma semana). Sob ambas as árvores foram colocados doze pluviômetros de PVC (Miranda 1982), arranjados ortogonalmente e posicionados a distâncias fixas do tronco de 30 cm, 90 cm e 150 cm.

Na quantificação da parcela de água de chuva escoada pelo tronco, utilizaram-se quinze coletores construídos com alumínio flexível (90 cm x 7 cm) e fixados como uma espiral ao redor do tronco do cacaueiro, sendo posicionados a 80 cm da superfície do solo. A transformação dos valores obtidos em volume de água para altura de água (mm) foi obtida dividindo-se o volume coletado em quinze cacaueiros pela área média da copa, ou seja, 3 m².

Quanto ao acompanhamento fenológico, corresponde a observações semanais de quinze cacaueiros distribuídos na área experimental.

RESULTADOS

Avaliou-se a percolação média da chuva através da copa do cacaueiro, quanto ao efeito da interação entre o local de medição (fixo ou móvel) e a posição dos coleto-

res, hierarquizados segundo a distância entre a árvore e os coletores. As análises estatísticas levam a constatar-se que não houve diferença significativa nas percolações médias observadas após cada pancada de chuva, e entre as medições em locais fixos e móveis, e/ou entre as diferentes distâncias dos pluviômetros em relação ao tronco (Tabela 1).

TABELA 1. Percolação média da chuva no cacaueiro, em função dos pontos cardiais e de três distâncias do tronco.

Local de medição		Distância em relação ao tronco			
		30cm	90cm	150cm	P
Fixo	Norte	1,8	2,5	1,9	0,2491
	Leste	2,4	2,8	2,1	0,2315
	Sul	2,2	2,5	2,4	0,7727
	Oeste	2,1	1,9	2,5	0,3516
Móvel	Norte	2,6	2,7	2,3	0,6753
	Leste	1,8	2,0	2,4	0,3064
	Sul	1,5	2,2	2,6	0,0485
	Oeste	2,6	2,2	1,8	0,1560

* p = nível mínimo de significância para a estatística "F" de Fisher-Snedecor calculada.

Fazendo-se a análise de frequência das precipitações coletadas nos três horários sinóticos, durante os anos de 1983 e 1984, e utilizando-se duas classes de precipitação, chuvas fracas (pancadas inferiores a 5,5 mm) e chuvas fortes (pancadas maiores ou iguais a 5,5 mm), verificou-se que as chuvas fracas predominam em número, em relação às chuvas fortes e que o total de frequências no horário das 09:00 horas, para ambas as classes, é sempre superior aos demais horários, como consequência, talvez, do maior intervalo de tempo entre as observações neste período (Fig. 1 e 2).

Na Fig. 3 é mostrado o acompanhamento dos lançamentos mensais de folhas do cacaueiro, durante o período das observações constatando-se um pico de lançamento no verão, cujos efeitos sobre as perdas por interceptação parecem se manifestar apenas no outono, devido à baixa capacidade de retenção de água pelas folhas recém-lançadas, que no caso do cacaueiro apresentam-se em posição pendente. No in-

verno, justifica-se a interceptação média de 23% como decorrência da alta frequência de chuvas fracas e da baixa intermitência das mesmas no período. Quanto às demais estações, primavera e verão, embora apresentem índices de 17% e 13%, respectivamente, estes são devidos não só ao decréscimo da área foliar durante parte do período como à presença de chuvas convectivas. A Fig. 4 mostra a representação da variação sazonal das perdas por interceptação no cacaueiro.

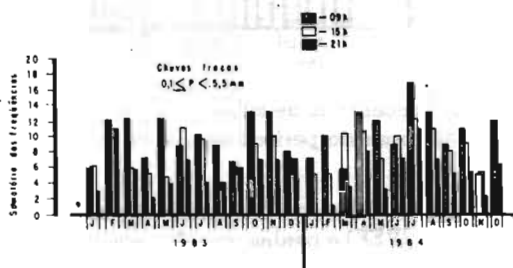


FIG. 1. Frequência de classe de chuvas fracas ocorridas nos três horários sinóticos.

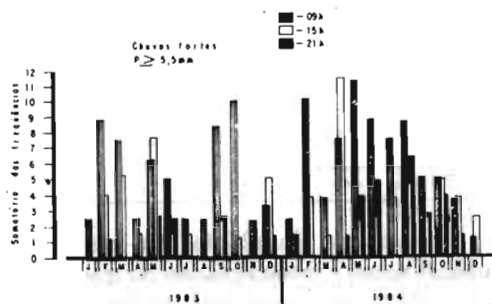


FIG. 2. Frequência de classe de chuvas fortes ocorridas nos três horários sinóticos.

A Tabela 2 apresenta os resultados da variação média dos parâmetros envolvidos no processo da interceptação, classificados de acordo com a escala aritmética simplificada, utilizada por Milde (1983) para a região cacaueira do sudeste da Bahia.

CONCLUSÃO

Com base na coletânea de pancadas observadas no período, pode-se constatar que a perda por interceptação é um parâmetro variável, em função de fatores fenológicos e climáticos.

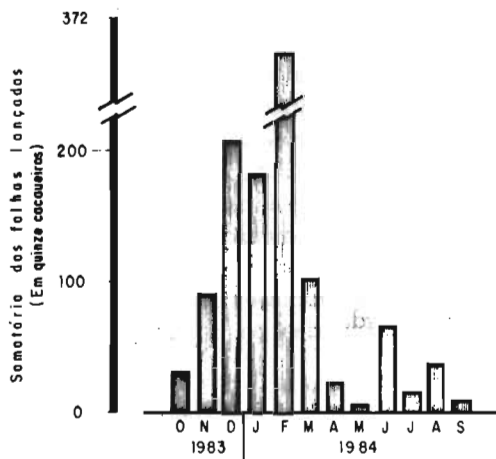


FIG. 3. Lançamento de folhas do cacaueiro no decorrer do período analisado.

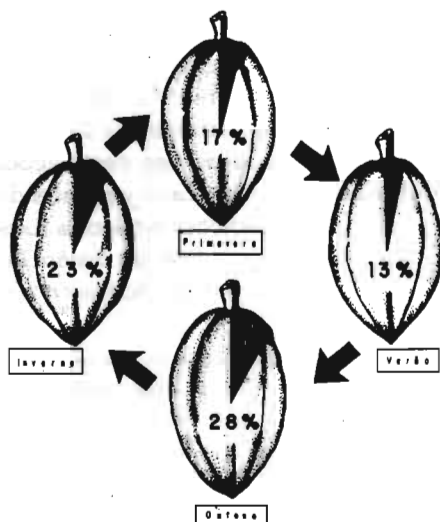


FIG. 4. Variação sazonal das perdas de água de chuva por interceptação no *Theobroma cacao*.

TABELA 2. Valores médios para o "throughfall" (THRO), "stemflow" (STEM), precipitação efetiva (PEF) e perdas por interceptação (INTE), em função da escala aritmética simplificada das classes de altura de chuva (PRE) da região cacaueira.

Classes	Frequência	THRO (MM)	STEM (MM)	P.EF (MM)	INTE (MM)
0,1 < PRE ≤ 1,5	20	0,51	0,00	0,51	0,13
1,5 < PRE ≤ 5,5	17	2,34	0,09	2,43	0,51
5,5 < PRE ≤ 9,5	11	5,32	0,29	5,61	1,17
9,5 < PRE ≤ 29,5	11	12,80	0,39	13,19	2,35
29,5 < PRE ≤ 56,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0
PRE > 56,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0

A fenologia da planta tem mais influência sobre a interceptação do que o tipo de chuva de acordo com as classes utilizadas. A percentagem de interceptação é diretamente proporcional à densidade da copa e à distribuição das precipitações, contrariando, em parte, os resultados de Glebb (1963), embora confirme o que foi constatado por Jackson (1971), quando verificou que a variação das perdas por interceptação era associada com diferenças na área foliar.

Constatou-se que quanto maior o total precipitado por unidade de tempo, menor é a quantidade de água de chuva interceptada pela copa do cacaueiro. O escoamento superficial pelo tronco, aparentemente só é significativo a partir de uma pancada forte como consequência mais da influência

do tipo de ramificação do que da rugosidade da casca do cacaueiro.

Finalmente, concluiu-se que, em termos médios, do total precipitado sobre um cacaueiro, 18% é interceptado e posteriormente retorna à atmosfera por evaporação, 80% chega ao solo, através das gotas que penetram diretamente entre a copa do cacaueiro, enquanto 2% é escoado pelo tronco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DELF, J. Interception and stemflow in stands of Norway spruce and beech in West Germany. In: SÖPPER, W.A. & HULL, H.W., eds. **Forest Hydrology**. Oxford, England, Pergamon, 1967. p.179-85.

- JACKSON, I.J. Problems of throughfall and interception assessment under a tropical forest. *J. Hydrol.*, 12:234-54, 1971.
- FRANKEN, W. et al. Interceptação das precipitações em floresta amazônica de terra firme. *Acta Amaz.*, Manaus. 12(3):15-22, 1982.
- GLEBB, A.G. Rainfall interception in a tropical forest. *Caribb. For.*, 24(2):75-9, 1963.
- GOLLEY, F.B. et al. Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida. São Paulo, USP, 1975, 256p.
- MILDE, L.C.E. Estudo de precipitação diária, regimes pluviométricos e modelos de distribuição para região caueira do sudeste da Bahia. João Pessoa, UFPB. 1983. 110p. Tese mestrado.
- MIRANDA, R.A.C. **Interception of rainfall in an apple orchard and its subsequent evaporation.** Norwich, England. University of East Anglia, 1982. 140p. Tese mestrado.
- MOLCHANOV, A.A. **Hidrologia florestal.** Lisboa, Fundação Calouste Gubenkian, 1963. 419p.
- ODUM, H.T. **Hydrogen budget and compartments in the fourt El Verde, Porto Rico, pertinent to consideration of tritium metabolism.** s.l., s.ed. 1967. v.1.
- ZINKE, P.J. Forest interception studies in the United States. In: SOPPER, W.E. & HULL, H.W., eds. **Forest hydrology.** Oxford, England, Pergamon, 1967. p. 137-61.

AVALIAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL (ETP) PARA A REGIÃO DE BELÉM — PARÁ

Herberto Tocantins Maltez¹, Maria Gil Lopes
Maltez², Therezinha Xavier Bastos³ e
Tatiana Deane de Abreu Sá Diniz³

RESUMO: Este trabalho trata da avaliação do valor da evapotranspiração potencial (ETP) por diferentes métodos, procurando colocar em evidência suas limitações e condições de utilização para a região de Belém. Para isso, foi desenvolvida uma série de programas em linguagem BASIC que permite em um computador, de 64k de memória, calcular a ETP pelos métodos de Thornthwaite, Turc, Penman e Bouchet. Foram utilizados dados obtidos na estação climatológica do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (CPATU) de coordenadas 1°28' lat. Sul e 48°27' long. Oeste de Greenwich, durante um período de doze anos. Comparando-se os resultados obtidos e tomando como referência o método de Penman, que integra o máximo da fatores climáticos, constatou-se que o método de Turc, de formulação e uso mais simples, fornece uma boa aproximação.

Termos para indexação: Métodos de estimativa de evapotranspiração potencial, método de Thornthwaite, método de Penman, método de Turc, método de Bouchet, região amazônica.

POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION ASSESSEMENT FOR THE REGION OF BELÉM, STATE OF PARÁ, BRAZIL

ABSTRACT: This paper presents an evaluation of four methods of estimating potential evapotranspiration. The objective is to analyze the advantages and disadvantages of those methods in order to be utilized in Belém, State of Pará-Brazil. Sets of BASIC programs in a 64k computer to calculate potential evapotranspiration were used by Thornthwaite, Turc, Penman and Bouchet methods. The climatological data were obtained from Center of Agricultural Research for the Humid Tropics - CPATU, through its Climatological Station located at 1°28' South and 48°27' West, during a period of twelve years. The results were compared taking as reference the Penman method that integrate greater number of climatological factors. It was observed that the Turc method, wich has a more simple formula, exhibits good approximation.

Index terms: Estimative methods for potential evapotranspiration, Thornthwaite method, Penman method, Turc method, Bouchet method, Amazon Region.

¹Geólogo Docteur d'Etat UFPA. Campus Universitário do Guamá. CEP 66000. Belém, PA.

²Matemática Docteur d'Etat UFPA. Campus Universitário do Guamá. CEP 66000. Belém, PA.

³Eng. Agr. M. Sc. EMBRAPA-CPATU. Caixa Postal 48. CEP 66000. Belém, PA.

Trabalho financiado pela CNPq e UFPA.

INTRODUÇÃO

A avaliação das características hídricas de uma bacia hidrográfica necessita que se tome em consideração as perdas de água por evapotranspiração que compreende de um lado a evaporação direta e de outro a transpiração das plantas.

A evapotranspiração é um fenômeno complexo que depende da energia solar disponível e da reserva hídrica do solo (Choisnel 1977). Por outro lado, intervém em menor grau e em condições difíceis de se avaliar a natureza e características da cobertura vegetal e pedológica do solo.

Compreende-se, pois, que o conhecimento quantitativo da evapotranspiração potencial irá permitir estudar as variações de umidade do solo, que condiciona, por exemplo, a quantidade de água necessária à vegetação e, em consequência, está relacionada com problemas de irrigação e do resíduo disponível para alimentação dos aquíferos.

Dois conceitos são associados à noção de evapotranspiração: a evapotranspiração potencial (ETP) e a evapotranspiração real (ETR).

A noção de evapotranspiração potencial foi introduzida por Thornthwaite & Mather (1954) e mais tarde redefinida a base física por Penman (1956) como sendo a evapotranspiração de uma superfície do solo totalmente coberta de relva curta e uniforme e bem suprida em água, isto é, com toda a água que o fenômeno necessita.

A evapotranspiração real difere dessa definição de um lado, pela diferença da cobertura vegetal e de outro, e sobretudo, pela alimentação real possível do solo em água (Bouchet 1963).

Pode-se obter a evapotranspiração potencial de uma região através de métodos diretos, utilizando dispositivos apropriados (lisímetros) ou através de fórmulas nas quais intervêm dados climáticos como temperatura média do ar, insolação, radiação solar, etc.

Alguns autores estabelecem fórmulas empíricas de cálculo de ETP a partir de dados climáticos fazendo ajuntamentos estatísticos entre os dados de estações experimentais em um modelo teórico (Thornthwaite, Turc, etc). Por outro lado, outros autores, como Penman e Bouchet, propuseram uma avaliação da ETP através de cálculos apropriados, utilizando o balanço de energia.

Considerando a radiação solar, é importante frisar que a mesma desempenha um papel determinante nos mecanismos termodinâmicos geradores dos fenômenos meteorológicos. Isto implica que o processo da evaporação ao nível da superfície do solo depende, portanto, desse parâmetro. É necessário também considerar que a atmosfera atenua a radiação que atinge a superfície do solo, devendo-se levar em consideração os conceitos de radiação diária teórica do sol na ausência da atmosfera e da radiação global do sol que considera o efeito da atuação da atmosfera.

Este trabalho trata da avaliação da evapotranspiração potencial para a região de Belém, através de processos estimativos utilizando parâmetros climáticos como temperatura do ar e umidade relativa do ar, evaporação de piché, insolação e radiação solar procurando colocar em evidência as vantagens e desvantagens da utilização dos diferentes processos. Como não houve dados de lisímetros, o problema foi abordado por via matemática em função dos parâmetros climáticos utilizados.

MATERIAL E MÉTODOS

Para esse trabalho foram utilizados os métodos estimativos de evapotranspiração potencial propostos por Thornthwaite, Turc, Penman e Bouchet conforme segue:

a) Cálculo da radiação diária teórica do sol na ausência da atmosfera.

Inicialmente considerou-se a radiação solar teórica na ausência de atmosfera, partindo de sua expressão diferencial:

$$dR_{ga} = \frac{J_0}{r^2} \cos z \, dt \quad (1)$$

onde J_0 é uma constante igual a $116,4 \text{ cal/cm}^2/\text{h}$

r = raio vetor da terra (distância entre o centro da terra e o centro do sol). Esta distância é expressa em relação à distância real do semi-eixo da órbita da Terra. Ela é função do dia e do mês do ano. Seus valores são dados em tabelas (por exemplo, tabelas de Smithsonian)

t = hora solar

z = distância zenital do sol

$$\cos z = \sin \psi \sin \gamma + \cos \psi \cos \gamma \cosh$$

onde ψ = latitude do lugar de observação
 γ = declinação do sol, função do tempo e tado pelas tabelas de Smithsonian.

h = ângulo horário do sol

$$t = 12 \left(1 + \frac{h}{\pi} \right)$$

t é dado em horas e h em radianos, portanto:

$$dt = \frac{12}{\pi} dh$$

Então:

$$dR_{ga} = \frac{12}{\pi} \frac{J_0}{r^2} (\sin \psi \sin \gamma + \cos \psi \cos \gamma \cosh) dh$$

considerando que γ e r permanecem constantes durante o dia, pode-se integrar a equação precedente entre os limites h_2 e h_1 , isto é, no intervalo de um dia. Esses limites correspondem a $z = \pm \pi/2$, então $\cos z = 0$, logo as duas soluções de h são: $h_1 = -\arccos(-\operatorname{tg} \psi \operatorname{tg} \gamma)$ $h_2 = \arccos(-\operatorname{tg} \psi \operatorname{tg} \gamma)$

$$R_{ga} = \frac{12}{\pi} \frac{J_0}{r^2} ((h_2 - h_1) \sin \psi \sin \gamma + \cos \psi \cos \gamma (\sin h_2 - \sin h_1))$$

sabendo-se que: $h_1 = -h_2$ e $\sin h_1 = -\sin h_2 = -\sin h$. Então:

$$\begin{aligned} R_{ga} &= \frac{12}{\pi} \frac{J_0}{r^2} (2 \arccos(-\operatorname{tg} \psi \operatorname{tg} \gamma) \sin \psi \sin \gamma + \cos \psi \cos \gamma (2 \sin h)) \\ &= \frac{12}{\pi} \frac{J_0}{r^2} (2 \arccos(-\operatorname{tg} \psi \operatorname{tg} \gamma) \sin \psi \sin \gamma + \cos \psi \cos \gamma (2 \sin \arccos(-\operatorname{tg} \psi \operatorname{tg} \gamma))) \end{aligned}$$

finalmente:

$$R_{ga} = \frac{24 J_0}{\pi r^2} (h \sin \psi \sin \gamma + \cos \psi \cos \gamma \sin h) \quad (2) \text{ e}$$

$$h = \arccos(-\operatorname{tg} \psi \operatorname{tg} \gamma) \quad (3)$$

Os valores de R_{ga} dependem do tempo e da latitude do lugar de observação.

A duração teórica do dia h é o intervalo entre o aparecimento e o pôr do sol. Em consequência pode-se obter h calculando a diferença de h entre esses instantes. Deste modo tem-se:

$$\Delta h = 2 \arccos(-\operatorname{tg} \psi \operatorname{tg} \gamma)$$

A duração teórica do dia expressa em horas é:

$$H_n = \frac{24}{2\pi} \Delta h$$

$$H_n = \frac{24}{\pi} \arccos(-\operatorname{tg} \psi \operatorname{tg} \gamma) \quad (4)$$

Que é, como no caso da radiação solar, função da época do ano e da latitude do lugar de observação.

Considerando que as fórmulas precedentes dependem da declinação do sol e do raio vetor da terra. As Tabelas 1 e 2 fornecem esses valores para os dias 1, 5, 9, 13, 17, 21, 25 e 29, correspondentes aos diversos meses do ano (Tabelas de Smithsonian).

Considerando a fórmula da duração teórica do dia, conhecida pelos astrônomos com o nome de duração astronômica do dia, obteve-se a seguinte tabela para a região de Belém (Tabela 3).

Por outro lado, a radiação diária teórica do sol na ausência de atmosfera, de acordo com a fórmula dada anteriormente, apresenta os seguintes resultados: (Tabela 4).

A evolução da radiação diária teórica do sol na ausência de atmosfera apresenta um comportamento cíclico num período anual. A Fig. 1 mostra que essa radiação é muito elevada durante todo o ano. Vê-se na Tabela 5 os limites de oscilações da radiação diária teórica do sol.

Para exprimir esse comportamento através de uma curva conveniente definida

matematicamente, foi efetuado um tratamento computacional utilizando a técnica de análise de regressão de modelo polinomial, cujo resultado obtido é apresentado na Fig. 1.

b) Determinação da expressão matemática da radiação global para a região de Belém.

A expressão matemática da radiação global foi estudada por Black et al. (1954) e utilizada por Penman (1956) e Turc (1961) para o cálculo de evapotranspiração potencial relativa a estações meteorológicas situadas na Europa, Estados Unidos e África. De acordo com esses autores, a radiação global é uma função da insolação relativa (relação entre a duração da insolação e a duração teórica do dia):

$$R_g = R_{ga} (a + bEr)$$

TABELA 1. Declinação do sol expressa em graus (Tabelas de Smithsonian)

Dia Mês	1	5	9	13	17	21	25	29
Jan	-23,068	-22,7	-22,217	-21,617	-20,9	-20,083	-19,15	-18,133
Fev	-17,317	-16,167	-14,917	-13,617	-12,25	-10,833	-9,383	-
Mar	-7,883	-6,35	-4,8	-3,233	-1,65	-0,083	1,5	3,067
Abr	4,233	5,767	7,283	8,767	10,2	11,583	12,933	14,217
Mai	14,833	16,033	17,15	18,183	19,15	20,033	20,817	21,5
Jun	21,95	22,467	22,867	23,167	23,367	23,45	23,417	23,283
Jul	23,167	22,867	22,467	21,95	21,35	20,633	19,833	18,95
Ago	18,233	17,2	16,1	14,917	13,683	12,383	11,033	9,65
Set	8,583	7,117	5,617	4,1	2,567	1,017	-0,533	-2,1
Out	-2,883	-4,433	-5,967	-7,483	-8,967	-10,417	-11,833	-13,2
Nov	-14,183	-15,45	-16,633	-17,75	-18,3	-19,75	-20,6	-21,35
Dez	-21,683	-22,267	-22,75	-23,1	-23,333	-23,433	-23,417	-23,283

TABELA 2. Raio Vetor da Terra, expresso em relação ao semi-eixo maior da órbita da Terra (Tabelas de Smithsonian)

Dia Mês	1	5	9	13	17	21	25	29
Jan	0,98324	0,98324	0,98333	0,98352	0,98378	0,9841	0,98448	0,98493
Fev	0,98533	0,98593	0,98662	0,98738	0,98819	0,98903	0,98991	-
Mar	0,99084	0,99182	0,99287	0,99396	0,99508	0,99619	0,99731	0,99843
Abr	0,99928	1,00043	1,0016	1,00276	1,0039	1,005	1,00606	1,00708
Mai	1,00759	1,00859	1,00957	1,01051	1,01138	1,01218	1,01291	1,01358
Jun	1,01405	1,01465	1,01518	1,01564	1,01602	1,0163	1,01649	1,01662
Jul	1,01667	1,01671	1,01669	1,01659	1,01639	1,0161	1,01573	1,0153
Ago	1,01494	1,01442	1,01384	1,01318	1,01244	1,01163	1,01076	1,00986
Set	1,00917	1,00822	1,00723	1,00619	1,0051	1,00397	1,00283	1,0017
Out	1,00114	1,00001	0,99888	0,99774	0,99659	0,99544	0,99433	0,99326
Nov	0,99249	0,9915	0,99054	0,9896	0,98869	0,98784	0,98706	0,98636
Dez	0,98604	0,98546	0,98494	0,98446	0,98405	0,98372	0,98348	0,98334

TABELA 3. Duração teórica do dia expressa em horas para a região de Belém, PA ($1,47^\circ$ de latitude sul)

Dia Mês	1	5	9	13	17	21	25	29
Jan	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
Fev	12,1	12,1	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	-
Mar	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Abr	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	11,9	11,9
Mai	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
Jun	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
Jul	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
Ago	11,9	11,9	11,9	11,9	12,0	12,0	12,0	12,0
Set	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Out	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Nov	12,0	12,0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
Dez	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1

TABELA 4. Radiação diária teórica do sol na ausência de atmosfera, expressa em $\text{cal/cm}^2/\text{dia}$ para a região de Belém, PA.

Dia Mês	1	5	9	13	17	21	25	29
Jan	860,5	862,6	865,1	868,0	871,3	874,8	878,6	882,3
Fev	885,1	888,6	891,9	894,8	897,4	899,4	901,0	-
Mar	901,9	902,1	901,6	900,4	898,4	895,8	892,5	888,5
Abr	885,1	880,1	874,4	868,3	861,8	855,1	848,1	841,0
Mai	837,4	830,2	823,1	816,2	809,5	803,2	797,5	792,3
Jun	788,9	784,7	781,3	778,7	776,8	775,8	775,8	776,4
Jul	777,1	779,0	781,5	784,9	788,9	793,6	798,8	804,4
Ago	808,8	815,0	821,3	827,8	834,4	840,9	847,3	853,5
Set	857,8	863,4	868,6	873,3	877,5	881,1	884,2	886,6
Out	887,6	889,0	889,8	890,0	889,7	888,8	887,4	885,5
Nov	883,8	881,3	878,5	875,7	871,7	869,8	867,0	864,4
Dez	863,2	861,1	859,3	858,2	857,6	857,6	858,1	859,1

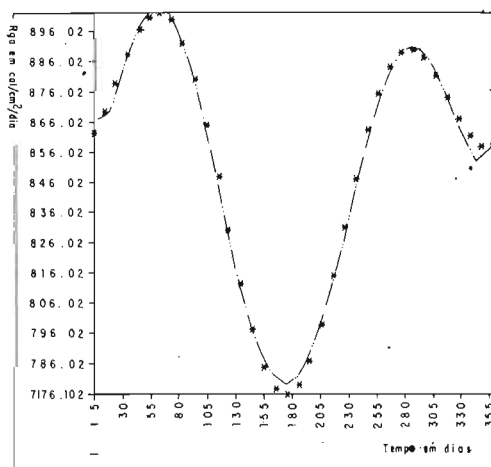


FIG. 1. Evolução da radiação diária teórica do sol na ausência de atmosfera. Resultado de análise da regressão de modelo polinomial para a região de Belém, PA.

TABELA 5. Extremos da radiação diária teórica do sol para Belém.

Extremos	Por volta do dia	Valor em $\text{cal/cm}^2/\text{dia}$
Primeiro máximo	5 de março	902,1
Segundo máximo	13 de outubro	890,0
Mínimo	25 de junho	775,7

R_{ga} = radiação diária teórica do sol na ausência de atmosfera, a e b são fatores locais a determinar.

E_r = insolação relativa

E = duração da insolação diária

H_n = duração teórica do dia

Para uma estação meteorológica bem equipada é possível medir experimentalmente os parâmetros R_g e E . Por outro lado, considerando a latitude da estação, pode-se determinar a radiação diária teórica e a duração teórica do dia pela apli-

cação das fórmulas 2) e 4) do parágrafo precedente.

Partindo então da correlação linear entre R_g/R_{ga} e E/H_n tem-se:

$$\frac{R_g/R_{ga}}{H_n} = a + b E$$

Isso permite, utilizando-se a análise de regressão linear, determinar para essa estação os dois parâmetros locais **a** e **b**, a partir dos dados disponíveis de radiação global e de insolação, relativas aos anos de 1969, 1970 e 1971 para a região de Belém. É evidente que, com aparelho de maior precisão, e um número maior de dados a reta de regressão será melhor definida.

Com os dados disponíveis, obtiveram-se os valores **a** e **b** seguintes:

$$a = 0,28, \quad b = 0,36$$

Dessa forma estabeleceu-se a fórmula que permitirá encontrar o valor da radiação global para a região de Belém quando são conhecidos os valores experimentais da duração da insolação diária E .

c) Descrição dos métodos estimativos da evapotranspiração potencial.

c.1) Método de Thornthwaite

Thornthwaite (1954) procurou relacionar a evapotranspiração potencial com a temperatura média do ar medida num abrigo apropriado, a fim de evitar a incidência direta do sol. O trabalho de Thornthwaite consistiu em fazer ajustamentos estatísticos das medidas experimentais da evapotranspiração, obtidas em lisímetros com os dados de temperatura, resultando na fórmula seguinte:

$$ETP = 16 \left(\frac{10t}{I} \right)^a \cdot F(\lambda)$$

ETP = evapotranspiração potencial decadária medida em milímetros de água no período considerado.

t = temperatura média do ar em °C
 I = índice térmico anual definido como

$$I = \sum_{j=1}^{12} a_{ij}, \quad \text{onde}$$

a_{ij} é um índice anual definido como

$$a_{ij} = \frac{(T_j)^{1.514}}{5}$$

T_j é a temperatura média no período considerado.

a = é calculado pela fórmula:

$$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,79 \times 10^{-2} I + 0,49$$

$F(\lambda)$ termo corretivo, função da latitude e do tempo.

Vê-se então que a fórmula de Thornthwaite utiliza como único parâmetro climático a temperatura média do ar, o que implica numa suavização das flutuações reais da ETP.

Convém também ressaltar que, para uma dada temperatura média do ar, o poder evaporante do ar depende, entre outros parâmetros, de seu grau higrométrico e da velocidade média do vento, parâmetros físicos que não intervêm nesta fórmula (Pedelaborde 1967; Estianne & Godard 1970; Pegny 1970; Arlery & Guilmet 1973).

c.2) Método de Turc

Turc (1961) estabeleceu empiricamente uma série de fórmulas permitindo obter o déficit de escoamento de uma bacia hidrográfica a partir do conhecimento de dados climáticos. No entanto, são impostas uma série de restrições e limitações para o uso dessas fórmulas. Uma das últimas fórmulas publicadas pelo autor apresenta um campo de aplicação mais geral. Para sua utilização, o meio deve ser irrigado e a umidade relativa do ar superior a 50%.

A fórmula de Turc tem a seguinte expressão:

$$ETP = 0,013 J \frac{t}{t+15} (R_g + 50)$$

ETp = evapotranspiração potencial no período considerado.

J = número de dias do período
(J > 7)

t = temperatura do ar do período em graus centígrados.

R_g = radiação global média do sol em cal/cm²/dia.

Turc introduz, portanto, um novo parâmetro R_g, o que permitirá melhorar a resolução de cálculo da ETP, pois sua fórmula leva em conta a energia radiante do sol.

c.3) Método de Penman

O método de Penman (1948 e 1953) é baseado na evolução do balanço de energia ao nível da superfície evaporante. Os resultados encontrados por diversos autores que aplicam o método em diferentes e inúmeras regiões da Terra são em geral bem próximos da ETP medida com equipamento de campo. Sua utilização necessita do conhecimento não somente da temperatura média do ar, mas também dos seguintes parâmetros: umidade relativa do ar, velocidade média do vento, duração de insolação, albedo da superfície evaporante e radiação global do sol.

A fórmula proposta por Penman tem a seguinte expressão:

$$ETP = \frac{\Delta}{L(\gamma + \Delta)} R_n + \frac{\gamma}{\gamma + \Delta} E_{ad}$$

ETP = evapotranspiração potencial diária em milímetros de água.

L = calor latente de evaporação da água, igual a 59 cal/cm².

Δ = inclinação da curva de tensão de vapor saturante à temperatura t e expressa em milibar/°C.

R_n = radiação solar definida pela fórmula de Brunt (1939) e que representa a radiação solar absorvida pelo solo e pelas plantas e igual a R_c-R_b, onde:

R_c = R_{ga} (a + b E/H_n) (1 - Alb).

R_b = σT⁴ (0,40 - 0,05 √E_d) (0,50 + 0,50 E/H_n).

R_c = radiação solar recebida pela Terra.

R_b = radiação solar difusa.

Alb = albedo da superfície evaporante.

σ = constante de Stephan - Boltzmann

T = temperatura absoluta (K)

E_{ad} = poder evaporante do ar e igual a 0,26 (1 + 0,54 V_t) (E_a - E_d).

E_a = tensão máxima de vapor da água à temperatura t em milibar.

E_d = tensão de vapor da água medida fora de abrigo em milibar.

V_t = velocidade média do vento expressa em cm/seg e medida a dois metros do solo.

Convém fazer algumas observações sobre a utilização da fórmula de Penman.

Considera-se o valor da ETP calculado por essa fórmula idêntico ao obtido pela medida da ETP de uma superfície de água cujo albedo é representado pelo valor correspondente ao da cobertura vegetal da região considerada.

A constante psicrométrica, embora dependa de vários parâmetros físicos, pode ser colocada como função única da pressão atmosférica:

Com efeito, sendo seu valor dado pela expressão $\gamma = \frac{C}{KL} p$ expressa em milibar/°C, onde:

C = calor específico do ar seco à pressão constante, podendo ser considerado constante e igual a 0,239 cal/g/°C.

K = relação entre as massas moleculares do vapor da água e do ar e igual a 0.622.

L = calor latente de evaporação do ar. (59 cal/cm)

P = pressão atmosférica.

Considerando esses valores, a constante psicrométrica pode ser, portanto, colocada como função única da pressão atmosférica:

$$Y = 6,51 \cdot 10^{-4} P \text{ expressa em milibar/}^{\circ}\text{C e } P \text{ em milibar.}$$

Sabendo-se que a pressão atmosférica média da região é de 1.009 milibar, a constante psicrométrica será finalmente:

$$= 0,66 \text{ mbar/}^{\circ}\text{C}$$

c.4) Método de Bouchet

Bouchet (1963) propôs para o cálculo da ETP uma expressão muito simples, considerando o balanço energético de uma superfície evaporante colocada num abrigo apropriado.

A formulação de Bouchet considera a evaporação em um evaporômetro de Piché, a temperatura média do ar e a temperatura de orvalho medida num abrigo especial.

Por outro lado, convém observar que a evaporação medida num evaporômetro de Piché considera, além da temperatura média do ar, a ventilação e o déficit de saturação do ar.

A fórmula de Bouchet tem a seguinte expressão:

$$ETP = B \cdot E_p \cdot \lambda(\theta)$$

O parâmetro B é igual a 0,37, no caso em que o evaporômetro de Piché seja colocado num abrigo a dois metros do solo.

E_p = evaporação no evaporômetro de Piché.

$\lambda(\theta)$ = coeficiente dependente da temperatura que pode ser estimado com a média entre a temperatura média do ar e a temperatura de orvalho.

A temperatura de orvalho de região úmida, como é o caso de Belém, varia muito pouco durante o dia. Ela é bastante próxima da temperatura mínima.

Deste modo, pode-se considerar para essa região a temperatura de orvalho como sendo a temperatura mínima.

Apesar da simplicidade da fórmula de Bouchet, ela deve ser utilizada com muita precaução. O evaporômetro de Piché é efetivamente prático e robusto, no entanto ele é muito sensível ao meio físico circundante (aeração do abrigo, radiação refletida pelo solo, etc.).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tratamento dos dados e resultados.

a.1) Métodos de Thornthwaite

Foi desenvolvido um programa em linguagem BASIC permitindo calcular a ETP decadal, isto é, com uma amostragem de dez dias. O programa calcula inicialmente a evolução da ETP para cada ano individualmente e em seguida realiza os cálculos para um ano estatístico médio (ano normal).

A normal climática referida acima é expressa pela média aritmética de diversos anos. O número de anos deve ser bastante elevado. O desejável é dispor-se de algumas dezenas de anos, trinta, por exemplo, a fim de que novos valores não tenham influência sensível na normal e também para que após diversas flutuações ela termine por se estabilizar. Neste trabalho utilizaram-se dados climáticos de doze anos (de janeiro de 1967 a 31 de dezembro de 1978), tomados na estação meteorológica do ex-IPEAN (Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte), atualmente CPATU (Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido).

Para conveniência do trabalho, são apresentados apenas os resultados relativos ao "ano normal", pois além de ser muito extensa a série de tabelas e gráficos cor-

respondentes a cada ano individualmente, o interesse maior deve residir no cálculo para as normais.

Os resultados obtidos utilizando o método de Thornthwaite são apresentados na Fig. 2.

A sensível elevação da curva na segunda metade do ano é devida ao aumento da temperatura, único parâmetro climático envolvido na fórmula de Thornthwaite.

Por outro lado, o baixo valor da amplitude da ETP assim calculado é devido à baixa variação da temperatura média do ar da região ($1,3^{\circ}\text{C}$).

a.2) Método de Turc

Como no caso do método de Thornthwaite, foi desenvolvido um programa para permitir o cálculo automático da ETP pelo método de Turc.

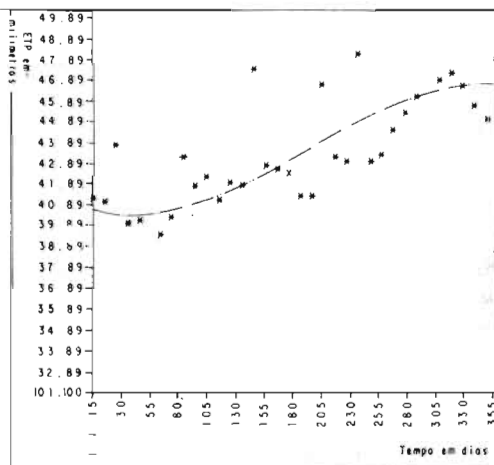


FIG. 2. Evolução da ETP normal obtida pela aplicação da fórmula de Thornthwaite. Curva média ajustada utilizando a análise de regressão polinomial. Belém-Pará.

A Fig. 3 que, representa a evolução decadária da ETP, ajustando uma expressão polinomial aos valores da ETP obtidos, sintetiza o resultado encontrado por esse método.

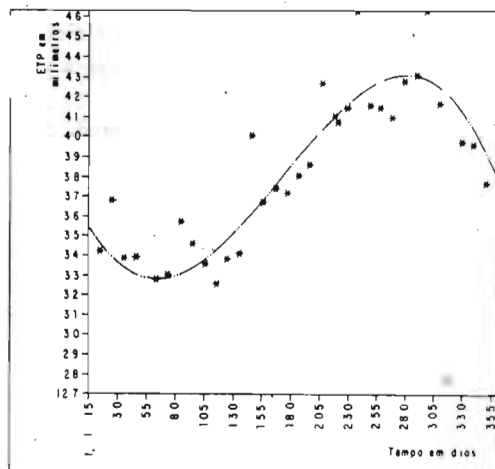


FIG. 3. Evolução da ETP normal obtida pela aplicação da fórmula de Turc. Curva média ajustada utilizando a análise de regressão de modelo polinomial. Belém-Pará.

a.3) Método de Penman

Da mesma forma que para os métodos precedentes, foi desenvolvido um programa para o cálculo da ETP pelo método de Penman.

Na aplicação deste programa para os dados da região de Belém, consideraram-se dois conjuntos de cálculos, o primeiro usando o valor do albedo igual a 0,20, tendo em vista as características geológicas e de vegetação da zona onde se encontra a estação climática, e o segundo igual a 0,05 correspondente à água livre. O interesse nesses cálculos reside tanto na comparação desses resultados como àqueles obtidos pelos outros métodos de cálculo da ETP.

Os resultados são mostrados nas Figs. 4 e 5.

a.4) Método de Bouchet

Os resultados da aplicação do programa de cálculo da ETP pelo método de Bouchet são apresentados na Fig. 6.

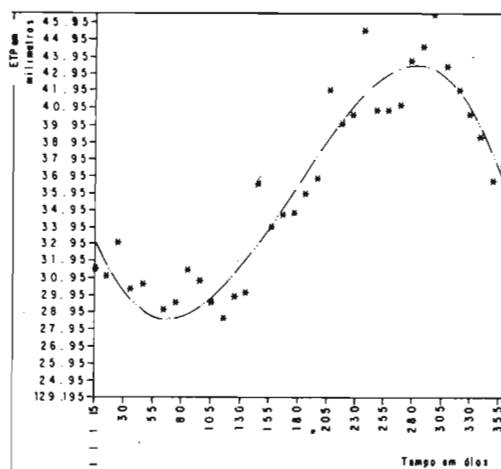


FIG. 4. Evolução da ETP normal obtida pela aplicação da fórmula de Penman utilizando o albedo igual a 0,20 (p/vegetação). Curva média ajustada pela análise de regressão polinomial, Belém-Pará.

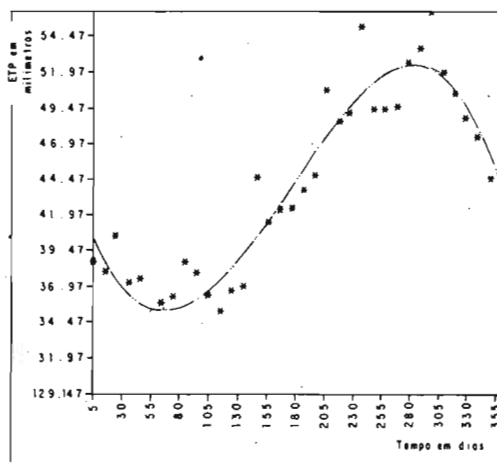


FIG. 5. Evolução da ETP normal obtida pela aplicação da fórmula de Penman utilizando o albedo igual a 0,05 (p/água livre). Curva média ajustada pela análise de regressão polinomial, Belém-Pará.

b) comparação dos métodos de avaliação da ETP para a região de Belém.

As representações gráficas obtidas pela utilização dos diversos métodos de cálculo da ETP foram colocadas num único gráfico a fim de permitir a comparação entre essas curvas (Fig. 7).

Nesse mesmo gráfico apresentou-se também a evaporação medida num tanque

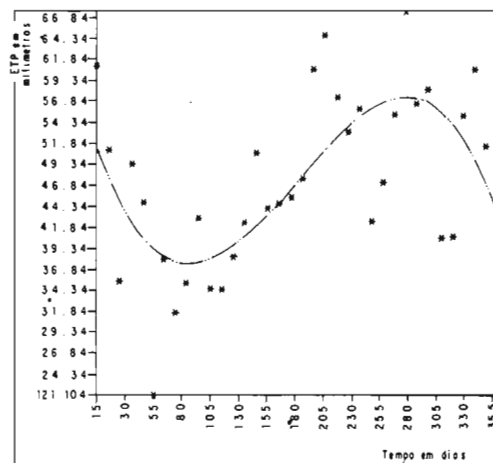


FIG. 6. Evolução da ETP normal obtida pela aplicação da fórmula de Bouchet. Curva média ajustada utilizando a análise de regressão de modelo polinomial, Belém-Pará

"classe A", assim como a ETP calculada com albedo igual a 0,05 (correspondente à água livre) e a curva pluviométrica.

Constatou-se inicialmente que as curvas apresentam uma oscilação completa sazonal no período de um ano, sendo que no período correspondente aos cinco primeiros meses do ano, que representa a estação mais chuvosa da região, as curvas de ETP encontram-se no seu trecho de menores valores, e no período seguinte (menos chuvoso) no trecho de valores mais elevados, correspondente, portanto, à crista da curva.

Verificou-se também, que neste primeiro período os valores pluviométricos são bem mais elevados que os valores de ETP, e depois que a curva pluviométrica atinge seu máximo por volta do mês de março, tende a cair continuamente, atingindo valores comparáveis aos da ETP por volta do mês de julho, até o momento em que os valores de ETP tornam-se superiores aos das chuvas. Podendo dizer que, em certos anos de baixa pluviosidade (como foi o caso do ano de 1983), ocorre um período bem definido na segunda metade do ano (entre setembro e novembro podendo algumas vezes se prolongar até o começo de dezembro)

no qual a ETP é superior às chuvas, com esgotamento da reserva hídrica do solo, acarretando um balanço hídrico do solo deficitário, e em consequência com necessidade de irrigação das áreas cultivadas.

O gráfico mostra também que as curvas da ETP evoluem inversamente com relação ao comportamento das chuvas, o que aliás é previsível.

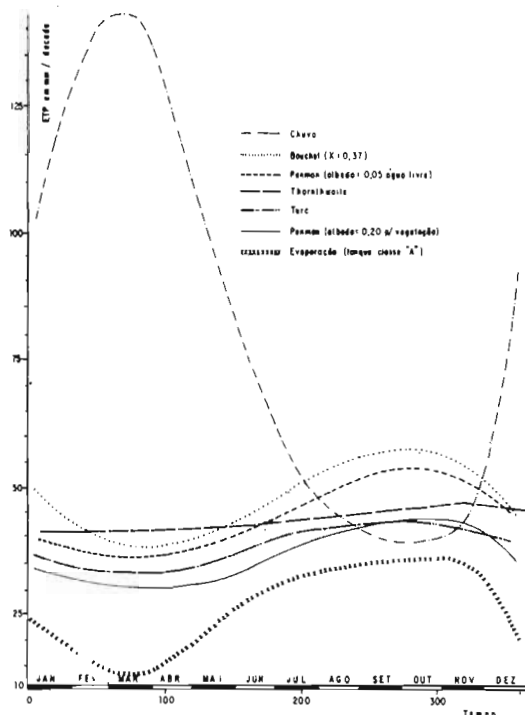


FIG. 7 Comparação das curvas de evapotranspiração potencial obtidas pelos diferentes métodos — Região de Belém.

Por outro lado, pode-se observar que a curva de Thornthwaite é aproximadamente linear, apresentando uma leve subida com máximo em novembro. Isso é devido ao fato de, na fórmula de Thornthwaite, o único parâmetro climático ser a temperatura média do ar, que varia durante o ano, conforme já foi mencionado.

Quanto às curvas de Penman (albedo = 0,20) e Turc, evoluem de modo comparável com uma diferença de 3 a 4 milímetros, até o final do mês de junho, depois do qual a diferença se torna ainda menor.

CONCLUSÕES

Da comparação dos diversos métodos de cálculo da ETP (Thornthwaite, Turc, Penman e Bouchet), foi constatado que o método de Thornthwaite superestima os valores da ETP em relação aos demais métodos. Além disso tem um comportamento quase linear, com uma pequena deflexão por volta do mês de novembro, devido ao método depender unicamente da temperatura e até certo ponto, devido ao fato de ter sido originalmente derivado para períodos mensais.

A dispersão apresentada pelo emprego do método de Bouchet comprometeu a qualidade dos resultados o que deve ter sido em função do coeficiente utilizado. O emprego e o método na região precisam ser cuidadosamente estudados.

Quanto aos métodos de Penman e Turc, conforme foi visto, foram concebidos de forma bastante diferente, apresentando formulações matemáticas diferentes, sendo seu único ponto comum a utilização da radiação global do sol (R_g). Apesar disso, seus resultados foram semelhantes.

Na ausência de informações de dados medidos para a região, considerando-se, portanto, como referência o método de Penman para estimativa da ETP por integrar o máximo de fatores climáticos, constatou-se que, para a região de Belém, a aplicação do método de Turc de formulação e uso mais simples fornece boa aproximação do método de Penman, calculado com o valor de albedo atribuído à vegetação (0,20).

Quanto aos valores encontrados pelos diferentes métodos, observou-se que a região apresenta uma distribuição bastante elevada da ETP durante todo o ano, o que é de se esperar, considerando sua posição geográfica na faixa equatorial da Terra e a presença da exuberante floresta amazônica.

Espera-se que, com a continuidade deste trabalho, onde deverão ser considerados dados climáticos referentes aos anos

seguintes a 1978, bem como dados medidos de ETP provenientes de aparelhos de maior precisão, obtenham-se resultados mais precisos e definitivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANUÁRIO AGROMETEOROLÓGICO DO IPEAN 1967-1968.
- ARLEY, R. & GUILMET, B. *Climatologie, methodes et pratiques*. Paris, Guthier Villars, 1973.
- BLACK, J.; BONNYTHON, C.; PRESCOTT, J. Solar rad. and duration of sunshine. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, p. 231-5, 1954.
- BOUCHET, R. J. Evapotranspiration réelle evapotranspiration potentielle et production agricole. *Ann. Agron.*, 14(5):743-824, 1963.
- BRUNT, D. *Physical and dynamical meteorology*. Cambridge, University of Cambridge, 1939.
- CHOISNEL, E. Le bilan d'énergie et le bilan hydrique du sol. *La météorologie* Evapotranspiration VI Serie, n. 11. p.103, 159, dez. 1977. Número special.
- ESTIENNE, P. & GODARD, A. *Climatologie*. Paris, Armand Colin, 1970. 267p.
- MALTEZ, H.T. Evaluation des ressources en eaux en vue de l'aménagement de la région de Belém (Brésil) — Hydroclimatologie. These de doctorat d'Etat. Université Paul Sabatier de Toulouse. França, 1980.
- MALTEZ, M.G.L. Evaluation des ressources en eaux en vue de l'aménagement de la région de Belém (Brésil) — Informatique. These de doctorat d'Etat. Université Paul Sabatier de Toulouse. França, 1980.
- PEDELABORDE, P. Chronique météorologique. *Ann. de Géorg.* (413/414):79-92, 1967.
- PEGUY CH., P. *Précis de Climatologie*. Paris, Masson, 1970. 468p.
- PENMAN, H.L. Evaporation. An introductory survey. *Netherlands J. of. Agric. Sci.* (4):9-29, 1956.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc.*, London, 193: 120-45, 1948.
- PENMAN, H.L. *The physical base of irrigation control*. s.l., s.ed., 1953. p.913-14, Trabalho apresentado no 13th interr. Hort. Congress, 1953.
- THORNTHWAITE, C.W. MATHER, J.D. *The measurements of potential evapotranspiration*. New Jersey, Seabrook, 1954. 225p.
- TURC, L. Evaluation des besoin en eau d'irrigation, evapotranspiration potentielle. *Ann. Agron.* 12(1):13-49, 1961.

RELAÇÃO ENTRE RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL E INSOLAÇÃO PARA A REGIÃO DE BELÉM, PARÁ

Tatiana Deane de Abreu Sá Diniz¹,
Daniel A. Cardon², Therezinha Xavier
Bastos¹ e Maria Gil L. Maltez³

RESUMO: Foram avaliados 1.274 pares de dados diários de radiação solar global (Q) e de insolação (n), obtidos entre 1978 e 1983, em Belém; Pará (latitude 1°27'S, longitude 48°28'W), com vistas à determinação de modelos estocásticos do tipo °Angström-Prescott, para estimativa da radiação solar global, utilizando valores diários de radiação solar no topo da atmosfera (Q₀) e do comprimento do dia (N). Com a totalidade dos dados, foi obtida a seguinte relação: $Q = Q_0 (0,266 + 0,409 n/N)$, enquanto que, a aplicação de testes estatísticos apropriados revelou dois períodos distintos, dentro do ano. O primeiro, de novembro a maio, correspondendo aos meses chuvosos e de transição, e o segundo, de junho a outubro, para os quais foram desenvolvidas, respectivamente, as equações: $Q = Q_0 (0,275 + 0,376 n/N)$ e $Q = Q_0 (0,261 + 0,428 n/N)$. Os resultados mostraram boa concordância com os obtidos anteriormente com menores séries de dados, bem como com os encontrados para área geográfica e/ou climaticamente semelhante a estudada.

Termos para indexação: Região Amazônica, equação de °Angström-Prescott, modelo de radiação.

RELATIONSHIP BETWEEN GLOBAL SOLAR RADIATION AND SUNSHINE DURATION FOR BELÉM, STATE OF PARÁ, BRAZIL

ABSTRACT: Data pairs (1.274) of daily global radiation (Q) and sunshine duration (n) obtained from 1978 to 1983, in Belém, State of Pará, Brazil (latitude 1°27'S, longitude 48°28'W), were processed towards determination of stochastic °Angström-Prescott models, for estimating global solar radiation from daily values of solar radiation at the top of the atmosphere (Q₀) and daylight duration (N). Using the whole sample of data, the following relationship was obtained: $Q = Q_0 (0,266 + 0,409 n/N)$, while the application of suitable statistical tests showed two different periods within the year. The first one, from November to May, including the rainy and transition months, and the other one, from June to October, corresponding respectively to the equations: $Q = Q_0 (0,275 + 0,376 n/N)$ and $Q = Q_0 (0,261 + 0,428 n/N)$. The results exhibited good agreement if compared to earlier obtained values generated from smaller samples, for the same region, and to those developed for areas geographically and or climatically similar to the area under study.

Index terms: Amazon Region, °Angström-Prescott equation, radiation model.

¹ Eng. Agr. M.Sc. EMBRAPA-CPATU. Caixa Postal 48, CEP 66000. Belém, PA.

² Física Doutor 3º ciclo. Convênio ORSTOM/EMBRAPA. EMBRAPA-CPATU.

³ Matemática Doctorat d'Etat. UFFa. Campus Universitário do Guamá. CEP 66000. Belém, PA.

INTRODUÇÃO

Embora a crescente demanda sobre a disponibilidade de energia solar venha impelindo diversas instituições no trópico úmido brasileiro a obter dados de radiação solar, a informação ora disponível é ainda insuficiente para derivar estatísticas necessárias, dentre outras, à avaliação da viabilidade de utilização de coletores solares, cálculo de balanços de energia e hídrico, desenvolvimento de modelos agrometeorológicos e elaboração de zoneamento agrícola.

Para que as reduzidas séries de dados confiáveis ora existentes sejam utilizadas, como referência para ampliar, em espaço e tempo, o nível de informações sobre tal variável, esforços devem ser dirigidos ao desenvolvimento e teste de modelos estimativos adaptados às condições da região, de modo a evitar a utilização de modelos desenvolvidos em outras regiões do globo, como até recentemente era comum em trabalhos voltados à definição dos regimes de radiação e evapotranspiração da área (Löf et al. 1966, Villa Nova et al. 1976, Mota et al. 1977, Nunes et al. 1978, Hancock et al. 1979).

A determinação de modelos de radiação confiáveis, para a região de Belém, Pará, é particularmente importante, por ser esta uma das áreas do trópico úmido brasileiro a dispor de séries maiores de dados meteorológicos, inclusive de radiação e insolação, além de ser um local onde considerável volume de experimentos agropecuários vem sendo conduzido.

Os modelos destinados a estimar a radiação solar global e suas componentes direta e difusa agrupam-se em duas categorias (World Meteorological Organization 1981): determinísticos e estocásticos. Os da primeira categoria utilizam a teoria da transferência de radiação, incorporada à parametrização das nuvens, enquanto que os da outra categoria relacionam a insolação ou a nebulosidade, com a radiação solar global, mediante equações, em sua

maioria, de regressão linear.

Dentre os modelos estocásticos, o mais difundido, proposto por Ångström (1924) e modificado por Prescott e Penmann (Black et al. 1954), é o seguinte: $Q = Q_0 (a + b n/N)$, no qual Q é a radiação solar global; Q_0 é a radiação que atinge uma superfície unitária no topo da atmosfera; n é a duração do brilho solar ou insolação; N é o comprimento do dia; a e b são constantes que, conforme diversos autores (Glover & McCulloch 1958, Rijks & Huxley 1964) devem ser determinadas para cada região. Sendo que a é definida como a percentagem de radiação extraterrestre que atinge o solo em um dia completamente nublado, e b com a percentagem de radiação extraterrestre absorvida por um céu completamente nublado.

Para Belém, os resultados referentes a teste e ajuste de modelos determinísticos de radiação resumem-se praticamente aos apresentados por Macedo et al. (1978); Machado & Rocha (1983) e Rendeiro et al. (1984), que utilizaram modelos para calcular as componentes direta e difusa da radiação solar global.

Em se tratando de modelos estocásticos, vários autores têm desenvolvido equações do tipo Ångström-Prescott, obtendo os seguintes resultados sumariados: Os cálculos efetuados utilizando pares de valores médios mensais de radiação solar global (medidos por actinógrafo), no período de 1969-71, resultaram nos valores 0,27 e 0,35 para, respectivamente, os coeficientes a e b (Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte 1973), enquanto que Diniz (1980) obteve, ao analisar valores diários correspondentes a distintas faixas de valores de n/N , para a valores entre 0,29 e 0,30; para b entre 0,32 e 0,36 e para $a + b$ entre 0,62 e 0,65. Ribeiro (1980), empregando pares de valores médios de cinco dias, encontrou para a equação geral, valores de 0,255 e 0,262, respectivamente para a e b . Azevedo et al. (1980), analisando uma pequena amostra de dados de radiação solar global medida

por piranômetro Eppley, obtiveram coeficientes mensais muito variados, enquanto que Nirenberg (1981), com a mesma fonte de dados, apresentou, para equação geral, valores de a e b de, respectivamente 0,31 e 0,41. Diniz et al. (1983), usando valores diários de radiação solar global, também obtidos por piranômetro Eppley, no período 1978-81, encontraram, para a equação geral, valores de 0,28 e 0,41 para, respectivamente a e b ; e valores de a entre 0,23 e 0,34; de b entre 0,32 e 0,48 e de $a + b$ entre 0,63 e 0,74, ao desenvolverem equações para os meses, individualmente.

A variabilidade dos resultados obtidos pelos diversos autores é explicada, principalmente, pelo pequeno tamanho das amostras analisadas, o que ocasiona uma considerável imprecisão, além de não refletir suficientemente o regime climático da área. A natureza e a calibração dos sensores constituem outras fontes de divergência dos resultados, em especial ao se compararem os valores obtidos com actinôgrafos aos medidos com piranômetros.

Esta falta de concordância acarreta dúvidas aos usuários, quanto à escolha de equações confiáveis. Assim é que, visando atenuar esse problema, este trabalho fornece informações mais confiáveis, mediante equações desenvolvidas utilizando a maior série de dados obtidos na região de Belém, por piranômetro Eppley.

MATERIAL E MÉTODOS

A região de Belém fica submetida a clima enquadrado, segundo classificação de Köppen, como Af (Bastos 1982) e como B3rA'a', segundo classificação de Thornthwaite (Bastos 1972), que se caracteriza por elevados totais pluviométricos na maioria dos meses do ano, com maior concentração no primeiro trimestre do ano (Bastos et al. 1984), ocasião em que são observados os valores médios mensais menos elevados de radiação solar global (Diniz et al. 1984).

Neste trabalho foram utilizados dados diários de radiação solar global (1 y.dia^{-1}) e de insolação (horas e décimos), medidos no período entre junho de 1978 e dezembro de 1983 (com interrupções), sendo que os dados de radiação solar global foram obtidos de acordo com a Referência Radiométrica Mundial (World Meteorological Organization 1977), em piranômetro preto e branco Eppley (modelo 8-48), periodicamente calibrado no Centro de Radiação Solar do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), acoplado a integrador digital Hobeco (modelo H-59-A), e instalado em estação componente da Rede Solarimétrica do INMET (latitude $1^{\circ}27'S$, longitude de $48^{\circ}28'W$). Os dados de insolação foram obtidos em heliógrafo Campbell-Stokes, utilizando tiras apropriadas, com espessura média entre 0,39 mm e 0,44 mm. Os dados foram tratados no Centro de Processamento de Dados da Universidade Federal do Pará (UFPA), em computador Digital (modelo DGC-10).

A metodologia adotada para a verificação e o processamento dos dados foi a descrita e utilizada por Cardon & Gosse (1981) e Cardon & Amorim Neto (1983) que, através de um programa único, classifica os dados em várias categorias, de acordo com a indicação do usuário e, posteriormente, os trata em separado. A saída final para cada categoria compõe-se de: coeficientes a e b da equação de $^{\circ}\text{Angström-Prezcott}$ e seus respectivos desvios padrão; gráfico da nuvem de n/N versus Q/Q_0 ; histograma de frequência de n/N ; e cálculo do ponto médio e do desvio padrão em relação à reta de regressão, para cada classe de valores de n/N .

Neste estudo, o programa foi inicialmente rodado, considerando a totalidade dos dados, e posteriormente eliminando os dias totalmente nublados.

Foram inicialmente calculados os coeficientes anuais. Posteriormente, consideraram-se as relações mensais, cujos coeficientes foram analisados através do teste de Duncan, modificado por James

(1964), para identificação de agrupamentos de meses homogêneos. Procedeu-se, então, o cálculo dos coeficientes **a** e **b** para cada período diferenciado.

RESULTADOS

Os cálculos realizados com todos os pares de dados resultaram na seguinte equação: $Q = Q_0 (0,266 + 0,409 n/N)$. (1)

Ao calcular as relações mensais obteve-se, em ordem crescente, para os valores de **b**, a seguinte sequência numérica de meses: 11-12-3-1-5-4-7-2-10-9-8-6 os quais, mediante análise estatística, foram agrupados em:

1º grupo: 11-12-3-1-5-4-7

2º grupo: 2-10-9-8-6

Considerando a semelhança dos coeficientes dos meses de fevereiro e julho e para obter períodos contínuos, agruparam-se os meses da seguinte forma:

1º grupo: novembro a maio

2º grupo: junho a outubro

A análise, para cada grupo de meses, resultou em:

1º grupo: $Q = Q_0 (0,275 + 0,376n/N)$. (2)

2º grupo $Q = Q_0 (0,261 + 0,428n/N)$. (3)

Os resultados obtidos, excluindo os dias completamente nublados, encontram-

se sumariados na Tabela 1, juntamente com os referentes às equações de 1 a 3.

DISCUSSÃO

Conforme pode ser verificado na Fig. 1a, a distribuição dos pontos médios e do desvio padrão em relação à reta de regressão, para cada classe de valores de n/N , justifica plenamente o uso deste tipo de modelo estatístico para relacionar n/N a Q/Q_0 , salvo para a primeira classe de valores de n/N . A eliminação dos valores correspondentes a dias completamente nublados promoveu uma redução apreciável no desvio padrão relativo a esta classe (Tabela 2), o que justificaria a utilização das equações obtidas sem valores de dias com insolação nula. Entretanto, uma vez que, a eliminação destes dados não altera consideravelmente os valores dos coeficientes (Tabela 1), é preferível, do ponto de vista prático, adotar os modelos desenvolvidos com todos os valores de **n**.

Em se tratando da divisão do ano em dois grupos de meses, conforme ilustra a Fig. 1b, existe uma diferença nítida na distribuição da insolação relativa desses grupos, o que sugere duas populações diferenciadas de valores de n/N justificando, parcialmente, o critério de agrupamento adotado.

TABELA 1. Valores de **a**, **b**, **a + b** e **r** obtidos nas diferentes análises desenvolvidas.

Natureza da amostra		Nº de dados	a	a min.	a max.	b	b min.	b max.	a + b	r
Com todos os dados	Todo o ano	1.274	0,266	0,259	0,273	0,409	0,397	0,421	0,675	0,88
	Novembro a maio	687	0,275	0,266	0,284	0,376	0,360	0,392	0,651	0,87
	Junho a outubro	587	0,261	0,244	0,278	0,428	0,406	0,451	0,689	0,84
Sem dias completamente nublados	Todo o ano	1.253	0,264	0,267	0,281	0,397	0,384	0,409	0,671	0,87
	Novembro a maio	668	0,289	0,279	0,299	0,354	0,337	0,371	0,643	0,84
	Junho a outubro	585	0,257	0,241	0,273	0,434	0,411	0,457	0,691	0,84

Comparando-se os valores obtidos aos encontrados anteriormente para a mesma localidade (Fig. 2), observa-se que, exce-

tuando os resultados de Ribeiro (1980), que se mostraram muito variáveis, os valores de **b** gerados mediante o uso de actinógrafos

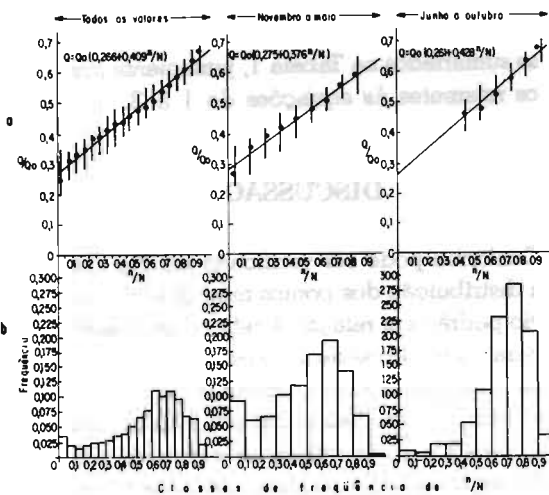


FIG. 1. (a) Q/Q_0 versus n/N e respectivos desvios padrão, (b) frequência relativa de n/N , para diferentes classes de valores de n/N , considerando todos os valores e, em separado, os referentes aos períodos novembro-maio e junho-outubro.

mostraram-se inferiores aos ora apresentados, enquanto que os valores de a são comparáveis (Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte 1973, Diniz 1980). Já os coeficientes calculados a partir de dados obtidos em piranômetros, usando amostras de tamanho menor que a ora utilizada (Azevedo et al. 1980, Nirenberg 1981, Diniz et al. 1983), mostraram-se bem próximos aos determinados neste trabalho, o que confirma a estabilidade das relações apresentadas.

Valores semelhantes, especialmente com relação ao coeficiente a ($a = 0,27$ e $b = 0,37$), foram encontrados por Butler & Miranda (1983) para Ilhéus, onde o clima é também do tipo Af, segundo Köppen, enquanto que Doorenbos & Pruitt (1975), para o mesmo tipo de clima divulgaram para Kisangani, no Zaire, valores bem próximos

TABELA 2. Desvio padrão em relação à reta de regressão correspondente à classe $0 \leq n/N < 0,05$ e à amostra completa.

Natureza da amostra de dados	Desvio padrão	
	Classe $0 \leq n/N < 0,05$	Médio da amostra
Com todos os dados	0,075	0,050
Sem dias completamente nublados	0,060	0,049

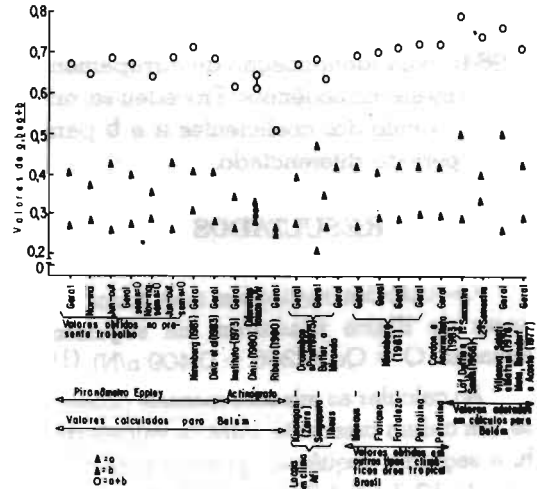


FIG. 2. Comparação entre os valores a , b e $a+b$ ora obtidos e os determinados por diferentes autores para Belém e outras áreas tropicais.

($a = 0,28$ e $b = 0,40$); e para Singapura, valores consideravelmente discordantes ($a = 0,21$ e $b = 0,48$). Esta diferença pode ser atribuída à natureza dos dados utilizados e a características locais.

Boa concordância foi também observada em outros tipos climáticos, na região tropical brasileira, por Nirenberg (1981), que encontrou, para as localidades de Manaus, Floriano, Fortaleza e Petrolina, divergência de até 0,04 para a e de até 0,02 para b , em relação aos valores ora apresentados, resultado que foi confirmado por Cardon & Amorim Neto (1983) para Petrolina (Fig. 2).

Dentre os autores que utilizaram equações geradas em outras regiões, para estimar a radiação solar global em Belém (Löf et al. 1966, Villa Nova et al. 1976, Mota et al. 1977, Nunes et al. 1978, Hancock et al. 1979), observa-se que os coeficientes adotados por Mota e colaboradores foram os que apresentaram maior concordância com os aqui divulgados (Fig. 2).

CONCLUSÕES

A análise dos resultados apresentados permitiu concluir que:

— A equação 1 possibilita obter precisão aceitável no cálculo da radiação solar global para fins de reconstituição de dados ou estimativa desta variável a partir de séries de dados de insolação, embora os valores expressos, neste caso, não sejam perfeitamente estimados, enquanto que as equações 2 e 3 permitem minimizar esta imprecisão, considerando dois grupos de meses distintos: novembro a maio e junho a outubro.

— O campo de uso das equações 2 e 3 poderá ser ampliado pela compatibilização dos períodos por elas englobados ao regime de nebulosidade de distintas áreas do trópico úmido brasileiro, o que se constituirá em etapa de trabalho subsequente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGSTRÖM, A. Solar and terrestrial radiation. *Quart. J.R. Met. Soc.*, 50: 121-5, 1924.
- AZEVEDO, D. da C.; ARAÚJO, M.I. de; BRITO, J.V.B. de & OLIVEIRA, N.M.C. **Medidas e estimativas de radiação solar global no Brasil**. Brasília, INMET, 1980, 11p. Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1, Campina Grande, 1980.
- BLACK, J.N.; BONYTHON, C.W. & PRESCOTT, J.A. Solar radiation and the duration of sunshine. *Quart. J.R. Met. Soc.*, 80 (344): 231-5, 1954.
- BASTOS, T.X. O estado atual dos conhecimentos das condições climáticas da amazônia brasileira. In: INSTITUTO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO NORTE, Belém, PA. **Zoneamento Agrícola da Amazônia, 1ª Aproximação**. Belém, 1972. p. 68-122 (IPEAN. Boletim Técnico, 54).
- BASTOS, T.X. **O clima da amazônia brasileira segundo Köppen**. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1982. 4p. (EMBRAPA-CPATU. Pesquisa em Andamento, 87)
- BASTOS, T.X.; CHAIB FILHO, H.; DINIZ, T.D. de A. S. & LOBATO, V.H. de. **Flutuação das chuvas na região de Belém, em distintos intervalos de tempo - período 1967-1983**. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1984. 16p. Trabalho apresentado no Simpósio do Trópico Úmido, 1, Belém, nov. 1984.
- BUTLER, D.R. & MIRANDA, R.A.C. de. Estimativa do fluxo de radiação global no Centro de Pesquisa do Cacau e áreas circunvizinhas. *R. Theobroma*, 13(4): 321-5, 1983.
- CARDON, D.A. & AMORIM NETO, M. Relação entre a radiação solar global e a insolação na região de Petrolina, PE. *Campinas/s. ed./1983*. 23p. Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 3, Campinas, jul. 1983.
- CARDON, D.A. & GOSSE, G. **Relationship between global radiation and sunshine duration in Ivory Coast**. Paris, INRA, 1981. (não publicado).
- DINIZ, T.D. de A.S. **Determinação de coeficientes da equação de °Angström para Belém**. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1980. (não publicado).
- DINIZ T.D. de A.S. BASTOS, T.X.; KOBAYASHI, L. T. & SILVA, M.M.M. da. **Radiação global e seus componentes em Belém**. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1984. 4p. (EMBRAPA CPATU. Pesquisa em Andamento, 135).
- DINIZ, T.D. de A.S.; BASTOS, T.X.; KOBAYASHI, L. T.; SILVA, M.M.M. da & ARAÚJO, J.A. **Avaliação do potencial de energia solar no trópico úmido brasileiro - resultados parciais**. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1983. 15p. Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 3, Campinas, jul. 1983.
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. Roma, FAO, 1975. 178p. (FAO. Irrigation and Drainage, Paper, 24).
- GLOVER, J. & McCULLOCH, J.S.G. The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. *Quart. J.R. Met. Soc.* 84: 172-5, 1958.
- HANCOCK, J.K.; HILL, R.W. & HARGREAVES, G.H. **Potential evapotranspiration and precipitation deficits for Tropical America**. Cali, CIAT, Beef Program, 1979. 398p.

- INSTITUTO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO NORTE, Belém, PA. **Estudos da variação climática da região de Belém.** Relatório Interno, Sub-Projeto IPEAN 11/67. Belém, 1973. (datilografado).
- JAMES, J.W. Comparing regression and correlation. *Appl. Stat.* 13:127-32 1964.
- LÖF, O.G.; DUFFIE, J.A. & SMITH, C.O. **World distribution of solar radiation.** Madison, Univ. of Wisconsin. Solar Energy Laboratory, 1966. 59p. (Univ. Wisconsin, Engineering Experiment Station. Report, 21).
- MACEDO, I. de C.; PEREIRA, J.T.V. & MILANEZ, L.F.A. Aplicação de um método indireto de solarimetria para a energia incidente na região amazônica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 1, Rio de Janeiro, 1978. *Anais...* Rio de Janeiro. s. ed., 1978. p. 127-37.
- MACHADO, C.A.C. & ROCHA, E.A.A. da. **Modelo matemático para a radiação solar global na região metropolitana de Belém.** Belém, UFPa, 1983. 167p.
- MOTA, F.S. da; BEIRSDORF, M.I.C. & ACOSTA, M.J.C. Estimativa preliminar da radiação solar no Brasil. *B. Téc. Dep. Nac. Meteorol.*, 14: 42-58, 1977).
- NIRENBERG, M. Atividades solarimétricas do Instituto Nacional de Meteorologia. In: SIMPÓSIO SOBRE ENERGIA SOLAR, 2, São Paulo, 1981. *Anais...* São Paulo, Sec. Ind. Com. Ciência e Tecnologia - Acad. de Ciências de São Paulo, 1981. p. 112-33.
- NUNES, G.S.S.; ANDRÉ, R.G.B., VIANELLO, R.L. & MARQUES, V.S. Estudo da distribuição de radiação solar incidente sobre o Brasil. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1978. 45p.
- RENDEIRO, G., PONTES, M.X., GOMES, A. & LIMA FILHO, S. da S. **Modelo de radiação para a região metropolitana de Belém.** Belém, UFPa, 1984. 10p. Trabalho apresentado no Simpósio do Trópico Úmido, 1, Belém, nov. 1984.
- RIBEIRO, A.M. de A. **Estudos das relações entre radiação solar global (Q_g) e razão de insolação n/N em algumas regiões do Brasil.** Piracicaba, ESALQ, 1980. 88p. Tese mestrado.
- RIJKS, D.A. & HUXLEY, P.A. The empirical relation between solar radiation and hours of bright sunshine near Kampala, Uganda. *J. Appl. Ecol.*, 1: 339-45, 1964.
- VILLA NOVA, N.S.; SALATI, E. & MATSUI, E. Estimativa de transpiração na bacia amazônica. *Acta Amaz.*, 6(2): 215-8, 1976.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Commission for Instruments and Methods of Observation, Geneva, Suíça, **Draft report of committee B on item 8 radiation measurement.** Suíça, 1977.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Geneva, Suíça, **Meteorological aspects of the utilization of solar radiation as an energy source.** Geneva, 1981. 298p. (WMO. Technical Note, 172).

MODELO DE RADIAÇÃO PARA A REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

Gonçalo Rendeiro¹, Marcos Ximenes Pontes²,
Aldo Gomes¹ e Severiano da Silva Lima Filho¹

RESUMO: Neste trabalho é proposto um modelo determinístico de radiação solar global numa superfície horizontal para a região metropolitana de Belém. A metodologia utilizada foi baseada nos dados climáticos e microclimáticos da região num período significativo e na proposição de um algoritmo na lei da atenuação exponencial da radiação solar. Através de comparações com dados medidos de radiação solar global numa superfície horizontal, foi possível indicar através de refinamento matemático, um modelo de radiação consistente com aplicabilidade em inúmeros processos que utilizem a radiação solar como fonte alternativa de energia.

Termos para indexação: Energia solar, radiação solar, energia.

RADIATION MODEL FOR THE METROPOLITAN REGION OF BELÉM

ABSTRACT: A global solar radiation model on a horizontal surface for the metropolitan region of Belém is presented. The methodology used was based on data about the climatic conditions of the region during a significantly long period. The experimental results of global solar radiation made possible the development of a radiation mathematical model useful in several practical problems which utilize the solar radiation as an energy alternative source.

Index terms: Solar energy, solar radiation, energy.

INTRODUÇÃO

No projeto de equipamentos que utilizem a energia solar como fonte alternativa de energia, é indispensável o conhecimento da energia térmica radiante disponível a fim de possibilitar o projeto e a previsão do comportamento desses sistemas.

Como para a região de Belém, não há disponibilidade de dados solarimétricos de radiação solar direta e difusa distintamente, e sim apenas alguns dados diários de radiação solar total³, houve a necessidade de procurar ajustar um modelo determinístico de radiação, a partir dos dados de radiação, solar total, média diária e de dados microclimáticos da região.

¹Eng. Mec. M.Sc. UFFa. Departamento de Mecânica. Campus Universitário do Guamá. CEP 66000. Belém, PA.

²Eng. Mec. Dr. Eng. UFFa. Departamento de Mecânica. Campus Universitário do Guamá. CEP 66000. Belém, PA.

³Obtidos mediante piranômetro Eppley na Estação Solarimétrica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), nos anos de 1979, 1980 e 1981.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia de cálculo utilizada foi baseada inicialmente no estudo do movimento aparente do sol a cada minuto e das características de radiação, incluindo a obtenção de parâmetros microclimáticos da região.

A partir da Lei de Beer (Siegel & Howell 1972), da atenuação exponencial da radiação solar foi criado um algoritmo, via computador digital, sendo ajustado para as condições locais. Com o modelo de LIU/JORDAN (Liu & Jordan 1960) para a radiação solar difusa, já bastante experimentado, com sucesso, para várias regiões do país Rendeiro & Bastos (1979), Macedo et al. (1978) e Ogura & Dand (1978), associado ao algoritmo definido, foi obtido um modelo, que se mostrou satisfatório, quando comparado com os dados de radiação solar medidos na região³.

O modelo de radiação solar total representativo, ajustado para as condições locais, é da forma:

$$G_{th}(t) = SC(t) \cdot \cos \phi_z \cdot [1,4122/n] \cdot \exp(-A_o \cdot M \cdot T + 0,2710) \quad (1)$$

sendo:

$G_{th}(t)$ - Radiação solar total a cada minuto numa superfície horizontal em W/m^2 .

$SC(t)$ - Constante solar a cada minuto definida em Rendeiro (1980) W/m^2 .

ϕ_z - Ângulo zênite solar, em graus.

n - Fator de opacidade $n = (200 - \text{Visibilidade}) \times 0,003 + 2$.

A_o - Fator de extinção dos raios solares Rendeiro (1980)

M - Massa de ar atmosférica Rendeiro (1980).

T - Perturbação atmosférica Rendeiro (1980).

Com o modelo LIU/JORDAN (Liu & Jordan 1960), para a radiação solar difusa $G_{dh}(t)$, fica definida a parcela de radiação solar direta $G_{Dh}(t)$, para uma superfície horizontal, na forma:

$$G_{Dh}(t) = G_{th}(t) - G_{dh}(t) \quad (2)$$

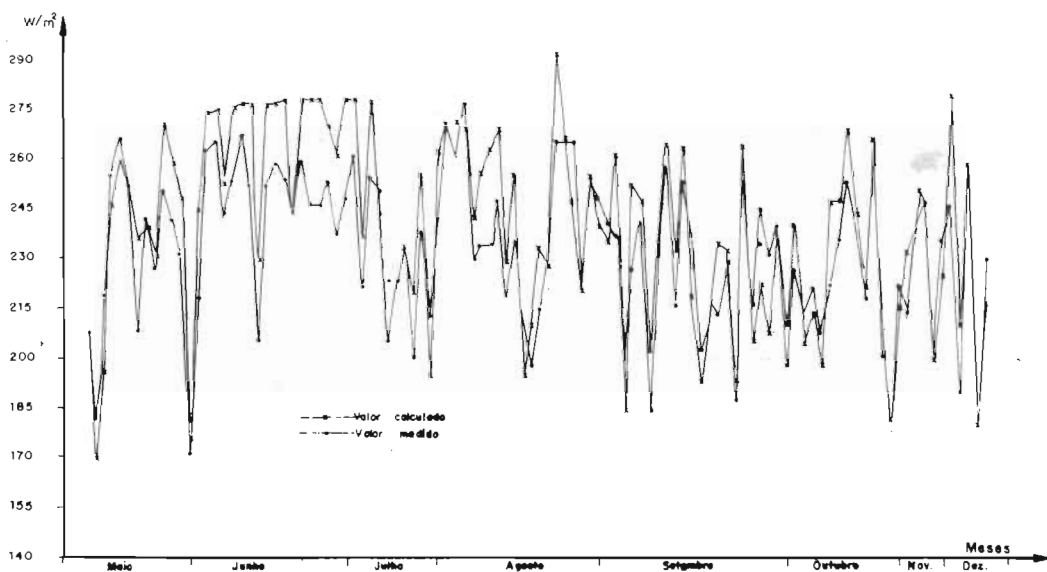


FIG. 1. Comparação dos valores do modelo com os dados medidos da radiação solar total numa superfície horizontal (Ano 1979).

³Obtidos mediante piranômetro Eppley na Estação Solarimétrica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), nos anos de 1979, 1980 e 1981.

FIG. 2. Comparação dos valores do modelo com os dados medidos da radiação solar total numa superfície horizontal (Ano 1980)

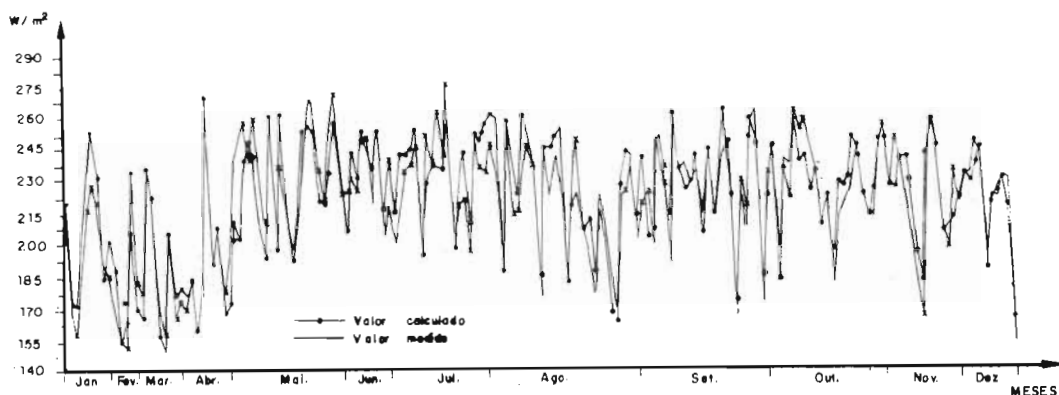
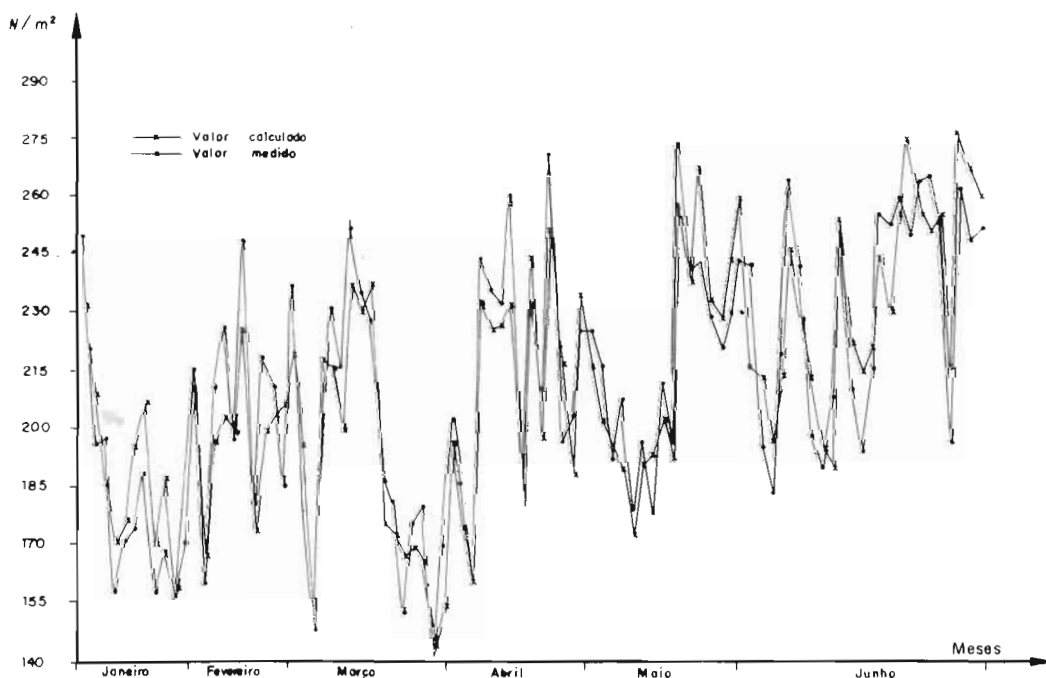


FIG. 3. Comparação dos valores do modelo com os dados medidos da radiação solar numa superfície horizontal (Ano 1981)



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes envolveram 790 dias, divididos entre os anos de 1979, 1980 e 1981. De cada dia, foram necessários os seguintes dados: pressão ao nível do mar, visibilidade, precipitação e os valores da radiação

solar total numa superfície horizontal, integrada a cada dia considerado.

O comportamento do modelo proposto, comparado com os dados solarimétricos medidos para a região, se mostrou satisfatório, com desvio máximo de 10% a cada dia, conforme é mostrado nas Fig. 1, 2 e 3.

Em função dos resultados mostrados, concluiu-se que o modelo proposto é confiável, atendendo às necessidades de projetos e previsão do comportamento de sistemas que utilizem a energia solar como fonte alternativa de energia.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar seus agradecimentos:

Aos Engenheiros Carlos A.C. Machado e Edson A.A. Rocha pela valiosa colaboração.

Ao serviço de Proteção ao Vão de Belém pelo fornecimento dos dados climáticos.

A EMBRAPA, na pessoa da Dr.^a Tatiana Deane de A. Sá Diniz, pelo fornecimento dos dados de radiação solar medidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LIU, B.Y.H. & JORDAN, R.C. The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. *Solar Energy*, 3(4), 1960.
- MACEDO, I.C.; PEREIRA, J.T.V. & MILANEZ, L.F. **Aplicação de um método indireto de solarimetria para a energia incidente na região amazônica.** s.n.t. Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Energia, 1, Rio de Janeiro, 1978.
- OGURA, M.K. & DAND, M.A. **Estimativas das quantidades de radiação solar global e difusa em médias mensais para o Estado de São Paulo.** s.n.t. Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Energia, 1, Rio de Janeiro, 1978.
- RENDEIRO, G. & BASTOS, L.E.G. **Um modelo teórico para os níveis de insolação no Rio de Janeiro e sua aplicabilidade a um sistema de refrigeração solar à absorção.** s.n.t. Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 5, Campinas-SP, 1979.
- RENDEIRO, G. **Estudo teórico-experimental de um concentrador solar cilindro-parabólico.** Rio de Janeiro, UFRJ/COPPE, 1980. Tesé mestrado.
- SIEGEL, R. & HOWELL, J.R. **Thermal radiation heat transfer.** s. l. MacGraw-Hill, 1972.

RESULTADOS PRELIMINARES DE UM EXPERIMENTO MICROMETEOROLÓGICO NA FLORESTA AMAZÔNICA

Luiz Carlos B. Molion¹, Antonio Ocimar Manzi¹,
Carlos Afonso Nobre¹, Leonardo D. de Abreu Sá¹,
Vicente de Paula S. Filho, Ari de O. Marques Filho²,
Gilberto Fisch², Maria Nazaré Goes Ribeiro²,
Mauro Januário², Osvaldo M.R. Cabral³,
Sukaran R. Patel⁴, J. Carvalho de Moraes⁵
e Leandro Ferreira de Aguiar⁶

RESUMO: No período de agosto a outubro de 1983 realizou-se em Manaus, Amazonas, a primeira etapa do experimento micrometeorológico na região amazônica, desenvolvido conjuntamente por pesquisadores do Institute of Hydrology (Inglaterra) e por pesquisadores brasileiros. Neste trabalho apresentam-se alguns dos primeiros resultados obtidos no experimento, os quais consistem em: determinação de parâmetros de rugosidade da cobertura vegetal; estudo do comportamento dos perfis de umidade e temperatura acima e dentro da cobertura vegetal sob condições secas e úmidas; estudo da partição de energia incidente na floresta amazônica, tomando-se por base medições de covariância efetuadas com o novo equipamento intitulado "Hydra"; estudo das componentes de ondas curta e longa do balanço de radiação acima e abaixo da copa florestal. Tais resultados referem-se à campanha realizada na estação seca. Durante o ano de 1984 foram realizadas mais duas campanhas (estações chuvosa e seca), cujos resultados apresentar-se-ão em outra oportunidade.

Termos para indexação: Floresta amazônica, micrometeorologia, hidrologia.

PRELIMINARY RESULTS OF A MICROMETEOROLOGICAL EXPERIMENT IN THE AMAZON FOREST

ABSTRACT: In the period of August-October, 1983, the first phase of a joint anglo-brazilian micrometeorological experiment was conducted in a site near Manaus, State of Amazon. In this paper preliminary results are presented consisting of a) determining forest canopy roughness parameters; b) vertical humidity and temperature profiles above and within the forest for wet and dry conditions; c) energy partition (sensible, latent and radioactive heating) in the forest based on covariance measurements taken by up-to-date instrumentation; d) radiation balance components (short and long wave) above and below the forest canopy. All results are from the dry season, 1983. During 1984 intensive measurements were taken twice (wet and dry season). Results from these experiments will be published shortly.

Index terms: Amazon forest, micrometeorology, hydrology.

¹ CNPq/INPE. Caixa Postal 515. CEP 12200. São José dos Campos, SP.

² CNPq/INPA. Caixa Postal 478. CEP 69.000. Manaus, AM.

³ EMBRAPA-CNPQ. Caixa Postal 319. CEP 69.000. Manaus, AM.

⁴ UFPA. Campus Universitário. CEP 68.000. João Pessoa, PB.

⁵ UFPA. Campus Universitário do Guamá. CEP 66.000. Belém, PA.

⁶ Fundação UFAM. CEP 69.000. Manaus, AM.

INTRODUÇÃO, DESCRIÇÃO DO LOCAL E INSTRUMENTAÇÃO

A grande influência das florestas tropicais na circulação geral da atmosfera e a falta de estudos que envolvem uma floresta tropical chuvosa, extensa e com características continentais bem definidas, levou pesquisadores brasileiros, juntamente com pesquisadores do Institute of Hydrology do Natural Environment Research Council (NERC), Reino Unido, a desenvolverem um experimento micrometeorológico na floresta amazônica central. Os objetivos deste experimento, dentre outros, foram aumentar o conhecimento sobre a hidrologia e a climatologia da Amazônia, definir a interação entre a cobertura vegetal tropical e a atmosfera, e dar condições para o aprimoramento dos modelos numéricos de previsão de tempo.

O sítio experimental escolhido como representante da floresta está localizado na reserva florestal Ducke a 25 km a leste de Manaus, na latitude 2°57' Sul e longitude 59°57' Oeste. A média de altura das árvores é de aproximadamente 35m, e os instrumentos de medida foram montados sobre uma torre de alumínio de 45m de altura.

Solarímetros do tipo Kipp faceados para baixo e saldoradiômetros do tipo Funk foram usados para medidas de radiação solar refletida ($S\uparrow$) e de saldo da radiação (R_N), respectivamente. Instrumentos dos mesmos tipos foram usados nas medidas de radiação solar incidente ($S\downarrow$) acima da copa e de radiação solar (S_{BC}) e de saldo de radiação (R_{BC}) abaixo da cobertura vegetal. Foi usado um radiômetro unidirecional no topo da torre para medidas de radiação incidente de todos os comprimentos de onda (U).

Os fluxos de momentum, calor sensível e evaporação foram medidos com um "Hydra", sistema que compreende um anemômetro sônico vertical, um hidrômetro in-

fravermelho (banda 2,7 μ m), um termopar e dois anemômetros de hélice "Gill" montados ortogonalmente no plano horizontal. Duas estações climatológicas foram usadas na obtenção de médias horárias de temperatura, depressão de bulbo úmido, saldo de radiação, precipitação, velocidade e direção do vento. As estações climatológicas automáticas e o "Hydra" foram montados a uma altura de 45 e 48,4m, respectivamente.

As medidas de temperatura e umidade abaixo e acima da copa foram feitas com psicrômetros aspirados de cristal de quartzo. Acima da cobertura vegetal foi usado um duplo Sistema de Intercâmbio de Termômetros (SIT), enquanto para medidas da velocidade do vento horizontal foram usados anemômetros de copo em onze níveis.

Para a medição de precipitação que atingiu o solo utilizaram-se 16 pluviômetros, recolocados aleatoriamente após cada chuva.

São apresentados alguns resultados preliminares do balanço de energia abaixo e acima da copa, partição da energia disponível e estrutura vertical da temperatura, da umidade específica e da velocidade do vento horizontal médio, referente aos dados coletados na primeira etapa do experimento micrometeorológico na região amazônica, realizada no período de agosto a outubro de 1983.

BALANÇO DE RADIAÇÃO

O balanço de radiação obedece à equação:

$$R_N = S\downarrow - S\uparrow + L\downarrow - L\uparrow$$

$$R_N = S\downarrow(1 - a) + L\downarrow - L\uparrow, \quad (1a)$$

$$R_N = U - S\uparrow - L\uparrow, \quad (1b)$$

onde: a é o albedo da superfície, $L\downarrow$ representa a incidência de onda longa da atmosfera e $L\uparrow$ a perda de radiação de onda longa pela superfície. Os valores de $R_N, S\downarrow, S\uparrow$

e U são medidos diretamente, enquanto $L\downarrow$ é calculado pela diferença entre U e $S\downarrow$, e $L\uparrow$ é determinado pela temperatura de corpo negro medida por um termômetro de resistência colocado na cavidade do radiômetro unidirecional (Lei de Stefan-Boltzmann) e pela Equação 1b.

Balanco Acima da Copa

Rejeitando-se dados horários, cujos valores médios da radiação solar incidente foram menores do que 20Wm^{-2} , ou em que os de radiação refletida foram menores do que 1Wm^{-2} , restaram 94 horas de dados com os quais foram calculadas médias horárias de albedo (a). Sob um ângulo de altitude solar de $43,8^\circ$, o albedo médio calculado foi $12,25 \pm 0,2$. Também foi observado que o valor do albedo varia com a elevação do sol.

Na Fig. 1 é mostrada a variação média diurna das componentes de onda curta e onda longa do fluxo de radiação para seis dias, nos quais os dados contínuos estiveram disponíveis. Ressalta-se que as componentes de onda longa são particularmente sensíveis a erros, uma vez que são calculadas como uma combinação de várias medidas de fluxo.

Na Fig. 1 são mostrados também os picos de radiação solar que aparecem antes do meio-dia. À tarde há um declínio suave, presumivelmente em resposta ao aumento da cobertura de nuvens. Este comportamento, certamente, tem influência na radiação solar refletida e no saldo da radiação. Durante à noite, entre 18:00 e 05:00 horas, o saldo de radiação médio permanece em torno de -40Wm^{-2} , quando as variações dos fluxos de radiação de onda longa para cima e para baixo se correspondem. Esta tendência diária, nas componentes de fluxo médio e albedo, exprime a alta correlação existente entre as duas grandezas.

Feita a análise de regressão linear entre os dados de radiação solar incidente e

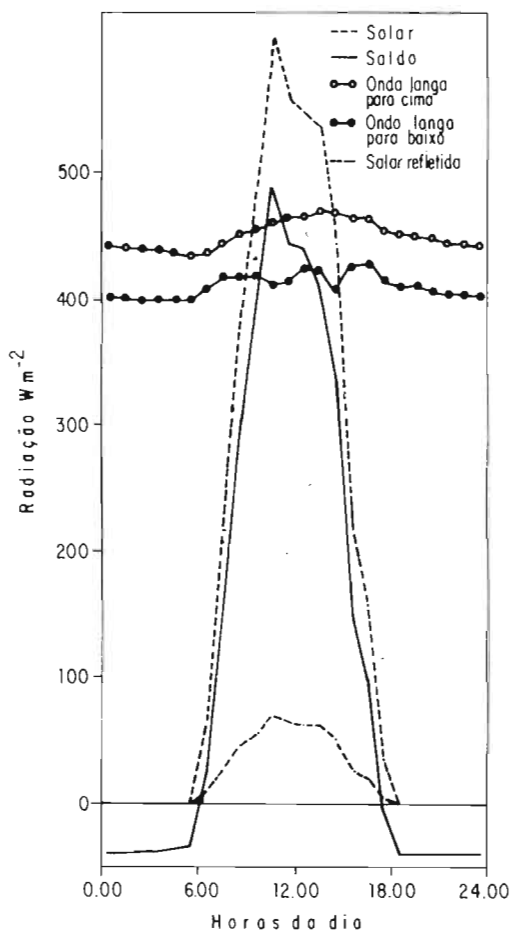


FIG. 1. Valores médios dos componentes de radiação sobre a floresta amazônica chuvosa. Fonte: Shuttleworth et al. (1984c).

os de saldo de radiação foi obtida a equação:

$$R_N = (0,858 \pm 0,006)S\downarrow - (35,0 \pm 1,9) \quad (2)$$

com coeficiente de correlação de 0,99.

Fluxo Abaixo da Copa

A radiação solar que atinge o chão é, em média, 1,2 por cento daquela acima da cobertura vegetal, isto é, um fluxo horário médio em torno de 4Wm^{-2} durante as doze horas à luz do dia. A tendência diária do saldo de radiação abaixo da copa é

bem menor do que o correspondente fluxo acima da copa, com um saldo positivo médio em torno de $0,06 \text{ MJm}^{-2}$ nas 24 horas, aproximadamente igual à incidência de radiação solar. Esta radiação (em torno de 4 Wm^{-2}) que chega ao solo durante o dia e é liberada a noite, tem suas médias horárias de fluxo de calor no solo, efetuadas separadamente.

PARTIÇÃO DA ENERGIA DISPONÍVEL

Adotando a homogeneidade horizontal, a partição da energia da floresta pode ser escrita como:

$$A = \lambda E + H = R_N - G - S - P \quad (3)$$

onde: A é a energia disponível por unidade de área na unidade de tempo; λE é o fluxo de calor latente para fora da floresta; H é o fluxo de calor sensível para fora da floresta; R_N é o saldo de radiação; G é o fluxo de energia no solo; S é o fluxo de energia armazenada na biomassa; e P representa outros fluxos de energia (ocasionados por processos combinados de respiração e fotossíntese).

A presença de um termo de armazenamento nesta partição de energia adiciona considerável complexidade à medição e modelagem do ciclo diário de partição de energia na floresta. Devido ao tamanho, complexidade e densidade da floresta tropical, a taxa de armazenamento de energia deve se tornar uma componente particularmente importante, mas de difícil cálculo, pois exige modelos de armazenamento complexos.

Considerando o processo das covariâncias de flutuações, opta-se por uma medição direta dos fluxos que evita o emprego de parâmetros indiretamente associados a eles, embora a presença do termo de armazenamento comprometa a precisão das medidas em grande extensão. Por conseguinte, preferiu-se adotar, em primeira aproximação, o termo de armazenamento

(S) e o fluxo de calor no solo (G), na Equação 3, com um valor de aproximadamente zero sobre a integração de um ciclo diário. Com esta suposição, o saldo de radiação acumulado durante um dia completo seria igual à soma cumulativa das medidas das covariâncias de flutuações de calor latente e sensível, isto é:

$$\sum R_N = \sum A = \sum (\lambda E + H). \quad (4)$$

Da comparação entre o saldo de radiação acumulado e a soma cumulativa de fluxo de energia para oito dias completos considerados nesta análise, há satisfatória concordância em torno de cinco por cento, mas a integração sobre todos os oito dias indica uma perda de fluxo nas medidas das covariâncias de flutuações de $6,3 \text{ MJm}^{-2}$, num total de radiação incidente de $96,5 \text{ MJm}^{-2}$.

Há uma partição razoavelmente constante da energia disponível, durante as horas do dia, em calor latente e calor sensível; freqüentemente alguma evaporação é mantida no início da noite, e a perda de energia radiante é da ordem de 30 a 40 Wm^{-2} durante a noite, quando a floresta se resfria. A supressão da interação turbulenta entre a floresta e a atmosfera à noite, tipificada pelos baixos fluxos de energia, é uma característica expressa nos dados, a qual se aplica a todas as variáveis turbulentas.

Definida a "razão evaporativa" como:

$$\alpha = \sum \lambda E / \sum (\lambda E + H), \quad (5)$$

ou

$$\alpha' = \sum \lambda E / \sum R_N, \quad (6)$$

a integração diária do fluxo de energia radiante, calor sensível e calor latente para os oito dias em análise forneceu uma razão evaporativa em torno de 0,7, o que corresponde a uma razão de Bowen, ($\beta = H / \lambda E$) de 0,43. Estes resultados são confirmados pelas medições do SIT com duas medidas diferenciais de temperatura e umidade, entre os intervalos de 35,6m a 39,3m e 40,9m a 44,6m. Sob a suposição de que os fluxos de calor sensível e de ca-

lor latente obedecem a uma equação unidirecional de difusão, e de que as difusividades turbulentas para o calor e vapor d'água são iguais, a razão entre os gradientes de temperatura e umidade medidos fornece a razão de Bowen em condições de regime permanente. A razão evaporativa é calculada diretamente desta razão através da expressão:

$$\alpha = (1 + \beta)^{-1}. \quad (7)$$

Os resultados obtidos pelo método das covariâncias de flutuação estão em concordância com os valores calculados pelo SIT para as horas do dia, quando as medidas relevantes estiverem disponíveis.

Dentro do esforço para melhor compreender o processo de trocas energéticas na copa da floresta, foram feitas medidas paralelas de interceptação para 25 dias durante o mês de setembro, em local adjacente à torre meteorológica. A perda total por interceptação medida foi de 32,7mm em um total de precipitação de 193,3mm, o que fornece uma taxa de perdas por interceptação de aproximadamente 17 por cento.

DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE RUGOSIDADE DA COBERTURA VEGETAL

Em condições de estabilidade neutra, o perfil vertical do vento horizontal médio sobre a vegetação alta pode ser descrito pela equação:

$$u(z) = \frac{u^*}{k} \ln \frac{z - d}{z_0}, \quad (8)$$

onde: $u(z)$ é o vento horizontal médio na altura z acima do chão, u^* é a velocidade de fricção, k é a constante de von Kármán, z_0 é o comprimento de rugosidade e d é o deslocamento do plano zero.

Os valores de d foram calculados pelo método de conservação de massa de Mo-

lion & Moore (1983). Uma vez determinado d , os valores de z_0 e u^* foram encontrados pelo método dos mínimos quadrados. Os valores de u^* assim encontrados foram comparados com os valores de u^* estimados diretamente pelo "Hydra", o qual utiliza covariâncias de flutuações de velocidade.

Estimativas de d , z_0 e u^* foram obtidas a partir de 19 conjuntos de dados sob condições próximas de neutralidade (taxa de variação vertical de temperatura entre $-0,008$ e $0,012^\circ\text{Cm}^{-1}$) os quais apresentaram velocidade superiores a $2,00\text{ms}^{-1}$ ao nível de 44,6m de altura. Os valores estimados foram: $d = (23,46 \pm 1,76)\text{m}$ e $z_0 = (6,38 \pm 1,27)\text{m}$, que correspondem a $0,67 \pm 0,05\text{h}$ e $0,18 \pm 0,04\text{h}$, respectivamente, onde h é a altura média da floresta estimada em 35 metros.

Os valores de u^* obtidos pelo método de conservação de massa são sempre maiores que aqueles medidos com "Hydra". Essa subestimação de u^* pelo "Hydra" pode ser atribuída a limitações na exposição de seus anemômetros "Gill" ao vento horizontal. Efetuada uma regressão linear entre esses valores, obteve-se a equação:

$$u^*_{CM} = 1,12 u^*_{HY} + 0,40 \quad (9)$$

onde: u^*_{CM} e u^*_{HY} são velocidades de fricção estimadas pelo método de conservação de massa e pelo "Hydra", respectivamente.

As velocidades de evento horizontal médio obtidas para níveis abaixo de copa estiveram quase sempre entre $0,0$ e $1,0\text{ms}^{-1}$. Estes valores não foram considerados, uma vez que os anemômetros de copo não têm boa precisão para velocidades tão baixas do vento.

ESTRUTURA VERTICAL DA TEMPERATURA E UMIDADE

Na Fig. 2 são apresentados os dois dias consecutivos, os quais foram de parti-

cular interesse, pois forneceram elementos para comparação entre medidas de um dia com céu claro (27/09/83) e de outro quando ocorreram chuvas rápidas. As chuvas que ocorreram no segundo dia (28/09/83) entre 6:00 e 7:00 horas e 15:00 e 16:00 horas foram de natureza convectiva, com duração de 30 minutos, tendo sido consideradas moderadas.

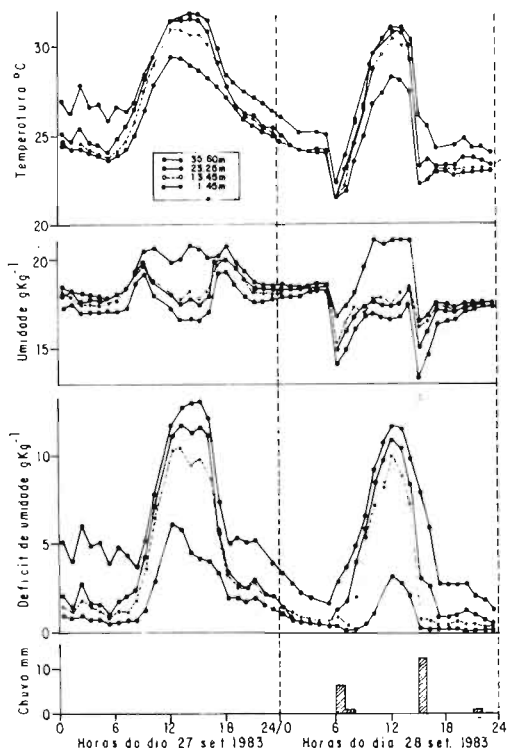


FIG. 2. Variação diária de temperatura, umidade e déficit de umidade medidas em quatro níveis através e imediatamente acima da floresta, juntamente com as medidas de chuva acima da copa para os dias 27 e 28 de setembro de 1983. Adaptado de Shuttleworth et al.(1984a).

Essa mesma figura sugere que a mistura do ar nos dois terços superiores da floresta é razoavelmente eficiente durante o dia. Nesta camada, a temperatura, umidade e déficit de umidade acompanham os dados da atmosfera acima, com diferenças em torno de 1°C , 1gKg^{-1} e 2gKg^{-1} , respectivamente, em condições secas. Por outro la-

do, os dados perto da base da floresta exibem durante o dia uma diferença significativa em relação aos altos níveis. A amplitude do ciclo de temperatura fica em torno de 60 por cento daquela no topo da floresta; a umidade absoluta é notavelmente maior, em torno de 2gKg^{-1} , e o déficit de umidade é de apenas 30 a 50 por cento dos valores acima da cobertura vegetal.

À noite, o comportamento é revertido. O ciclo de temperatura responde ao resfriamento por radiação de onda longa dos dois terços da base da floresta, e as temperaturas do ar nas partes superiores da floresta (e também da atmosfera acima) estão significativamente desacopladas daquelas da maior parte da vegetação próxima à superfície. Tal fato pode ser atribuído à diminuição das trocas turbulentas quando a estabilidade estática da atmosfera aumenta. Em condições de noite seca existe uma pequena variação na umidade absoluta por toda a floresta (tipicamente 1gKg^{-1}), a qual se reduz no decorrer da noite. Isto é acompanhado por uma reduzida variação na temperatura e no déficit de umidade na região correspondente aos dois terços superiores da floresta. Acima deste nível, temperatura e déficit de umidade podem permanecer significativamente maiores do que aqueles mais abaixo, de 1°C a 3°C , e de 1 a 3gKg^{-1} , respectivamente. A umidade absoluta decresce progressivamente da base até o topo da floresta durante todo o ciclo diário, tanto na condição seca como na úmida.

As duas chuvas convectivas perturbaram este comportamento. A temperatura e a umidade absoluta caíram rapidamente em todos os níveis após o início das chuvas. Contudo, o déficit de umidade nos dois níveis de observação no topo da floresta exibiu pouca resposta à presença de água livre na superfície da vegetação. Nos níveis mais baixos notou-se uma queda do déficit de umidade. Os perfis restabeleceram suas tendências diárias após duas a três horas.

Na Fig. 3 são mostradas as diferenças de temperatura e de umidade no intervalo de altura de 35,6m a 44,6m medidas com o SIT, para os dois dias considerados, das 06:00 às 18:00 horas. A linha tracejada na figura indica medidas do dia 27 de setembro e a linha cheia, as do dia 28 de setembro. A diferença de umidade é sempre negativa e indica um fluxo de calor latente para cima, isto é, evaporação. No começo da manhã, a diferença de temperatura é positiva, o que sugere que a radiação incidente até esta hora é insuficiente para compensar a razão de evaporação, e a floresta retira energia da atmosfera acima.

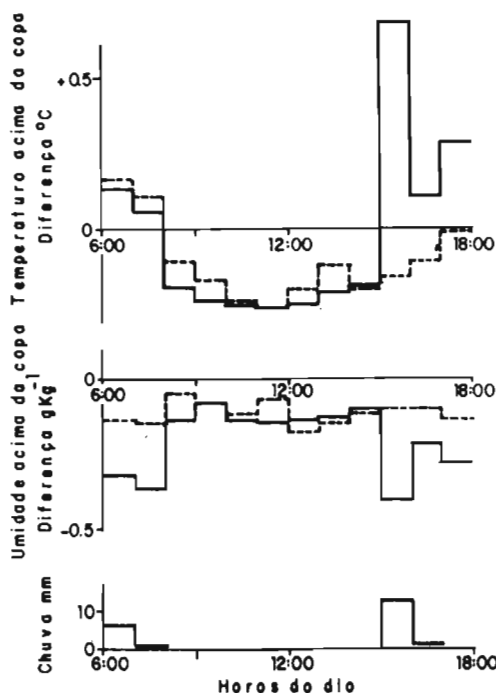


FIG. 3. Diferenças de temperatura e de umidade medidas acima da copa para as horas do dia 27 (tracejada) e 28 de setembro de 1983 (cheia), juntamente com as medidas de precipitação acima da copa. Fonte: Shuttleworth et al. (1984a).

Para o restante do dia seco, a diferença de temperatura é negativa, correspondendo a um fluxo de calor sensível para fora da floresta. Quando ocorreu chuva entre 15:00

e 16:00 horas em 28 de setembro, a diferença de temperatura sofreu uma rápida reversão. Claramente o alto déficit de umidade na atmosfera induziu a uma taxa de evaporação da copa umedecida, a qual não pôde ser sustentada unicamente por radiação, e ocorreu advecção de energia local. As diferenças de umidade aumentaram de modo significativo durante e imediatamente após as chuvas. Isto, em parte, reflete um aumento na taxa de evaporação da copa umedecida, mas esta interpretação é complicada pela coincidente diferença de temperatura reversa, a qual inverte a estabilidade atmosférica e reduz a efetividade da transferência turbulenta. Estas primeiras conclusões merecem um aprofundamento, o que será certamente empreendido em trabalhos futuros, nos quais serão igualmente discutidos aspectos do impacto da estação úmida sobre a floresta amazônica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados baseiam-se nos dados coletados de agosto a outubro de 1983 e abordados por Shuttleworth et al. (1984 a, b e c). No ano de 1984 foram realizadas mais duas campanhas: de março a maio e de julho a agosto, cujos dados estão em fase de análise. O experimento prevê outras quatro campanhas intensivas, duas em 1985 e duas em 1986. Espera-se com isto obter um conjunto de dados que permitam melhorar os conhecimentos sobre trocas de energia e de massa entre a floresta tropical amazônica e a atmosfera adjacente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração dos Drs. W. James Shuttleworth, Christopher J. Moore e John Robert e aos Srs. John H.C. Gash e Colin R. Lloyd, do Institute of Hydrology de Wallingford, Reino Unido, que formam a equipe britânica co-realizadora do Experimento Micrometeorológico na Amazônia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MOLION, L.C.B. & MOORE, C.J. Estimating the zero-plane displacement for tall vegetation using a mass conservation method. *Boundary Layer Meteorology*. Dordrecht, Holland, 26:115-25, 1983.
- SHUTTLEWORTH, W.J.; GASH, J.H.C.; LLOYD, C.R.; MOORE, C.J.; ROBERTS, J.; MARQUES FILHO, A.O.; FISCH, G.; SILVA FILHO, V.P.; RIBEIRO, M.N.G.; MOLION, L.C.B.; SÁ, L.D.A.; NOBRE, C.A.; CABRAL, M.R.; SUKARAN, R.P. & MORAES, J.C. Daily variations of temperature and humidity within and above Amazonian Forest. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1984a. (INPE-3196-PRE/560).
- SHUTTLEWORTH, W.J.; GASH, J.H.C.; LLOYD, C.R.; MOORE, C.J.; ROBERTS, J.; MARQUES FILHO, A.O.; FISCH, G.; SILVA FILHO, V.P.; RIBEIRO, M.N.G.; MOLION, L.C.B.; SÁ, L.D.A.; NOBRE, C.A.; CABRAL, M.R.; SUKARAN, R.P. & MORAES, J.C. Eddy correlations measurements of energy partition for Amazonian Forest. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1983b. (INPE-3195-PRE/559).
- SUTTLEWORTH, W.J.; GASH, J.H.C.; LOOYD, C.R.; MOORE, C.J.; ROBERTS, J.C.; MARQUES FILHO, A.O.; FISCH, G.; SILVA FILHO, V.P.; RIBEIRO, M.N.G.; MOLION, L.C.B.; SÁ, L.D.A.; NOBRE, C.A.; CABRAL, M.R.; SUKARAN, R.P. & MORAES, J.C. Observations of radiation exchange above and below Amazonian Forest. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1984c. (INPE-3194-PRE/558).

CLIMATOLOGIA DA DINÂMICA DA TROPOSFERA SOBRE A AMAZÔNIA

Luiz Carlos B. Molion¹ e Vernon E. Kousky¹

RESUMO: São discutidas a configuração da circulação da troposfera e a sua relação com a precipitação sobre a bacia amazônica. A configuração geral da precipitação, durante o verão, está intimamente ligada à posição de um sistema de alta pressão na troposfera superior, que domina a circulação sobre a América do Sul, e cujo centro se forma geralmente sobre a Bolívia. Esse sistema se enfraquece e se move para o norte durante o outono e o inverno; nessa ocasião, as partes sul e este da bacia amazônica sofrem uma estação seca. A variabilidade na configuração da precipitação pode ser parcialmente devida às zonas de convergência persistentes que se originam de, ou estão associadas aos sistemas frontais do Hemisfério Sul, responsáveis pela organização da convecção sobre o Brasil tropical. A circulação da brisa do mar que afeta a costa norte do Brasil é um dos fatores causadores das linhas de instabilidade. Algumas vezes, estas linhas se propagam continente a dentro permanecendo ativas por cerca de 48 horas; durante esse tempo, cruzam toda a bacia amazônica e chegam aos Andes. A distribuição espacial da precipitação sobre a bacia pode estar ligada a essas linhas de instabilidade.

Termos para indexação: Climatologia dinâmica, região amazônica.

DYNAMIC CLIMATOLOGY OF THE TROPOSPHERE OVER THE AMAZON

ABSTRACT: The tropospheric circulation pattern and its relation to rainfall in the Amazon basin are discussed. The general pattern of precipitation during the summer is closely linked to the position of an upper tropospheric high pressure system, which dominates the circulation over South America and whose center generally forms over Bolivia. This system weakens and moves northward during fall and winter while southern and eastern portions of the Amazon basin experience a dry season. Variability in the rainfall pattern may partially be due to persistent convergence zones, originating from or associated with Southern Hemisphere frontal systems, which greatly organize convection over tropical Brazil. The sea breeze circulation, which affects the northern coast of Brazil, is an important factor in organizing instability lines. At times, these lines propagate inland, remaining active for up to 48 hours, in which time they cross the entire basin and then reaching the Andes. The spatial distribution of rainfall over the basin may be linked to these instability lines.

Index terms: Dynamic climatology, Amazon region.

¹Instituto de Pesquisas Especiais. Caixa Postal 515. CEP 12200. São José dos Campos, SP.

INTRODUÇÃO

O clima de uma região continental depende de vários fatores, denominados "controles climáticos". Dentre os mais importantes podem ser citados: a circulação geral da atmosfera que atua sobre a região; a topografia local; a natureza da cobertura superficial; e o ciclo hidrológico.

A circulação geral da atmosfera, uma consequência da distribuição latitudinal da energia solar e da distribuição de continentes e oceanos no planeta, é o fator que impõe as características gerais do clima regional. Este terá características particulares controladas pela topografia e pela cobertura superficial. Por outro lado, o ciclo hidrológico tem que ser considerado como controle climático, pois ele não é somente um produto do próprio clima, mas também da paisagem biogeofísica como um todo. Além disso, ele exerce uma influência sobre o clima que não pode ser reduzida aos efeitos combinados dos outros fatores formadores do mesmo, ou seja, a interação entre umidade atmosférica, a precipitação e o escoamento total.

Neste trabalho, focalizar-se-ão as circulações troposféricas, de grande e de média escalas, atuantes sobre a região e sua influência sobre a configuração da precipitação observada.

CIRCULAÇÃO MÉDIA DE GRANDE ESCALA

Até recentemente, a circulação média da troposfera sobre a bacia amazônica tinha sido analisada utilizando-se dados de radiossondagens interpolados entre regiões com cobertura relativamente boa. Isso se deve ao fato de que mesmo com a expansão da rede de radiossondagens nos anos 60 e 70, a Amazônia continuou a ser uma região com grande escassez de dados de altitude. Usando apenas dados de radiossondagens, Newell et al. (1972) fizeram análises de linhas de corrente para o globo in-

terior, entre 45°N a 45°S, para os níveis de 850 mb e 200 mb. Como essas análises incluíram menos de dois anos de dados para Manaus e Belém, elas devem ser encaradas como primeira tentativa de descrever o escoamento atmosférico sobre a Amazônia.

Trabalhos recentes sobre a Amazônia (Sobral 1979, Kagano 1970) apresentam médias produzidas como séries mais longas de dados; Hastenrath & Lamb (1977), utilizando mais de 60 anos de dados coletados por navios, derivaram campos médios de pressão e de vento para o Oceano Atlântico. Esses estudos indicam que as análises de Newell et al. (1972) devem sofrer algumas modificações. Por outro lado, tem se tornado mais evidente que satélites geostacionários, por fornecerem cobertura espacial contínua a intervalos de 30 minutos, oferecem as melhores condições para a determinação da estrutura do escoamento troposférico sobre regiões com escassez de dados. Como esses satélites permanecem essencialmente estacionários com relação a um ponto sobre a terra, as imagens, dispostas em ordem sequencial, podem ser animadas. Essa animação determina o movimento de nuvens que, para certos tipos de nuvens, produz velocidades muito próximas das velocidades reais do vento. Essa técnica foi usada por Virji (1980) que analisou dados do satélite GOES-E para estudar a configuração da circulação de verão sobre a América do Sul.

Neste trabalho, combinaram-se os resultados obtidos pelos autores citados acima e obtiveram-se os campos de linhas de corrente para os níveis de 850 mb e 200 mb apresentados na Fig. 1. Nota-se claramente a 850 mb, a presença dos anticiclones do Atlântico Sul e do Pacífico Sul. O escoamento a 850 mb, sobre a parte leste do Brasil, muda muito pouco do verão (Fig. 1.a) para o inverno (Fig. 1.c), o mesmo não ocorrendo no interior do continente, onde nota-se uma variação sazonal desde o norte da Argentina até as regiões equatoriais. Durante o verão, a região de baixa pressão

sobre o Chaco é bastante intensa, com convergência considerável do ar proveniente do norte. Esta baixa de pressão induz a penetração de umidade nos baixos níveis, que é transportada pelos ventos Alísios do Hemisfério Norte ao Oeste da Amazônia. Durante o inverno o escoamento permanece de sudeste sobre a maior parte do norte da América do Sul.

A 200 mb, existe uma variação sazonal muito pronunciada no escoamento, fortemente meridional do verão (Fig. 1.b) para aproximadamente zonal durante o inverno (Fig. 1.d).

A natureza meridional do escoamento de verão é resultado direto do forte aquecimento superficial (calor sensível) e da liberação de calor latente, sobre as áreas continentais. Esse aquecimento produz uma circulação térmica direta, com ar quente subindo sobre o continente e subsidência de ar relativamente frio sobre as áreas oceâ-

nicas vizinhas. A Fig. 2 é uma representação esquemática dessa circulação. Porém, o ramo leste desta célula zonal pode ser bem maior do que o ramo oeste (Gill 1980). Isto implicaria ter movimentos descendentes sobre uma região mais extensa, a leste da região aquecida. No caso da América do Sul, os movimentos descendentes estender-se-iam do leste da Amazônia até a costa oeste da África, incluindo, assim, o Nordeste do Brasil. Essa circulação é denominada circulação de Walker. O movimento ascendente intensifica o desenvolvimento de nuvens sobre a região aquecida, e o movimento descendente inibe a formação de nuvens sobre as regiões próximas dos oceanos, fato esse evidenciado na Fig. 3.a. Como consequência desta circulação térmica direta sobre a região aquecida, têm-se baixa pressão e convergência nos baixos níveis e alta pressão e divergência nos altos níveis (Virji 1980).

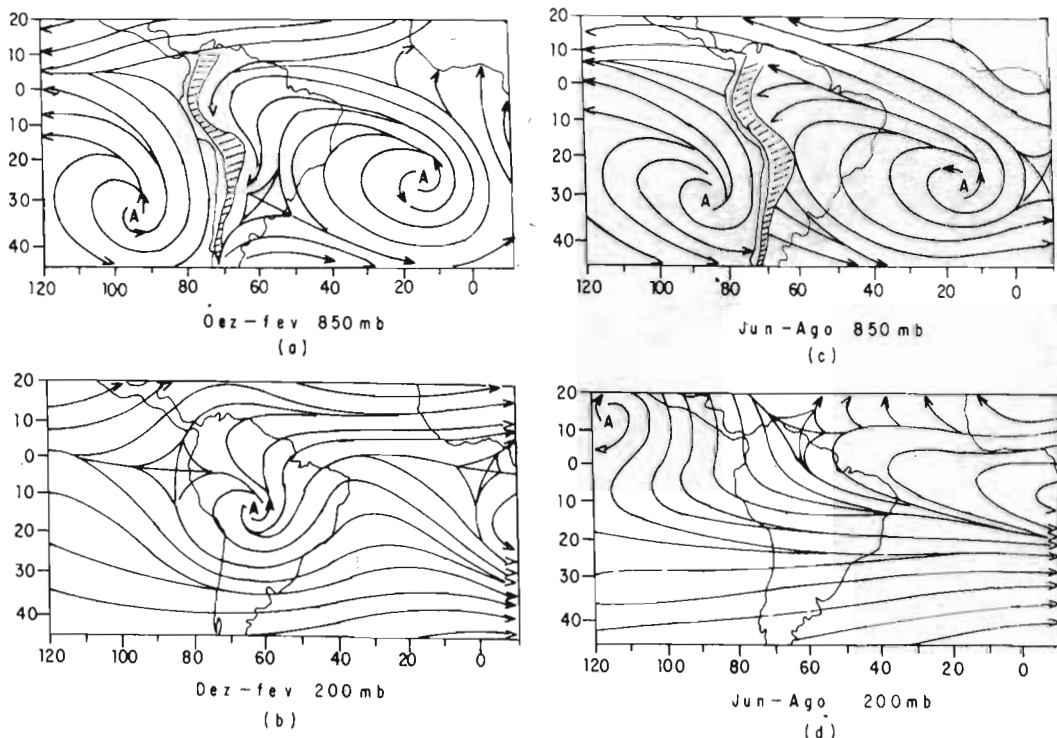


FIG.1. Linhas de corrente representativas do escoamento médio.

A variação sazonal da intensidade e da posição da alta de pressão na troposfera su-

perior está diretamente relacionada com a distribuição espacial e temporal da preci-

precipitação (Kousky & Kagano 1981). À medida que a alta de pressão enfraquece e se move em direção ao norte durante o inverno, as partes sul e oeste da Amazônia sofrem uma estação seca, que é evidenciada não só pelos dados de precipitação de estações individuais, mas também pelas cartas de brilho médio, obtidas através de dados de satélites no espectro visível (Fig. 3.b).

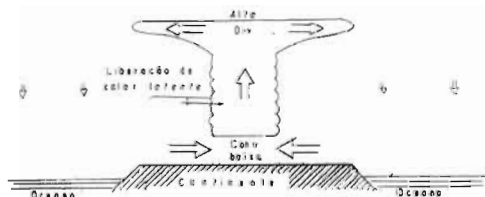
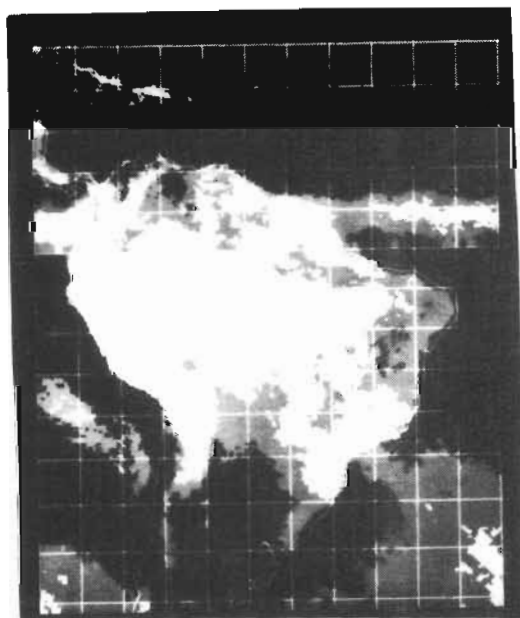


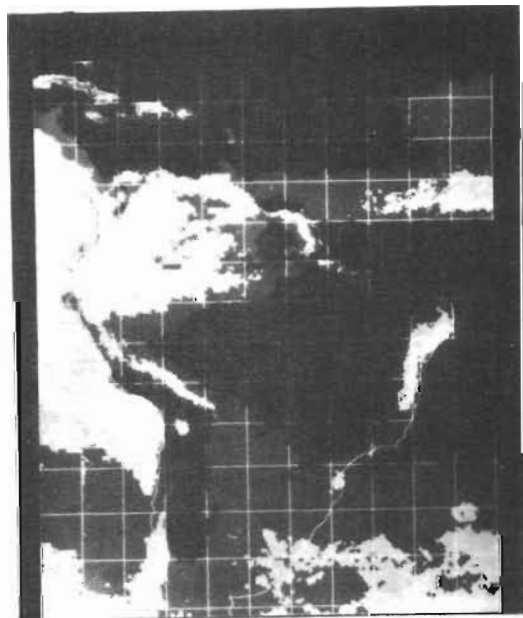
FIG.2. Diagrama esquemático representativo da circulação resultante do aquecimento diferencial, no verão, entre o continente e os oceanos adjacentes.

A confluência dos Alísios do norte e do sul determina a Zona de Confluência Intertropical (ZCIT) à superfície. Hastenrath &

Lamb (1977) mostram que, sobre o oceano, a ZCIT move-se progressivamente, de sua posição ao norte durante o inverno, para o sul durante a primavera e o verão. Desta forma, o nordeste da América do Sul permaneceria sob a influência dos Alísios T do sul, enquanto o escoamento dos Alísios do norte, auxiliados pelos Andes, através do equador, trariam a maior parte da umidade para o noroeste e o centro do continente (Fig. 1). Alguns autores (e. g. Trewartha 1961) mencionam a existência climatológica de uma ZCIT continental que é, contudo, questionável. Cartas de totais de precipitação mostram uma região de alta taxa de precipitação ao longo da costa norte, próximo à foz do Amazonas, onde a ZCIT sobreoceânica cruza a costa. Porém, no interior do continente, os totais mais elevados de precipitação ocorrem a oeste e ao sul da Amazônia (Fig. 4). As cartas de brilho médio, obtidas através de satélites (Fig. 3), não apresentam máximos de nebulosidade ao longo da suposta localização da ZCIT continental. Como não há contrastes nas massas de ar sobre o continente, é bem pro-



Janeiro



Julho

FIG. 3. Cobertura de nuvens sobre a América do Sul no meio da tarde. As cinco gradações da escala de cinza têm a seguinte correspondência em octas: preto 0 - 2; cinza escuro - 3; cinza - 4; cinza claro - 5; branco 6 - 8. Período da média: de 1.º de janeiro de 1967 a 31 de dezembro de 1970.

Fonte: Miller & Feddes 1971.

vável que as correntes aéreas, provenientes dos dois hemisférios, se misturem vertical e lateralmente, sem apresentar uma zona de separação bem definida (Taljaard 1972). Contudo, é evidente que existe, nas imagens de satélites, escoamento transequatorial, com os Alísios do norte invadindo ocasionalmente o continente (Virji 1980).

PERTURBAÇÕES TRANSIENTES

Perturbações transientes podem ser classificadas conforme escalas de tempo diferentes, variando desde convecção de mesoescala (de alguns minutos até horas) à influência sinótica de grande escala, que podem perdurar por vários dias. Nesta seção serão abordados primeiramente os sistemas de mesoescala e, em seguida, discutir-se-ão as influências da escala sinótica sobre o tempo da região amazônica.

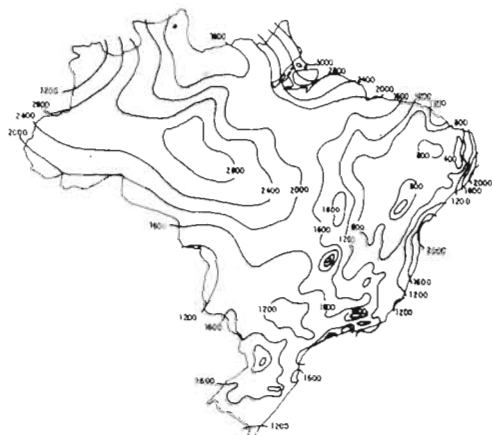


FIG. 4. Isolinhas de totais médios anuais de precipitação sobre o Brasil (Adaptação de Ratisbona 1976).

Sistema de Mesoescala

Grande número de estudos sobre a estrutura e comportamento dos sistemas tropicais de mesoescala foi feito para regiões da África, como parte do experimento GATE (e.g., Aspliden et al. 1976, House 1977, Fortune 1980). Para a bacia amazônica, devido à falta de dados convencionais adequados, os sistemas de nuvens convectivas são mais bem estudados através da análise de dados de satélites. Johnson (1970) no-

to, na Amazônia, a presença de um grande número de aglomerados, que parecem ser típicos da região, desenvolvem-se e dissipam-se diariamente. Seu tamanho e forma dependem das condições atmosféricas médias da região. Na ausência de fenômenos forçantes e grande escala, tais como os associados a sistemas frontais, as células convectivas começam a se desenvolver durante a manhã. Essas células sofrem um processo de seleção no qual as maiores crescem, formando, eventualmente, aglomerados ou linhas, enquanto as menores são suprimidas. A formação de uma linha ou aglomerados depende da configuração do escoamento atmosférico. A Fig. 5 mostra esquematicamente as condições sob as quais as linhas e os aglomerados se formam. Em uma situação com vento médio atuante (Fig. 5.a), novos elementos convectivos formam-se a sotavento da célula original. A forma arcada da linha em expansão é parcialmente devido às correntes descendentes ou às frentes de rajadas, associadas às células originais e subsequentes. Em uma situação de ventos fracos (Fig. 5.b), novas células se formam ao redor da original, dando origem a um anel ou a um aglomerado que gradualmente aumenta em tamanho, à medida que as correntes descendentes divergem da célula original.

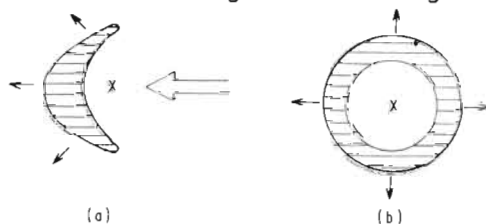


FIG. 5. Diagrama esquemático da formação de algumas linhas ou aglomerados.

- a) A situação com a existência de um escoamento médio (indicado pela seta maior) e b) A situação com ventos fracos. A posição da célula convectiva original em cada caso está indicada por um "x".

Recentemente Cavalcanti (1982) demonstrou a importância da circulação de brisa marítima na organização de atividade convectiva próxima à foz do Amazonas.

A atividade convectiva se forma quase que diariamente ao longo da zona de convergência da brisa do mar, e propaga-se para dentro do continente, alcançando Belém no final da tarde. A linha de instabilidade continua a se propagar e, sob condições normais, começa a se dissipar após o ocaso do sol, devido à redução do contraste térmico. Contudo, ocasionalmente, essas linhas podem continuar sua evolução, permanecendo ativas por mais de 48 horas. Durante a noite, sua atividade diminui em intensidade e, durante o dia seguinte, voltam a se intensificar devido ao forte aquecimento superficial. Em certos casos, essas linhas de instabilidade se deslocam com velocidades em torno de 10° longitude dia^{-1} concorrendo para que elas atinjam o extremo oeste da Amazônia em cerca de 48 horas.

A Fig. 6 (Kousky 1980) baseada em técnica descrita por Wallace (1970) mostra um exemplo dessas linhas. O mosaico é composto por seções de imagens do satélite geostacionário GOES de 5°N - 5°S de latitude com início às 03:18 Z do dia 21/10/80 e término às 21:18 Z do dia 25/01/80. O intervalo entre cada seção é de três horas. No mosaico, as faixas brancas em diagonal, representando nebulosidade, evidenciam a propagação para oeste das linhas de instabilidade. Essas linhas são mais longas do que as formadas pelo processo indicado na Fig. 5.a. As linhas de instabilidade induzidas pela brisa marítima podem ter comprimentos acima de 1000 km, enquanto as formadas de células separadas, ou pequenos aglomerados, normalmente possuem comprimentos inferiores a 500 km.

A ocorrência de linhas de instabilidade, induzidas pela brisa marítima, pode ser um fator importante para a explicação da distribuição média anual de precipitação sobre a bacia amazônica (Fig. 4). O máximo que ocorre próximo à costa é devido, provavelmente, à convergência noturna entre os Alísios e a brisa terrestre próximos à costa (Cavalcanti 1982). Obviamente, o

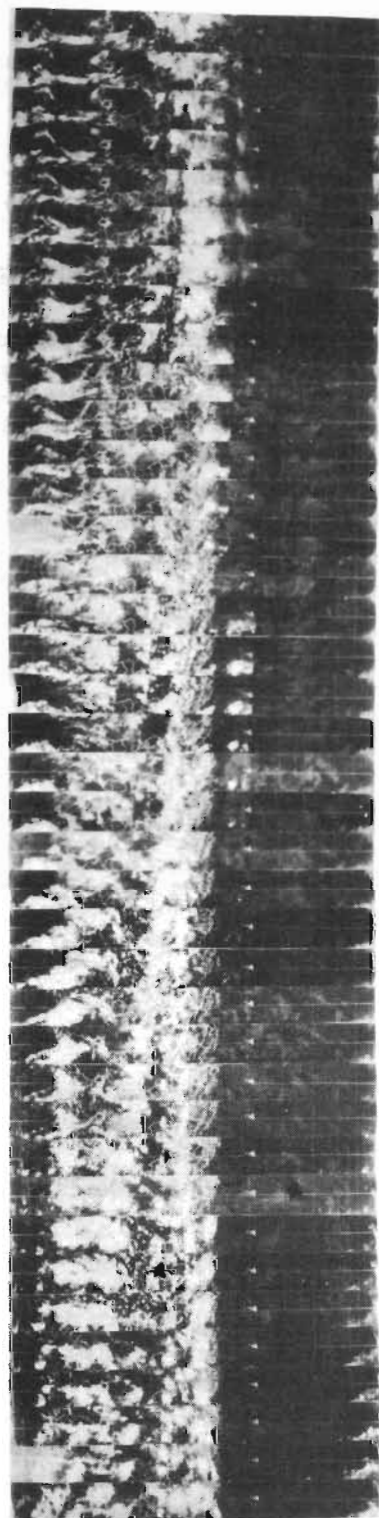


FIG. 6. Linhas de instabilidade na Amazônia.

atrito diferencial entre oceano e continente também produz convergência ao longo da costa e, portanto, também contribui para esse máximo observado. Os totais pluviométricos são consideravelmente menores a cerca de 500 km da costa. Nessa região, a convecção diurna é reduzida, quando ocorre convecção organizada ao longo da frente associada à brisa marítima. Porém, ao se propagar continente a dentro, essa convecção organizada produz precipitação noturna a cerca de 500 km da costa, embora menos intensa, devido à redução do contraste térmico (Kousky 1980). No dia seguinte, a atividade de convectiva volta a se intensificar na parte central da Amazônia, contribuindo, assim, para o máximo anual de precipitação, observado nesta região (Fig. 4)

As linhas de instabilidade associadas à brisa marítima auxiliam na explicação de altas intensidades de precipitação diária observadas nessas regiões, que não poderiam ser explicadas apenas pela formação de células convectivas locais; com estas, formam o conjunto de mecanismos dinâmicos de reciclagem de água na Amazônia.

Influências de Escala Sinótica

Vários autores já descreveram os efeitos de frentes frias sobre a Amazônia durante o inverno do Hemisfério Sul (e.g., Trewartha 1961, Brinkmann et al. 1971, Parmenter 1976, Ratisbona 1976). Um exemplo é o fenômeno, popularmente conhecido como "friagem", que ocasiona quedas de 15°C a 20°C na temperatura do ar e tem a duração média de três a cinco dias.

Porém, os sistemas frontais de latitudes médias podem afetar o tempo sobre a Amazônia nas outras estações do ano. Kousky (1979), por exemplo,

ilustrou um caso no mês de janeiro, no qual uma frente fria, movendo-se em direção ao norte, ao longo da costa leste do Brasil, foi acompanhada por um deslocamento do máximo de atividade pluviométrica do oeste da Amazônia para o leste do Brasil. O aumento de precipitação na parte leste do Brasil provavelmente resultou da convergência em baixos níveis, e, portanto, de movimentos ascendentes, associados ao sistema frontal. A concomitante redução de precipitação sobre o leste da Amazônia pode ser atribuída ao movimento subsidente e compensatório, que inibe o desenvolvimento organizado de nuvens convectivas. Uma inspeção de imagens de satélites geoestacionários revela que muitos dos sistemas frontais, que se movem em direção ao nordeste, produzem deslocamentos similares na atividade convectiva.

Em alguns anos, durante o verão, sistemas frontais tornam-se quase-estacionários sobre a costa sudeste, próximas a 20°S . A convecção organizada, associada a estas frentes, intensifica a atividade convectiva sobre o sudeste do Brasil, entre 15°S - 20°S e 40°W - 50°W , ocasionando precipitações contínuas e, conseqüentemente, encharcamentos sobre a região das cabeceiras dos afluentes da margem direita do Rio Amazonas e sobre a cabeceira do Rio São Francisco. Nesses casos, similares aos apresentados por Kousky (1980), também existe um deslocamento da atividade convectiva e, como eles são relativamente persistentes, podem-se esperar grandes desvios, com relação à precipitação normal, em muitas áreas. A variabilidade interanual da precipitação pode estar ligada a tais situações anômalas.

VARIABILIDADE INTERANUAL

Nos trópicos, o parâmetro climatológico mais importante a ser considerado é a precipitação pluviométrica. A causa física de sua variabilidade interanual ainda não é bem conhecida, mas sem dúvida está relacionada à flutuações da circulação de grande escala, principalmente à intensidade da alta pressão na troposfera superior, que estão associadas à variação da potência das fontes de calor (liberação de calor latente) sobre os continentes tropicais.

Em particular, anos que apresentaram uma grande redução nos totais pluviométricos anuais parecem ter sido anos de ocorrência de eventos fortes de Oscilação Meridional e El Niño. As possíveis relações entre eventos de Oscilação Meridional/El Niño e secas ou redução de precipitação foram exploradas recentemente (e.g. Kousky et al. 1984). A idéia corrente é que uma convecção mais forte do que a normal estabelece sobre as águas anormalmente quentes do Pacífico Equatorial Este. O ramo ascendente da circulação de Walker, que normalmente está sobre a parte ocidental da Amazônia, é deslocado para oeste, sobre o Pacífico, e intensificado pela forte convecção. O ramo descendente estende-se sobre praticamente toda a Amazônia alcançando a costa oeste da África e causando redução nos totais de precipitação.

Moura & Kagano (1983) estudaram o ano de 1958, que foi classificado por vários investigadores como o ano de forte El Niño. Eles mostraram que os totais de precipitação na Amazônia Ocidental chegaram a sofrer reduções superiores a 1,8 desvios-padrão com relação à média de longo prazo. Kousky et al. (1984) demonstraram também

que o El Niño de 1983 afetou a precipitação da Amazônia. O total de precipitação para o período janeiro-maio desse ano apresentou uma redução média de 30% para algumas estações selecionadas na região.

Existem outros mecanismos que podem causar redução na precipitação. Um exemplo é a intensificação da Célula Hadley, circulação meridional, que com a ITCZ colocada ao norte de sua posição normal pode produzir movimentos subsidentes mais fortes sobre a região (Moura & Shukla 1981). A penetração profunda nos subtropicais de sistemas frontais que contribuem para organizar a convecção na Amazônia pode ser severamente afetada por bloqueios do escoamento atmosférico que ocorrem sobre o sul da América do Sul. Em anos com grande frequência de bloqueios, um número menor de sistemas frontais consegue alcançar o sul da Amazônia que tem como consequência seus totais pluviométricos reduzidos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essas discussões mostram que o tempo sobre a bacia amazônica é afetado por um amplo espectro de fenômenos meteorológicos, que variam desde a circulação de grande escala até sistemas convectivos de mesoescala; mostram também que as linhas de instabilidade, associadas à brisa marítima, podem possivelmente explicar a série alternada de máximos e mínimos de totais anuais de precipitação que se observam de este para o oeste, ao longo do Amazonas. As interações entre esses fenômenos indubitavelmente desempenham papel importante na determinação da precipitação diária, bem como na sua variabilidade interanual sobre a região.

Uma das maiores preocupações com relação a mudanças climáticas é a habilidade que o Homem adquiriu de transformar o cenário de grandes extensões continentais, particularmente através da remoção de florestas tropicais. Um desmatamento em grande escala na Amazônia interferirá no clima regional e possivelmente no clima do globo, pois a Amazônia é uma das principais fontes de calor para a Circulação Geral (Kasahara & Mizzi 1983). Esse calor é constituído principalmente de calor latente de evaporação, que será reduzida pelo desmatamento, segundo a opinião de vários investigadores. Todavia, ainda não se quantificou o fluxo de calor latente para fora da região e não se sabe como a possível redução afetaria a quantidade média de calor que é transportada em direção aos pólos e, portanto, o clima do globo. Existe necessidade urgente de avaliar a interação entre a floresta e a atmosfera e de se desenvolverem modelos numéricos capazes de simularem as possíveis mudanças climáticas resultantes de um desmatamento em grande escala.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASPLIDEN, C.I.; TOURRE, Y. & SABINE, J.B. Some Climatological Aspects of West African Disturbance Lines During GATE. *Mon. Weather Rev.* 104(8):1029-35, 1976.
- BRINKMANN, W.L.; WEINMAN, J.A. & RIBEIRO, M.N.G. Air Temperatures in Central Amazonia - I. *Acta Amaz.*, 1(2):51-6, 1971.
- CAVALCANTI, I.F.A. Um estudo sobre interações entre sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais. São José dos Campos, S. Paulo, Instituto de Pesquisas Espaciais, 1982, 133p. (INPE-2494-TDL/097).
- FORTUNE, M. Properties of african squall lines inferred from time-lapse satellite imagery. *Mon. Weather Rev.*, 108(2):153-68, 1980.
- GILL, A.E. Some simple solutions for heatinduced tropical circulation. *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 106(449):447-62, 1980.
- HASTERNRATH, S. & LAMB, P. *Climatic atlas of the Tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans*. Madison, University of Wisconsin 1977.
- HOUSE JR. R.A. Structure and dynamics of a tropical squall-line system. *Mon. Weather Rev.* 105(12):1540-67, 1977.
- JOHNSON, D.H. The role of the tropics in the global circulation. In: CORBY, G.A. ed. *The general circulation of the atmosphere*, London, Royal Meteorological Society, 1970. p.113-36.
- KAGANO, M.T. Um estudo climatológico e sinótico utilizando dados de radiossondagem (1968-1976) de Manaus e Belém. São José dos Campos. S. Paulo, Instituto de Pesquisas Espaciais, 1970. (INPE-1559-TDL 013).
- KASAHARA, A. & MIZZI, A.P. On the evaluation of the heating/cooling rate from ECMWF Level III - b analysis data. *The Global Weather Experiment Newsletter*. Washington, DC, USGARP, NAS, 1983.
- KOUSKY, V.E. Frontal influences on Northeast Brazil. *Mon. Weather Rev.*, 107(9):1140-53, 1979.
- KOUSKY, V.E. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. *Mon. Weather Rev.*, 108(4): 488-98, 1980.
- KOUSKY, V.E. & KAGANO, M.T. A Climatological study of the tropospheric circulation over the Amazon Region. *Acta Amaz.*, 11(4):743-58, 1981.
- KOUSKY, V.E.; KAGANO, M.T. & CAVALCANTI, I.F.A. A review of the southern oscillation: oceanic atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. s.l., Tellus, 1984. No prelo.
- MILLER, D.B. & FEDDES, R.G. *Global Atlas of Relative Cloud Cover 1967-1970*. Washington, Department of Commerce, National Oceanic and Atmosphere Administration, 1971.
- MOURA, A.D. & KAGANO, M.T. Teleconnections between South America and West

- tern Africa as revealed by monthly precipitation analysis. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY**, 1., São José dos Campos, S. Paulo, 1983. São José dos Campos, S. Paulo, s.ed., p.120-2.
- MOURA, A.D. & SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: observations, theory and numerical experiment with a general circulation model. **J. Appl. Meteorol.**, 38(12):2653-75, 1981.
- NEWELL, R.E.; KIDSON, J.W.; VICENT, D.G. & BOER, G.J. The general circulation of the tropical atmosphere. Cambridge, Massachusetts Institute of Technology, 1972. V. 1.
- PARMENTER, F.C. A Southern Hemisphere cold front passage at the Equator. **Bull. Am. Meteorol. Soc.**, 57(12):1435-40, 1976.
- RATISBONA, L.R. The climate of Brazil, climates of Central and South America. In: SCHWERTDFEGER, W. ed., **World Survey of Climatology**. Amsterdam, Elsevier, 1976. v. 12:p.219-93.
- SOBRAL, Z.R. Um estudo climatológico dos campos de vento e temperatura nos níveis superiores sobre a América do Sul. São José dos Campos, S. Paulo, Instituto de Pesquisas Espaciais, 1979. (INPE 1672-TDL/017). Tese mestrado.
- TALJAARD, J.J. Synoptic Meteorology of the Southern Hemisphere. In: NEWTON, C.W. ed., **Meteorology of the Southern Hemisphere**. Boston, American Meteorological Society, 1972. P. 139-213.
- TREWARTHA, G.T. **The earth's problem climates**. Madison, University of Wisconsin, 1961.
- VIRJI, H. Tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds. **Mon. Weather Rev.**, 1980. No prelo.
- WALLAGE, J.M. **Time-longitude sections of tropical cloudiness December 1966-November 1967**. Washington, National Environmental Satellite Center, 1970. 37p. (National Environmental Satellite Center. ESSA Technical Report, 56).

ENCUESTA AGROCLIMATICA DEL TRÓPICO HÚMEDO DE AMÉRICA DEL SUR

Itamar Noe Dobrea¹

RESUMEN: Se presenta la programación de un levantamiento agroclimatológico para el trópico húmedo de la América del Sur a un nivel de macro-escala en desarrollo, por un grupo de organismos de biometeorología agrícola, compuesto por FAO, OMM, UNESCO Y PNUMA. El objetivo principal del levantamiento es resaltar el impacto de los elementos climáticos en la producción de las áreas de selva pluvial de esta región.²

Termos para indexación: Clima, levantamiento agroclimático, trópico húmedo, biometeorología agrícola.

AGROCLIMATIC SURVEY OF THE SOUTH AMERICAN HUMID TROPICS

ABSTRACT: This paper describes an agroclimatic survey of the south american humid tropics, under development in macro-scale level by the interinstitutional group of agricultural biometeorology, composed by FAO, WMO, UNESCO and PNUMA. The main objective of the survey is to demonstrate the impact of climatical elements in agricultural production in rainforest areas of the region.

Index terms: Climate, agroclimatic survey, humid tropics, agricultural biometeorology.

ANTECEDENTES

La FAO OMM y UNESCO vienen colaborando desde hace más de 20 años en la ejecución de estudios y encuestas en áreas pilotos, generalmente a macro escala, para resaltar el impacto de los elementos climáticos en la producción agrícola.

Entre las labores ejecutadas bajo la supervisión de dichos organismos, se desta-

can las encuestas de índole agrometeorológica desarrolladas en el Cercano Oriente - 1962 (el clima mediterráneo), en el sur del Sahara - 1967 (el clima del desierto Sudano-Sahariano del oeste africano), en el este de África - 1969 (el clima de las zonas altas tropicales), en Sur América - 1975 (el clima de los altiplanos andinos) y en el sur-este de Asia - 1982 (el clima del trópico húmedo). La mayor parte de este traba-

¹Consultor del Grupo Interorganismos de Biometeorología Agrícola (FAO, OMM, UNESCO y PNUMA).

²Preparado pela comissão executiva do Simpósio - sub-comissão de clima.

jo fue coordinado por el "Grupo Interorganismos de Biometeorología Agrícola", creado en el año 1968, por los organismos antes mencionados y los resultados obtenidos han sido publicados por la FAO (Informes Técnicos) así como por la OMM (Notas Técnicas - N.T. Nrs: 56/1963; 86/1967; 125/1973; 161/1968; y 179/1983).

En la actualidad dicho Grupo Interorganismos está realizando una encuesta similar en el ámbito de la selva pluvial de Sudamérica, que abarca la totalidad de las tierras bajas de la Cuenca Amazónica y además una gran extensión a lo largo del litoral pacífico de Colombia y del norte de Ecuador, los valles interiores, húmedos de Colombia (la cuenca del Río Magdalena) así como ciertas áreas pertenecientes al litoral del Mar Caribe (Colombia, Guyana, Suriname y Guyana Francesa).

Para la puesta en marcha y el desarrollo de esta última encuesta, se ha solicitado previamente el apoyo de los Representantes Permanentes ante la OMM y de los Representantes Residentes de la FAO de los 9 países sudamericanos, ubicados en la zona del estudio: Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Francia (Guyana Francesa), Perú, Suriname y Venezuela, quienes han adelantado los trámites pertinentes ante las autoridades nacionales correspondientes.

La iniciativa de llevar a cabo dicha encuesta en el ámbito del trópico húmedo de Sur América ha tenido una acogida muy favorable, recibiendo las autorizaciones y el apoyo total de los órganos responsables de los países involucrados en las labores de la Encuesta.

Posteriormente, el grupo interorganismos nombró un consultor para asegurar la coordinación de las actividades a nivel regional, quien dió inicio a las labores pertinentes a nivel nacional en cada uno de los países participantes.

Para el desarrollo de las labores pertinentes, el consultor realizó visitas a los países del área promoviendo la conformación de Comités o grupos de trabajo nacionales, analizando conjuntamente con los componentes de dichos comités la disponibilidad de información meteorológica y agronómica, contactando las entidades que cuentan con datos requeridos y estableciendo la metodología para la primera etapa de desarrollo de la Encuesta.

Finalmente, en base a las conversaciones sostenidas, fue elaborada una guía y los formatos para la recopilación y ordenamiento de los datos correspondientes. En varios países, que cuentan con bancos de datos meteorológicos computarizados, se elaboraron programas para la automatización de las labores. Estos programas se están ya intercambiando entre los Comités Nacionales del área.

JUSTIFICACION

La agricultura de las tribus nativas que poblaban las tierras bajas del trópico húmedo de Sudamérica no tuvieron un impacto notable en la modificación de sus biomas, debido básicamente a la densidad reducida de estas poblaciones autóctonas; mientras que los agricultores de las zonas más altas, quienes penetraron hacia la zona selvática, introdujeron especies que venían cultivando tradicionalmente en las áreas originales y las cuales pudieron adaptarse más fácilmente a las nuevas condiciones, para satisfacer una agricultura de subsistencia muy débil.

El desarrollo más importante de la agricultura de estas regiones se reporta a la colonización del continente y a la penetración (relativamente reducida) del hombre a través de las vías fluviales, hacia el interior de la selva amazónica. Esta acción tuvo como resultado la introducción en una

franja, por lo general angosta, limitada estrictamente a las orillas de los cursos de agua más importantes, de especies exóticas, en general provenientes de regiones de las latitudes tropicales de otros continentes, pero también de las zonas climáticas extratropicales.

La explosión demográfica, determinada por una tasa media anual de crecimiento de aproximadamente 2.5%, indica que al finalizar este siglo la población del globo terrestre superará probablemente dos veces el número registrado en el año 1969.

Este incremento en la población humana plantea tareas complejas y de suma importancia para la planificación agropecuaria, relacionadas básicamente con la necesidad de aumentar la producción y la productividad agrícola y, en consecuencia, la cantidad de alimentos disponible.

Uno de los aspectos que se está directamente relacionando con esta problemática, es la ampliación de las fronteras agrícolas hacia las regiones que aún no han sido incorporadas al circuito agropecuario o que se encuentran en un estado de desarrollo incipiente. Entre estas regiones se cuenta la mayor parte de la zona tropical húmeda de Sudamérica, la cual se destaca primeiramente por su aptitud climática forestal: la cuenca amazónica abriga el bosque natural más extenso y más variado del mundo.

En las últimas décadas se hizo notar una tendencia (cada vez más marcada) de los países conformantes de la cuenca amazónica, de incorporar territorios selváticos en el circuito agrícola nacional. En las partes superiores de la cuenca, la dirección principal del "ataque" se está realizando hacia la zona de piedemonte (o ceja de selva) y a lo largo de la vertiente oriental de la cordillera andina, mientras que en las partes bajas, las vías de comunicación terrestre que se han abierto últimamente, han

contribuido a la extensión rápida de la ocupación agrícola de terrenos los cuales en sus inicios estuvieron eminentemente cubiertos por vegetación natural forestal.

El desmonte total — independientemente del método utilizado, la introducción irracional de la agricultura, los intentos de aumentar la productividad en áreas que no ofrecen condiciones pedoclimáticas requeridas, son aspectos que pueden determinar la disminución rápida de la fertilidad natural y aumentar sensiblemente la erosión y degradación de los suelos.

OBJETIVOS

La "Encuesta Agrometeorológica de las tierras bajas del Trópico Húmedo de Sur América" es consecuencia directa de adquirir un conocimiento más profundo del potencial agroecológico de la cuenca amazónica y de analizar las dificultades observadas en el aprovechamiento racional de este recurso natural.

Por lo tanto, el objetivo final de esta encuesta es el de elaborar un documento que pueda tener aplicación a escala regional y que se base en el estado actual de los conocimientos y las técnicas interdisciplinarias que vinculan estrechamente la producción y la planificación agrícola, así como las prácticas de cultivo, a sus factores meteorológicos.

MÉTODOS

A través de las labores de recolección de información que se llevarán a cabo en la primera etapa de la Encuesta, se pretende poner las bases para la conformación de bancos nacionales de datos meteorológicos y biológicos (agrícolas), que posteriormente servirán para estudios de análisis del potencial agroecológico de zonificación agrometeorológica, establecimiento de calendarios de siembra, disminución de pér-

didas determinadas por la actuación de fenómenos meteorológicos dañinos o por el impacto de plagas y enfermedades, así como para manejo operativo de las actividades agrícolas y de adecuación de tierras.

El informe que concluirá las labores de esta encuesta, comprenderá la delimitación de sub-zonas de la aptitud potencial para diferentes cultivos y tipos de agricultura del área de estudio; las principales sub-zonas serán delimitadas en mapas a escala regional o nacional, mientras que las características correspondientes serán ilustradas a través de tablas y gráficos.

El informe comprenderá mapas fisiográficos de la distribución de suelos, vegetación y cultivos, sistemas de agricultura y cobertura florestal, únicamente en la medida en la cual estos sean imprescindibles para sustentar la zonificación agroclimática que se establecerá.

La recolección de la información se hará básicamente a través de los servicios meteorológicos nacionales, organismos agrícolas, oficinas de estadística; sin embargo, este trabajo requerirá también el esfuerzo colectivo de varias entidades gubernamentales, Universidades, Institutos de Investigaciones, Proyectos nacionales o internacionales, Corporaciones de desarrollo, entidades y personas privadas, etc.

Aunque la recopilación de esta información de índole meteorológica y agronómica se llevará a cabo a nivel nacional (a través de los comités que se formarán en la etapa inicial), el informe final contemplará en lo posible, las relaciones correspondientes a escala regional a macroescala. Por tales efectos, los formatos que se están empleando para la concentración de los datos y que fueron elaborados para estudios similares anteriores, han sido repartidos a todos los comités nacionales durante la primera visita del consultor a los países participantes.

En la interpretación de los resultados se tomará en cuenta, en la medida de lo posible, la incidencia de eventos especiales, catastróficos, así como otros efectos generados por la acción de ciertos fenómenos meteorológicos nocivos: plagas y enfermedades, inundaciones, degradación de suelos y de la cobertura vegetal, etc.

Una atención especial se otorgará a las relaciones entre los factores climáticos y agrícolas, siendo ésta una de las metas principales de la encuesta; sin embargo, este tipo de interrelaciones se expresará de manera cuantitativa, solamente en la medida que la información requerida sea disponible. Para este efecto, en cada uno de los países se elegirán áreas modelos que cuenten con datos meteorológicos y estadísticos agrícolas confiables y suficientes, en los cuales se llevarán a cabo análisis detallados sobre la influencia de la variación de los parámetros meteorológicos a lo largo del tiempo, sobre el desarrollo y el rendimiento de los principales cultivos del área. La metodología que se utilizará en cada uno de los estudios será difundida y finalmente, se establecerán los métodos más adecuados para el análisis del impacto climático en el desarrollo vegetativo de los cultivos.

Los límites geográficos del área de estudios se refieren básicamente a las regiones bajas del trópico húmedo, con una extensión desde el nivel del mar hasta elevaciones de aproximadamente 500 m. Sin embargo, allá donde las condiciones locales lo imponen y especialmente allá donde hasta esta altura no se cuenta con la información requerida, el límite altitudinal será ampliado hacia elevaciones superiores (1000-2000 m.s.n.m.).

Dentro de los propósitos de la Encuesta se tomarán en consideración primeramente los cultivos alimenticios prioritarios a nivel regional, pero también se estudiará la relación del clima con otros cultivos que tengan importancia de índole económica en ciertas regiones dentro del área de estudio.

En la medida en la cual se cuente con la participación directa de los consultores en el campo socio-económico, los análisis pertinentes se ampliará y comprenderán también el estudio de la relación que existe entre la variabilidad climática y los procesos socio-económicos, a través del impacto que dicha variabilidad tenga dentro del sector agrícola.

La información de índole climatológica

Para los fines de esta encuesta se considerará una serie histórica de unos 10-20 años y abarcará los parámetros que tienen cierta incidencia en el desarrollo agrícola, tales como:

— Temperatura del aire:

- Medidas mensuales, decadales (10 días), semanales o para períodos de 5 días; valores medios y absolutos de las temperaturas extremas del aire (máxima y mínima), probabilidad de ocurrencia de casos de ciertos umbrales de temperaturas máximas y mínimas, etc.

— Precipitación atmosférica:

- Totales anuales, mensuales y — donde sea factible decadales, semanales o para período de 5 días; número de días de precipitación; precipitaciones máximas mensuales en 24 horas y 60 minutos; probabilidades de ocurrencia de ciertas cantidades de lluvia (25%, 50%, 75% y otros); onde sea factible — análisis de intensidad-área-frecuencia.

— Humedad atmosférica:

- Valores medios, máximas y mínimas mensuales de la tensión de vapores o de la humedad relativa.

— Radiación global o duración del brillo solar:

- Valores medios mensuales.

— Velocidad del viento:

- Valores medios mensuales, de preferencia calculados de valores horarios o instrumentos totalizadores; valores máximos mensuales (velocidades instantáneas) y frecuencias de vientos máximos.

— Evaporación desde la superficie del agua:

- Valores medios mensuales (tanque tipo A).

— Evapotranspiración potencial:

- Valores medios mensuales, calculados a través de la fórmula modificada de Penman y, donde sea posible, datos lisimétricos.

Los datos climatológicos serán empleados como parámetros de cálculo del balance hídrico diferenciado para diversos tipos de suelo y cultivos, así como para la definición de la duración del período de crecimiento, análisis de períodos de sequía, establecimiento de fechas de inicio y fin del período lluvioso, elaboración de otros tipos de interrelaciones entre los parámetros meteorológicos y los cultivos por un lado y las plagas y enfermedades vegetales, por otro.

Se estima conveniente disponer también de estudios de índole climática, agroclimática, vegetación y suelos, existentes a nivel nacional para el área del trópico húmedo, a fin de asegurar una base más sólida a la encuesta.

Datos agronómicos

La información estadística correspondiente apoyará el análisis y la interpretación de los mapas agroclimáticos y proveerá las bases para el entendimiento de la relación tiempo-cultivo-plagas.

La información pertinente comprenderá:

— Datos sobre el uso de la tierras

- Superficies arables (con cultivos anuales), superficies con ocupación permanente por cultivos (terrenos cultivados con cultivos perenes, tales como, café, cacao, etc. que ocupan un período de tiempo más largo, mas mismas áreas), superficies cubiertas con pastos, bosques, etc.

Esta primera clasificación de las áreas según el uso actual de tierra podría ser detallada posteriormente, según la disponibilidad del recurso hídrico, considerando las siguientes características: con alimentación pluvial permanente, con alimentación pluvial temporal, terrenos con o sin control de inundaciones, áreas completamente irrigadas, etc.

Se considera también conveniente que este tipo de información comprenda además, datos sobre las características de los cultivos tradicionales de dichas áreas (fechas de siembra y cosecha, variedades, uso de fertilizantes, etc.).

— Datos sobre cultivos:

- Para los fines perseguidos por la encuesta se utilizará información de índole biológica (agrícola) obtenida de las estaciones agrícolas experimentales, así como las estadísticas llevadas a cabo por los Ministerios de Agricultura Nacionales, Bancos Agrarios, Asociaciones agrícolas gremiales, etc. Sobre producciones y rendimientos de los cultivos, se requiere series históricas bastante largas (de unos 10 - 20 años) preferiblemente para áreas homogéneas, relativamente reducidas, que tengan cierta coincidencia con las zonas agroclimáticas delimitadas. Se estima conveniente que estos datos estén agrupados dentro del mismo área según los cultivos predominantes, y, de ser posible, según variedades. Además, es importante tener cierta información sobre el tipo de agricultura empleado, calendarios de cultivos utilizados y la duración del ciclo vegetativo del mismo cultivo en varias regiones, dentro del área de estudio.

— Datos adicionales relacionados con otros factores que pueden tener incidencia en la producción agrícola:

- Plagas y enfermedades, utilización de fertilizantes, tipo de insumos y grado de mecanización de las labores agrícolas, técnicas específicas, etc.

Además, para el mejor entendimiento de la interrelación entre los factores meteorológicos y las propiedades físicas de los suelos se requieren datos sobre: tasa de infiltración, capacidad de retención, erosión, fertilidad, etc. También se estima conveniente disponer de información sobre los requerimientos climáticos y pedológicos de los cultivos sembrados dentro del área de estudio.

Los comités nacionales tendrán que conseguir mapas topográficos de trabajo a escalas convenientes, comprendiendo la red hidrográfica; mapas con la delimitación de las unidades administrativas; mapas de la cobertura florestal; y cierta información sobre la densidad demográfica, número de la población dedicada a la agricultura, tipo de asentamientos, colonización, migraciones poblacionales, etc.

La cantidad de información requerida para alimentar los programas de la encuesta significa una labor sostenida e implica una amplia colaboración de varias entidades gubernamentales y privadas, lo que además de contribuir al éxito de dicha encuesta, podría despertar el interés de ciertos grupos y especialmente de los usuarios directos, para la investigación agroclimática, aspecto que ampliará satisfactoriamente los propósitos de esta encuesta, conformando con o consolidando la base de una colaboración interdisciplinaria en este campo de actividad.

Se estima conveniente interesar en las labores de la encuesta a los investigadores nacionales en el campo de la agrometeorología y buscar la modalidad de que los mismos participen directamente, no sólo en lo que se refiere a la recolección de datos,

sino también en los trabajos específicos de la fase de análisis y elaboración del informe final. De tal modo, se logrará una integración más efectiva entre los comités nacionales dentro de las labores de la encues-

ta y aumentará el interés y la participación activa de los conformantes de estos comités, tanto durante el desarrollo de las labores de la encuesta, como también después de que ésta finalice.

SOILS OF THE HUMID TROPICS: STATE OF KNOWLEDGE AND RESEARCH PRIORITIES

Wim G. Sombroek¹

ABSTRACT: A review is given of past soil research activities in the three main regions of humid tropical lowland forest, viz. South-East Asia, Central Africa and the Amazon region of Latin America. A number of national and international soil-related research programmes is nowadays in execution or under consideration, often as networks. An effort is made to identify major knowledge gaps and research priorities per subdiscipline of soil science (soil genesis classification and cartography; soil mineralogy, physics and chemistry; soil biology, fertility and plant nutrition; soil technology and conservation). It is stressed that site selection for studies on soil-plant relationships should be done in relation to major soil geographic patterns, to ensure that the results can be extrapolated to large areas with similar soil conditions. New and existing sites should be studied and described very carefully and comprehensively as regards soil characteristics.

Index terms: Soil research, humid tropics soils, state of knowledge, South-East Asia soils, Central Africa soils, Amazon region soils.

SOLOS DO TRÓPICO ÚMIDO: ESTADO DE CONHECIMENTO E PRIORIDADE DE PESQUISA

RESUMO: Faz-se uma revisão das atividades de pesquisa em solos até o presente considerando-se três principais regiões tropicais úmidas a saber, Sudeste da Ásia, África Central e região amazônica da América Latina. Um certo número de programas nacionais e internacionais de pesquisa relacionados com solo está hoje em execução ou sob consideração, frequentemente como redes de pesquisa. Um grande esforço é feito para identificar as grandes lacunas de conhecimento e as prioridades de pesquisa por sub-disciplina da ciência do solo (gênese do solo, classificação e cartografia; mineralogia do solo, física e química; biologia do solo, fertilidade e nutrição de plantas; tecnologia de solos e conservação). É enfatizado que a seleção de localidades para estudos das relações solo-planta deveria ser feita em relação aos principais padrões geográficos do solo, para assegurar que os resultados possam ser extrapolados para grandes áreas com condições de solo semelhante. Locais novos e já existentes devem ser estudados e descritos muito cuidadosamente e compreensivamente com vistas às características do solo.

Termos para indexação: Pesquisa de solos, solos do trópico úmido, estado de conhecimento, solos do sudeste da Ásia, solos da África central, solos da região amazônica.

¹ International Soil Reference and Information Center, P.O. Box 353, 6700, AJ Wageningen, Holland

INTRODUCTION

For a thorough review of the state of knowledge on research on soils of the humid tropics one would need the space of a book. The present contribution is only meant to give an overview, an identification of major gaps in our knowledge, and an indication of priorities in soil research planning.

There have been, in recent years, several reviews on soil research in the tropics, directed either purely to specialists on the subject, or to broad-subject audiences such as the present symposium. One particularly useful reference is the book "Soils of the Humid Tropics", compiled by an international committee on tropical soil with Dr. Matthew Drosdoff as chairman. It was published twelve years ago by the National Academy of Sciences of the USA (Drosdoff 1972), just before the publication of the FAO-Unesco Soil Map of the World at 1:5,000,000 (FAO 1971-1982). It contains a comprehensive summary of the knowledge available at the time, and spells out a number of research priorities. Most of these priorities have remained in the years since, and have been voiced again and again, for instance at the international "Soil-Related Constraints Conference" in Los Banos, Philippines in 1979 (Metz & Brady 1980). That conference resulted - after four more years - in the formal establishment, in Townsville - Australia, of the IBSRAM organization. This acronym stands for International Board for Soil Research and Management (in the tropics and subtropics), with an ambitious research programme through the "networking" concept, but as yet it has very shaky financial basis.

Other interesting reviews are given in Unesco's publication on tropical forest exosystems (Unesco 1978), by Sanchez (1973) for Tropical Latin America, and by Sombroek (1984) for the Amazon region. Biologically oriented overviews are given by Swift (1984) and Lavelle (1984).

OVERVIEW OF AVAILABLE INFORMATION PER REGION

a) South-East Asia

In the early years of the twentieth century much soil research was carried out in Indonesia by Dutch scientists Mohr et al. (1972). The present Centre for Soil Research in Bogor, Java, was in fact founded by Prof. Mohr and is about to celebrate its centenary. Soil fertility in relation to parent materials was a major item of research in those early days. After World War II, FAO staff collected and compiled much field information on the South-East Asia region as a whole (Dudal & Moormann 1964). At present, much new soil information - on genesis, classification, fertility, and management - is emanating from Malaysia and Thailand, its aggregation being stimulated by several regional soil conferences in recent years (Conference... 1980).

b) Central Africa

After World War II a very significant effort on soil and vegetation mapping and soil research in general was carried out by Belgian scientists of the INEAC organization, in Zaire, Rwanda and Burundi, with Yangambi as scientific centre. Also in French and Portuguese speaking African countries there was an emphasis on soil genesis and ORSTOM and IIU organizations, based in Paris and Lisbon respectively. In English language African countries much attention was given to soil properties and soil management under different forms of agricultural occupation (Muguga-Kenya; Kwadaso-Kumasi, Ghana; cf. Nye & Greenland, 1960).

Soil geographic information was aggregated into the 1:5 million Soil Map of Africa of CCTA (d'Hoore 1960), which served as valuable precursor for the FAO-Unesco soils map of that continent. At present, Ibadan in Nigeria, Adiopodomé/Tai in Ivory

Coast, and Nairobi/Kitale in Kenya are some of the centres producing much research data on the soils of the humid tropics in Africa.

c) Latin America, viz, the Amazon region

The Amazon region has been terra incognita until quite recently. Factual soils information started to be published in the early sixties, with this author having had the privilege to provide a part (Sombroek 1966).

Complete small-scale geographical coverage, refuting many early guestimates, was obtained only afterwards, from the Brazilian radar-supported mapping project (Brasil... 1973, Ranzani 1979), followed by similar programmes in Colombia (Botero 1980 and others) Venezuela and Peru. The opening-up of Brazilian and Peruvian parts of the region by a network of highways, and the urge towards large-scale of small-holder agro-pastoral settlement gave impetus to soil magement research in both the Brazilian part (CPATU, CEPLAC, etc) and at the Yurimaguas research station in Peru (Sanchez & Buol 1974 et seq.). Also soil-vegetation relationships with the ecosystem approach received attention, e.g. at INPA in Manaus (Chauvel 1982, and others) at San Carlos de Rio Negro in Venezuela through Unesco's Man and the Biosphere Programme (Herrera 1977 and others) in Surinam (Workshop... 1982), and at Iquitos University in Peru. These centres are in full swing in the production of research data.

Moreover, international organizations such as CIAT in Colombia and CATIE in Costa Rica produce regional compilations, especially in the sphere of soil fertility and management (e.g. Sanchez 1973, Bornemisza & Alvarado 1975, Hecht 1982).

SOIL RESEARCH NETWORKS

Several national and international networks of soil and soil-related research in the

humid tropics are now in execution, or under active consideration.

Examples at national level are Indonesia, which is setting up regional centres on the various islands, and Brazil which has its very effective network of EMBRAPA agricultural research centres.

At international level, Unesco's MAB programme has a soil section which is comparing soil conditions in biosphere reserves and research sites in the tropics. For many years FAO has maintained a loose network of projects in the shpere of soil research institution building, fertilizer use demonstration plots, and soil conservation training. It also hopes to update the FAO-Unesco Soil Map of the World, which is rapidly becoming out of date, especially in the humid tropics. UNEP is starting to propagate its World Soils Policy Plan-of-Action, including catchment studies. Its Global Environmental Monitoring System (GEMS), which should include the soils element, is gradually taking shape.

The International Union of Biological Sciences (IUBS) wants to start a network on "soil biological processes and tropical soil fertility" (Swift 1984), which may form part of the International Geosphere-Biosphere Programme as announced by the International Council of Scientific Unions (ICSU) at a "Global Change" Symposium in Ottawa, September 1984. The International Federation of Institutes for Advanced Study (IFEAS) has similar plans for a network of tropical soil research.

The "Tropsoils" programme of a consortium of US universities supports management-oriented research sites in Peru and Indonesia and is also looking for a study area in humid tropical Africa. For a number of years the US-Hawaii Benchmark Soil Project linked soil classification-oriented research in Brazil, Cameroon, Indonesia, and Philippines with those of Hawaii and Puerto Rico. Its sucessor project IBSNAT (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer) is building up a more ample network of research

on soil-weather-plant growth relationships, using modeling techniques. ORSTOM has widened its research from Africa to tropical Latin America and Asia. Dutch institutions are considering initiation of a network on tropical forest research called "Tropenhos", including a substantial soil research and land evaluation component.

The IBSRAM organization, mentioned earlier, is about to implement international research networks on Land Clearing and Development, on Acid Tropical Soils, and on Wetland soils. The South-East Asian Countries cooperating in ASEAN have recently decided to cooperate in exchange of soils information and research, and there are similar plans by all countries that have a share in the Amazon region (REDINAA, PACTO AMAZONICO).

Increasingly precise site characterization from all these network points is therefore being produced and becoming available for comparison at country, regional and global levels. Nevertheless, such characterizations are often still incomplete and follow different laboratory and field methods. Furthermore, the siting may not be representative of natural subregions within the humid tropics. This brings us to the present day research gaps and research priorities.

RESEARCH PRIORITIES FOR SOILS OF THE HUMID TROPICS

Following the traditional grouping of subdisciplines in soil science, the following priorities of soil research may be identified. Reference is made to the recent comprehensive overview of soil study needs in developing countries by Baumgardner et al. (1983) and by International... (1984).

Soil Genesis, classification and cartography

Relevance of diagnostic soil horizons and features.

Diagnostic horizons as defined nowadays in the US Soil Taxonomy system of

classification and in the Legend of the FAO-Unesco Soil Map of the World turn out to be irrelevant for many tropical soils. The concepts of "argillic" (B) horizon and "mollic" or "humic" (A) horizon as developed for soils in temperate region need to be modified and subdivided (for instance, with a soil constituents parameter, organic matter distribution types, and degree of structure stability). Additional diagnostics may have to be introduced, such as the "horizonte plíntico" of the Brazilian soil survey (EMBRAPA-SNLCS).

Correlation of soil classification systems

There are at least half a dozen soil classification systems in use in the tropics, each with its own structure, criteria and terminology. A uniform system, applicable to all situations and acceptable to all schools of thought, will be difficult to achieve, if only because soils are a continuum, at the contact between the dead geo- and the living bio-units. However, the current diversity of terminology is a bewildering and repulsive jungle to pedologists, agronomists and ecologists alike. Perhaps the recent initiative of the International Society of Soil Science (ISSS) to devise an International Reference Base (URB) for soil classification is a way out to terra firme.

Small-scale mapping

Many countries of the tropics are now working towards systematic smallscale soil resources inventories, usually at scale 1:1 million. However, the methodology - structure of legends; system of soil groundtruth; quality and quantity of groundtruth; degree of incorporation of climatic and topographic aspects - varies from country to country. There is an urgent need to correlate and incorporate all this new information, with one standardized legend, into an updated version of the existing 1:5 million FAO-Unesco Soil Map of the World and/or into a computer-assisted map at 1:1 million scale,

possibly as part of UNEP's proposed Global Resources Information Base (GRID).

Soil data base development

Several tropical countries, e.g. Brazil with its SISOLOS system, have started with a computerized data base of their soil and land resources. In this field, again, a situation may develop that the data bases of countries are not compatible, hampering international soil knowledge transfer. Good work is however being done by the international Working Group on Soil Information Systems of ISSS to remedy this situation.

Short-distance sequences

Side by side with small-scale mapping, there is a strong need for attention to short-distance variations in soil conditions, which occur either in a systematic pattern (catenary sequences) or haphazardly (for instance fossil termite mounds). Their identification is indispensable for a good understanding of local variations in forest and crop growth.

Selection of multidisciplinary research sites

As indicated before, pedologists should play a key role in the selection of sites for ecological research, be it on forest architecture, nutrient cycling/biomass production, agronomy trials, or other subjects. Only by making sure that new sites for integrated research on soil-plant/vegetation relationships are chosen in relation to major soil geographic patterns can the results be extrapolated to large areas with similar conditions. At present, forest ecological studies tend to be concentrated on the poorest soils, and agronomic experiments on the best soils. A truly multidisciplinary ecological approach requires the elimination of this traditional antagonism between foresters and agronomists. In any case both existing and new sites should be studied and described very

carefully and comprehensively as regards soil characterization and conditions.

Soil Mineralogy

Silicate minerals

Many soils of the humid tropics have nearly exclusively kaolinite as silicate mineral. However, the physico-chemical activity of this soil mineral varies from nearly zero (CEC value of 1-2 meq/100 g) to very substantial (CEC around 16 meq). The reasons for this—due to size, crystallinity or surface roughness of the mineral, or otherwise—need to be investigated.

Sesquioxides

The determination of the total amount of sesquioxides has always been standard in tropical soils analysis. However, little data are available on the type of sesquioxide (goethite, Al-substituted goethite, hematite, maghemite, gibbsite, etc), its degree of crystallinity and its reactivity. These minerals are often abundantly present in tropical soils, and this fact has been taken as an index for the latter's weathering state ("lateritisation"). The minerals may, or may not, be active agents in the formation and stabilization of the "porous massive" structure of such soils. Much depends on whether the sesquioxides are inert and coarsely aggregated (concretions), or finely divided and interacting with the silicate minerals, thereby co-determining the physico-chemical properties of the soils. Micromorphological and spectrometric studies may be helpful. On a much larger scale than at present, relative contents have to be determined of "total" Fe and Al oxides (X-ray analysis, or boiling with concentrated acid) versus "free" amounts (extraction with citrate-dithionite) and "active amorphous" amounts (extraction by ammonium oxalate). Such studies may establish if present classification criteria are valid, or need to be adapted.

Specific surface areas

A good indication of the reactivity of the soil mass, in accordance with the type and form of silicate and sesquioxide clay minerals, can be obtained by determining its specific surface. The total of microsurface area per gram of soil or clay in fact determines to a large extent the chemical properties (cation and anion exchange capacities) and the physical properties (e.g. moisture holding capacities, degree of swelling and shrinking).

First determinations of these surface areas, as carried out by IITA in Nigéria, EMBRAPA-SNLCS in Brazil, the Lincoln Federal Laboratory in the USA, and at ISRIC in the Netherlands, indicate that such values may be a useful additional means of diagnosing tropical soils.

Aeolic admixtures

Detailed studies of the assemblage and forms of minerals in the sand and silt fraction of selected soil samples may throw light on the influence of airborne materials on the process of soil formation and the origin and maintenance of nutrient levels. Volcanic ash and desert dust, even if deposited in tiny quantities far away from their source, may exert a relatively strong influence, because of the high degree of weathering of the local parent materials.

Soil Physics

Effective moisture storage capacities

There are indications that the effective storage capacity in many tropical soils are quite small, making shallow rooting plants subject to drought stress even if only a few "dry" months occur. Data on full moisture retention (pF) curves, and associated measurements of micro and macro porosity, on undisturbed samples of representative soil types, are badly needed to substantiate this.

Structure stabilities

Early assumptions that all soils of the humid tropics have stable structures, making them insensitive to compaction and erosion, are nowadays challenged, especially for soils relatively poor in sesquioxides. However, precise data, including the effects of soil mesofauna and of tillage practices on the structure, are lacking. Measurements of "water-dispersable clay", if well calibrated, may be helpful. There is also a need for adapted, standardized criteria for description of the structures of tropical soils in the field.

Bulk densities

There is very little data on bulk densities, determined on undisturbed samples, of well identified soil types, as a means to establish the occurrence of compact soil layers. Such layers can have a very strong influence on structure and stability of the forest vegetation which they support.

Rheological properties

The behaviour of the major tropical soils under mechanical stress, e.g. through the use of heavy machinery in land clearing, is a neglected area of research (see El-Swaigy and Lal's contributions on physical and mechanical properties of Alfisols, Ultisols and Oxisols, in Thenge 1980).

Soil Chemistry

Organic matter: composition and distribution patterns

The varying composition of the organic matter in tropical soils — in relation to soil type, climatic conditions, and type of forest cover or land use — has been little studied. Most laboratory analyses for soil survey and classification purposes are confined to C and N determinations, after com-

bustion. Non-destructive analysis of humic acids-fulvic acids-humins is rarely done.

The relative amounts of aliphatic C, aromatic C, aromaticity, carboxyls, carbohydrates and proteins can now be determined simultaneously (Preston and Schnitzer 1984). Also, direct measurement of the cation and anion exchange capacities of these components and of the whole organic matter fraction will be needed, to determine its relative importance *viz-à-viz* mineral fraction. Model-supported calculations of C and N turnover can be helpful in assessing the amount of young, active, consumable organic matter versus stable humus (Paul 1984). Systematic comparison of the vertical distribution patterns of the (stable) humus per major soil type can be useful in soil classification (Bennema 1982) and may indicate which of these soil types are particularly sensitive to degradation upon mechanical clearing.

Chemical charge characteristics

By and large, the routine determination of cation exchange capacity of tropical soils is still carried out at pH 7.0 or pH 8.2 although it is generally agreed that this frequently gives unrealistic figures of the exchange capacity at field conditions (Theng 1980). Systematic determination of permanent and pH-dependent charges, as well as determination of effective cation exchange capacity (at the pH of the soils in the field), should be attempted. The same applies to levels of exchangeable aluminium, which often prove to be toxic. Standardization of such adapted methods is required, and a machinery should be developed to have new laboratory methods and procedures of proven relevance and reliability readily accepted at all soil characterization laboratories in the tropics (Van Reeuwijk 1982).

Soil Biology

Mesofauna studies.

Quantitative studies on the composition of the soil mesofauna community are

quite rare for the humid tropics region. All ecologists agree that the effects of termites, leaf cutting ants, cicadas, etc. on the maintenance of a porous structure of these soils and on the homogenization of the soil profile are very substantial. However, comparative measurements on quantity and depth of soil transport under forest and cultivation (e.g. Wielemaker 1984) will be needed to substantiate the claim that deeply weathered soils of relatively low iron content (e.g. the xanthic Ferrasols of western Amazonia) are strongly dependent on ample mesofauna activity under forest cover to maintain their favourable structure.

Microbiological studies

Data on taxonomy and population of fungi and bacteria are also sparse, and often lacking in precise documentation as regards the type of soil and its vegetation/land use history.

Soil-rhizosphere interactions

It is increasingly apparent that many of the tree species of the tropical forest need specific micorrhizae to ensure sufficient nutrient intake (especially phosphorus) in their early stages of development. The degree of soil type specificity of these organisms is, however, largely unknown; the same holds for the N-fixation effectiveness of rhizobia. With reforestation projects increasingly becoming required follow-up activities of large-scale logging or ranching, this is a research area of high priority.

Rooting patterns

Forest architectural studies are being increasingly undertaken (Hallé et al. 1978), but their natural counterpart, i.e. the establishment of rooting patterns/mosaics, is receiving scant attention, probably because the measurement techniques are quite elaborate and laborious. A good understanding of the differences in forest structure and forest regeneration requires an insight

of the degree to which tree root development is hampered by the occurrence of dense, hydromorphic, or toxic subsoil layers.

Soil Fertility and Plant Nutrition

Soil fertility testing

Short-distance variation of topsoil fertility, both under primary forest vegetation and after clearing, can be considerable. Therefore, compound sampling over a sizeable surface area (100 m²) and to a standard depth (30 cm) should be widely adopted. Fertility testing in the laboratory is far from standardized, although the North Carolina tube of testing, as used in the so-called Soil Fertility Capability Classification (Buol & Couto 1980) is rapidly gaining ground.

Nutrient cycling

Theoretical histograms of biomass production are increasingly being substantiated by measurements of annual nutrient inputs to the forest floor, nutrient capital in the living biomass, and reserves in the soil. There are now about 15 study sites in Southeast Asia, 10 in Africa, 10 in South America and 5 in Central America and the Caribbean (Bruynzeel, pers. comm). The type of information gathered per site varies substantially; measurements of inputs from atmospheric and substratum sources, as well as losses via percolation and leaching are scanty. In this field of research close contact with pedologists is necessary, not only for precise description and classification of the soil once the studies are under way, but specially for the selection of a site in the first place. The impression prevails that some of the present sites are not representative for major soil geographic regions, as they are located on exceptionally poor soils. Overstatement of the perils of deforestation on the productive capacity of the land may be the result. The biomass production on well-drained, relatively young soils, especially those on basic parent ma-

terials (like the Terra Roxa Estruturada of Brazil or some of the Andosols of Java) can stand a much higher degree of human interference than that on the poorly drained Podzols of San Carlos de Rio Negro - and there is a whole range of situation in between!

Micro-element deficiencies and toxicities

Upon occupation of forest land for permanent cropping or cattle herding, the soil micro-element content often turns out to be of critical importance. Instead of expensive analysis of numerous soil or tissue samples, one may try to establish relationships with type of soil parent material and the degree of weathering through physiographic field studies. Analysis of drainage waters can also be helpful.

Phosphorus behaviour

Phosphate fixation and release are intimately linked with the physico-chemical characteristics of tropical soils, as determined by the assemblage of silicate minerals and sesquioxides and their reactivity. Indications are that the residual efficiency of phosphate fertilizers varies strongly with the taxonomic soil unit (Roche et al. 1980, Fox & Li Xue-Yuan 1983). The systematic determination of P sorption-desorption curves as a means to predict P fertilizer requirements over the years may be useful.

Soil Technology

Land clearing methods

Considerable ad-hoc research has been carried out in land clearing by mechanical or traditional means (Surinam, Jari in Brazil, IITA in Nigeria, Yurimagus in Peru, etc.). The lack of precise characterization of the soils concerned, and correlation with soil land climatic conditions elsewhere in the humid tropics, has led to unnecessary,

acrimonious debate on the merits of any particular method. Fortunately the new IBS-RAM organization is promoting networking research in Land Clearing and Development, in which the soils component will receive attention.

Tillage studies

As a sequel to the above, adapted methods of land tillage after clearing may have to be developed per type of soil, accompanied by quantitative assessments of the "tilth" situation of topsoils under various forms of management. Perhaps a return to Atterberg value determinations is worthwhile (Theng 1980).

Engineering properties

With the advance of road building in tropical forest regions, the need for soil geography-based data on suitability of the land for road construction and maintenance is ever increasing. There is far too little contact between soil materials specialists and pedologists, resulting not only in overlap laboratory testing but also in unnecessarily expensive engineering works.

Soil Conservation and Environment

Rates of soil formation

Data on the rate of soil formation in relation to the type of parent rock or sediment are scanty. This is not only of theoretical interest: one needs such data to establish the levels of erosion that are still "permissible" in relation to neo-formation of soil material in the tropics. Laboratory experiments may be of some help, but much more insight concerning geographic patterns can be gained by systematic field studies on age and stability of land forms on which specific soils occur. With the propagation of "comprehensive" taxonomic systems of soil classification, studies that relate form, parent material, and soil type tend to be neglected these days.

Soil degradation after clearing

Assessment of the types and rates of soil degradation, after clearing with different methods and establishment of different forms of agricultural land use, is as yet largely speculative (Fearnside 1980). Measurements in surface crusting, land gullyng, sediment transport, subsoil compaction and hardening, and loss or redistribution of organic matter are needed on a variety of soils in the humid tropics. This should comprise not only experimental erosion study plots, but also long-term monitoring on farmers' fields. Comparison with plots on the same soil and units under forest vegetation - where "hidden" soil erosion may take place, too - are a necessary base-line complement to such studies.

Integrated watershed studies

Studies on whole hydrographic catchment areas are needed, too, if only to predict and quantify any effects on downstream areas of accumulation. In such cases careful consideration has to be given to the erodibility of the different soil and land units that make up the catchment area, thereby providing gauges for extrapolation to other areas.

TOOLS AND EXPERTISE

It may be obvious that we are only at the beginning of a whole range of new studies on the soils of the humid tropics. There are, however, a number of new tools available that allow us to speed up such studies.

As regards mapping, there is now a lot of remote sensing imagery, including side-looking-airborne-radar images, for a number of the countries concerned. Interactive graphical systems of digitized mapping are in development, complemented by computer-stored soil profile data bases, which can speed up soil cartography over large areas. It also opens

the way to small-scale (say:1:1 million) soil inventory and land evaluation of the entire humid tropics with a unified system, as well as regular updating as new groundtruth data becomes available.

For better characterization of soils there is new clay mineral analysis apparatus (X-ray analysis, Mössbauer Spectroscopy, BET-Nitrogen of EGME specific surface area measurement) and new micromorphological equipment (SEM-EDAX, Quantiment) supported by standardization of measurement criteria. Neutron probes are available for soil moisture testing, and ion-tracing apparatus for nutrient cycling studies. Advanced humus analysis apparatus, using nuclear magnetic resonance, has also been developed.

However, much of this equipment is very expensive to acquire and maintain, and is only available in advanced soil laboratories in industrialized countries. One would wish that such laboratories use some of their expertise to develop simple and sturdy apparatus that can be used in the field. For instance, the design of portable equipment to measure reliably soil moisture retention characteristics (pF curves), and a device for field measuring the effective CEC of the soil, would be of great help for soil surveyors working in the tropics.

To carry out all soil and land evaluation studies as touched upon in this article, the cadre of tropical soil specialists has to be much enlarged. The provision of experts by international and bilateral technical assistance agencies can be only of temporary solace. Training facilities for local soil scientists, both at international centres of excellence, and at local universities and institutes, have to be considerably enlarged, specially in tropical African countries. Network programmes, as mentioned above, have to give ample attention to the training of local scientific staff.

Training is, however, only one of the incentives. There should also be more facilities for publication of research findings

in the humid tropics, both at the national level and in international periodicals and book series. At present much valuable research data of Latin American soil scientists are published only in Spanish or Portuguese, and consequently do not reach the international circuit. National governments and international agencies alike should be prepared to fund basic research, in addition to the development-oriented type. In fact, much of the ongoing basic research is cloaked in a "development jacket". This is often frustrating for both the scientists and the funding agencies, and may unduly influence the results, consciously or accidentally.

Most important of all, financial and social incentives should be generated for local soil scientists to **stay** working under humid tropical field conditions for more than a few years in the early stages of their professional careers.

REFERENCES

- BAUNGARDNER, M.; CROSSON, P.R.; DRENE, H.; DROSDOFF, M. & WESTON, F.C. "Soils". In: CONANT, F. et al. **Resource inventory & baseline study methods for developing countries**. Washington, American Association for the Advancement of Science, 1983. (AAAS. Publication 83-3).
- BENNENA, J. Acid soils of the humid tropics of South America, with special reference to the well drained soil on old alluvial sediments. In: WORKSHOP ON MANAGEMENT OF LOW FERTILITY ACID SOILS OF THE AMERICAN HUMID TROPICS. Paramaribo, 1981. **Proceedings of the Joint...** São José, IICA, 1982. p.105-26 (IICA. Ponencias, Resultados y Recomendaciones de Eventos Técnicos, 266).
- BORNEMISZA, E. & ALVARADO, A. **Soil management in Tropical America**; Proceedings of a seminar at CIAT. Cali, Colombia. Raleigh, North Carolina State University, Soil Science Dept., 1975.
- BOTERO, P.J. Características geomorfológicas de los paisajes entre los ríos Putumayo y Caqueta — Amazo-

- nia Colombiana. **Revista CIAF**, Bogotá, Colombia, 5:127-50, 1980.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Parte das folhas SC. 23 Rio São Francisco e Sc. 24 Aracaju**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1973. (MME. DNPM. Levantamento de Recursos Naturais, 1).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha SB.23 Teresina e parte da Folha SB.24 Jaguaribe**; geologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1973. (MME.DNPM. Levantamento de Recursos Naturais, 8).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha NA. 21 Tumucumaque e parte da folha NB. 21**; BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha SA.23 São Luís e parte da folha SA.24 Fortaleza**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1973. (MME. DNPM. Levantamento de Recursos Naturais, 3).
- BRASIL; Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha SB.23 Araguaia e parte da folha SC.22 Tocantins**; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1974. (MME. DNPM. Levantamento de Recursos Naturais, 4).
- BRASIL; Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha SA.22 Belém**; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1974. (MME.DNPM. Levantamento de Recursos Naturais, 5).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha NA/NB.22 Macapá**; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1974. (MME. DNPM. Levantamento de Recursos Naturais, 6).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto radam. **Folha SB.21 Tapajós**; geologia, geomorfologia, solos vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1975. (MME.DNPM. Levantamento de Recursos Naturais, 7).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha NA. 20 Boa Vista e parte das folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1975. 370p. (MME.DNPM. Levantamento de Recursos Naturais, 9).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha SA.21 Santarém**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1976. 522p. (MME.DNPM. Levantamento de Recursos Naturais, 10).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha NA.19 Pico da Neblina**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1976. 374p. (MME.DNPM. Levantamento de Recursos Naturais, 11).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha SC.19 Rio Branco**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1976. 464p. (MME.DNPM. Levantamento de Recursos Naturais, 12).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha SB/SC. 18 Javari/Contamana**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1977. 420p. (MME. DNPM. Levantamento de Recursos Naturais, 13).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha SA.19 Iça**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1977. 446p.

- (MME.DNPM. Levantamento de Recursos Naturais, 14).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha SB.19 Juruá**. geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1977. 436p. (MME.DNPM. Levantamento de Recursos Naturais, 15).
- BUOL, S.W & COUTO, W. Soil fertility capability assessment for use in humid tropics. In: GREENLAND, D.J. ed. **Characterization of soils in relation to their classification and management for crop production: examples from some areas of the humid tropics**. Oxford, University of Oxford, 1980.
- CHAUVEL, A. Os latossolos amarelos, álicos, argilosos dentro dos ecossistemas das bacias experimentais do INPA e da região vizinha. **Acta Amaz.** 12(3). 47-60, 1982. Suplemento.
- CONFERENCE ON CLASSIFICATION AND MANAGEMENT OF TROPICAL SOIL, 1977. **Proceedings...** Kuala Lumpur, Malaysian Society of Science, 1980.
- DROSDOFF, M. ed. **Soils of the humid tropics**. Washington, National Academy of Science, 1972.
- DUDAL, R. & MOORMANN, F.R. Major Soils of South-east Asia. **J. Trop. Geogr.** 18:54-80, 1964.
- FAO, Roma Itália. **Soil map of the World at 1:5,000,000**. Paris, Unesco, 1971-82.
- FEARNSIDE, Ph.M. Os efeitos das pastagens sobre a fertilidade do solo na Amazônia Brasileira: consequências para a sustentabilidade de produção bovina. **Acta Amaz.**, 10(1):119-32, 1980.
- FOX, R.L. & LI, XUE-YUAN. Phosphate-fertilizer Requirements of Weathered Soils and Residual Phosphate Fertilizer Efficiency as Indicated by Phosphate Sorption Curves. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RED SOILS, Nanjing, China, 1983. **Proceedings...** s.n.t. in press.
- HALLE, F.; OLDEMAN, R.A.A. & TOMLINSON, P.B. **Tropical trees and forests; an architectural analysis**. Berlin, Springer Verlag, 1978. p. 440.
- HECHT, S.B. ed. **Amazonia, agriculture and land use research**. Cali, Colombia, CIAT, 1982. 428p. (CIAT. 03E-3(82)).
- HERRERA, R. Soils and terrain conditions in the International Amazon Project at San Carlos de Rio Negro, Venezuela; correlation with vegetation types. In: INTERNATIONAL MAB-IUFRO WORKSHOP. **Transaction**, Reinbeck, 1977. p.182-8.
- D'HOORE, J. The soils map of Africa south of the Sahara (1:5,000,000). In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 7, Madison, 1960. **Transaction**. Madison, s.ed., 1960. v.4 p. 11-9.
- INTERNATIONAL WORKSHOP ON SOILS; RESEARCH TO RESOLVE SELECTED PROBLEMS OF SOIL IN THE TROPICS. **Proceedings...** Canberra, ACIAR, 1984.
- LAVELLE, P. **The Soil system in the humid tropics**. s.n.t. (IUBS. Biology International, 9). Paper presented at the IC-SU/UNDP Symposium Savanna and Woodland Ecosystems in America and Africa: a Comparison, Brasília, 1983.
- METZ, J.F. & BRADY, N.C. eds. **Priorities for alleviating soil-related constraints to food production in the tropics**. Los Banos, Philippines, IRRI, 1980. 468p.
- MOHR, E.C.J.; BAREN, F.A. van & SCHUYLENBORGH, J. van. **Tropical Soils, a comprehensive study of their genesis**. 3.ed. The Hague, Mouton, 1972.
- NYE, P.H. & GREENLAND, D.J. **The soil under shifting cultivation**. s.l., s.ed., 1960. (Commonwealth Bureau Soil Science Technical Communication, 51).
- PAUL, E.A. Dynamics of organic matter in soils. In: TINSLEY, & DARBYSHIRE, J.F. eds. **Biological processes and soil fertility**. s.l., s.ed., 1984. p.275-86 (Developments in Plant & Soil Sciences 11).
- PRESTON, C.M. & SCHNITZER, M. Effects of Chemical Modification and Extractants on the Carbon-13 NMR Spectra of Humic Materials. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 48(2):305-11, 1984.
- RANZANI, G. Recursos pedológicos da Amazônia. **Acta Amaz.**, 9(4):23-35, 1979. Suplemento.
- RANZANI, G. Identificação e caracterização de alguns solos da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA. **Acta Amaz.**, 10(1):7-42, 1980.
- ROCHE, P.; GRIÈRE, L. **Phosphorus in tropical soils; Assessing deficiency levels and phosphorus requirements**. Paris, IMPHOS-World Phosphate Institu-

- te, 1980. (IMPHOS-World phosphate Institute. Sc. Publ., 2).
- SANCHEZ, P.A. ed. **A review of soils research in Tropical Latin America.** Raleigh, North Carolina State University, 1973. 195p. (North Carolina State University. Technical Bulletin, 219).
- SANCHEZ, P.A. & BOUL, S.W. Properties of Some Soils of the Upper Amazon Basin of Peru. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, 38(1):117-21, 1974.
- SOMBROEK, W.G. **Amazon soils, a reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon Region.** Wageningen, PUDOC, 1966. 300p.
- SOMBROEK, W.G. Soils of the Amazon Region.. In: SIOLI, H. ed. **The Amazon; limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin.** Dordrecht, W. Junk, 1984. p. (Monographical Biologicae, 56).
- SWIFT, M.J. **Soil biological processes and tropical soil fertility; a proposal for a collaborative programme of research.** Paris, IUBS, 1984. (IUBS. Biology International Special Issue, 5).
- THENG, B.K.G. ed. **Soils with variable charge.** Lower Hutt New Zealand Society of Soil Science, 1980. 448p.
- UNESCO, Paris, France. **Tropical forest ecosystems.** Paris, UNESCO/UNEP/FAO, 1978. 683p. (UNESCO. Natural Resources Research, 14).
- REEUWIJK, L.P. van. **Laboratory methods and data exchange program for soil characterization; a report on the pilot round.** Wageningen, ISRIC, 1982. (ISRIC. Technical Paper, 6).
- WIELEMAKER, W.G. **Soil formation by Termites; a study in the Kisii area, Kenya.** Wageningen, Agricultural University, Dept of Soil Science and Geology, 1984.
- WORKSHOP ON MANAGEMENT OF LOW FERTILITY ACID SOILS OF THE AMERICAN HUMID TROPICS. Paramaribo, 1981. **Proceedings of the Joint...** São José, IICA, 1982. 220p. (IICA. Ponencias, Resultados y Recomendaciones de Eventos Técnicos, 266).

CONTRIBUIÇÃO DO SNLCS PARA O CONHECIMENTO DOS SOLOS DO TRÓPICO ÚMIDO BRASILEIRO

Raphael David dos Santos¹ e Patrick Séchet²

RESUMO: O Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (SNLCS) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), realiza e coordena, há mais de trinta anos, o inventário sistemático dos recursos de solos do país. Para a região do Trópico Úmido Brasileiro, já foram publicados os resultados de mais de vinte levantamentos, em diversas escalas, incluindo, na maioria das vezes, uma interpretação para avaliação da aptidão agrícola das terras. Um sistema de armazenamento e recuperação, por computador, dessas informações denominado SISSOLOS, foi desenvolvido para facilitar a exploração deste acervo. O processo de armazenamento é contínuo, e, até o presente momento (segundo semestre de 1984), cerca da metade dos dados coletados pelo SNLCS nesta região estão acessíveis aos usuários através das rotinas padronizadas de recuperação de informação do sistema. Embora a distribuição geográfica das informações disponíveis esteja bastante heterogênea, o SISSOLOS deve possibilitar a caracterização dos solos da região, por aplicação sistemática dos procedimentos estatísticos embutidos no sistema. O presente trabalho mostra um exemplo de exploração deste processo, comparando-se os resultados obtidos a partir das informações coletadas na região do Trópico Úmido com os obtidos a partir das informações coletadas no resto do país. O crescimento constante do arquivo de dados para a região, tanto pelo processamento dos novos levantamentos executados pelo Serviço, quanto pela agregação das informações geradas por outras entidades afins, permitirá a aquisição de um conhecimento cada vez mais apurado sobre os solos da região do Trópico Úmido, indispensável para uma utilização racional deste precioso recurso.

Termos para indexação: Região amazônica, levantamento de solos, banco de dados de solos, SISSOLOS.

THE SNLCS CONTRIBUTION TO THE KNOWLEDGE OF THE SOILS OF THE BRAZILIAN HUMID TROPICS

ABSTRACT: Soil Survey and Conservation National Service (SNLCS) of the Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) has been carrying out and coordinating, for the last thirty years, the systematic inventory of soil resources of the country. For the region of the Brazilian humid tropics, data from more than twenty soil surveys, have been published in different scales, including, in the majority of cases, an evaluation of land capability. A system of storage and retrieval by computer of this information, called SISSOLOS, was developed to make these data readily available. The process of storage is continuous, and, up to now (second half of 1984), about half of the data collected by the SNLCS in this region is available to users, thanks to standard routines of retrieval of information. Although the geographic distribution of availa-

¹Eng. Agr. EMBRAPA-SNLCS, Rua Jardim Botânico 1024, CEP 22460, Rio de Janeiro, RJ.

²Analista ORSTON/EMBRAPA-SNLCS.

ble information is quite heterogeneous, the SISSOLOS will permit the characterization of the soils of the region by systematic exploration of the statistical procedures incorporated into the system. The present paper shows an example of application of this process by comparing the results obtained from information collected in the region of the Humid Tropics with those from other regions of the country. The constant increase of data available for this region, by new soil surveys carried out by the SNLCS or by storage of information provided by other institutions, will permit the acquirement of a knowledge each time more accurate about these soils, essential for a rational utilization of this important resource.

Index terms: Amazon region, soil survey, soil data base, SISSOLOS.

INTRODUÇÃO

O Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de SOLOS (SNLCS), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), com sede no Rio de Janeiro, foi criado com o objetivo de estudar cientificamente os solos brasileiros, considerando cada um dos seus aspectos e gerando conhecimentos que levam ao seu uso mais racional.

Devido a sua atuação em todo o Território Nacional, o SNLCS mantém frentes de trabalho em cada região (na cidade de Belém, no caso da Região Norte), para agilizar a observação e o estudo do solo em seu meio, enquanto os diversos laboratórios estão localizados na sede.

Muitas das atividades desenvolvidas pelo Serviço contribuem para a identificação do solo, pois o perfeito conhecimento desse recurso e de seu comportamento, depende de sua caracterização química, física, mineralógica e micromorfológica. O estudo e mapeamento dos solos de uma determinada área, ou levantamento, dá origem à edição de um boletim, contendo os resultados das observações e análises efetuadas, acompanhado de um mapa de representação da distribuição e arranjo dos diversos solos identificados na região em pauta (Olmos 1981).

A publicação de mais de cem boletins técnicos (atualmente denominados boletins de pesquisa), que constitui o resultado dos levantamentos de solos, em diferentes níveis, realizados desde os anos 50 pelo SNLCS, é uma preciosa fonte de informações para definir o uso adequado do solo.

Para possibilitar a exploração racional e sistemática das informações acumuladas, desenvolveu-se um sistema de armazenamento e recuperação por computador de dados de solos, chamado SISSOLOS, com recursos de manuseio de dados através procedimentos estatísticos.

A filosofia e a metodologia adotadas para a realização deste sistema já foram amplamente divulgadas (Araújo & Séchet 1983); em particular, o modo de utilização do sistema está devidamente documentado num manual destinado ao usuário com poucos conhecimentos de computação (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1983).

A finalidade do presente trabalho é de ressaltar o conhecimento dos solos da região do Trópico Úmido Brasileiro, adquirido através dos levantamentos realizados nessa região pelas equipes de pedólogos do SNLCS (quer sejam em colaboração com outras instituições, ou não), dando-se ênfase às ferramentas de recuperação do SISSOLOS. Pretende-se mostrar que este sistema constitui um recurso apropriado à análise dos resultados obtidos, a partir de uns exemplos simples de utilização de seus procedimentos estatísticos.

MATERIAL E MÉTODOS

A frente de trabalho da Região Norte do SNLCS, conta atualmente com oito técnicos e executa trabalhos relacionados com levantamentos de solos em toda a região, desde sua criação em 1976. O anexo 1 apresenta uma relação de todas as publi-

cações realizadas pelo SNLCS, e que dizem respeito ao Trópico Úmido Brasileiro.

Descartando dois trabalhos de caráter meramente metodológico, e outro específico de avaliação de aptidão agrícola, a maioria dos vinte e sete trabalhos existentes até o momento, se referem a levantamentos de solos. Porém esses levantamentos são de diversos níveis e respondem a objetivos diferentes (Carmargo 1970), conforme os tipos detalhados a seguir:

— texto explicativo de mapa esquemático, para localização e indicação das zonas mais promissoras para ocupação agrícola permanente, em função da maior frequência de solo, com maior potencial agrícola;

— estudo expedito de solos, para verificação "in loco" e identificação de perfis, classificação e correlação de solos, discussão de questões referentes a sua caracterização e relação com o seu meio ambiente, além do desenvolvimento da legenda preliminar de identificação dos solos da área;

— levantamento exploratório e exploratório-reconhecimento, para fornecer informação sinótica qualitativa de recursos natural do solo, com identificação preliminar de áreas promissoras de solos mais favoráveis, e áreas que apresentam graves problemas de desenvolvimento;

— levantamento de reconhecimento (e de reconhecimento de baixa, média ou alta intensidade), para determinação aproximada da extensão e qualidade das terras disponíveis para o desenvolvimento agrícola e identificação de áreas que apresentam alto potencial ou problemas de desenvolvimento.

Apenas a primeira publicação, a mais antiga, fornece uma visão panorâmica das grandes linhas de distribuição geográfica dos solos da região do Trópico Úmido Brasileiro. Os outros levantamentos interessam zonas de extensão muito menor, e o conjunto por eles formado não provê uma cobertura homogênea na zona de estudo, como pode ser percebida no mapa de localização apresentado na Fig. 1.

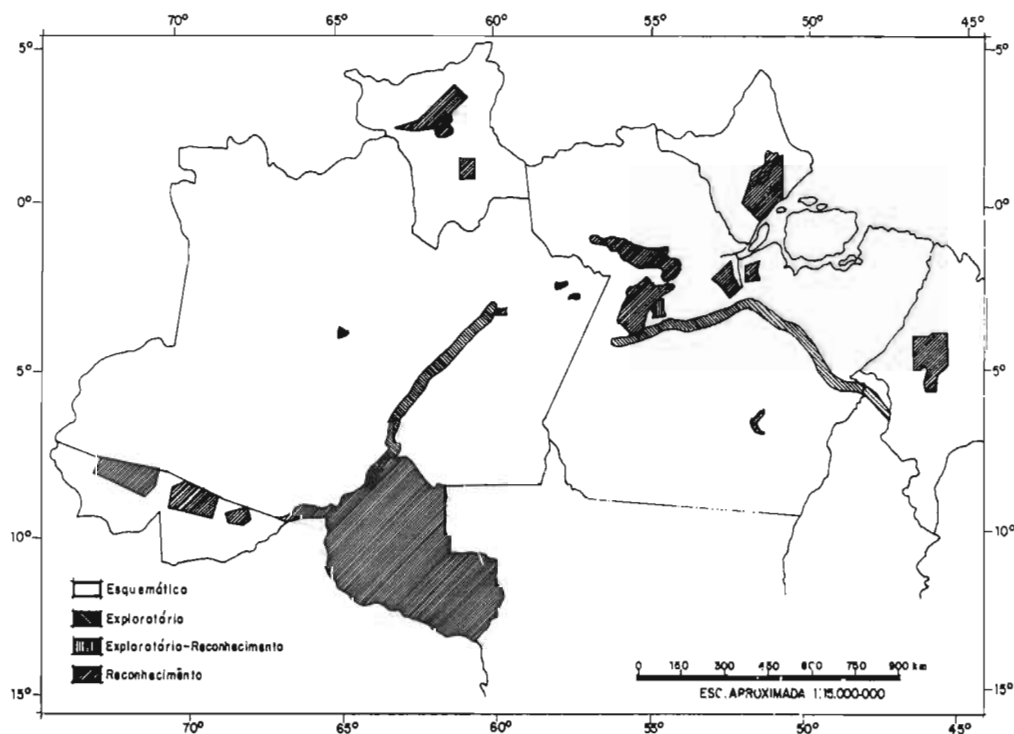


FIG. 1. Levantamentos realizados na região Amazônica.

Todavia, todos esses documentos contêm estudos, determinações e registros das características morfológicas, físicas, químicas, mineralógicas e classificações de solos em sistemas definidos, que obedecem a padrões minuciosamente definidos (Reunião... 1979, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1979), de tal forma que esses dados podem ser agregados numa estrutura única computadorizada.

O processo de armazenamento no SIS-SOLOS das informações geradas pelos levantamentos é um processo lento, mas contínuo, que exige uma fase de transcrição em formulários específicos apropriados para uma posterior digitação (Araújo & Séchet 1983, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1981). Até o presente momento (setembro de 1984), cerca de 70% dos dados, já se encontram disponíveis no sistema.

Na sua configuração atual, o SISSOLOS contém, essencialmente, dois arquivos para representar esses levantamentos.

— os perfis de solos, onde estão armazenadas informações sobre as suas condições ambientais, descrição morfológica, análises físicas e químicas de cada horizonte e análise mineralógica de cada fração granulométrica.

— as unidades de mapeamento, constituídas de associações mais ou menos complexas de classes de solo, onde são armazenadas a descrição das características fisiográficas e a composição taxonômica da área correspondente.

O armazenamento dos próprios mapas, em terceiro arquivo interrelacionado com os precedentes, este em fase de estudo, de tal maneira que será possível atender a todas as demandas até então identificadas, por exploração desse conjunto (Assis et al. 1983).

Embora algumas aplicações geográficas já sejam possíveis, principalmente a partir da exploração de alguns parâmetros disponíveis no arquivo de unidades de mapeamento (Assis et al. 1983), a maior utilização do sistema consiste na exploração dos seus diversos procedimentos estatísticos. Estes procedimentos visam gerar ca-

racterísticas sintéticas, representativas de determinadas amostras selecionadas no banco de dados, quer de tendência central, quer de ligação entre diversas variáveis.

Dispõe-se assim de recursos de desenho (histogramas, diagramas diversos, gráficos), de cálculos de parâmetros de distribuição (frequências, médias, desvios padrões, etc) ou de covariação (correlação, análise da variância. Os resultados da aplicação de alguns procedimentos sobre os dados coletados na região em pauta exemplificam o uso do SISSOLOS, mostrando as possibilidades de análise oferecidas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela seleção dos perfis de solos da região amazônica contidos nos arquivos do SISSOLOS, chegou-se a um total de 1.929 pontos, oriundos de 19 levantamentos diferentes. Somente o mapeamento esquemático fornece 52% deste total (1.007 perfis); porém neste último tem-se apenas 61 perfis completos, já que 94% dos pontos de observação dos solos nele contidos, correspondem a dados parciais (amostras de fertilidade, em particular).

Além disso, o mapa esquemático abrange uma área um pouco maior que a Amazônia Legal, incluindo a totalidade dos Estados do Mato Grosso e de Goiás e, por esse motivo, ele evidencia classes de solos com representação pouco expressiva para o resto da região (como os Latossolos Vermelho-Escuros e os Latossolos Roxos, por exemplo). Por essas razões, achou-se conveniente estudar separadamente os perfis fornecidos por este trabalho.

Um simples estudo da distribuição, com relação a diversos parâmetros, dos 922 perfis arquivados a partir dos outros levantamentos realizados na região, possibilita tirar algumas conclusões interessantes:

— mais de 80% desses perfis fornecem uma informação detalhada, por serem do tipo perfil característico (20%) ou perfil complementar ou amostra extra (60%). As-

sim, o maior número de determinações analíticas autoriza uma caracterização mais precisa do solo identificado;

— aproximadamente 65% desses perfis apresentam o caráter álico, isto é de saturação com alumínio no horizonte subsuperficial maior que 50% (Lemos & Santos 1982). Este resultado tende a confirmar o caráter de baixa fertilidade dos solos da região;

— as classes de solos mais representadas (Fig. 2) neste conjunto de perfis são as classes de Podzólico Vermelho-Amarelo (31%), Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Amarelo (28% juntos), Cambissolo (8%) e Areias Quartzosas (4,5%), essas cinco classes totalizam mais de 70% do número total de perfis coletados. Entretanto, tendo em vista o caráter meramente heterogêneo da amostragem formado por esse conjunto de perfis, não se deve concluir que essas classes são as mais expressivas na região estudada, porém constitui-se um índice de boa representatividade.

Um exame mais detalhado da repartição das diversas classes de solos nos levantamentos realizados em diversas áreas do Trópico Úmido Brasileiro, possibilita fazer uma distinção entre as classes de solos encontrados na maioria dos trabalhos, portanto com distribuição geográfica bastante homogênea na região, e as classes de solos mais localizadas em determinadas zonas.

Por exemplo, considerando apenas os quinze levantamentos que fornecem o maior número de perfis, verificou-se a presença de Latossolo Amarelo (treze vezes), de Podzólico Vermelho-Amarelo (doze vezes), de Gleia Pouco Úmido (oito vezes), de Latossolo Vermelho-Amarelo, Areias Quartzosas e Solos Aluviais (sete vezes, cada), o que evidencia uma presença mais constante dessas classes.

Por outro lado, o Cambissolo, embora com número importante de perfis, só foi encontrado em três levantamentos, como também o Podzólico Vermelho-Escuro foi observado apenas nos Estados de Rondônia e Mato Grosso. Outras classes de solos são quase inexistentes na região (Vertissolo, Bru-

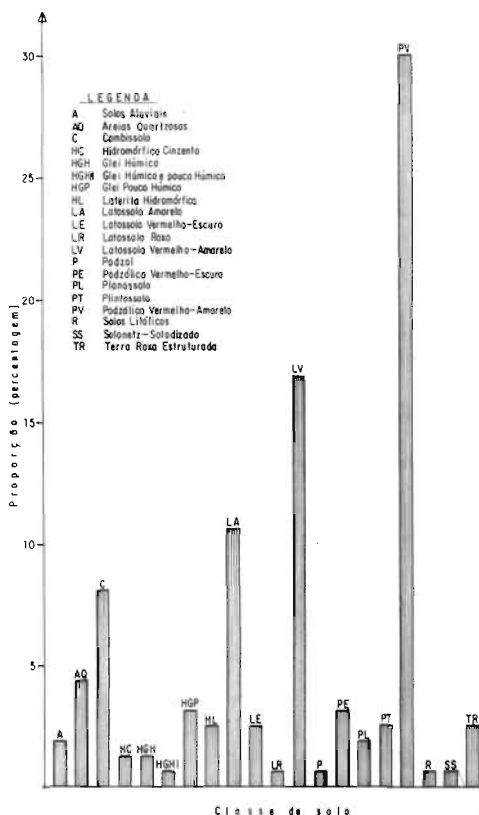


FIG. 2. Proporção de cada classe de solo nos perfis coletados.

no não Cálxico, Brunizem, etc.), enquanto detectou-se a presença de outras pouco esperadas (Solonetz-Solodizado no Território de Roraima, por exemplo).

Saindo de uma simples contagem dos perfis selecionados em várias categorias, o SISSOLOS possibilita também o cálculo da média de diversas características, com uma boa precisão, pois é proporcional ao número de ocorrências fornecidas pelos perfis armazenados.

Assim, a partir das classes de solos detectados como sendo as mais frequentes na região amazônica (Podzólico Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Amarelo), calculou-se os valores médios obtidos para algumas determinações químicas efetuadas no horizonte B dos perfis de cada classe. Obviamente, o mesmo cálculo pode ser realizado considerando-se todos os perfis de solos (da mesma classe) coletados no Brasil.

Os números de perfis envolvidos nessas comparações não são comuns, visto o volume de dados já atingidos pelos arquivos do SISSOLOS. Por exemplo, para o Podzólico Vermelho-Amarelo, a comparação

interessa 480 perfis coletados na área do Trópico Úmido e 1.174 coletados em todo o país. As seguintes conclusões podem ser tiradas desses resultados apresentados na Tabela 1:

TABELA 1. Comparação de alguns parâmetros obtidos na região do Trópico Úmido e no Brasil.

Determinação Físico-química	Classe de Solos		
	Latossolo Amarelo	Latossolo Vermelho-Amarelo	Podzólico Vermelho-Amarelo
Percentagem de cascalhos	T.U= 2.74	4.64	7.85
	Br= 2.21	3.48	5.63
Percentagem de argila	T.U= 57.44	56.41	40.59
	Br= 48.88	49.58	39.29
Grau de flocculação	T.U= 84.8	80.6	73.7
	Br= 85.0	83.7	69.6
pH (na água)	T.U= 4.59	4.72	5.03
	Br= 4.59	4.90	5.03
Soma (Ca + Mg)	T.U= 0.23	0.39	0.84
	Br= 0.36	0.59	1.33
Soma das bases	T.U= 0.28	0.46	0.96
	Br= 0.44	0.68	1.48
Alumínio Trocável	T.U= 1.32	1.03	1.06
	Br= 1.19	0.77	1.28
Hidrosênio Trocável	T.U= 2.26	2.77	1.72
	Br= 2.10	2.34	2.11
Capacidade de troca	T.U= 3.87	4.26	3.71
	Br= 3.61	3.83	4.85
Saturação de bases	T.U= 8.09	12.33	24.01
	Br= 12.95	18.17	27.81
Carbono orgânico	T.U= 0.45	0.55	0.40
	Br= 0.40	0.55	0.38
Saturação c/alumínio	T.U= 80.71	62.94	54.18
	Br= 70.86	50.47	48.74
Valor Ki	T.U= 1.90	-	1.98
	Br= 1.90	-	2.06
Valor Kr	T.U= 1.68	1.61	1.63
	Br= 1.67	1.39	1.68

(determinações realizadas sobre a amostra do horizonte B)

— as proporções de cascalhos observadas nos solos da região são sistematicamente maiores que no resto do país: essa tendência que já existe para os solos derivados de rochas sedimentares, acentua-se para o Podzólico Vermelho-Amarelo, derivado do granito. Também, a percentagem de argila na terra fina é nitidamente superior nos Latossolos da Região Norte;

— numerosas variáveis (grau de floculação, pH, Ki, Kr, etc.), apresentam o mesmo valor médio nos dois lotes de perfis, o que confirma a homogeneidade dos resultados obtidos nos levantamentos da região, com relação ao resto do país. Evidentemente, a existência de um Serviço Nacional constitui um fato que favorece, sobremaneira, essa normalização. Vale salientar, mais particularmente, que o teor de carbono orgânico, pelo menos no horizonte B, tem o mesmo valor nos dois casos;

— todos os parâmetros ligados à fertilidade química dos solos encontram-se com valores mais pobres na região do Trópico Úmido, que no resto do país: assim, a soma Cálcio + Magnésio, a soma das bases e a saturação de bases. Um teor de alumínio mais elevado na região (toxidez) dá origem ao caráter álico, principalmente nos Latossolos.

CONCLUSÕES

Os levantamentos constituem uma fonte de informação importante sobre os solos da região do Trópico Úmido Brasileiro e o sistema em computador que foi desenvolvido para agilizar o manuseio desta informação possibilita as mais diversas aplicações.

Alguns exemplos simples foram realizados para confirmar e quantificar os conceitos que já se têm sobre os solos desta área (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1981), mostrando principalmente:

— o caráter quimicamente pobre dos solos que ocupam a maior parte do baixo platô amazônico;

— uma relativa heterogeneidade na distribuição geográfica das diversas classes de solos, que vem sendo detectada à medida que progrsse o conhecimento sobre a região, através dos levantamentos mais recentes.

A comparação realizada entre os solos levantados na zona em pauta e o resto do Brasil, apontou algumas características próprias porém tendeu sobretudo a confirmar a boa qualidade dos trabalhos de campo, laboratórios e escritório, visto a grande semelhança dos valores médios obtidos nos dois casos.

O sistema SISSOLOS oferece a possibilidade de exploração de procedimentos mais completos, no sentido de caracterizar melhor cada categoria de dados e suas interrelações. Devido a esse uso essencialmente estatístico do acervo de dados, quanto maior o número de dados contidos nos arquivos, mais apurado poderá ser o conhecimento adquirido, pois maior será a confiabilidade obtida para as variáveis de síntese.

A exploração dos dados acumulados pelo SNLCS tornou-se possível com a utilização do computador e o desenvolvimento de um sistema apropriado à administração dessas informações: algumas outras equipes realizam trabalhos semelhantes de levantamentos de solos na região, e fornecem assim dados altamente importantes. Um acordo interinstitucional seria necessário para conseguir a agregação de todas essas informações em um banco de dados único, valorizando-as para o benefício de toda a comunidade científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, A.R. de & SECHET, P. Dados de solos: armazenamento e recuperação. In: CONGRESSO NACIONAL DE INFORMÁTICA, 16., São Paulo, *Anais* São Paulo, SUCESU, 1983. p. 219-24.
- ASSIS, D.S.; MENEGUELLI, N. do A. & SECHET, P. SISSOLOS: um sistema geográfico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOCIÊNCIAS E TECNOLOGIAS APLICADAS AOS ESTUDOS AMBIENTAIS, 1., Rio de Janeiro. *Anais*... Rio de Janeiro, 1983. p.

- CAMARGO, M.N, Mapas de solos executados pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos-EMBRAPA, In: R. **Bras. Cartog.**, 22:9-16, 1970.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Departamento Técnico-Científico, Brasília, DF. **Programas nacionais de pesquisa para a região do Trópico Úmido**. Brasília, EMBRAPA-DID, 1981. 130p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. **Manual e método de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979, 1v.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. **Manual de uso do SISSOLOS**. Rio de Janeiro, 1983, 245p.
- LEMOES, R.C. de & SANTOS, R.D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 2. ed. Campinas, SBCS/EMBRAPA-SNLCS, 1982. 46p.
- OLMOS ITURRI LARACH, J. **Bases para leitura de mapas de solos**. Rio de Janeiro, EMBRAPA-SNLCS, 1981. 91p. (EMBRAPA-SNLCS. Miscelânea, 4).
- REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10., Rio de Janeiro, 1979. **Súmula**. Rio de Janeiro, EMBRAPA-SNLCS, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Miscelânea, 1).

ANEXO 1

RELAÇÃO DAS PUBLICAÇÕES DO SNLCS SOBRE A REGIÃO

CPP 17:	Mapa esquemático dos solos das regiões Norte, Meio-Norte e Centro-Oeste do Brasil. Texto explicativo (1975).	BT 70:	Levantamento exploratório-reconhecimento de alta intensidade e aptidão agrícola dos solos da área compreendida entre os km 81 e 152 da rodovia Santarém-Cuiabá e o rio Curuá-Una. (1980).
DPP 31:	Estudo expedito de solos no trecho Itaituba-Estreito da rodovia Transamazônica, para fins de classificação e correlação. (1973).	BT 73:	Estudo expedito de solos do Território Federal de Rondônia, para fins de classificação, correlação e legenda preliminar. (1980).
DPP 33:	Levantamento exploratório dos solos que ocorrem ao longo da rodovia Transamazônica (trecho Itaituba-Estreito). (1973).	BT 77:	Levantamento de reconhecimento de média intensidade e aptidão agrícola dos solos da área do Polo Altamira no Estado do Pará. (1981).
DPP 34:	Levantamento de reconhecimento dos solos de uma área prioritária na rodovia Transamazônica entre Altamira e Itaituba. (1973).	BT 79:	Levantamento de reconhecimento de alta intensidade dos solos e avaliação de aptidão agrícola das terras da área ao longo da BR-174, na região do rio Anauá, no município de Caracaraí. Território Federal de Roraima. (1982).
BT 48:	Levantamento de reconhecimento dos solos de três áreas prioritárias situadas na rodovia Transamazônica. (1976).	BP 3:	Levantamento de reconhecimento de média intensidade
BT 49:	Aptidão agrícola dos solos de três áreas prioritárias situadas na rodovia Transamazônica; interrelação do levantamento de reconhecimento dos solos. (1976).		

- dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da área do Polo Amapá. (1982).
- BP 7: Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação de aptidão agrícola das terras de uma área sob influência dos rios Aragua-ri, Falsino e Tartarugal Grande, Território Federal do Amapá. (1982).
- BP 9: Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos e avaliação de aptidão agrícola das terras da área piloto no município de Barreirinha, Estado do Amazonas. (1982).
- BP 14: Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos e avaliação de aptidão agrícola das terras do projeto de Colonização APIAÚ, Território Federal de Roraima. (1982).
- BP 15: Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação de aptidão agrícola das terras do Polo Pré-Amazônia Maranhense.
- BP 16: Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras em 100.000 hectares da Gleba Machadinho, no município de Ariquemes, Rondônia.
- BP 18: Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação de aptidão agrícola das terras da área do Polo Roraima. (1983).
- BP 19: Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação de aptidão agrícola das terras de 21.000 hectares no município de Tefé, Amazonas. (1983).
- BP 20: Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação de aptidão agrícola das terras da área do Polo Tapajós. (1983)
- BP 21: Levantamento exploratório dos solos que ocorrem ao longo da rodovia Manaus-Porto Velho. (1983).
- BP 25: Caracterização das frações argila e silte em solos da área do Polo Roraima. (1984).
- Levantamento de reconhecimento dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras de uma área de colonização no município de Urucará, no Estado do Amazonas. (no prelo).
- Levantamento de reconhecimento dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras de uma área de colonização no município de Careiro, no Estado do Amazonas. (no prelo).
- Levantamento de reconhecimento dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras de uma área de colonização no município de Barreirinha, no Estado do Amazonas. (no prelo).
- Levantamento de reconhecimento dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da área do Polo Carajás, no Estado do Pará (no prelo).
- Perspectivas do uso do ataque sulfúrico (H_2SO_4 1:1) e da dissolução alcalina ($NaOH$, 0,5N) para análise mineralógica expedita de solos com B textura e B latossólico. (no prelo).
- Levantamento de reconhecimento de média intensidade e aptidão agrícola das terras da área do Polo Trombetas, no Estado do Pará. (no prelo).

SOLOS DA GLEBA CARAJÁS (SETORES V, VI E VII)

Ítalo Cláudio Falesi¹

RESUMO: A Gleba Carajás II (CRJ II) ocupa uma área de 235.580 ha e localiza-se a sudoeste de Marabá, Estado do Para. A prospecção dos solos abrangeu os setores V (80.003,374 ha), VI (48.708,500 ha) e VII (67.743,250 ha), totalizando 196.495,124 ha correspondendo a 83,39% da área total. O GETAT, Grupo Executivo de Terras do Araguaia-Tocantins, procedeu uma concorrência pública, visando à implantação de uma colonização dirigida através de empresa privada, tendo na oportunidade vencida a licitação, a Construtora Andrade Gutierrez. Pretende-se implantar cerca de 4.000 famílias (Glebas CRJ II e III) com a responsabilidade de desenvolver atividades agropecuárias. O levantamento pedológico obedeceu aos critérios ditados pelo SOIL SURVEY MANUAL-USA e SNLCS — Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo/EMBRAPA, adotando-se o nível de reconhecimento de baixa intensidade. A prospecção identificou os fatores de formação do solo, sendo a geologia e o relevo bastante diversificados, que juntamente com o clima e a drenagem exercem uma influência marcante na gênese dos solos. Existe uma perfeita correlação entre determinados solos e a cobertura vegetal, como por exemplo, os excessivamente arenosos com a vegetação de "Mata Seca", caracterizada pelo seu baixo porte e pobreza de espécies de reconhecido valor econômico, tendo como principal identificação a caducidade das folhas durante o período de estiagem. Por outro lado, as áreas normalmente ocupadas com solos eutróficos e argilosos são revestidos pela floresta latifoliada — cipoal, tendo como presença marcante a castanheira (*Bertholetia excelsa* e o babaçu (*Orbignia barbosiana*). Foram identificados os seguintes solos: Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, distrófico e o Plíntico; Laterita Hidromórfica (Plintossolo álico; Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico e o Plíntico; Cambissolo eutrófico e distrófico, além de solo Litólico eutrófico e distrófico Planossolo eutrófico e finalmente a Areia Quartzosa álica. Grupados em classes de terras esses solos foram assim classificados: baixa fertilidade 93.189 ha (47,39%); alta fertilidade 75.802 ha (38,58%), excessivamente arenosos 11.308ha (5,75%), Hidromórficos não arenosos 6.056 ha (3,08%) e por fim os solos rochosos com 10 106 ha (5,14%). O levantamento pedológico permitiu quantificar estimativamente as classes de solos e, como consequência, definir áreas agricultáveis, empregando-se baixo nível de tecnologia, no caso dos solos eutróficos bem drenados; áreas agricultáveis com emprego de certo grau de tecnologia, usando-se corretivos e fertilizantes — os solos distróficos; áreas com afloramentos rochosos, que poderão ser destinados, parte deles, para a formação de pastagens cultivadas e, finalmente, os solos excessivamente arenosos, recomendados para manter a cobertura vegetal como medida de proteção à flora e à fauna silvestre.

Termos para indexação: Solos, levantamento, carajás.

¹ Eng. Agr. EMBRAPA-CPATU. Caixa Postal 48. CEP 66000. Belém, PA.

THE GLEBA CARAJAS II SOILS

ABSTRACT: The Gleba Carajás II (CRJ II) occupies an area of 234,580 ha located southwest of Marabá, State of Pará. The soil survey was made on sectors V (80,003 ha), VI (48 708 ha) and VII (67,743 ha), covering 196,495 ha corresponding to 83,4% of the total area. The GETAT (Grupo Executivo de Terras do Araguaia - Tocantins) authorized a private enterprise, namely Construtora Andrade Gutierrez to organize and carry out area colonization. The plan is to settle 4,000 families (glebas CRJ II e III) for the development of agricultural activities. The soil survey followed the criteria of both Soil Survey Manual - USA and SNLCS — Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo/ EMBRAPA, at the level of low intensity reconnaissance. The survey on soil genesis, showed that geology and relief are well diversified and, along with climate and drainage, have a great influence on soil genesis. There is a close correlation between certain soils and plant cover, such as for example, the sandy soils and the vegetation of "mata seca" (dry forest) characterized by its low height and poorness of species of economical value, having as its main identification the falling of the leaves during the dry season. On the other hand, the area with eutrophic and clayey soils are covered by the latifoliate vine forests, where the main trees are the Brazil nut (*Bertholettia excelsa*) and babaçu (*Orbignia barbosiana*). The following soils were found: eutrophic, distrophic and plinthic red yellow Podizolic; alic, Ground Water Laterite (Plintisol); distrophic and plinthic, red-yellow Latosol; eutrophic and distrophic Cambisols, eutrophic and distrophic Litosols, eutrophic Planosol and alic sandy soils. Soil classes were the following: low fertility 93,189 ha (47.4%), high fertility 75,802 ha (38.6%), very sandy 11,308 ha (5.7%) not-sandy Ground Water Laterite 6,056 ha (3.1%) and rocky soils 10,106 ha (5.1%). The soil survey allowed to quantify the different soil classes and, as a consequence, to define lands that can be cropped with low-input technology (the eutrophic well drained soils); lands that can be cropped with the use of some soil amendments, such as lime and fertilizers (the distrophic soils); rocky areas some of which can be used for pastures; and the sandy soils that must be kept with their original cover for protection of the flora and fauna.

Index terms: Soils, soil survey, Carajás.

INTRODUÇÃO

Visando a implantação de uma colonização dirigida nas glebas Carajás II e Carajás III, situadas ao sul da Serra Norte, município de Marabá-Pará, o GETAT, Grupo Executivo das Terras do Araguaia/Tocantins, procedeu a uma concorrência pública, tendo a empresa Construtora Andrade Gutierrez vencido essa licitação e, portanto, passando a ter a responsabilidade de assentar cerca de 4.000 famílias em lotes de terras com superfícies variáveis.

A área do CRJ-II tem cerca de 235.580 ha e a Gleba CRJ-III com 104.280 ha, localizando-se ambas a sudoeste do município de Marabá.

Tratam-se de áreas que apresentam geologia e topografia muito diversificadas com terrenos variando desde o plano até o forte ondulado.

Essa situação geotopográfica, auxiliada pelo clima e também pela drenagem, teve bastante influência na formação dos solos e na vegetação.

Assim é que o material originário procedente de rochas do complexo Xingú, por exemplo, bastante diversificado com ocorrências notáveis dos granitos, granodioritos, migmatitos, dioritos, quartzodioritos, anfíbolitos, quartzitos, xistos e gnaisses além de outras, formam solos pertencentes a diversos grandes grupos, com ocorrência dos eutróficos e distróficos, ou sejam, aqueles com saturação de bases alta ou no segundo caso, gerando baixa saturação.

Por outro lado, nas áreas de ocorrências de arenitos, quartzitos ou sedimentos arenosos, a evolução diagenética do material originário deu origem a solos excessivamente arenosos.

No primeiro caso, de um modo geral,

os solos possuem classe textural argilosa, são bem estruturados, medianamente a bem profundo, podendo ser de alta ou de baixa fertilidade química e a cobertura vegetal é quase sempre formada pela floresta de cipó, com presença marcante da castanha-do-pará e do babaçu.

No segundo exemplo, caso dos arenitos, a vegetação é de "Mata Seca", caracterizada pelo seu baixo porte e pobreza de espécies de reconhecido valor econômico e abundância de bromeliáceas distribuídas na superfície do solo.

Há de se considerar, também, as áreas que se apresentam com topografia forte ondulada até montanhosa, tendo como exemplo, conspicuo a serra do Rabo, onde se observam encostas íngremes.

Aproveitando-se as estradas existentes, identificou-se e, de certo modo, quantificou-se, estimativamente, os solos agricultáveis sem maiores adoções de práticas de manejo e, áreas com utilização agrícola, porém, dependendo do emprego de manejo mais tecnificado, caso das áreas excessivamente arenosas e as de relevo forte ondulado.

As áreas mapeadas referem-se ao CRJ-II setor V com uma superfície de cerca de 80.003,4 ha, setor VI com 48.708,00 ha e finalmente setor VII com 67.743,25 ha, totalizando 196.454,65 ha, área esta que corresponde a 83,39% da superfície total (Fig. 1).

As tabelas 1 e 2 identificam as áreas e percentuais das classes de terras distribuídas na Gleba Carajás II, objeto deste levantamento pedológico.

A tabela 3 faz uma avaliação das áreas e distribuição percentual das classes de terras constituídas de solos de baixa fertilidade (distróficos ou álicos) e os solos com alta fertilidade (eutróficos) com um percentual relativamente elevado (38,88%). Nessa mesma tabela estão avaliadas as classes de terras formadas de solos excessivamente arenosos, com 5,76%, os solos pedregosos com 5,15% e finalmente os solos considerados hidromórficos não arenosos com apenas 3,08%.

As tabelas 4 e 5 referem-se à distribuição das áreas e percentuais relativos às unidades de mapeamento, respectivamente, dos setores V, VI e VII, identificados nos mapas de solos. As tabelas 6 e 7, ilustram as áreas e distribuição percentual das classes de solos referentes ao CRJ-II, setor V, VI e VII.

MATERIAL E MÉTODOS

Aproveitando-se as estradas existentes, principais e vicinais, percorreu-se, em uma viatura, diversas vias de acesso rodoviário, quando nessa oportunidade, foram feitas várias sondagens de solos, para a identificação, bem como colheita de amostras a profundidades diferentes para posterior análise de laboratório.

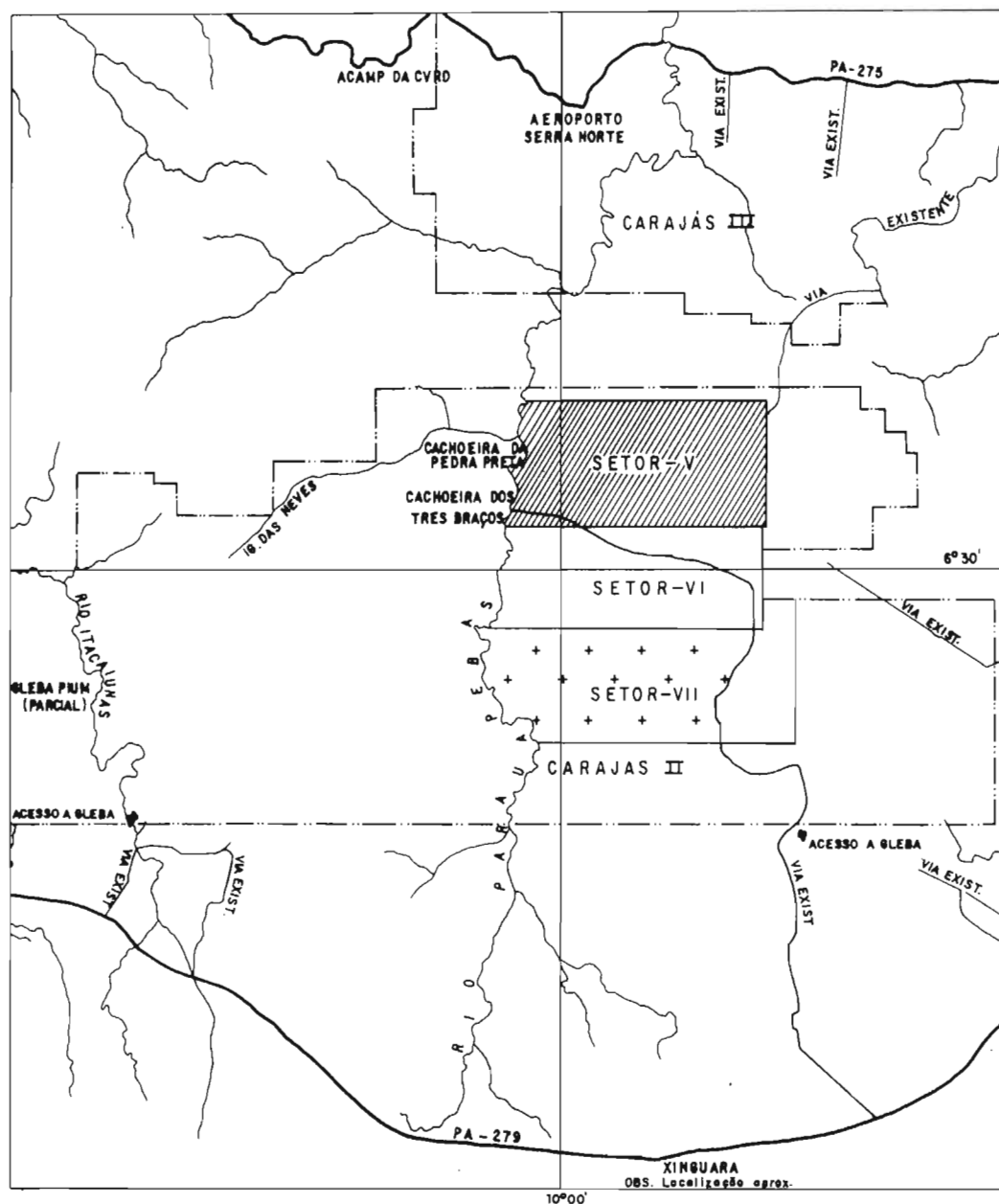
As colheitas dessas amostras foram executadas com auxílio de um trado holandês e também em perfis abertos com uma retroescavadeira, o que permitiu se atingir profundidades acentuadas, como por exemplo, 3m e, deste modo, identificarem-se, com melhor precisão as unidades de solos.

Ao mesmo tempo que se identificavam os solos, procurou-se correlacioná-los com a cobertura vegetal, mas também, com a topografia e drenagem, fatores importantes para o conhecimento da utilização agrosilvopastoril das terras.

Colheram-se 40 amostras referentes aos horizontes A e B dos diversos solos considerados como representativos para o nível do levantamento.

As amostras foram analisadas de acordo com os métodos adotados pelos laboratórios de solos da EMBRAPA-CPATU, sendo feito as análises de granulometria, carbono orgânico, nitrogênio, cálcio, magnésio, sódio, potássio, hidrogênio e alumínio, fósforo assimilável, e o ataque sulfúrico SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 . (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - SNLCS 1978; Anexo 1 e 2).

De posse desses resultados, foram identificados através de cálculos os seguintes valores: soma de bases permutáveis, capacidade de troca catiônica, saturação de ba-



M A P A D E L O C A L I Z A Ç Ã O					
ESTADO PARÁ	MUNICÍPIO MARABÁ	ÁREA 198.464 ha	ESCALA 1:500.000	DATA A G O S T O - 8 6	DESENHO L I R A

FIG. 1. Mapa de localização do Carajás II - Setores V-VI-VII.

seg, saturação de alumínio, matéria orgânica, relação C/N, Ki e Kr.

Os mapas de solos foram elaborados tendo como base a prospecção de campo

e principalmente através de fotointerpretação executada pelo Engº Florestal Paulo Benicá de Salles, técnico do GETAT. As fotos utilizadas são de escala 1:40.000, vôo

TABELA 1. Áreas e distribuição percentual das classes de terras.

CRJ — II — SETOR V

Classes de terras	ha	%
Solos de baixa fertilidade	40.048,3	50,05
Solos de alta fertilidade	22.904,8	28,65
Solos excessivamente arenosos	6.346,0	7,93
Solos hidromórficos não arenosos (alta+baixa fertilidade)	6.055,9	7,56
Solos Pedregosos (alta+baixa fertilidade)	4.656,4	5,81
Total	80.011,4	100,00

TABELA 2. Distribuição percentual das classes de terras

Setores V e VI.

Classes de terras	S - VI	S - VII	V-VI	S - VII
	ha		%	
Solos de baixa fertilidade	23.224	29.917,30	47,68	44,18
Solos de alta fertilidade	23.189	29.708,90	47,61	43,87
Solos excessivamente arenosos	2.295	2.666,90	4,71	3,99
Solos Pedregosos (alta+baixa fertilidade)	-	5.450,00	-	8,06
Totais	48.708	67.743,25	100	100

TABELA 3. Áreas e distribuição percentual das classes de terras

Quadro Geral - Setores V, VI e VII.

Classes de terras	ha	%
Solos de baixa fertilidades	93.181,7	47,43
Solos de altas fertilidades	75.802,7	38,58
Solos excessivamente arenosos	11.307,9	5,76
Solos Pedregosos (alta e baixa fertilidade)	10.106,4	5,15
Solos hidromórficos não arenosos (alta e baixa fertilidade)	6.055,9	3,08
Total	196.454,6	100,00

junho/83 da PROSPEC, muito recente, não se utilizando os recursos de restituição ou mesmo aerotriangulação de qualquer tipo (Anexo 3, 4 e 5).

Descrição Geral da Área Vegetação

Na área distribuem-se tipos de vegetação, estando normalmente relacionados

TABELA 4. Áreas e percentuais das unidades de mapeamento

CRJ II - SETOR V

Símbolo no mapa de solos	ha	%
PV - PVp1 - LV - LVp1 - H1	60.559	75,69
Li - C	6.686	8,36
HL	6.345	7,93
PV - LV	5.109	6,39
Li	1.302	1,63
Total	80.003	100,00

TABELA 5. Áreas e percentuais das unidades de mapeamento

Setores VI e VII

Símbolo no mapa de solos	S - VI	S - VII	S-VI	S-VII
	ha		%	
PV ₁	34.863,50	40.127,60	71,58	59,23
PV ₂	1.168,75	7.892,50	2,40	11,65
PV ₃	7.145,00	5.636,25	14,67	8,32
PV ₄	5.531,25	3.187,50	11,35	4,71
LC	-	10.900,00	-	16,09
Totais	48.708,50	67.743,25	100	100

TABELA 6. Áreas e distribuição percentual das classes de solos

CRJ II - SETOR V

Classe de solo	ha	%
Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico	21.233,1	26,54
Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico	20.211,3	25,26
Podzólico Vermelho-Amarelo Plintico	6.055,9	7,56
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	6.055,9	7,56
Latossolo Vermelho-Amarelo Plintico	6.055,9	7,56
Plintossolo Distrófico textura argilosa	6.055,9	7,56
Solos Litólicos Eutróficos	2.323,2	2,90
Solos Litólicos Distróficos	2.323,2	2,90
Plintossolo textura arenosa	2.222,0	2,77
Cambissolo Eutrófico	1.671,7	2,08
Cambissolo Distrófico	1.671,7	2,08
Planossolo Eutrófico	1.586,0	1,98
Areia Quartzosa Distrófica	1.269,0	1,58
Cambissolo Eutrófico textura arenosa	1.269,0	1,58
Total	80.011,4	100,00

TABELA 7. Áreas e distribuição percentual das unidades de solos

Setores VI e VII

Classe de solo	S - VI	S - VII	S-VI	S-VII
	ha		%	
Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico	16.713	17.729,57	34,32	26,17
Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico	16.713	17.719,57	34,32	26,17
Podzólico Vermelho-Amarelo Plintico	5.229	8.025,40	10,73	11,85
Latossolo Vermelho-Amarelo Plintico	1.071	845,43	2,19	1,24
Cambissolo Eutrófico	175	3.316,93	0,35	4,89
Cambissolo Distrófico	175	3.316,93	0,35	4,89
Planossolo Eutrófico	1.106	637,00	2,27	4,89
Areia Quartzosa Distrófica	1.187	2.029,40	2,44	2,99
Plintossolo Distrófico textura argilosa	5.229	8.025,40	10,73	11,84
Plintossolo Distrófico textura arenosa	1.106	637,50	2,27	0,94
Solos Litólicos Eutróficos	-	2.725,00	-	4,02
Solos Litólicos Distróficos	-	2.725,00	-	4,02
Totais	48.708	67.743,25	100,00	100,00

com fatores edáficos e climáticos.

As principais coberturas são: Floresta latifoliada — Cipoal ou mata-de-cipó; Floresta mista — Cocal; Floresta Ombrófila Montana, Floresta Ombrófila Submontana e por fim, a Mata Seca.

Floresta latifoliada — Cipoal, é uma vegetação florestal, com mediana biomassa, onde a sub-mata é obstruída por cipós que sobem pelos troncos, e pendem dos galhos, dando uma visão muito característica. Ocorre uma maior penetração de luz solar do que nas matas pesadas e escassez de epífitas. As árvores são de porte mediano, podendo, no entanto, ocorrerem árvores gigantes, emergentes. É comum a associação babaçu-castanha-do-pará. (Pires 1973).

Floresta mista — Cocal, como o nome indica, trata-se de uma formação mista de palmeiras, principalmente o babaçu e árvores latifoliadas sempre verdes, de altura muito variável e distribuídas de maneira esparsa. (Brasil 1974).

Floresta Ombrófila Montana — Constitui a vegetação que se desenvolve nas serras de elevada altitude. Correlaciona-se com a formação pré-colombiana em platô.

A estrutura florestal é muito variada, sendo constituída por árvores emergentes bem distribuídas e com elevado diâmetro de caule. Ocorre na serra do Rabo.

Floresta Ombrófila Submontana — É a vegetação que se desenvolve em áreas dissecadas, de baixa altitude, formando cadeias de montanhas ou de outeiros e colinas (Brasil 1974).

Mata Seca — É uma floresta de mediana até fraca biomassa e com satisfatória penetração de luz. Os cipós quando presentes, não são tão abundantes como as matas de cipós e são mais finos. Durante o período de maior estiagem, as árvores perdem naturalmente as folhas, dando um aspecto desolador à paisagem. É comum a presença de bromeliáceas espalhadas na superfície do solo.

Há uma estreita correlação entre esta vegetação e a classe excessivamente arenosa do solo que a suporta.

Clima

Na ausência de dados climatológicos no local da área prospectada, consideraram-se os obtidos no Posto de Ma-

rabá, dada a proximidade dessa localidade.

A área acha-se submetida à influência do tipo climático Awi da classificação de Köppen, em que A é definido como clima tropical chuvoso cujas temperaturas médias dos meses nunca alcançam valores abaixo de 18°C; w — com pelo menos um mês de menor queda pluviométrica inferior a 60 mm com período seco definido e i — clima com variações estacionais devido à amplitude térmica ser inferior a 5°C. A temperatura média é de 26,4°C, com valores para as médias das máximas e mínimas de 30,6°C e 23,3°C, respectivamente. Tendo em vista a reduzida amplitude entre as médias dos meses, 1,5°C, não há condições térmicas e diferenciações estacionais. A umidade relativa do ar é elevada durante o ano e a média é de 79%, com oscilação entre 71% e 88%. A precipitação pluviométrica anual atinge cerca de 1420 mm, distribuída em dois períodos bem distintos: um chuvoso e outro escasso de chuvas. O primeiro, compreendido entre dezembro e abril e o segundo de maio a novembro, no qual ocorrem cinco meses com índices inferiores a 60 mm.

No relativo ao balanço hídrico de Thornthwaite e Mather - 1955, os cálculos efetuados evidenciaram estar a região sujeita a excedentes e déficits hídricos anuais em torno de 380 e 590 mm, respectivamente.

Relevo

Na paisagem topográfica predominam as formas planas e suave onduladas, onde se desenvolvem os solos bem drenados, como o Latossolo Vermelho-Amarelo, os solos Concrecionários Lateríticos e alguns Podzólicos Vermelho-Amarelos.

Nas áreas com topografia suave ondulada e ondulada, tendo seqüência de colinas e outeiros, desenvolvem-se tipicamente os Podzólicos Vermelho-Amarelos e os Cambissolos.

Nos locais com relevo forte ondulado e/ou montanhoso, onde é evidente o aflora-

mento de rochas e o solo é diageneticamente pouco evoluído, ocorrem os solos Litólicos e os Cambissolos.

São encontrados também as áreas com topografia plana e baixa, de drenagem deficiente e os solos são Plintossolo, textura arenosa e o Planossolo.

Geologia

Basicamente a geologia da área é atribuída ao Pré-Cambriano, assim representado: 1) Grupo Uatumã — Superior C; 2) Grupo Grão Pará — médio A Superior; 3) Grupo Tocantins — médio A Superior e 4) Complexo Xingu — Inferior A médio. (Brasil, 1974).

Grupo Uatumã — este grupo está representado pela Formação Membro Azul, que é caracterizada por seqüências de folhelhos manganosíferos, carbonosos, siltitos e argilitos, arenitos, ortosnartizíticos e arenitos cinza impuros, feldspáticos; arenitos conglomeráticos com fragmentos quartzitos. (Brasil, 1974). Constitui parte da Serra do Rabo.

Grupo Grão Pará — é de morfologia formada por chapadas cobertas por canga laterítica, cristais alinhados com escarpas íngremes, morros alinhados, "cuestas" e elevação com topo chato e intensamente ravinas (Brasil, 1974).

Grupo Tocantins — é constituído por epimetamorfitos. Sua petrografia pode ser dividida em xistos de baixo grau, ardósias e filitos, metapsamitos, quartzitos e calcários (Brasil, 1974).

Complexo Xingu — constitui a mais extensa unidade geológica de ocorrência nas áreas.

Na parte norte da área, a petrografia é constituída por granitos, granodioritos, gnaisses, migmatitos, dioritos, granulitos e anfibólitos. Ao sul localizam-se migmatitos, gnaisses e granitos, vistos no curso do rio Paraupabas.

O Projeto RADAM BRASIL define este complexo "como um conjunto de rochas polimetamórficas com tendência granodiorí-

tica, variavelmente migmatizadas, apresentando encraves de ectinitos normais em regiões menos arrasadas ou no interior de paleossinclinais". (Brasil 1974).

Descrição das Classes de Solos Podzólico Vermelho-Amarelo

O Podzólico Vermelho-Amarelo apresenta características de podzolização, ou seja, o processo diagenético que consiste na migração de minerais de argila, pela destruição das argilas no horizonte A e concentração no B ou então a formação das próprias argilas no horizonte iluvial. Com esse processo dá-se a formação de um horizonte B diagnóstico, denominado B textural ou argílico (Estados Unidos 1975).

O perfil possui sequência de horizontes A, B e C com presença ou não de um A₂; medianamente profundo, moderadamente drenado a bem drenado, friável a firme, textura pesada, estrutura do horizonte B bem desenvolvida em forma de bloco subangular, e possuindo revestimento de filme de material coloidal entre as unidades de estrutura ou próximo das atividades das raízes, denominado de cerosidade (Falesi, 1972).

Na área foram observadas as seguintes classes de solos deste grande grupo: Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico textura argilosa e média, Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico textura argilosa a média e o Podzólicos Vermelho-Amarelo distrófico plântico textura argilosa (Tabela 6).

Todas estas classes guardam as características fundamentais do grande grupo, variando no relativo aos valores de saturação de bases alta (acima de 50%) no caso dos eutróficos e abaixo de 50%, em se tratando dos distróficos. A fase plântica refere-se à presença da plintita quase sempre localizada na base do horizonte B ou mesmo em parte deste horizonte.

A plintita vem a ser um material argiloso (no presente caso), altamente intemperizado, compacto, geralmente com mosqueados vermelhos, cinzentos e bran-

cos, com arranjo poligonal ou reticular, pendendo para "hardpan" ou concreções sob condições especiais de umedecimento e secagem. (Estados Unidos 1975).

Estes solos evoluíram da intemperização de rochas, principalmente atribuídas ao Complexo Xingu, como: granitos, migmatitos, gnaises, xistos, além de cutras formando os Podzólicos distróficos; ao passo que dos dioritos, granodioritos, diabase e outras rochas intermediárias ou mesmo básicas desenvolveram-se os Podzólicos eutróficos.

A fase Plântica deste grande grupo é caracterizada principalmente pela presença da plintita, que em linhas gerais forma-se como decorrência da presença do lençol freático oscilando por um determinado período do ano em uma camada do perfil do solo, oxidando e reduzindo o ferro existente. O contínuo processo de umedecimento e secagem desta camada e as reações químicas que aí se processam formam a plintita. (Santos e Falesi 1964).

Relacionando-se a plintita com a utilização agrícola destes solos, ela passa a ser inconveniente se localizada a menos de 1 m de profundidade no perfil. Quando tal fato ocorre deve-se proceder o rompimento dessa camada através de canais drenadores ou com o emprego de sub-soladores.

No referente às propriedades químicas dos solos eutróficos, as análises de laboratório evidenciaram que as bases trocáveis: cálcio, magnésio e potássio, normalmente possuem valores acima da média revelando uma saturação alta de bases permutáveis, permitindo considerar estes solos como sendo de boa fertilidade química.

Como os valores de saturação de bases são altos, os teores de alumínio permutável normalmente acham-se completamente neutralizados, o que é ideal para a agricultura.

Por outro lado, os valores de fósforo assimilável são considerados baixos, como aliás acontece com uma grande totalidade dos solos, não somente amazônicos, co-

mo de resto do imenso território brasileiro.

Já nos solos distróficos, os valores de saturação de bases são inferiores a 50%, os teores de bases trocáveis são baixos e o alumínio acima de 1 meq/100g, sendo portanto, considerados como de baixa fertilidade química. Possuem, no entanto, boas propriedades físicas, desde que não apresentem percentual elevado de concreções lateríticas e/ou de cascalhos distribuídos pelo perfil ou nos primeiros horizontes do solo.

O Podzólico Vermelho-Amarelo pode também apresentar fases nas quais é evidenciada a presença de cascalhos distribuídos em vários locais do perfil, como nos primeiros 30 cm (aproximadamente); na base ou no próprio horizonte B ou em todo o "solum".

Quando isto ocorre, deve-se levar em consideração a utilização agropecuária, pois conforme for o caso, as limitações serão menos ou mais severas.

Estes solos ocorrem associados a outras unidades taxonômicas, sendo recobertos, de acordo com a situação, pela floresta de cipó com castanheira e babaçu, em relevo suave ondulado ou neste mesmo tipo de vegetação, porém menos densa e em relevo plano e suave ondulado, constituindo, respectivamente, as associações PV-LV, PV-PVpl-LV-PVpl-H1, PV1, PV2, PV3 e PV4 constantes nos mapas de solos e da legenda de identificação dos solos.

Cambissolo

Esta unidade está constituída por solos com horizonte (B) incipiente (câmbico) não hidromórfico, apresentando certo grau de desenvolvimento, porém não suficiente para decompor totalmente os minerais primários de fácil intemperização.

Os processos de formação destes solos já modificaram bastante o material originário, desenvolvendo estrutura, se a textura for adequada. Entretanto, os referidos solos não possuem acumulação em quantidades significativas de óxido de ferro, argila e humus, para que sejam considerados

como B podzol ou horizonte B textural. (Estados Unidos 1975).

A textura pertencente às classes argilosas e média e o fator tempo contribui, de maneira decisiva, para desenvolver estrutura granular ou em blocos.

Morfológicamente, por vezes, podem se apresentar com características de solos Podzólicos, diferenciando-se, porém, principalmente pelo grau de desenvolvimento, que pode ser observado no perfil pela presença acentuada de minerais primários. Possuem seqüência de horizontes (A, B e C), tendo o A geralmente pequena espessura, podendo estar ausente em áreas de declives acentuados, devido à ação erosiva.

O horizonte câmbico pode aparecer na superfície, se o solo for truncado, ou estar imediatamente abaixo de um dos epipedons diagnósticos. É considerado como parte integrante do "solum" e está dentro da zona geralmente atingida pelas raízes das plantas nativas.

Os cambissolos distribuem-se associados aos solos litólicos ocorrentes nas elevações como na serra do Rabo, bem como em situação de relevo plano/suave ondulado, caso das áreas arenosas com floresta decídua (mata seca). Neste segundo caso, o perfil possui uma extraordinária irregularidade na distribuição dos horizontes A, B e C. A topografia entre os horizontes é bastante irregular, formando bolsões. O material originário é arenito.

As tabelas 4 e 6 evidenciam a distribuição percentual desta classe de solo na área prospectada.

Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico

O Latossolo é formado pelo processo de lavagem e eluviação de sílica e bases resultando daí a concentração de sesquióxidos de ferro e de alumínio. (Falesi 1972).

O perfil apresenta seqüência de horizontes A, B e C com ausência de um A₂, sendo profundo, fortemente desgastado, bem drenado, poroso, friável, fortemente

ácido; possuindo B latossólico e com difícil diferenciação dos horizontes genéticos.

A estrutura do horizonte A quase sempre é fraca ou moderada, dependendo da textura, tendo forma de bloco subangular ou granular. A coloração é bruno-escuro como decorrência do maior valor de matéria orgânica.

O horizonte B é amarelo-avermelhado ou avermelhado, com matiz normalmente 5YR, sendo que a espessura deste horizonte está em torno de 160 cm ou mais centímetros. A classe de textura varia de média à argilosa ou mesmo muito argilosa.

Possui baixa fertilidade química como decorrência de sua gênese. No entanto, é provido de excelentes propriedades físicas bem como de boas características morfológicas, tornando-os solos perfeitamente agricultáveis.

O Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico ocorre na área com as fases texturais argilosa e média e a sua área e a distribuição percentual podem ser observadas na Tabela 1.

Procedem da alteração diagênética de granitos, gnaisses, além de outras rochas de origem pré-cambriana, estando revestido pela floresta da cipoal. Ocorre em relevo plano ou suave ondulado.

Latossolo Vermelho-Amarelo Plíntico

Esta unidade assemelha-se à anteriormente descrita no que se refere às características morfológicas bem como em suas propriedades químicas. A diferença reside na presença de uma camada semicompacta, argilosa mosqueada de vermelho e branco — a Plintita localizada no horizonte B ou em sua base.

A presença desta formação pedogenética torna o perfil bem característico e a drenagem, dependendo da localização da plintita, menor ou maior profundidade, pode causar problemas às raízes de algumas plantas cultivadas. O perfil tem sequência de horizontes A, Bpl e Cpl, tendo ou não presença de concreções e cascalhos no ho-

rizonte A e em outros horizontes. Apresenta cores brunadas no A, indo de bruno-escuro ao bruno-avermelhado no matiz 7,5 YR, podendo ocorrer também com certa frequência o matiz 10 YR, com cromas e valores relativamente baixos; variam no horizonte B principalmente de vermelho-amarelo nos matizes 7,5 YR, ao bruno-avermelhado no matiz 5 YR e bruno-forte no matiz 7,5 YR.

O Latossolo Vermelho-Amarelo Plíntico ocorre com as fases texturais argilosa e média e a sua área e a distribuição percentual podem ser verificadas na tabela 6.

Este solo ocorre nas áreas baixas e planas, sendo revestido pela floresta de cipó.

Planossolo Eutrófico

São solos hidromórficos, podzolizados, que apresentam drenagem deficiente e devido principalmente, a um horizonte de forte compactação, com elevado percentual de argila, constituindo uma "surraipa de argila" tornando semi-impermeabilizado o horizonte B. Esta formação se deve à meteorização "insitu" de partículas de silte e não possui endurecimento irreversível como os densos tipos de surraipa. Trata-se, portanto, de solos com uma camada endurecida de argila, nitidamente delineada, resultante da cimentação ou compactação do elevado teor de argila encontrado e da oscilação do lençol freático (Falesi 1970).

A gênese do Planossolo deve-se à lixiviação do sódio e do magnésio e são bem caracterizados pela transição abrupta entre o horizonte superior arenoso e ácido e um horizonte de acentuada acumulação de argila. (Estados Unidos 1975).

Ao se observarem as análises referentes ao perfil estudado (protocolos 40604 a 40607) verifica-se que o teor de magnésio encontrado no horizonte compacto de argila é elevado, bem superior aos horizontes supracitados. O mesmo ocorre em relação ao sódio.

O perfil destes solos apresenta um horizonte A₂ bem nítido, típico, excessivamente arenoso, mudando bruscamente para

uma camada argilosa, compacta, semi-impermeável de coloração cinza-esverdeada com mosqueados avermelhados e fragmentos da rocha matriz altamente intemperizados, esbranquiçados. É o horizonte C.

Estes solos, em que pese apresentarem uma fertilidade química bastante satisfatória, possuem limitações para o uso agrícola, em decorrência de suas propriedades físicas no referente à textura excessivamente arenosa do horizonte A localizado até a profundidade aproximada de 105 cm bem como pela presença da camada argilosa compacta, localizada logo após essa profundidade, dificultando a drenagem natural da água no solo.

Ocorrem em áreas planas, sob vegetação de floresta decídua (mata seca). Na tabela 6 estão contidas as áreas e a distribuição percentual desta classe de solo.

Areia Quartzosa Distrófica

Esta classe é constituída por solos fortemente intemperizados, profundos, excessivamente drenados, forte a muito fortemente ácidos com valores de saturação de base muito baixos, o que evidencia o caráter distrófico dos mesmos.

O perfil é profundo, tendo sequência de horizontes A e C, comumente divididos em A1, A3, C1, C2 e C3, com coloração variando de bruno acizentado-escuro a cinza-claro no horizonte A, matiz 10 YR. O horizonte C possui coloração branca ou cinza-claro. Os horizontes são desprovidos de estrutura e a consistência determinada com o solo é solta. A transição entre os horizontes é normalmente plana e difusa.

Possuem como principal característica o baixo valor de argila, que não deve ultrapassar 15%.

Ocorrem em relevo plano e sustentam uma floresta decídua ou mata seca. Esta expressão é usada tendo em vista que durante o período mais crítico do ano de ausência de chuvas, a vegetação perde as folhas transformando a paisagem verdejante durante as chuvas, em seca e hostil

no período de estiagem. Os vegetais, como defesa à carência de umidade, soltam as folhas reduzindo a área foliar como meio de evitar a perda d'água.

Plintossolo Distrófico Textura Arenosa

O Plintossolo distrófico textura arenosa caracteriza-se por apresentar um perfil onde os horizontes são excessivamente arenosos, exceto à camada da plintita em que a fração argila pode possuir valor mais elevado. O perfil é fortemente desgastado, ácido, tendo sequência de horizontes A, B e C, onde é evidente a presença do A2 profundo e da plintita, característica esta mais evidente do grande grupo. (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária — SNLCS 1980).

Por ser excessivamente arenoso e, portanto, facilmente lixiável e ainda por apresentar uma camada compacta semi-impermeável, a plintita é um solo que apresenta sérios impedimentos ao uso agropecuário, considerando-se a aplicação de manejo tradicional.

Ocorre em áreas planas, baixas, de drenagem deficiente, ficando durante o período de maior intensidade de chuvas com o lençol d'água à superfície, o que torna difícil a sua utilização. Está recoberto pela mata seca — floresta decídua e é originário da evolução diagenética de sedimentos arenosos fluviais depositados durante o quaternário antigo — pleistoceno.

Plintossolo Distrófico Textura Argilosa

Esta classe de solos está constituída por solos hidromórficos, fortemente desgastados, fortemente ácidos, de drenagem imperfeita, devido à natureza argilosa e compacta de seu sub-solo, bem como pela situação topográfica baixa e plana, sendo desenvolvidos a partir de sedimentos do quaternário.

Os processos responsáveis pela formação destes solos são a podzolização dando origem ao horizonte A2, juntamente

com a laterização evidenciada pela presença da plintita (Santos & Falesi 1964). Esta formação pedogenética-plíntica é a característica mais conspícua do Plintosolo; consta de um material argiloso, altamente intemperizado, rico em sesquióxidos e pobre de humus, ocorrendo geralmente com mosqueados vermelhos, cinzento e brancos, com arranjo poligonal ou reticular, pendendo irreversivelmente para "uardpan" ou concreções sob condições especiais de umidade e secagem (Santos & Falesi 1964).

O perfil tem seqüência de horizontes A, B e C onde nota-se a presença do horizonte A2. A coloração é acizentado-muito escuro no A; a textura pode ser franco-argilo-siltosa e a estrutura é em forma de bloco subangular moderadamente desenvolvida. O horizonte B é mais argiloso, com presença de muitos mosqueados, tendo estrutura maciça. A plintita localiza-se neste horizonte.

Solos Litólicos

Os solos Litólicos pertencem à classe dos solos azonais, pouco desenvolvidos, de reduzida profundidade, com seqüência de horizontes A, R ou algumas vezes A, C e R, devido à atuação dos fatores de formação, principalmente o relevo e o tempo. O horizonte A, normalmente oscilando de 20 a 30 cm de espessura, acha-se assente sobre a rocha matriz, característica

esta de perfil pedogeneticamente pouco evoluído.

A fertilidade química destes solos está condicionada à rocha matriz que lhe dá origem. Férteis ou eutróficos se a rocha é de procedência ultrabásica, ou mesmo intermediária caso dos diabases, basaltos, dioritos, etc., e ao contrário de baixa fertilidade ou distróficos se desenvolvidos de arenitos, argilitos ou outra rocha, cuja composição mineralógica é pobre de minerais essenciais à nutrição das plantas.

Ocorrem nas áreas onde o relevo é fortemente ondulado ou montanhoso com escarpas, sendo comum o afloramento de rochas. O revestimento vegetal é formado pela floresta serrana e submontana.

Normalmente são solos de baixa fertilidade química e estão associados aos solos Podzólicos Vermelho-Amarelos Eutróficos, Distróficos e Plínticos, ao Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico textura argilosa e média, bem como a fase plíntica deste Latossolo. Enquanto estes solos distribuem-se nas cotas topográficas mais elevadas, sendo portanto bem drenados, o Plintosolo forma-se nas partes planas e baixas.

O relevo é plano e a cobertura vegetal é formada pela floresta de cipó, que é menos densa se comparada com o mesmo tipo de vegetação com a presença de castanheira e babaçu, quando estas espécies se apresentam com maior evidência.

LEGENDA DE IDENTIFICAÇÃO DOS SOLOS CRJ II - SETOR V

PV-PVpl-LV-LVpl-Hl -

Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico e Distrófico textura argilosa + Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico Plíntico textura argilosa + Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico textura argilosa e média + Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Plíntico textura argilosa e média + Plintosolo Distrófico, textura argilosa, floresta de cipó (menos densa) relevo plano e suave ondulado.

Ll-C

Solos Litólicos Eutróficos e Distróficos + Cambissolos Eutróficos e Distróficos, floresta serrana relevo montanhoso.

PV	Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico e Distrófico textura argilosa floresta de cipó com castanheira e babaçu, relevo suave ondulado e ondulado (provável presença de Terra Roxa).
HL	Plintossolo Distrófico textura arenosa + Planossolo Eutrófico e Distrófico textura arenosa + Cambissolo Eutrófico e Distrófico textura arenosa + Areia Quartzosa Distrófica, floresta decídua (mata-seca), relevo plano com colinas.
Li	Solos Litólicos Eutróficos e Distróficos floresta submontana, relevo forte ondulado com escarpas

CRJ II — SETORES VI E VII

PV ₁	Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico e Distrófico textura argilosa com ocorrência ou não de cascalhos + Podzólico Vermelho-Amarelo Plíntico textura argilosa + Plintossolo Distrófico textura média, floresta de cipó (menos densa) relevo plano.
PV ₂	Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico e Distrófico textura argilosa + Cambissolo Eutrófico e Distrófico textura média + Areia Quartzosa Distrófica floresta de cipó relevo suavemente ondulado (ocorrência de Terra Roxa).
PV ₃	Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico e Distrófico textura argilosa + Latossolo Vermelho-Amarelo plíntico textura argilosa e média + Areia Quartzosa Distrófica floresta de cipó plano (baixa deficiência hídrica)
PV ₄	Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico e Distrófico textura argilosa + Planossolo Eutrófico + Plintossolo Distrófico textura arenosa floresta decídua (mata seca) relevo plano (ocorrência de Terra Roxa), (elevada deficiência hídrica).
L C	Solos Litólicos Eutróficos e Distróficos + Cambissolo Eutrófico e Distrófico floresta serrana relevo forte ondulado/montanhoso.

RECOMENDAÇÕES

a) Proceder a um levantamento pedológico pelo menos a nível de reconhecimento de baixa intensidade nas áreas que deverão ser ainda trabalhadas na abertura de estradas, demarcação de lotes, e conseqüente assentamento de colonos.

b) Evitar o assentamento de colonos em lotes onde há uma dominância de 50% da área com Plintossolo Distrófico

tetextura arenosa, Areia Quartzosa Distrófica, alguns Planossolos Distróficos;; todos de procedência da alteração de arenitos, excetos o Plintossolo Distrófico textura arenosa, que procede de sedimentos fluviais. Estas áreas são facilmente identificadas no período de maior estiagem, comum na região, pelo aspecto seco da vegetação que as recobrem.

c) Do mesmo modo, evitar o assentamento de colonos em lotes onde a topo-

grafia exceda 25% de declividade, que além dessa inconveniência, normalmente apresenta frequência de afloramentos rochosos dificultando a utilização agropecuária.

d) Nas áreas de solos rasos, como os Cambissolos e mesmo alguns solos Litólicos, desde que a rocha matriz seja diaclasada (fragmentada), poderão ser utilizadas nos primeiros três anos, com culturas anuais ou não, com plantas perenes (adaptadas a estas classes de solos, como o cacau por exemplo, desde que o clima seja apto às culturas) e bem como a formação de pastagem, adotando-se o manejo adequado.

e) A área possui uma dominância de solos pertencentes aos grandes grupos: Podzólico Vermelho-Amarelo textura argilosa (eutrófico e distrófico) procedentes de material originário diverso (granito, gnaisse, filito, diorito, diabase, etc), Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura argilosa e Cambissolo, ambos procedentes também de material diversificado.

Estas unidades taxonômicas acham-se revestidas pela vegetação de Floresta de Cipoal Mista com castanheira-do-pará e babaçu, fácil de ser identificada devido à presença da exuberante *Bertholletia excelsa*.

f) A área encontra-se em perfeito equilíbrio ecológico e como será ocupado por uma colonização cuja atividade principal será a agropecuária, haverá a quebra desse equilíbrio; deste modo, sugere-se a implantação de um sistema eficiente de assistência técnica, tendo como base uma programação viável e adequada para o ambiente.

Por informações, soube-se que dominantemente os colonos que estão sendo assentados possuem baixo nível cultural e técnico além de serem desprovidos de recursos financeiros, por isso, a Extensão Rural e a Assistência Técnica terão um papel vital no sucesso do empreendimento. Caso contrário ter-se-á mais um local que,

pela má condução, transformar-se-á em uma área problema.

g) As áreas formadas pelos solos excessivamente arenosos, já citados, deverão ser mantidos com a vegetação natural existente, como reserva florestal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL, Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha SB. 22 Araguaia e parte da folha SC. 22 Tocantins**; geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1974. (Brasil. MME. DNPM. Levantamento de recursos naturais, 4).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro, RJ. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1978.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro, RJ. **Sistema brasileiro de classificação de solos**; 1ª Aproximação. Rio de Janeiro, 1980. 73p.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. **Soil Classification**; a comprehensive system, 7th approximation. Washington, 1975.
- FALESI, I.C. **Solos de Monte Alegre**. Belém, IPEAN, 1970. 127 p. (IPEAN. Solos da Amazônia, v.2, n.1).
- FALESI, I.C. O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazônia brasileira. In: INSTITUTO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO NORTE, Belém, PA. **Zoneamento agrícola da Amazônia - 1ª Aproximação**. Belém, IPEAN 1972. p.1-N.67 (IPEAN Boletim Técnico, 54).
- PIRES, J.M. **Tipos de vegetação da Amazônia**. Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi, 1973. (Museu Paraense Emílio Goeldi. Publicações Avulsas, 20).
- SANTOS, W.H. & FALESI, I.C. **Contribuição ao estudo dos solos da Ilha de Marajó**. Belém, IPEAN 1964. (IPEAN. Boletim, 45)

ANEXO 1 : Análises Físicas e Químicas — SETOR V

Prot.	Hor.	Prof. cm	Granulometria %					Grau de floculação	C org. %	N %	C/N	pH		Cátions trocáveis meq/100g				Valor S meq/100g	H ⁺ meq/100g	Al ⁺⁺⁺ meq/100g	T meq/100g	Valor V%	P ₂ O ₅ mg/100g
			A.grossa	A.fina	Silte	Arg. total	Arg. nat.					H ₂ O	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺						
PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO A MODERADO textura argilosa																							
40.629	A	0-30	16	8	41	35	16	54	3,85	0,35	11	6,8	6,1	15,64	1,44	0,06	1,49	18,63	2,15	0,00	20,78	90	0,94
40.630	A	0-20	31	24	34	11	-3	73	2,99	0,29	10	6,4	5,9	11,91	1,24	0,03	0,28	13,46	1,65	0,00	15,11	89	0,94
40.631	A	0-20	18	28	37	17	7	59	1,04	0,10	10	5,4	4,6	4,64	0,50	0,03	0,15	5,32	3,47	0,00	8,79	60	0,23
40.632	A/B	20-40	16	25	34	25	19	24	0,54	0,04	13	5,6	4,7	4,19	0,54	0,03	0,06	4,82	2,15	0,00	6,97	69	0,23
40.633	A	0-30	27	42	23	8	4	50	0,95	1,63	10	6,5	5,0	4,19	0,56	0,02	0,12	4,89	0,66	0,00	5,55	88	0,44
40.634	B	40-60	24	36	16	24	15	37	0,45	0,77	7	6,4	5,5	2,91	0,48	0,02	0,08	3,49	0,83	0,00	4,32	81	0,19
PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO A MODERADO textura argilosa																							
40.637	A	0-30	21	16	20	43	18	58	1,78	0,15	12	4,9	4,3	3,14	1,20	0,03	0,40	4,77	6,04	0,40	11,21	42	0,23
40.638	B	60-80	14	17	12	57	31	46	0,95	0,07	13	4,6	4,0	1,05	0,68	0,02	0,12	1,87	5,10	1,01	7,98	23	0,13
40.602	A	0-20	5	25	55	16	1	93	3,08	0,21	15	6,0	5,4	9,11	1,60	0,02	0,35	11,08	2,97	0,00	14,05	79	1,03
40.603	B	120-160	21	31	2	46	x	100	0,15	0,02	7	5,2	4,1	0,33	0,10	0,02	0,16	0,61	1,55	0,60	2,76	22	0,19
CAMBISSOLO EUTRÓFICO A MODERADO textura arenosa																							
40.601	A	0-30	5	25	64	6	3	50	2,43	0,17	14	4,5	4,0	3,73	0,34	0,03	0,31	11,41	7,21	1,01	12,63	35	0,26
PLINTOSSOLO DISTRÓFICO A MODERADO textura arenosa																							
40.598	A	0-20	13	17	7	3	1	66	0,65	0,06	11	4,6	3,9	1,10	0,16	0,02	0,07	1,35	1,42	0,40	3,17	42	0,55
40.599	C	120-140	54	33	10	3	2	33	0,00	0,01	0	6,1	4,2	0,08	0,06	0,01	0,04	0,19	0,17	0,00	0,36	53	0,44
40.600	Cp1	250-300	04	25	38	33	30	9	0,00	0,01	0	5,4	3,5	1,40	0,16	3,31	0,05	4,92	2,34	0,80	8,06	61	0,13
40.635	A	0-20	40	39	15	6	2	67	0,33	0,08	10	5,2	4,2	1,12	0,24	0,03	0,06	1,45	2,04	0,60	4,89	35	0,26
40.636	A/B	30-40	44	38	11	7	3	57	0,54	0,04	13	5,2	4,2	0,68	0,13	0,04	0,04	0,89	1,42	0,40	2,71	33	0,19
40.596	A	0-20	35	32	20	13	6	54	1,01	0,07	14	3,8	3,5	0,30	0,15	0,06	0,15	0,66	2,94	2,01	5,61	12	0,66
40.597	B	60-80	22	31	21	26	20	23	0,15	0,02	7	4,3	3,5	0,05	0,01	0,03	0,03	0,12	0,51	3,62	4,25	3	0,16
PLANOSSOLO EUTRÓFICO A MODERADO textura arenosa																							
40.604	A ₁	0-15	21	18	50	11	1	91	1,25	0,12	10	6,2	5,8	5,13	0,72	0,02	0,17	6,04	1,95	0,20	8,19	74	1,70
40.605	A ₂	15-60	38	32	25	5	3	40	0,54	0,04	13	5,0	4,0	0,61	0,42	0,02	0,05	1,10	1,68	0,80	3,58	31	0,29
40.606	IIC	60-105	73	15	6	6	3	50	0,12	0,01	12	5,6	4,3	0,40	0,16	0,01	0,02	0,59	0,23	0,60	1,42	41	0,29
40.607	IICg	105-165+	24	9	12	55	34	38	0,12	0,02	6	5,1	3,4	8,17	6,10	0,20	0,03	14,50	1,07	1,21	16,78	86	0,06

ANEXO 2 : Análises Físicas e Químicas — Setores VI e VII

Prot.	Hor.	Prof. cm	Granulometria %				C org. %	N %	C/N	pH		Cátions trocáveis meq/100g				Valor S meq/100g	H ⁺	Al ⁺⁺⁺	T meq/100g	Valor V%	P ₂ O ₅ mg/100g
			A.grossa	A.fina	Silte	Arg. total				H ₂ O	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺		meq/100g	meq/100g			
PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO A moderado textura média																					
40.729	A	0-40	28	24	33	15	0,30	0,03	10	5,6	4,7	1,80	0,50	0,02	0,10	2,42	0,82	0,00	3,24	75	0,23
40.730	B	60-80	29	22	29	20	0,21	0,03	7	6,6	5,7	3,23	0,47	0,02	0,20	3,92	0,66	0,00	4,58	85	0,44
40.731	B ₂	100-120	35	24	28	13	0,12	0,02	6	5,8	4,7	1,48	0,35	0,02	0,10	1,97	0,62	0,00	2,79	71	0,62
40.720	A	0-40	40	13	26	21	0,21	0,02	10	5,3	4,7	2,77	0,45	0,02	0,08	3,62	0,61	0,20	4,43	82	0,37
40.721	B	60-80	26	11	29	34	0,18	0,02	9	6,8	6,1	3,00	0,70	0,02	0,06	3,78	1,12	0,20	5,10	74	0,26
40.722	B ₂	100-120	24	11	33	32	0,15	0,02	7	5,3	4,4	3,00	0,91	0,02	0,08	4,01	0,66	0,00	4,67	86	0,37
PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO A moderado textura argilosa fase pedregosa II																					
40.726	Acn	0-40	28	26	19	33	0,42	0,04	10	5,5	4,8	1,55	0,66	0,02	0,19	2,42	1,65	0,00	4,07	59	0,13
40.727	B	60-80	31	14	15	40	0,32	0,03	11	6,0	5,7	1,26	0,67	0,02	0,24	2,19	0,15	0,00	2,34	93	0,16
40.728	B ₂	100-120	24	23	19	34	0,12	0,01	12	6,1	6,0	0,97	0,50	0,02	0,25	1,74	0,49	0,00	2,23	78	0,16
PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO PLÍNTICO A moderado textura média																					
40.717	A	0-40	21	42	11	26	0,21	0,02	10	5,3	4,7	1,42	0,50	0,03	0,04	1,99	0,46	0,20	2,65	75	0,23
40.718	B	60-80	24	40	15	21	0,18	0,02	9	6,8	6,1	1,85	0,47	0,02	0,04	2,38	0,16	0,00	2,54	94	0,12
40.719	Bp1	100-120	25	39	11	25	0,15	0,02	7	5,3	4,4	0,69	0,47	0,03	0,04	1,23	0,95	0,20	2,38	52	0,19
CAMBISSOLO EUTRÓFICO A moderado textura argilosa																					
40.732	A	0-40	29	22	26	23	0,57	0,04	14	5,4	4,5	3,00	0,47	0,02	0,05	3,54	2,42	0,20	6,16	57	0,37
40.733	(B)	60-80	24	17	22	37	0,42	0,05	8	5,3	4,4	3,23	0,82	0,05	0,04	4,14	2,27	0,20	6,61	63	0,26
40.734	IIC	100-120	33	23	22	21	0,33	0,06	3	5,6	4,6	3,46	0,72	0,08	0,16	4,42	1,94	0,20	6,56	67	2,22
PLINTOSSOLO EUTRÓFICO A moderado textura arenosa																					
40.723	A	0-40	9	61	25	5	0,21	0,02	10	5,5	4,7	1,00	0,30	0,04	0,05	2,39	0,66	0,00	2,05	68	0,47
40.724	IIB	60-80	26	66	6	2	0,03	0,00	3	6,6	5,7	0,31	0,15	0,04	0,02	0,52	0,16	0,00	0,68	76	0,62
40.725	Cp1	100-120	43	50	6	1	0,03	0,00	3	7,1	6,2	0,38	0,14	0,04	0,02	0,58	0,00	0,00	0,58	100	0,55

SOLOS DO PROJETO TUCUMÃ

Ítalo Cláudio Falesi¹

RESUMO: A área do Projeto Tucumã pertencente a empresa Construtora Andrade Gutierrez abrange cerca de 400.000 ha, subdividida em três glebas, no município de São Félix do Xingu, sul do Pará. A prospeção compreendeu as Glebas II (100.000 ha) e III (119.000 ha). Foi executado um levantamento pedológico de média intensidade, com vistas à avaliação qualitativa e quantitativa de recursos de solos, que servirá de base para a elaboração do projeto de desenvolvimento agrosilvopastoril da área de colonização. A metodologia empregada foi a preconizada pelo Soil Survey Manual — USA e Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos — SNLCS/EMBRAPA. Os solos identificados foram: Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico e distrófico e as suas fases plúntica e com cascalhos; seguida do Cambissolo eutrófico e distrófico; o Latossolo Vermelho-Amarelo Plúntico álico; a Laterita Hidromórfica (Plintossolo) álica textura argilosa; além de solos pouco evoluídos, como os Litólicos e por fim os hidromórficos. Destaca-se na área a presença de solos eutróficos com um percentual de 51,32% (111.511,00 ha) o que é um fato incomum na região amazônica. Os solos distróficos ocorrem com 39,37% da área total (85.545,00 ha), seguido de solos hidromórficos e afloramentos rochosos com, respectivamente, 8,31% (18.060,00 ha) e 1,00% (92.180,00 ha). Da prospeção realizada pode-se concluir que se trata de uma área com uma vasta extensão de solos férteis, aptos ao desenvolvimento agrosilvopastoril e será um dos pólos de produção da região do Programa Grande Carajás.

Termos para indexação: Levantamento, solos, Tucumã.

SOILS OF THE TUCUMÃ PROJECT

ABSTRACT: The area of the Tucumã Project, owned by the construction company Andrade Gutierrez, covers approximately 400,000 ha, subdivided into three sections, in the municipality of São Felix do Xingu, southern Pará State. The soil survey covered sections II (100,000 ha) and III (119,000 ha). The objective of this survey, conducted at medium intensity was to provide a qualitative and quantitative evaluation of soil resources, thus providing a base for colonization in the area. Methods followed those utilized by the Soil Survey Manual (USA) and the National Service for Soil Survey and Conservation (SNLCS/EMBRAPA). Identified soils included: Red-Yellow Podzolic, Cambissol, Red-Yellow Lathosols and Ground Water Laterite; in addition, soils in formation were identified, such as Lithosols and hydromorphic soils. Eutrophic soils cover 51.32% (111,511 ha) of the area, which is uncommonly high for the Amazon region. Distrophic soils cover 39.37% (85,545 ha) of the area, followed by hydromorphic soils and rocky outcrops, which respectively cover 8.31% (18,060 ha) and 1.00% (92,180 ha) of the area. From this survey it is concluded that the Tucumã Project contains extensive areas of fertile soils which are adequate for development of farms and ranches. The Project will be an important production center within the Greater Carajás Program.

Index terms: Survey, soils, Tucumã.

¹ Eng. Agr. EMBRAPA-CPATU. Caixa Postal 48. CEP 66000. Belém. PA.

INTRODUÇÃO

A empresa Construtora Andrade Gutierrez vem implantando um projeto de colonização privado após vencer a licitação pública, procedida pelo INCRA, na Gleba Carapanã, localizada no município de São Félix do Xingu, região sul do Pará.

A área total abrange cerca de 400.000 ha, estando subdividida em três glebas diferenciadas: Gleba I, Gleba II e Gleba III.

A Gleba I possui 181.000 ha, a Gleba II, cerca de 100.000 ha e a Gleba III cerca de 119.000 ha.

O Projeto Tucumã, como é conhecido este empreendimento agrosilvopastoril, tem como objetivo primordial, promover a ocupação dirigida de lotes de terras através de pequenos e médios produtores rurais, com vistas à sua integração no processo produtivo do Estado do Pará.

Por outro lado, o Projeto, por estar incluído na região do Programa Grande Carajás, terá sua participação, como é óbvio, no desenvolvimento integrado desse Programa, principalmente na produção de bens de consumo agropécuarios, suprimindo as populações que se desenvolverão nas infraestruturas que irão surgindo com a implantação gradativa desse programa oficial.

Prevê-se a instalação de 3.000 produtores rurais, distribuídos nos respectivos lotes pertencentes às três glebas do Projeto.

Este estudo visa o conhecimento, principalmente das condições geodafoclimática das Glebas II e III, com vistas a um planejamento racional para a implantação de colonização dirigida.

Essas glebas abrangem cerca de 217.296 ha e localizam-se aproximadamente entre os paralelos $6^{\circ} 15'$ e $7^{\circ} 05'$ de latitude sul e entre os meridianos $51^{\circ} 05'$ e $51^{\circ} 45'$ de longitude WGr (Fig. 1). Pertencem ao município de São Félix do Xingu, Estado do Pará, distando cerca de 700 km de Belém, capital do mesmo Estado; a 1.100 km da capital da República (Brasília) e a 200 km ao sul da Serra dos Carajás — Serra Norte. Todas essas distân-

cias foram consideradas em linha reta.

A área pertencente à jurisdição do GETAT — Grupo Executivo de Terras do Araguaia Tocantins, e a sede do Projeto Tucumã, uma cidade em plena expansão e desenvolvimento urbano, está ligada por rodovia à cidade de Xinguara; desta até Marabá e ao sul de Conceição do Araguaia, bem como à rodovia BR-010 (Belém-Brasília), todas no Estado do Pará.

Descrição Geral da Área Cobertura Vegetal

O revestimento florístico pertence a algumas fisionomias ecológicas perfeitamente distintas e que estão influenciadas, principalmente, pelas condições edáficas e geomorfológicas.

Distinguem-se, então, a floresta aberta mista-cocal, floresta latifoliada-cipoal, floresta ombrófila montana-cobertura arbórea com emergentes e por fim a vegetação esclerófila — vegetação de canga, que serão descritas sucintamente a seguir.

Floresta Aberta Mista - Cocal

A floresta aberta mista-cocal é uma formação mista de palmeiras onde sobressaem o babaçu e árvores latifoliadas sempre verdes com ocorrência nos vales rasos, e concentrações de plantas de folhas miúdas decíduas, leguminosas, como a do grupo das faveiras, nos testemunhos das superfícies aplainadas (Brasil 1974).

Murça Pires, citado por Falesi (1972), enfatiza muito bem que ao ser derrubada e queimada a mata, a palmeira babaçu domina, porque possui eficiente mecanismo de sobrevivência ao fogo. Por esta razão, diz Murça Pires, é de se supor que as densas formações de babaçu, às quais Sampaio (1945) deu uma importância excepcional, capaz de definir uma zona fitogeográfica do Brasil — a zona dos cocais — em última análise, conclui aquele cientista, representa vegetação antropogênica e não original.

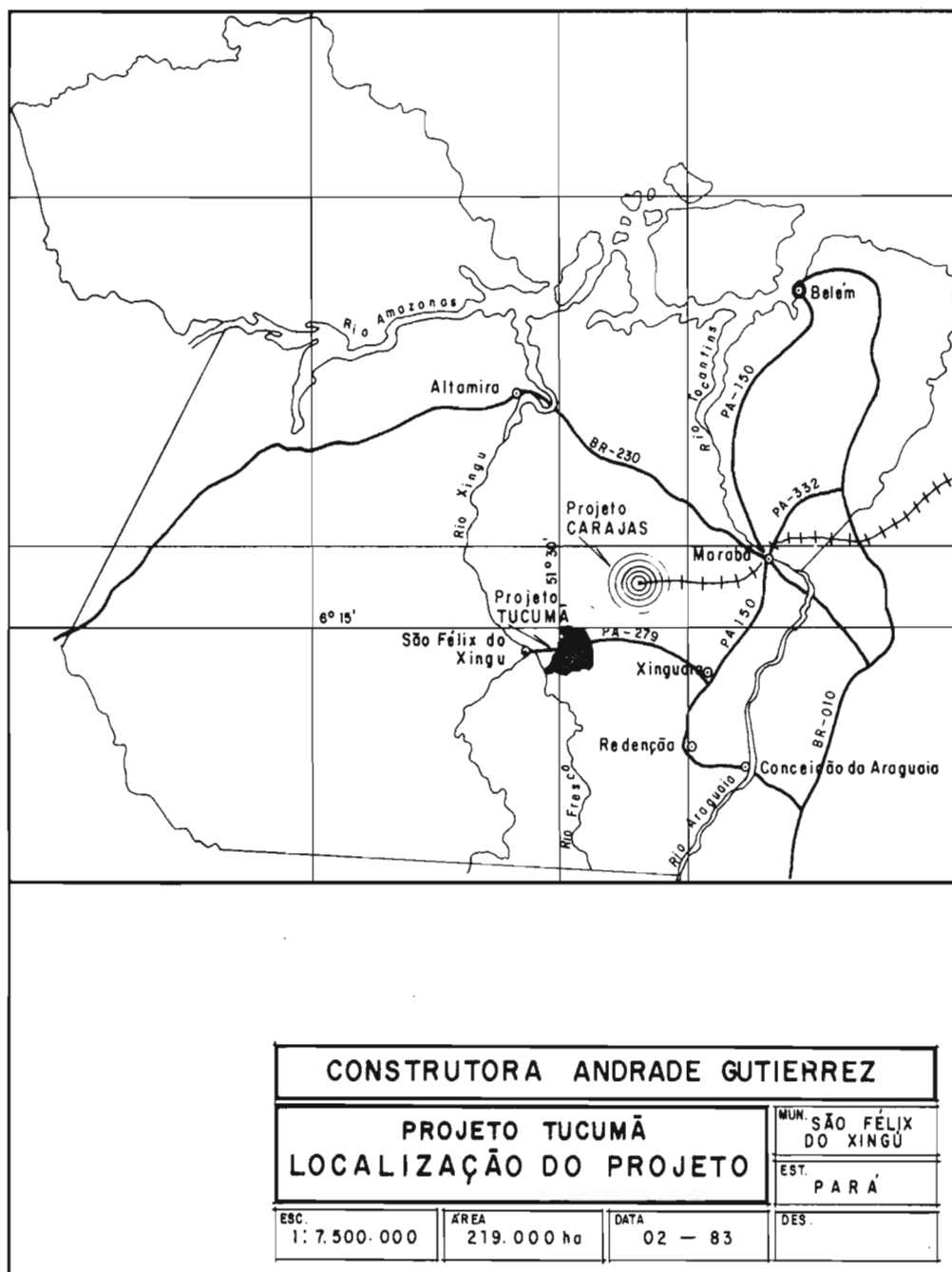


FIG. 1. Mapa de localização do Projeto Tucumã.

Esta unidade florística parece ser a dominante nas glebas II e III do Projeto Tucumã, conforme observações feitas quando dos sobrevôos realizados durante o estudo

de campo.

O volume de madeira deste tipo de floresta varia entre 50 e 100m³/ha. (Brasil 1974).

Floresta Latifoliada - Cipoal

As florestas latifoliadas ou matas de cipós cobrem extensas áreas, com centenas de milhares de quilômetros quadrados, entre o Tocantins e o Xingu e se caracterizam pelo porte relativamente reduzido, árvores mais baixas, com um emaranhado de cipós que sobem pelas árvores e se embaraçam a pouca altura do chão da mata. De espaço em espaço, no entanto, aparecem alguns gigantes da floresta que são as árvores emergentes, capazes de perfurar o dossel das copas, atingindo mais de 50 metros de altura. Também, é constante a associação de castanha-do-Pará/babaçu (*Bertholetia excelsa*/*Orbignia barbosiana*) (Pires 1973).

O volume de madeira desta floresta é relativamente baixo, variando entre 25 e 55m³/ha. (Brasil 1974).

Floresta Ombrófila - Cobertura arbórea com emergentes

Este tipo de floresta pertence à floresta densa, é também conhecida como pluvisilva, tropical chuvosa, além de outros sinônimos. É caracterizada sobretudo por suas grandes árvores, quase sempre com mais de 50 metros de altura, sobressaindo-se entre 25 e 35 metros de altura ao estrato arbóreo uniforme.

A floresta ombrófila montana ocorre nas altas montanhas ou elevações.

A estrutura florestal é bem variada, composta de árvores emergentes, bem distribuídas e grossas. A altura das árvores encontra-se acima de 30 metros, tendo uma distribuição diversificada.

Ocorre, na área do Projeto Tucumã, nas elevações acentuadas como as localizadas a Nordeste e Centro Oeste.

O volume de madeira situa-se entre 60 e 130m³/ha. (Brasil 1974).

Vegetação Esclerófila - Canga

É uma classe de formação existente

nas áreas litólicas de altitude de zona intertropical, caracterizada por pequenos arbustos sobre o minério de ferro.

Ocupa uma área muito restrita na serra (espigão) Arqueada em sua parte oeste onde penetra na gleba. Esta serra, na área, é quase toda revestida por vegetação florestal, no entanto, em uma pequena área, ocorre uma clareira perfeitamente perceptível, contrastando inclusive com a vegetação florestal do conjunto, quando se sobrevoa principalmente utilizando-se helicóptero. A superfície do solo é constituída por carapaça hematítica - canga com vegetação singular, não encontrando similar em qualquer outra região conhecida. Esta formação é integrante da Serra dos Carajás. Pelo porte e pela biomassa, aproxima-se da vegetação dos cerrados com inclusive algumas espécies desta, como a *Curatella americana*, *Birsonima verbacifolia*, além de outras. (Pires 1973).

As espécies desenvolvem suas raízes penetrando nas fendas ou fraturas das cangas.

Clima

O ambiente climático, relativo à área do Projeto Tucumã, pertence ao tipo Ami da classificação de Köppen. Este tipo climático corresponde às estações de clima quente e úmido, caracterizado por precipitações pluviométricas elevadas, cujo total anual compensa a ocorrência de uma estação seca, permitindo a existência de florestas tropicais. É o tipo climático considerado intermediário entre o Af e Aw, assemelhando-se ao Af no relativo ao regime de temperatura e ao Aw no das chuvas. A altura pluviométrica no mês mais seco é inferior a 60 mm.

Neste tipo climático predominam na maior parte do ano as massas Ec e En, quentes e úmidas, as quais são responsáveis pelas abundantes chuvas que ocorrem nesta extensa região, sob o regime dos alísios do NE, das "doldrums" e das grandes calmarias (Galvão 1959).

A caracterização climática que será abordada neste estudo terá por base os dados climatológicos obtidos no Posto de São Félix do Xingu, pertencente ao 2.º DISME- Belém do Instituto Nacional de Meteorologia, Ministério da Agricultura e refere-se ao período de 1972 a 1981.

As temperaturas observadas durante o período são relativamente elevadas e sem extremos. As médias das máximas oscilam entre 29,9°C no mês de fevereiro e 33,2°C no mês de agosto. As médias das mínimas variam de 17,1°C, no mês de julho a 35,9°C, em outubro. As mínimas absolutas variam de 33,7°C observadas em janeiro a 35,7°C em setembro, ao passo que as mínimas absolutas ocorrem com 9,0°C em agosto a 14,5°C em abril. As médias compensadas variam de 24,1°C observadas em junho a 25,3°C nos meses de setembro e outubro (Tabela 1).

Os valores relativos à pressão atmosférica, medidos para a região, oscilam de 990,1mb em janeiro a 992,4mb no mês de julho, tendo como média anual 990,6mb.

Apresentam, portanto, apenas ligeira oscilação.

Os valores de umidade relativa do ar são elevados caracterizando bem a região tropical úmida. Esses valores oscilam de 81% medidos nos meses de junho e agosto a 90% nos meses de janeiro e fevereiro respectivamente. A média anual é de 86%.

Esses elevados valores ocorrentes durante todo o ano constituem um dos fatores para a existência de vegetação sempre verde das florestas tropicais úmidas.

A atmosfera da área, em termos de nebulosidade, apresenta-se durante oito meses do ano com índices acima de 6,0, portanto, grande parte dos dias durante o ano não é ensolarada, mas parcialmente nublada devido à presença de camadas de nuvens. Somente nos meses de maio, junho, julho e agosto registram-se índices inferiores a 5,8. A média anual é de 6,4.

As chuvas são relativamente abundantes principalmente no período compreendido entre os meses de outubro a maio com quedas acima de 134mm em cada mês.

TABELA 1. Dados climáticos referentes à estação de S. Félix do Xingu-PA (Latitude 08° 38' S Longitude 51° 58' W.Grw.) no período (1972/1981).

Mês	Pressão atmosférica (mb)	Temperatura °C								Umidade relativa (%)	Vento		Nebulosidade 0-10	Precipitação				Evaporação total (mm)	Insolação (horas/décimos)
		Média		Máxima Absoluta		Mínima Absoluta		Média compensada	Dir		Vel	Altura total (mm)		Nº de dias	Máxima/24 horas				
		Máxima	Mínima	Graus	Data	Graus	Data								Altura (mm)	Data			
Janeiro	990,1	30,2	19,4	33,7	-	12,0	-	24,3	90	0	1,0	7,6	291,6	22	73,6	-	41,5	76,3	
Fevereiro	990,2	29,9	19,4	34,1	-	12,0	-	24,3	90	0	0,9	7,7	315,9	21	117,8	-	34,2	66,4	
Março	990,2	30,3	19,6	34,5	-	11,3	-	24,6	89	0	1,0	7,4	299,6	22	98,0	-	48,7	100,1	
Abril	990,6	30,8	20,4	34,3	-	14,5	-	24,9	89	0	1,0	7,1	263,6	20	103,4	-	42,6	121,0	
Maio	991,0	31,3	19,8	34,0	-	12,0	-	25,1	88	0	1,0	5,8	110,0	13	60,0	-	54,9	153,1	
Junho	991,9	31,6	18,2	34,3	-	10,5	-	24,1	85	0	1,2	4,2	51,0	5	49,0	-	75,9	228,6	
Julho	992,4	32,2	17,1	34,9	-	14,3	-	24,3	81	0	1,1	3,7	15,8	3	17,8	-	97,3	238,9	
Agosto	991,3	33,2	17,6	35,5	-	9,0	-	24,3	91	0	1,2	5,3	55,4	4	91,6	-	104,7	180,9	
Setembro	990,8	32,9	19,2	35,7	-	11,0	-	25,8	92	0	1,0	6,6	78,0	10	68,8	-	80,6	140,3	
Outubro	989,9	32,0	35,3	35,3	-	12,0	-	25,3	85	0	1,1	7,0	134,6	14	54,7	-	65,3	127,8	
Novembro	989,4	31,5	19,8	34,7	-	12,6	-	24,6	87	0	1,0	7,2		16	80,4	-	54,7	187,8	
Dezembro	989,8	30,6	19,7	34,8	-	11,5	-	24,6		0	1,0	7,2	229,5		94,2	-	44,4	93,8	
Ano	990,6	31,3	19,6	35,7	-	11,9	-	24,6	36	0	1,0	6,4	2.035,9	170	117,3	-	61,5	1.635,0	

Fonte: Ministério da Agricultura, Instituto Nacional de Meteorologia 2.º DISME - Belém.

Nos meses de julho a setembro correspondem ao período da estiagem, onde a soma desses quatro meses alcança somente um total de 200,2mm de chuvas. O número de dias de chuva durante o ano é de 170 dias. O total anual de precipitação é de 2.035,9mm.

Analisando-se a Tabela 1, relativo ao clima, observa-se que a nebulosidade é relativamente elevada levando-se em consideração ser uma região tropical.

Este fator é reforçado pelos também relativos baixos valores de insolação. O total anual é de 1.635,0 h de radiação solar. Comparando-se esses valores com os obtidos na cidade de Belém, que apresenta uma precipitação de cerca de 3.000mm ao ano e com uma insolação de 2.389,4 h, pode-se concluir que a radiação solar na região do Projeto Tucumã é satisfatória, porém, não elevada.

Geomorfologia

As Glebas II e III do Projeto Tucumã são partes integrantes do Planalto Dissecado do sul do Pará, unidade morfoestrutural e morfoclimática definida pelas pesquisas realizadas pelo Projeto RADAMBRASIL.

O Planalto Dissecado do sul do Pará é formado por maciços residuais de topo aplainado e conjunto de cristas e picos interpenetrados por faixas de terrenos rebaixados. As altitudes oscilam normalmente entre 500 e 600m, existindo, no entanto, locais mais elevados como ocorre com a serra dos Carajás onde atinge em média 700m (Brasil 1974).

Este relevo acha-se fortemente dissecado por vales encaixados, geralmente adaptados à rede de fraturas que seccionam rochas pré-cambrianas. Ocorrem também com certa frequência agrupamentos de "inselbergs" com altitudes idênticas aos do planalto.

Geologia e Material Originário

Geologicamente os terrenos da área são atribuídos aos períodos Pré-cambrianos,

inferior, médio e superior e suas respectivas formações ou grupos.

Pela ordem cronológica far-se-á descrição desses períodos.

Pré-Cambriano Médio a Inferior-Complexo Xingu

A unidade geológica Pré-cambriano Médio a Inferior está representada na área pelo complexo Xingu, que em resumo constitui um conjunto de rochas, polimetamórficas com tendências granodiorítica, varialmente magmatizadas, apresentando encraves de ectinitos normais em regiões menos arrasadas ou no interior paleossinclinais. O grau de metamorfismo geral é de fácies dos gnaisses inferiores e gnaisses ultra-inferiores (Brasil 1974).

A litologia da unidade acha-se representada por migmatitos, granitos, grandioritos, dioritos, metamorfitos, quartizitos, gnaisses e xistos.

O Projeto RADAMBRASIL estima a idade deste período entre 20 a 33 bilhões de anos.

A intemperização dessas rochas e a posterior evolução diagenética vem dando origem aos solos Podzólicos Vermelho-Amarelados distróficos e eutróficos (Ultissolos e Alfissolos), provavelmente alguns Cambissolos e solos Litólicos eutróficos e distróficos.

Pré-Cambriano Superior a Médio - Formação Grão Pará

Esta unidade geológica está representada pela serra Arqueada cuja ocorrência na área do Projeto Tucumã deve-se a seu limite oeste que penetra na área através de uma elevação em forma de espigão bem como a sudeste da área com a presença de parte da serra da Seringa.

A serra Arqueada é uma elevação de cristas íngremes, alinhadas na direção E-W, composta de itabiritos e sob este um quartzo micaxisto.

Em 1967 foi identificado por geólogos do Projeto Amazônia uma sequência ferrí-

fera. Quando da prospecção de campo para a realização deste estudo, constatou-se em uma clareira natural a presença de minério de ferro.

Esta formação é a mesma identificada na Serra dos Carajás com a denominação de itabiritos e seus produtos de alteração e intemperismo. O itabirito é a unidade litológica que deu origem a todos os minérios enriquecidos na região da Serra dos Carajás (Brasil 1974).

A idade absoluta deste período foi estimada pelo Projeto RADAMBRASIL em cerca de 20 bilhões de anos.

Da evolução diagenética das rochas e seus minerais formadores desta unidade resultou a formação de solos Litólicos, Cambissolos, bem como de Podzólicos Vermelho-Amarelos, estes nos locais onde o perfil é mais evoluído.

Pré-Cambriano Superior C - Grupo Uatumã Formação Sobreiro - Granito Velho Guilherme

O Grupo Uatumã é constituído por minerais clásticos finos, tufos e tufitos. Estrategicamente está dividido em três unidades: Formação Iriri, Formação Sobreiro e Formação Rio Fresco.

Na área a Formação Sobreiro ocorre aflorando nas partes baixas dos vales do Igarapé Carapanã.

A formação Sobreiro é definida como um vulcanismo intermediário a ácido, com predominância de andesito (Instituto... 1972).

Os andesitos são rochas intermediárias em cuja composição mineralógica encerram minerais dos grupos plagioclásios e piroxênios, além dos minerais e acessórios como o epidoto, sericita, clorita, carbonatos, quartzo além de outros.

O plagioclásio pertence ao grupo dos Feldspatos e constituem misturas isomórficas de albita (contém sódio, alumínio e sílica) e anortita (cálcio, alumínio e sílica).

O grupo dos piroxênios é encontrado normalmente nas rochas básicas associado

aos plagioclásios ricos de cálcio. A augita é o mineral que se identificou pelas análises efetuadas pelo Projeto RADAMBRASIL nos andesitos e contém em sua composição mineralógica magnésio, cálcio, ferro, manganês e sílica.

O andesito trata-se, portanto, de uma rocha que encerra minerais essenciais e acessórios indispensáveis à nutrição dos vegetais, daí a presença dos solos Podzólicos Vermelho-Amarelos eutróficos na faixa de ocorrência desta formação geológica.

O granito Velho Guilherme ocorre na área na latitude $6^{\circ}48'30''S$ e longitude $51^{\circ}09'50''W$ e é constituída por corpos graníticos, formando pequenos maciços, circulares, com diâmetro variando entre 4 e 10 km e com características vulcânicas (Brasil 1974).

De um modo geral, estão muito arrasados e intensamente fraturados, sendo presente a cassiterita, tantalita, topázio e fluorita. A concentração ocorre em aluviões circunvizinhos e nos vales localizados onde há fratura dos granitos.

A petrografia do Velho Guilherme é constituída por maciços de composição granítica (biolita granito) com núcleos granodioríticos.

Esses granitos encerram em sua composição mineralógica os minerais: feldspatos alcalinos, plagioclásios, biotita, quartzo e opacos.

A idade atribuída à Formação Sobreiro está estimada em cerca de 16 bilhões de anos e o granito Velho Guilherme a 13,8 bilhões de anos. (Brasil 1974).

Pré-Cambriano Superior B - Formação Gorotire

A formação Gorotire foi denominada por Barbosa (1966), dos sedimentos ocorrentes em restos isolados de ambos os lados do rio Xingu, localizados do paralelo 6° a 10° S, bem como na bacia do rio Fresco.

No entanto, foi Ramos (1954) quem primeiro observou com detalhe os sedimentos Gorotire.

Segundo a descrição feita por Barbosa (1966), consta de um conjunto de sedimentos representados por arcósios finos, arenitos muito finos, jasperóides, calcedonitos e silitos. Admitia a **espessura desta formação a um mínimo de 400 metros.**

A litologia é constituída de arenitos feldspáticos, silitos, conglomerados, arenitos conglomeráticos, argilitos e quartzitos (Brasil 1974).

Esta unidade geológica localiza-se na primeira serra em forma de espigão localizada no centro-oeste da área, tomando como ponto de partida a cidade de Tucumã.

Quaternário - Aluviões

O período Quaternário ou Recente está representado pelas aluviões que compreendem depósitos aluviais de variada granulometria. São de pouca expressão geográfica e estão localizados em alguns trechos à margem do igarapé Carapanã.

As aluviões da região apresentam normalmente enriquecimento de minerais pesados como: ouro, diamante, cassiterita, ilmenita, magnetita, turmalina, zircão, além de outros (Brasil 1974).

MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos de campo visaram a obtenção de conhecimentos suficientes, não somente das unidades de solos como também dos tipos de vegetação, relevo, material originário e embasamento rochoso, com vistas ao levantamento pedológico a nível de reconhecimento de média intensidade.

Inicialmente, percorreram-se todos os acessos disponíveis por terra, caminhos e estradas e após foram realizados sobrevôos e pousos em locais permitidos, usando-se um helicóptero.

Com estas ações, foi possível a confecção de uma legenda preliminar de solos, sendo parcialmente modificada posteriormente, quando dos trabalhos de escritório, tendo em vista o manuseio das imagens de radar escalas 1:250.000 e 1:100.000, mo-

saicos semi-controlados, bem como de plantas planialtimétricas escala 1:20.000, confeccionadas pela Esteio Engenharia e Aerolevantamentos S/A.

Durante os trabalhos de campo, descreveram-se os perfis representativos relativos às unidades de solos, adotando-se as normas e definições recomendadas pelo **Soil Survey Manual** (Estados Unidos 1951) e no **Manual de Métodos de Trabalho do Campo**, da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (Lemos & Santos 1982).

Os trabalhos de escritório constaram de pesquisa bibliográfica, onde foram obtidas todas as informações possíveis sobre a área, principalmente no relativo a geomorfologia, geologia, clima, cobertura vegetal, sistema de drenagem e finalmente os solos.

Com a elaboração do mapa base de solos, procedeu-se o estabelecimento das correlações entre as imagens, formas de relevo, tipos de vegetação, sistemas de drenagem e mapas planialtimétricos.

Com os dados de campo, complementados pelas análises de laboratório (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1978; Anexo 1), foi possível estabelecer a legenda de identificação na qual as unidades de mapeamento são constituídas por associações compostas por duas ou mais unidades, tendo em vista que neste nível de levantamento, reconhecimento de média intensidade, ser difícil a individualização das unidades cartográficas.

A elaboração do mapa de solo foi efetuada na escala 1:20.000, tendo como base as plantas planialtimétricas de excelente precisão, concluindo-se o mapa final após a redução para a escala 1:100.000 (Anexo 2).

O cálculo das áreas das unidades cartográficas foi realizado por meio de planímetro, efetuando-se três repetições para se obter a média aritmética.

RESULTADOS

O relevo, a rocha matriz, a vegetação e o tempo influenciados pelo clima foram decisivos na gênese dos solos da área. Nas áreas de baixa altitude, menor do que 100m, formam-se em relevo plano os solos hidromórficos, aluviais, de formação recente. Nos terrenos de cotas mais elevadas, até 300m, desenvolvem-se principalmente os solos podzólicos em relevo ondulado; e nas cotas entre 350 e 400m, os cambissolos, que se caracterizam por serem pouco desenvolvidos, com B incipiente e perfil pouco profundo e finalmente acima de 400m os solos litólicos, caracterizados pela ausência de um horizonte B e as vezes de um C, estando portanto, neste caso, o horizonte A assente diretamente sobre a rocha matriz.

O cascalho tem uma presença quase constante no perfil dos solos, quer nos de alta como nos de baixa saturação de bases.

Esses cascalhos, dependendo de sua distribuição e concentração no perfil, podem interferir no desenvolvimento de um determinado número de plantas cultivadas, pois dificultam a penetração do sistema radicular no solo, refletindo, conseqüentemente, no crescimento e produtividade da planta.

A presença de cascalhos, em menor ou maior concentração, ocorre em várias situações e profundidades no perfil do solo. Assim é que eles podem se localizar somente nos primeiros 20cm ou 30cm do perfil, ou formando uma camada de espessura variável localizada entre 30cm e 50cm, ou ainda a partir dos 100cm ou finalmente em todo o "solum".

A quantidade e forma dos cascalhos, que podem ocorrer associados a fragmentos de rochas e/ou de concreções lateríticas é bastante variável.

Para a utilização dos solos onde fica evidenciada a presença de cascalhos, deve-se identificar não somente a sua concentração, mas principalmente a localização e espessura da camada. Quando a distribuição percentual é baixa, menor do que 15%,

praticamente não há impedimento mecânico do sistema radicular das plantas cultivadas em se desenvolverem. Neste caso, os cascalhos podem até funcionar como elementos de estrutura do solo.

No relativo à topografia da área, excetuando-se os locais onde é evidente a presença de elevações, portanto, com topografia forte ondulada ou mesmo montanhosa, a maior extensão das terras identifica-se por terrenos de topografia plana e suave ondulada. Estes modelados são os aconselháveis para o uso agropecuário, pois facilitam não somente os trabalhos de mecanização, mas todos os tratos culturais próprios às culturas desenvolvidas.

A Tabela 2 ilustra a distribuição das áreas e os percentuais das unidades de mapeamento constantes no mapa de solos. Por outro lado, a Tabela 3 identifica a distribuição das áreas e o percentual das classes de solos em cada unidade de mapeamento.

A Tabela 4 engloba a extensão ocupada pelos solos eutróficos, distróficos, hidromórficos e os afloramentos rochosos e os respectivos percentuais.

Descrição das Classes de Solos

Os grandes grupos de solos identificados com o levantamento pedológico efetuado foram os seguintes: Podzólico Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo, Solos Concrecionários Lateríticos, Plintossolo, Glei Pouco Húmico e Solos Litólicos.

Esses grandes grupos foram identificados, taxonomicamente, em nível categórico de fase.

Podzólico Vermelho-Amarelo

Os solos Podzólicos são aqueles que apresentam características de podzolização, ou seja, processo pedogenético que consiste na migração de minerais de argila, pela destruição das argilas no horizonte A e concentração no B ou então a formação das próprias argilas no horizonte iluvial. Com este processo dá-se a for-

TABELA 2. Áreas e percentuais das unidades de mapeamento.

Unidades de mapeamento	ha	%
PV ₂	59.820 ha 00 a 00 ca	27,52
PV ₃	55.606 ha 00 a 00 ca	25,58
PV ₁	53.470 ha 00 a 00 ca	24,60
PV ₄	26.500 ha 00 a 10 ca	12,19
PV ₅	8.530 ha 02 a 06 ca	3,97
R ₂	4.360 ha 03 a 04 ca	2,02
R ₁	2.180 ha 01 a 07 ca	1,03
HI ₁	6.000 ha 04 a 10 ca	2,76
HI ₂	730 ha 02 a 13 ca	0,33
Total	217.296 ha 12 a 50 ca	100,00

TABELA 3. Área e distribuição percentual dos solos em cada unidade de mapeamento.

Unidade de mapeamento	Solos	Área(ha)	%
PV ₂	PVe	35.892,00	60
	PVd	17.956,00	30
	LH	5.982,00	10
PV ₃	PVe	33.343,00	60
	PVd	16.680,80	30
	CL	5.560,60	10
PV ₁	PVp1	21.387,00	40
	LV	16.047,00	30
	PVe	10.695,00	20
	LH	5.348,00	10
PV ₄	Ce	13.250,00	50
	PVe	13.250,00	50
PV ₅	Ce	4.318,00	50
	Cd	4.218,00	50
R ₂	Li	2.180,00	50
	AR	2.180,00	50
R ₁	Lie	763,00	35
	Lid	763,00	35
	Cd	654,00	30
HI ₁	LH	3.000,00	50
	GP	3.000,00	50
HI ₂	LHe	365,00	50
	HI	365,00	50
Total	-	217.296,00	100

TABELA 4. Áreas e percentuais de solos eutróficos, distróficos e hidromórficos.

Solos	Área(ha)	%
Eutrófico	111.511,00	51,32
Distrófico	85.545,00	39,37
Hidromórfico	18.060,00	8,31
Afloramento Rochoso	2.180,00	1,00
Total	217.296,00	100,00

mação de um horizonte B diagnóstico, denominado B textural ou argílico (Estados Unidos 1975).

O perfil é bem ou moderadamente drenado, medianamente profundo, textura normalmente argilosa e de coloração avermelhada ou vermelho-amarelo no horizonte A.

Há uma sequência de horizontes A, B e C, com a existência ou não de horizonte A2, característica quando presente, do processo pedogenético denominado de podzolização.

O horizonte A tem espessura de cerca de 25 cm, tendo coloração escura como consequência da maior presença de matéria orgânica. A atividade biológica é evidente, observando-se sua presença através dos inúmeros canais e crotovinas formadas pela atividade de organismos do solo. A estrutura é moderadamente desenvolvida em forma de bloco subangular, identificando-se as classes de textura argila, argila arenosa e franco-argilo-arenosa pesada.

O horizonte B, textural, não hidromórfico, é bem mais argiloso que o A, resultando como consequência um gradiente textural acima de 1,3, denotando o acúmulo de argila nesse horizonte. A presença de cerosidade, localizada entre os elementos de estrutura, é fato constante do processo pedogenético que sofrem estes solos - a podzolização (Falesi 1972).

Na base do "solum" normalmente são visíveis mosqueados herdados do material de origem e não ocasionados pela drenagem.

Esta unidade ocorre quase sempre em locais onde a topografia varia de suave ondulada a ondulada.

Com o levantamento pedológico executado, foi possível identificar as seguintes fases deste grande grupo:

Podzólico Vermelho-Amarelo Plíntico Álico textura argilosa com cascalhos relevo suave ondulado.

Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico textura argilosa com cascalhos relevo suave ondulado e relevo ondulado.

Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico textura argilosa com cascalhos relevo suave ondulado e ondulado.

Podzólico Vermelho-Amarelo Plíntico Álico textura argilosa com cascalhos, relevo suave ondulado.

Esta unidade guarda a conceituação básica do grande grupo, tendo como principal característica que o identifica a presença de plintita no horizonte B ou localizado em sua base.

São solos não hidromórficos, que possuem acumulações de argila iluvial no horizonte B, sendo a argila de atividade baixa.

São moderadamente profundos e do mesmo modo moderadamente drenados, textura argilosa ou argilo-cascalhenta, com a presença do horizonte B plíntico à pouca profundidade, comumente a menos de 0,80m da superfície do solo.

A plintita consta de um material argiloso, altamente intemperizado, rico em sesquióxidos e pobre de humus, ocorren-

do geralmente com mosqueados vermelhos, cinzentos brancos, com arranjo poligonal ou reticular, pendendo, irreversivelmente, para "hardpan" ou concreções sob condições especiais de umidade e secagem (Estados Unidos 1975).

A saturação de bases é inferior a 50% e os valores de $100 \text{ Al}^{+++}/\text{S}+\text{Al}^{+++}$ são maiores de 50%, sendo em consequência, solos de caráter álico.

A coloração do horizonte A varia de bruno amarelado, passando a colorações variadas, características de plintita, no horizonte B. A textura do horizonte A varia de franco-argilo-arenosa a franco-argilosa e argilo-siltosa e argilosa no B, ocorrendo os cascalhos com proporções variáveis entre 6% e 35%.

Os índices de acidez identificados pelo pH variam entre 4,0 e 5,3 no A e entre 4,8 e 5,3 no B. Os valores de matéria orgânica variam no perfil de aproximadamente 2,0 a 4,5%, localizando-se no horizonte A os valores mais elevados. Possuem baixa capacidade de troca catiônica evidenciando a presença de minerais de argila do tipo 1:1. Os valores de saturação de bases permutáveis são todos inferiores a 50%. Por sua vez, os níveis de bases permutáveis são muito baixos, identificados pelos valores de soma de base entre 0,10 e 1,50 meq/100 g de solo. O fósforo assimilável apresenta-se também com níveis muito baixos, inferiores a 2 ppm.

Ocorrem estes solos na zona de influência do rio Carapanã e em cotas topográficas situadas entre 150 m e 200 m e associados ao Latossolo Vermelho-Amarelo Plúntico Álico textura argilosa com cascalhos, relevo suave ondulado, Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, textura argilosa com cascalhos, relevo suave ondulado e ao Plintossolo textura argilosa, relevo plano.

Ocupam cerca de 21.387 ha o que corresponde a 9,84% da área total levantada.

Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico, textura argilosa com cascalhos, relevo suave ondulado e relevo ondulado.

Esta unidade taxonômica encerra os solos com B textural, não hidromórficos, horizonte A moderadamente desenvolvido, argila de atividade baixa, saturação de bases também baixa — inferior a 50%, com horizonte B de textura argilosa com presença de cascalhos em proporções variáveis.

O perfil dos solos desta unidade é mais profundo, se comparado com as outras fases do grande grupo, sendo bem drenados. O horizonte B é de textura argilosa com cascalhos. O horizonte A tem a coloração bruno ou bruno-avermelhado no A, sendo vermelho a vermelho-amarelado no B, podendo ocorrer cor variegada abaixo de 1,00 m.

Os valores de pH oscilam entre 4,3 e 5,4 no A e entre 4,8 e 5,2 no horizonte B. A saturação de alumínio possui valores inferiores a 50%. A capacidade de troca catiônica é muito baixa com valores inferiores a 4,5 meq/100g de solo.

Ocorrem em áreas de relevo suave e também nos ondulosos em terrenos cujas cotas topográficas situam-se entre 150 e 200 m a 300 e 350 m, respectivamente.

Podzólico-Vermelho Amarelo eutrófico, textura argilosa com cascalhos, relevo suave ondulado e ondulado.

Esta unidade taxonômica e de mapeamento apresenta um perfil morfológicamente semelhante aos podzólicos, já anteriormente descritos, diferindo basicamente na cor, que nesta unidade apresenta-se com tonalidade vermelho-escuro, no matiz, 2,5YR, valores 3 e 4 cromas 6 e 8 no horizonte B.

A estrutura do horizonte B é moderadamente desenvolvida e com forma de bloco subangular, tendo ocorrência de cerosidade entre os seus elementos.

No relativo à suas propriedades químicas são dotadas de bons níveis de nutrientes, evidenciados pelos valores de saturação de bases superiores a 50%, daí o caráter eutrófico. A capacidade de troca catiônica, no entanto, se apresenta com valores baixos, sendo provável a presença de argila mineral do tipo 1:1 na composição mineralógica do solo. Os índices de pH variam de 5,2 a 5,7 e a saturação de alumínio com valores inferiores a 12%. Os valores de fósforo assimilável são baixos, sendo inferiores a 0,40 mg/100 g de P_2O_5 .

Ocorrem estes solos em áreas cujo relevo é suave ondulado e/ou ondulado, tendo sido identificados durante o mapeamento nos locais conhecidos como Vila Real, Campos Altos e Morada do Sol.

Latossolo Vermelho-Amarelo Plíntico textura argilosa com cascalhos relevo suave ondulado.

Esta classe compreende solos com B latossólico, não hidromórfico, com muito baixa soma de bases trocáveis e capacidade de troca, apresentando saturação de bases sempre baixa, inferior a 50% e textura média ou argilosa.

São solos muito profundos, muito porosos, moderadamente ou muito fortemente drenados, friáveis ou muito friáveis, tendo como importantes características, a ausência de cerosidade, devido ao predomínio de sesquióxidos e argila do grupo 1:1 (normalmente caulinita) na fração mineral coloidal (Sombroek 1966).

São solos pouco erodidos, fortemente ácidos, cujos valores de pH decrescem com a profundidade do perfil.

O perfil tem seqüência de horizonte A, B e C, onde o horizonte A tem espessura entre 20 cm e 35 cm, de coloração bruno-amarelado ou bruno-acizentado-muito-escuro, com matiz 10YR. A textura pertence às classes franco-arenosa ou franco-argilo-arenosa, com estrutura em grãos simples ou fraca, pequena e média,

com forma granular. Transita para o horizonte B de maneira clara ou gradual e plana.

O horizonte B, constituído de B₁, B₂ e B₃, varia de 100 cm a 200 cm de coloração amarelada ou vermelho-amarelada com matiz 10YR. A textura é das classes franco-argilo-arenosa e argila. A estrutura é muito pequena e pequena a granular que se desfaz em maciça porosa coerente "in situ". O gradiente textural é inferior a 1,3, o que indica que não está havendo acúmulo de argila no B. Acha-se presente neste horizonte a plintita que identifica a unidade.

Ocorrem em topografia ondulada e faz parte da associação PV₁.

Ocupam 16.047 ha, correspondendo a cerca de 7,38% da área levantada.

Cambissolo

Esta unidade está constituída por solos com horizonte B incipiente (horizonte câmbico), não hidromórfico, apresentando certo grau de desenvolvimento, porém não suficiente para decompor totalmente os minerais primários de fácil intemperização.

Os processos de formação destes solos já modificaram ou alteraram bastante o material originário, desenvolvendo estrutura, se a textura for adequada para isto. Entretanto, os referidos solos não possuem acumulação de quantidades significativas de óxidos de ferro, argila e húmus, para que sejam considerados como B podzol ou horizonte B textural (Estados Unidos 1975).

Morfologicamente, às vezes, podem apresentar-se com características de solos Podzólicos, diferenciando-se, porém, principalmente pelo grau de desenvolvimento, que pode ser observado através do perfil pela presença acentuada de minerais primários.

São solos que possuem seqüência de horizonte A, (B) e C, tendo o A geralmente pequena espessura, podendo estar au-

sente em áreas de declives acentuados, devido à ação erosiva.

O horizonte câmbico pode aparecer à superfície, se o solo for truncado, ou estar imediatamente abaixo de um dos epipedons diagnósticos. É considerado como parte integrante do "solum", e está dentro da zona geralmente atingida pelas raízes das plantas.

Ocorrem na área do Projeto Tucumã com as fases: Cambissolo eutrófico textura argilosa, com cascalhos, relevo ondulado; Cambissolo Eutrófico, textura argilosa-cascalhenta, relevo ondulado; Cambissolo distrófico, textura argilosa-cascalhenta, relevo ondulado e Cambissolo distrófico, textura argilosa-cascalhenta, relevo ondulado. Essas fases diferem uma da outra pelo grau de fertilidade (eutrófico e distrófico), pela textura e pelo tipo de relevo. Os solos localizam-se nas cotas topográficas situadas entre 350 m e 400 m ou mesmo acima desta última.

Ocupam cerca de 22.540 ha, correspondendo a 10,37% da área total.

Plintossolo

O grande grupo Plintossolo (ex-Laterita Hidromórfica) é constituído por solos hidromórficos, fortemente desgastados, excessivamente ácidos, de drenagem imperfeita, devido à natureza argilosa e compacta de seu sub-solo, bem como pela situação topográfica baixa, sendo desenvolvidos a partir de sedimentos do quaternário recente (Day 1959).

Os processos responsáveis pela formação destes solos são a podzolização que dá origem ao horizonte A₂, juntamente com a laterização, tornando-se evidente a presença da plintita (Santos & Falesi 1964).

A plintita é a característica mais importante do Plintossolo; consta de um material argiloso, altamente intemperizado, rico em sesquióxidos e pobre em húmus, ocorrendo geralmente, com mosqueados

vermelhos, cinzentos-brancos, com arranjo poligonal ou reticular, pendendo irreversivelmente para "harpdan" ou concreções sob condições especiais de umidade e secagem (Estados Unidos 1975).

O perfil apresenta uma sequência de horizontes A, B e C com presença ou não de horizonte A₂. O horizonte A possui coloração cinza-muito-escuro, com matiz 10 YR e textura muito variável, sendo a estrutura moderada a forte, pequena e média em forma de bloco subangular, transitando para o horizonte B de forma clara e irregular ou ondulada. O horizonte B é mais argiloso, muito mosqueado, com estrutura maciça desfazendo-se em forte, quando, subangular com ocorrência de prismática. A plintita localiza-se neste horizonte.

São solos de baixa fertilidade, o que é evidenciado pelos baixos valores de soma de bases, capacidade de troca e saturação de bases. O fósforo também tem teores muito baixos, assim como o pH está em torno de 4,3, portanto, excessivamente ácido. Como consequência da elevada acidez, o alumínio aparece com teores altos, com valores acima de 2,00 meq/100 g de solo.

Estes solos ocorrem normalmente em áreas planas, baixas e que ficam bastante molhadas durante o período chuvoso, devido à drenagem deficiente que apresentam.

O Plintossolo ocorre na área com duas fases: Plintossolo álico, textura argilosa, relevo plano e o Plintossolo eutrófico, textura argilosa, relevo plano.

A primeira ocorre associada com outros nas unidades de mapeamento PV₁, PV₂ e HI₁. A fase eutrófica compõe a unidade de mapeamento HI₂ e ocorre somente em um local, situado a leste da área.

O Plintossolo álico ocupa uma extensão de 14.330 ha, correspondendo a 6,1% da área total, ao passo que a fase eutrófica somente ocupa 365 ha, correspondendo a 0,12% do total.

Glei Pouco Húmico álico textura silteosa relevo plano.

Os solos desta unidade pertencem a sub-ordem hidrofórmica, devido não somente às características morfológicas que apresentam, como também aos processos que condicionam sua formação.

São pouco desenvolvidos, mal drenados, de textura fina, onde frações silte e argila aparecem como componentes predominantes na composição granulométrica. Os valores elevados de silte confirmam a pouca evolução diagnética destes solos.

O perfil apresenta seqüência de horizontes Ag, Bg e Cg, com matizes de coloração variegada, valores bastante variáveis e cromas geralmente baixos, devido à forte redução do ferro, características destes solos.

Sua formação deve-se à mistura de material recente do Holoceno, organomineral, trazida em suspensão nas águas dos rios barrentos, como o igarapé Carapanã e depositada às margens desses acidentes físicos, constituindo as várzeas.

Os índices de acidez estão em torno de 4,5, com pequena variação ao longo do perfil. O alumínio permutável possui teores relativamente elevados, acima de 1,00meq/100 g. Os valores de saturação de bases são baixos, inferiores a 50%. Os valores de matéria orgânica são médios a altos no horizonte A, decrescendo com a profundidade do perfil. Os valores de fósforo assimilável, na forma de P_2O_5 , são baixos, inferiores a 2,5 mg/100 g.

Ocorrem marginando o igarapé, além de outros cursos de água, estando associados ao Glei Pouco Húmico constituindo a unidade de mapeamento HI_1 , ocupando cerca de 3.000 ha o que corresponde a 1,38% do mapeamento.

Solos Litólicos

Esta unidade taxonômica é constituída por solos pouco desenvolvidos, com horizonte A pouco proeminente, textura

média, rasos ou muito rasos e que apresentam um horizonte A assente diretamente sobre a rocha R, ou mesmo um horizonte C de pouca espessura, entre o A e a rocha. São moderadamente drenados, com erosão laminar variando de moderada a severa, com ocorrência freqüente de sulcos.

Ocorrem com as fases Solos Litólicos eutróficos, textura argilosa cascalhenta, relevo forte e Solos Litólicos distróficos, textura argilosa-cascalhenta, relevo forte ondulado e Solos Litólicos constituindo as unidades de mapeamento R_1 e R_2 .

Os solos Litólicos acham-se distribuídos a nordeste e sudeste da área, bem como na serra Arqueada. Nesta elevação, nas áreas onde não há presença de vegetação florestal, mas ravinas identificou-se a ocorrência de chapada coberta por canga hematítica.

Estes solos ocupam 3.706 ha, correspondendo a 1,78% do levantamento.

Solos Hidromórficos

Constituem esta unidade os solos intrazonais, Hidromórficos, desenvolvidos a partir da evolução diagenética de sedimentos aluviais, organo-minerais, recentes, depositados nas áreas baixas e normalmente, irrigadas. Como decorrência da heterogeneidade desses sedimentos, podem ser de textura desde arenosa e até argilosa, quase sempre com elevados valores da fração silte.

O perfil apresenta normalmente um horizonte superficial orgânico ou orgânico-mineral, com sensível variação na espessura, onde a matéria orgânica está total ou parcialmente decomposta ou mesmo em ambas as formas. A seqüência das camadas indiferenciadas ou horizontes gleisados é do tipo B_g ou C_g .

São solos pouco evoluídos, medianamente profundos, muito mal a mal drenados, de baixa porosidade, plásticos e pegajosos, quando os valores de argila são elevados. As cores acinzentadas e

neutras e a acumulação de matéria orgânica na superfície do perfil indicam a influência do lençol freático, próximo à superfície, ou mesmo nesta, durante o período chuvoso do ano.

Constituem esta unidade o Glei Pouco Húmico e o Glei Húmico, portanto, somente os solos gleisados, estando incluídos os solos com plintita.

Ocorrem em apenas 365 ha, em relevo plano, onde a vegetação é característica, devido à presença notável de palmeiras, constituída a associação HI₂ junto com o Plintossolo eutrófico, textura argilosa, relevo plano.

Afloramentos Rochosos

Os Afloramentos Rochosos são tipos de terrenos e não propriamente solos. São unidades cartográficas representadas por exposições de diferentes tipos de rochas, que ocupam partes das áreas montanhosas existentes na gleba do projeto. O intemperismo pouco tem atuado nestes perfis, não dando a oportunidade ainda de transformá-los em verdadeiros solos.

Ocorrem associados com os solos Litólicos distróficos e eutróficos e apresentam-se como exposições de rocha branda ou dura, nua ou com reduzidas porções de material distrófico grosseiro, não classificáveis especialmente como solo, devido à insignificante ou inexistente diferenciação de horizontes, correspondendo mais propriamente a delgadas acumulações consolidadas, de caráter heterogêneo, formadas por mistura de material terroso e largas proporções de fragmentos provenientes da desagregação das rochas locais.

Ocupam cerca de 2.180 ha, correspondendo a 1,88% da área mapeada.

Legenda de Identificação dos Solos

PV₁- Podzólico Vermelho-Amarelo Plíntico álico, textura argilosa, com cascalhos, relevo suave ondulado +

Latossolo Vermelho-Amarelo Plíntico, textura argilosa com cascalhos relevo suave ondulado + Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, textura argilosa, com cascalhos, relevo suave ondulado + Plintossolo textura argilosa, relevo plano.

PV₂- Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, textura argilosa, com cascalhos, relevo suave ondulado + Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa com cascalhos, relevo suave ondulado + Plintossolo, textura argilosa, relevo plano/suave ondulado.

PV₃- Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, textura argilosa, com cascalhos, relevo ondulado + Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa, com cascalhos, relevo ondulado + Solos Concrecionários Lateríticos Indiscriminados relevo ondulado/forte ondulado.

PV₄- Cambissolo eutrófico, textura argilosa, com cascalhos, relevo ondulado + Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, textura argilosa, com cascalhos, relevo ondulado.

PV₅- Cambissolo eutrófico, textura argilosa-cascalhenta, relevo ondulado + Cambissolo distrófico, textura argilosa-cascalhenta, relevo ondulado.

HI₁- Plintossolo álico, textura argilosa, relevo plano + Glei Pouco Húmico álico, textura siltosa, relevo plano.

HI₂- Plintossolo eutrófico, textura argilosa, relevo plano + Solos Hidromórficos Indiscriminados, relevo plano.

R₁- Solos Litólicos eutróficos, textura argilosa-cascalhenta, relevo forte ondulado + Solos Litólicos álicos, textura argilosa-cascalhenta, relevo forte ondulado + Cambissolo distrófico, textura argilosa-cascalhenta, relevo forte ondulado.

R₂- Solos Litólicos, textura argilosa-cascalhenta, relevo forte ondulado + Afloramentos Rochosos.

Nota: Figuram em primeiro lugar, nas associações, os solos mais importantes, sob o ponto de vista de extensão ou, em caso de extensões equivalentes, figuram em primeiro lugar os componentes mais importantes, sob o ponto de vista de utilização agrícola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, O. **Geologia estratigráfica estrutural e econômica de áreas do Projeto Araguaia**. Rio de Janeiro, Divisão de Geologia e Mineralogia, 1966. 95p.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha SB. 22 Araguaia e parte da folha SC. 22 Tocantins**; geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1974. (Brasil. MME. DNPM. Levantamento de recursos naturais, 4).
- DAY, J. **Guia prático para classificação dos solos do terciário recente do vale amazônico**. Belém, FAO/SUDAM, 1959. 56p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro, RJ. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1978.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **Soil Survey Manual**. Washington, D.C., 1951. (USDA. Handbook, 18).
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. **Soil Classification**; a comprehensive system, 7th approximation. Washington, D.C., 1975.
- FALESI, I.C. **Solos da rodovia Transamazônica**. Belém, IPEAN, 1972. 196p. (IPEAN. Boletim Técnico, 45).
- GALVÃO, M.V. Climas da Amazônia. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Rio de Janeiro, RJ. **Geografia do Brasil: Grande Região Norte**. Rio de Janeiro, 1959. p.61-3. IBGE. Publicação, 15).
- INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO-SOCIAL DO PARÁ. Belém, PA. Projeto Rio Fresco; contribuição à Geologia do pré-cambriano da Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26. Belém, 1972. **Resumo das comunicações**. Belém, Sociedade Brasileira de Geologia, 1972. p.73-5. (Sociedade Brasileira de Geologia. Boletim, 2).
- LEMON, R.C. & SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 2. ed. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciências Solo/ EMBRAPA-SNLCS, 1982. 45p.
- PIRES, J.M. **Tipos de vegetação da Amazônia**. Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi, 1973. p. 178-202. (Museu Paraense Emílio Goeldi. Publicações avulsas, 20).
- RAMOS, J.R. de A. Reconhecimento geológico no alto Rio Fresco, Estado do Pará - **Rel. Anu. Div. Geol. Minerol.** Rio de Janeiro, 1954. p. 32-48.
- SANTOS, W.H. & FALESI, I.C. **Contribuição ao estudo dos solos da Ilha de Marajó**. Belém, IPEAN, 1964. p.57-161. (IPEAN. Boletim Técnico, 45).
- SAMPAIO, A.J. **Fitogeografia do Brasil**. 3. ed. São Paulo. Ed. Nacional, 1945. 372p. (Biblioteca Pedagógica Brasileira. Brasileira, 35).
- SOMBROEK, W.G. **Amazon Soils**; a reconnaissance of the Soils of Brazilian Amazon region. Wageningen, Center for Agricultural Publication and Documentation, 1966. 303p.

ANEXO 1

Perfil n.º 01

Local: Projeto Tucumã - São Félix do Xingu (Campos Altos).

Classificação: Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico

Protocolo	Composição Geanulométrica %							Grau de Flocul. %	Mea	Mer
	Calhaus 20mm	Cascalho 20-2mm	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila total	Argila natural			
4523 - 17	-	-	39	23	14	24	13	46	-	-
4524 - 18	-	-	10	13	15	53	2	96	-	-

Gradiente textural											
Profund. cm	Horiz.	Complexo sortivo meq/100g								V %	100 Al Al + S
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	H ⁺	Al ⁺⁺⁺	T		
0 - 20	A	1,80	0,50	0,21	0,11	2,12	1,98	0,05	4,10	52	2,30
60 - 80	B	1,70	0,80	0,12	0,06	2,68	1,28	0,37	4,33	62	12,13

%			Ki	Kr	%			C N	pH		P ₂ O ₅ mg 100g
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃			C	M.O.	N		H ₂ O	KCL	
7,49	9,18	4,20	1,39	1,07	0,60	1,03	0,09	7	4,90	4,20	0,34
9,63	6,89	8,80	2,38	1,31	0,43	0,74	0,05	9	5,70	5,20	0,09

Anexo 1. Cont.

Perfil n.º 02

Local: Projeto Tucumã - São Félix do Xingu (Limite Glebas I e II)

Classificação: Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico (4507 a 4509) Terra Roxa Estruturada Eutrófica (4510 a 4511)

Protocolo	Composição granulométrica %							Grau de flocul. %	Mea	Mer
	Calhaus 20mm	Cascalho 20-2mm	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila total	Argila natural			
4507 - 01	-	-	25	35	22	18	8	56	-	-
4508 - 02	-	-	24	34	22	20	14	30	-	-
4509 - 03	-	-	26	36	20	18	5	72	-	-
4510 - 04	-	-	15	10	36	39	27	31	-	-
4522 - 05	-	-	12	8	29	51	18	65	-	-

Gradiente textural											
Profund. cm	Horiz.	Complexo sortivo meq/100g								V %	100 Al Al + S
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	H ⁺	Al ⁺⁺⁺	T		
0 - 25	A	6,65	1,35	0,32	0,15	8,47	2,56	0,74	11,77	72	8,03
25 - 50	B	1,40	0,70	0,21	0,10	2,41	0,58	0,74	3,73	65	23,40
50 - 100	B ₂	3,20	0,10	0,20	0,09	3,59	1,27	0,05	4,91	73	1,37
0 - 20	A	5,80	1,20	0,29	0,13	7,42	3,25	0,05	10,72	69	0,67
60 - 80	B	3,00	1,20	0,52	0,22	4,94	2,53	0,11	7,58	65	2,18

%			Ki	Kr	%			C N	pH		P ₂ O ₅ mg 100g
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃			C	M.O.	N		H ₂ O	KCL	
4,81	6,12	3,00	1,34	1,02	2,18	3,75	0,06	36	5,40	5,20	1,72
6,42	7,91	4,40	1,38	1,02	0,36	0,62	0,06	6	5,60	4,80	0,40
6,42	7,40	3,60	1,48	1,12	0,71	1,22	0,05	14	5,60	5,20	0,46
18,18	17,34	20,00	1,78	1,03	1,34	2,30	0,20	7	5,60	5,20	0,34
20,32	18,62	23,60	1,86	1,03	0,84	4,40	0,13	6	5,60	5,20	0,57

Anexo 1. Cont.

Perfil n° 03

Local: Projeto Tucumã - São Félix do Xingu (Vila Real; Zuíno e Morada do Sol)

Classificação: Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico

Protocolo	Composição granulométrica %							Grau de flocul. %	Mea	Mer
	Calhaus 20mm	Cascalho 20-2mm	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila total	Argila natural			
4517 - 11	-	-	18	27	29	26	16	38	-	-
4518 - 12	-	-	10	14	22	54	1	98	-	-
4519 - 13	-	-	21	24	25	30	22	27	-	-
4520 - 14	-	-	12	13	18	57	1	98	-	-
4521 - 15	-	-	7	5	39	49	31	37	-	-

Gradiente textural											
Profund. cm	Horiz.	Complexo sortivo meq/100g								V %	100 Al Al + S
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	H ⁺	Al ⁺⁺⁺	T		
0 - 20	A	4,20	1,00	0,11	0,06	5,37	2,08	0,39	7,84	68	6,77
80 - 100	B	2,75	0,95	0,10	0,05	3,85	0,80	0,02	6,32	61	0,52
0 - 20	A	1,25	1,15	0,78	0,33	3,51	2,42	0,05	5,98	59	1,40
60 - 80	B	1,20	0,90	0,15	0,07	2,32	2,34	0,30	4,96	47	11,45
0 - 20	A	5,00	1,95	0,13	0,07	7,15	3,00	0,07	10,22	70	0,97

%			Ki	Kr	%			C N	pH		P ₂ O ₅ mg 100g
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃			C	M.O.	N		H ₂ O	KCL	
10,16	10,20	8,20	1,69	1,12	1,10	1,80	0,15	7	5,40	5,10	0,34
18,90	8,42	12,20	2,81	1,46	0,35	0,60	0,07	5	5,90	5,80	0,40
12,30	10,71	6,80	1,95	1,39	0,74	1,27	0,11	7	5,40	4,80	0,29
16,58	17,34	9,80	1,63	1,19	0,25	0,43	0,06	4	5,20	4,30	0,34
14,97	15,05	11,80	1,69	1,13	1,37	2,36	0,20	7	5,20	4,70	0,23

Laboratório de Solos

GERSTA - CRN - IDESP

Anexo 1. Cont.

Análises Físicas e Químicas
Município: São Félix do Xingu

Perfil n.º 04

Classificação: Podzólico Vermelho Amarelo Distrófico

Horizonte	Profundi- dade cm	Na amostra seca ao ar %		Composição granulométrica. Dispersão com NaOH				Grau de flocula- ção	Silte % Argila %
		Cascalho 20-20mm	Terra fina 2mm	Areia grossa 2-0,2mm	Areia fina 0,2-0,5mm	Silte 0,05-0,002mm	Argila 0,002mm		
A11	0-12	13	87	12	39	17	32	56	0,53
A12	12-25	12	88	10	31	14	45	44	0,31
B1	25-40	16	84	6	20	14	60	42	0,23
B21	40-70	16	84	5	17	8	70	46	0,11
B22	70-100	35	65	6	16	10	68	91	0,15
B23	100-150	22	78	5	15	17	63	98	0,27

Classificação textural	Massa específica		Porosidade total	Umidade a 15 atm.	Umidade a 1/3 atm.	Água Disponível	pH	
	Aparente	Real					H ₂ O	Kcl N/1
Fr. Arg. Ar.	1,21	2,59	53,3	15,91	21,09	5,18	4,4	4,0
Argila	1,26	2,66	52,7	16,03	20,94	4,91	4,5	3,8
Argila	1,20	2,67	55,1	20,45	26,23	5,78	4,8	3,9
Argila	1,17	2,67	56,2	22,08	27,61	5,53	5,0	3,8
Argila	1,09	2,64	58,8	22,80	27,41	4,62	4,8	3,8
Argila	1,14	2,65	57,0	-	-	-	4,88	-

Complexo sortivo (meq/100g de solo)								V S 100/T	100 Al S+Al
Cálcio	Magnésio	Potássio	Sódio	S	Hidrogênio	Alumínio	T		
2,80	0,85	0,17	0,05	3,87	6,62	0,46	10,95	35	10,6
1,50	0,34	0,08	0,05	1,97	3,78	0,76	6,51	30	27,8
1,62	0,51	0,04	0,04	2,21	3,04	0,67	5,92	37	23,3
0,94	0,41	0,03	0,04	1,42	2,42	1,13	4,97	29	44,3
0,52	0,27	0,03	0,03	0,85	2,60	1,28	4,73	18	60,0
0,43	0,09	0,03	0,03	0,58	2,58	0,07	4,13	14	62,6

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ki	Kr	Carbono %	Nitrogênio %	Relação C/N	Matéria orgâni- ca	P 2 5 Assimil. mg/100g
13,62	10,66	3,45	2,17	1,81	2,74	0,27	10,1	4,72	0,7
17,66	15,35	4,47	1,95	1,65	1,18	0,12	9,8	2,03	0,3
23,72	22,11	5,49	1,82	1,58	0,87	0,09	9,7	1,50	0,3
25,24	24,96	6,10	1,72	1,46	-	-	-	-	-
28,41	24,95	6,95	1,93	1,65	-	-	-	-	-
27,26	26,13	7,93	1,77	1,49	-	-	-	-	-

Anexo 1. Cont.

Análises Físicas e Químicas
Município: São Félix do Xingu

Perfil nº 05

Classificação: Podzólico Vermelho Amarelo Álico plúntico

Horizonte	Profundidade cm	Na amostra seca ao ar %		Composição granulométrica Dispersão com NaOH				Grau de floculação	Silte % Angila %
		Cascalho 20-20mm	Terra fina 2mm	Areia Grossa 2-0,2mm	Areia fina 0,2-0,5mm	Silte 0,05-0,002mm	Angila 0,002mm		
A1	0-12	0	100	9	28	46	17	53	2,71
A3	12-30	0	100	6	24	46	24	50	1,92
B1	30-50	0	100	8	23	41	28	46	1,46
B2	50-130	3	97	12	25	34	29	97	1,17

Classificação textural	Massa específica		Porosidade total	Umidade a 15 atm.	Umidade a 1/3 atm.	Água Disponível	pH	
	Aparente	Real					H ₂ O 2	Kcl N/1
Franco	1,35	2,60	48,1	14,01	28,08	14,07	3,8	3,4
Franco	1,41	2,60	45,8	15,03	24,62	9,59	4,4	3,5
Fr. Angiloso	1,29	2,59	50,2	15,97	22,34	6,37	4,6	3,6
Fr. Angiloso	1,27	2,60	51,2	16,30	23,38	7,08	4,8	3,7

Complexo sortivo (meq/100g de solo)								V S 100/T	100 Al S+Al
Cálcio	Magnésio	Potássio	Sódio	S	Hidrogênio	Alumínio	T		
0,34	0,35	0,15	0,04	0,88	3,84	1,52	6,24	14	63,3
0,27	0,08	0,06	0,03	0,44	2,28	1,92	4,64	9	81,4
0,15	0,13	0,07	0,03	0,38	2,12	2,08	4,58	8	84,6
0,17	0,20	0,13	0,05	0,55	0,64	1,67	2,86	19	75,2

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ki	Kr	Carbono %	Nitrogênio %	Relação C/N	Matéria orgânica	P ₂ O ₅ Assimil. mg/100g
12,49	6,44	1,81	3,30	2,79	1,00	0,10	10,0	1,72	0,7
14,49	9,01	2,22	2,73	2,37	0,39	0,05	7,9	0,67	0,3
14,74	10,04	2,22	2,49	2,19	0,35	0,05	7,0	0,60	0,3
15,99	15,59	2,81	1,74	1,57	-	-	-	-	-

Anexo 1. Cont.

Análises Físicas e Químicas
Município São Félix do Xingu

Perfil n.º 06

Classificação: Latossol Vermelho Amarelo Álico plântico

Horizonte	Profundidade cm	Na amostra seca no ar %		Composição granulométrica Dispersão com NaOH				Grau de floculação	Silte % Angila %
		Cascalho -20-20mm	Terra fina 2mm	Areia grossa 2-0,2mm	Areia fina 0,2-0,5mm	Silte 0,05-0,002mm	Angila 0,002mm		
A1	0-12	34	66	58	16	15	11	73	1,36
A3	12-25	57	43	40	16	16	28	75	0,57
B1	25-45	35	65	33	19	17	31	61	0,54
B21	45-90	27	73	32	14	18	36	58	0,50
B22	90-120	37	63	31	16	17	36	61	0,47

Classificação textural	Massa específica		Porosidade total	Unidade a 25 atm.	Unidade a 1/3 atm.	Água disponível	pH	
	Aparente	Real					H ₂ O 2	Kcl N/1
Franco arenoso	-	-	-	-	-	-	5,6	5,0
Franco argilo arenoso	-	-	-	-	-	-	5,0	4,3
Franco-argilo arenoso	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0
Angila-arenosa	-	-	-	-	-	-	4,9	4,0
Angila-arenosa	-	-	-	-	-	-	4,9	4,0

Complexo sortivo (meq/100g de solo)								V 100 S/T	100 Al S + Al
Cálcio	Magnésio	Potássio	Sódio	S	Hidrogênio	Alumínio	T		
3,50	0,54	0,21	0,05	4,30	2,14	0,60	7,04	61	12
0,50	0,16	0,09	0,02	0,77	2,13	1,00	3,90	20	57
0,52	0,13	0,07	0,03	0,75	1,77	1,00	3,52	21	57
0,46	0,13	0,05	0,02	0,66	2,10	1,20	3,96	17	65
0,25	0,09	0,04	0,02	0,40	1,44	1,20	3,04	13	75

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ki	Kr	Carbono %	Nitrogênio %	Relação C/N	Matéria orgânica	P ₂ O ₅ Assimil. mg/100g
4,04	6,12	0,99	1,12	1,02	1,37	0,16	9	2,36	0,24
5,97	7,14	0,99	1,42	1,31	0,77	0,08	10	1,32	0,11
10,31	11,73	1,79	1,49	1,36	0,53	0,05	11	0,91	0,11
12,73	14,54	1,99	1,49	1,37	0,53	0,05	11	0,91	0,11
11,27	15,56	1,99	1,23	1,14	0,40	0,03	13	0,68	0,11

LABORATÓRIO: EMBRAPA

Anexo 1. Cont.

Análises Físicas e Químicas
Município: São Félix do Xingu (PA)

Perfil n.º 07

Classificação: Cambissolo Distrófico

Horizonte	Profundidade cm	Na amostra seca ao ar %		Composição granulométrica Dispersão com NaOH				Grau de floculação	Silte % Argila %
		Cascalho 20-20mm	Terra fina 2mm	Areia grossa 2-0,2mm	Areia fina 0,2-0,5mm	Silte 0,05-0,002mm	Argila 0,002mm		
A	0-15	0	100	24	45	25	6	83	4,17
(B)	15-35	1	99	21	45	27	7	86	3,86
C	35-70	8	92	28	40	30	2	50	12,00

Classificação textural	Massa específica		Porosidade total	Umidade a 15 atm.	Umidade a 1/3 atm.	Água disponível	pH	
	Aparente	Real					H ₂ O	KCl N/1
Fr. Arenoso	1,37	2,60	47,4	8,77	13,07	4,30	4,3	3,9
Fr. Arenoso	1,58	2,62	39,7	5,34	9,82	4,48	4,7	3,9
Fr. Arenoso	1,75	2,66	34,3	2,23	7,21	4,98	5,8	4,7

Complexo sortivo (meq/100g de solo)								V	100 Al
Cálcio	Magnésio	Potássio	Sódio	S	Magnésio	Alumínio	T	100 S/T	S + Al
1,76	0,10	0,14	0,09	2,09	4,30	0,56	6,95	30	21,1
0,40	0,21	0,06	0,07	0,74	1,17	0,65	2,56	29	46,8
0,40	0,25	0,02	0,09	0,76	0,40	0,10	1,26	60	11,6

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ki	Kr	Carbono %	Nitrogênio %	Relação C/N	Matéria orgânica	P ₂ O ₅ Assimil. mg/100g
5,49	2,06	0,10	4,53	4,42	1,78	0,13	13,7	3,07	2,3
5,46	2,56	0,10	3,63	3,56	0,42	0,05	8,4	0,72	0,9
4,47	2,31	0,20	3,29	3,13	0,15	0,03	5,0	0,26	-

Anexo 1. Cont.

Análises Físicas e Químicas
Município: São Félix do Xingu (PA)

Perfil n.º 08

Classificação: Gleí Pouco Húmico Álico

Horizonte	Profundidade cm	Na amostra seca ao ar %		Composição granulométrica Dispersão com NaOH				Grau de floculação	Silte % Argila %
		Cascalho 20-20mm	Terra fina 2mm	Areia grossa 2-0,2mm	Areia fina 0,2-0,05mm	Silte 0,05-0,002mm	Argila 0,002mm		
Ap	0-10	0	100	60	22	6	12	67	0,50
A3	10-15	0	100	46	26	7	21	67	0,33
(B1)g	35-70	0	100	47	21	8	24	42	0,38
(B2)g	70-120	0	100	45	17	11	27	26	0,41

Classificação textural	Massa específica		Porosidade total	Umidade a 15 atm.	Umidade a 1/3 atm.	Água disponível	pH	
	Aparente	Real					H ₂ O	KCl N/1
Ar. Franca	1,21	2,60	53,5	9,17	11,56	2,39	5,3	5,0
Fr. Arg. Aren.	1,30	2,64	50,8	9,56	11,86	2,29	4,6	4,2
Fr. Arg. Aren.	1,43	2,64	45,9	11,31	14,55	3,24	4,5	4,0
Fr. Arg. Aren.	1,41	2,68	47,4	12,76	15,82	3,06	4,6	3,9

Complexo sortivo (meq/100g de solo)								V _S / 100 T	100 Al S + Al
Cálcio	Magnésio	Potássio	Sódio	S	Hidrogênio	Alumínio	T		
4,36	0,32	0,14	0,06	4,88	3,42	0,05	8,35	58	1,0
0,32	0,13	0,06	0,04	0,55	3,29	1,31	5,15	11	70,4
0,07	0,14	0,06	0,02	0,29	2,40	1,56	4,25	7	84,3
0,05	0,15	0,06	0,03	0,29	1,03	1,61	2,93	10	84,7

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Kl	Kr	Carbono %	Nitrogênio %	Relação C/N	Matéria orgânica	P ₂ O ₅ Assimil. mg/100g
6,78	3,88	0,10	2,97	2,93	2,51	0,21	12,0	4,33	2,6
9,54	6,99	0,20	2,32	2,28	1,10	0,10	11,0	1,90	1,3
12,87	10,14	0,40	2,16	2,11	0,60	0,70	8,6	1,03	0,6
15,49	12,87	0,20	2,05	2,03	-	-	-	-	-

Anexo 1. Cont.

Análises Físicas e Químicas
Município: São Félix do Xingu

Perfil n.º 09

Classificação: Laterita Hidromórfica Álica (plintossolo)

Horizonte	Profundidade cm	Na amostra seca ao ar %		Composição granulométrica Dispersão com NaOH				Grau de floculação	Silte % Argila%
		Cascalho 20-20mm	Terra fina 2mm	Areia grossa 2-0,2mm	Areia fina 0,2-0,05mm	Silte 0,05-0,002mm	Argila 0,002mm		
A11	0-20	0	100	29	50	14	7	86	2,00
A12	20-40	0	100	27	53	13	7	71	1,86
A2	40-70	3	97	30	52	12	6	67	2,00
B1	70-90	5	95	27	43	15	10	10	1,50
B2	90-140	29	71	24	20	12	44	11	0,27

Classificação textural	Massa específica		Porosidade total	Umidade a 15 atm.	Umidade a 1/3 atm.	Água Disponível	pH	
	Aparente	Real					H ₂ O 2	KCl N/1
Ar. Franca	1,31	2,61	49,9	5,84	10,83	4,99	3,9	3,5
Ar. Franca	1,45	2,65	45,3	5,18	9,08	3,91	4,3	3,5
Ar. Franca	1,65	2,63	37,3	3,86	6,02	2,16	5,0	3,8
Fr. Arenoso	1,61	2,66	39,5	9,52	13,58	4,06	4,9	4,0
Argila	1,18	2,70	56,3	31,03	38,04	7,01	5,0	3,8

Complexo sortivo (meq/100g de solo)								V S/ T	100 Al S + Al
Cálcio	Magnésio	Potássio	Sódio	S	Hidrogênio	Alumínio	T		
0,11	0,09	0,07	0,04	0,31	5,34	2,16	7,81	4	87,4
0,04	0,07	0,03	0,18	0,32	4,78	1,50	6,60	5	82,4
0,06	0,06	0,03	0,04	0,19	1,07	0,75	2,01	9	79,8
0,05	0,07	0,03	0,02	0,17	1,38	1,10	2,65	6	86,6
0,15	0,09	0,06	0,06	0,36	2,97	1,57	4,90	7	81,3

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	KI	Kr	Carbono %	Nitrogênio %	Relação C/N	Matéria orgânica	P ₂ O ₅ Assimil. mg/100g
5,46	2,31	0,10	4,02	3,93	1,35	0,12	11,3	2,33	0,7
4,97	2,56	0,10	3,30	3,23	0,75	0,08	9,4	1,29	0,6
5,21	2,56	0,20	3,48	3,32	0,19	0,03	6,3	0,32	0,8
6,96	5,12	0,40	2,31	2,21	-	-	-	-	-
18,58	16,31	8,91	1,94	1,44	-	-	-	-	-

Anexo 1. Cont.

Análises Físicas e Químicas
Município: São Félix do Xingu

Perfil n.º 10

Classificação: Solo Litólico Distrófico

Horizonte	Profundidade cm	Na amostra seca ao ar %		Composição granulométrica Dispersão com NaOH				Grau de floculação	Silte % Argila %
		Cascalho 20-20mm	Terra fina 2mm	Areia grossa 2-0,2mm	Areia fina 0,2-0,05mm	Silte 0,05-0,002mm	Argila 0,002mm		
A	0-18	27	73	33	31	28	8	63	3,50
C ₁	18-35	29	71	31	30	30	9	67	3,33
C ₂	35-65	23	77	33	30	31	6	50	5,16
IIC	65-90	47	53	23	24	33	20	0	1,65

Classificação textural	Massa específica		Porosidade total	Umidade a 15 atm.	Umidade a 1/3 atm.	Água disponível	pH	
	Aparente	Real					H ₂ O 2	Kcl N/1
Franco-arenoso	-	-	-	-	-	-	4,5	3,9
Franco-arenoso	-	-	-	-	-	-	4,8	4,0
Franco-arenoso	-	-	-	-	-	-	5,6	4,5
Franco	-	-	-	-	-	-	8,4	5,8

Complexo sortivo (meq/100g de solo)								V 100 S/T	100 Al A + Al
Cálcio	Magnésio	Potássio	Sódio	S	Hidrogênio	Alumínio	T		
1,25	0,30	0,10	0,03	1,68	2,50	0,80	4,98	34	32
0,47	0,17	0,06	0,03	0,73	1,01	0,80	2,54	29	52
0,52	0,17	0,05	0,05	0,79	0,00	0,50	1,29	61	39
1,06	1,55	0,05	1,08	3,74	0,00	0,00	3,74	100	0

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ki	Kr	Carbono %	Nitrogênio %	Relação C/N	Matéria orgânica	P ₂ O ₅ Assimil. mg/100g
4,04	5,61	1,39	1,22	1,06	0,63	0,08	8	1,08	0,30
4,77	5,36	1,19	1,51	1,33	0,37	0,05	7	0,63	0,11
3,56	5,10	1,39	1,19	1,01	0,14	0,02	7	0,24	0,11
9,35	5,36	1,79	2,87	2,45	0,13	0,02	7	0,23	0,11

ESTADO ATUAL DE CONHECIMENTO DE SOLOS DA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Ítalo Cláudio Falesi¹

RESUMO: A Amazônia brasileira possui uma superfície de 4.872.000 km², ocupando 65% do território amazônico continental. Acha-se recoberta, em sua maior extensão, pela floresta tropical úmida ou hiléia. A geologia é bastante diversificada, ocorrendo desde o Holoceno constituindo as várzeas férteis do rio Amazonas e seus afluentes de água barrenta até terrenos Pré-cambrianos de idade primitiva da terra, localizados no maciço das Guianas e do Brasil Central. A ação dos fatores de formação do solo resultou na existência de várias classes de solos, destacando-se os distróficos com uma abrangência percentual de 92%. Nesta categoria incluem-se, principalmente, os Latossolos, os Podzólicos Vermelho-Amarelos, as Areias Quartzosas, os Cambissolos e os Plintossolos. As classes de solos eutróficos constituem os 8% restantes, e estão representadas pelos Podzólicos Vermelho-Amarelos eutróficos, os Cambissolos eutróficos, as Terras Roxas eutróficas, Gleis Pouco Húmicos, Gleis Húmicos e Aluviais também eutróficos, constituindo a várzea com uma área estimada em 19.000.000 ha. A atividade agropecuária é desenvolvida principalmente nos Latossolos e Podzólicos Vermelho-Amarelos, ambos de baixa fertilidade química, constituindo um sério problema à produtividade das culturas.

Termos para indexação: Solos, Amazônia, estado atual.

PRESENT KNOWLEDGE OF THE SOILS OF THE BRAZILIAN AMAZONIA

ABSTRACT: The Brazilian Amazon region having an area of 4,872,000 km² occupies about 65% of the continental Amazon territory. The major part of the area is covered by humid tropical forest. Its geology is highly diversified, going from holocenec forms, constituting fertile lowland soils of the Amazon river and its tributaries with muddy water, to pre-cambrian terrains of the primitive age of the earth, located in the dense forests of Guyana and Central Brazil. The action of soil forming factors resulted in the formation of different soil types with the majority (92%) of them being dystrophic in nature. Principally included in this category are Latosols, Red-yellow Podzolics, Sandy Quartz, Cambisols, and Plinthosols. The remaining 8% of the soils are eutrophic in nature and include eutrophic types of Red-yellow Podzolics, Cambisols, "Terra Roxa", Low Humic Gleys, Humic Gleys and Alluvial soils. The last three soil types constitute flood plains as "varzeas" whose occurrence is estimated to be 19 million ha. The agricultural activities developed primarily on Latosols and Red-yellow Podzolics, both of low chemical fertility, present serious problems of crop productivity.

Index terms: Soils, Amazon, present knowledge.

¹Eng. Agr. EMBRAPA-CPATU, Caixa Postal 48, CEP 66000, Belém, PA.

Na Amazônia brasileira, além da presença da floresta pluvial ou Hiléia, estendendo-se na maior parte da bacia fluvial amazônica e do baixo Tocantins, ocorrem outras formações vegetais, inclusive não florestais, como as "caatingas", os campos e as campinas, os campos de várzeas, além das florestas não hileianas (Pires 1973).

A Hiléia, de acordo com Ducke & Black (1954), está delimitada em função da ocorrência do gênero *Hevea*, que no Brasil, ocorre nos Estados do Amazonas, Pará e Acre e no Território do Amapá; além do noroeste do Estado do Maranhão, o centro do Estado de Mato Grosso e Território Federal de Rondônia e a metade sul do Território Federal de Roraima (Fig. 1).

Esta exuberante floresta tropical, muitas vezes tida como um indicador de fertilidade do solo, é em sua quase totalidade, função do clima. A temperatura e a umidade reinantes são propícias a uma rápida e intensa germinação de sementes, bem como de brotação de inúmeras espécies. A reciclagem de nutrientes existentes no binômio solo-planta-solo, em que as inúmeras trocas são ainda pouco conhecidas, é a responsável pela manutenção da floresta. Assim é que folhas, ramos, flores e restos de animais que caem ao solo são imediatamente atacados pelos agentes de decomposição (fungos, bactérias, térmitas e outros). O material decomposto forma uma estreita camada (0-10 cm) fértil que se mistura à superfície mineral do solo de onde são retirados os elementos nutritivos indispensáveis à manutenção da vegetação florestal. Este ciclo é contínuo e a maior parte dos nutrientes localiza-se na própria vegetação (Falesi et al. 1980).

A floresta hileiana desenvolve-se em várias unidades pedogenéticas, principalmente Latossolos, Podzólicos e Areias Quartzosas todas dotadas de baixos níveis de nutrientes, identificadas pelos baixos valores de saturação de bases permutáveis, como também baixa capacidade de troca catiônica.

Na vasta extensão da floresta pluvial, nota-se a ocorrência de áreas abertas relativamente extensas, denominadas de campos e se pequenas de campinas (Ducke & Black 1954). Os campos têm sua formação influenciada não somente pelas características do solo, mas também, pelo microclima e as campinas provavelmente somente pelas condições edáficas, sendo exclusivamente áreas formadas por solos extremamente arenosos (Falesi 1972).

De acordo com Ducke & Black (1954), a estrutura dos campos naturais está ligada a formações herbáceas de espécies alheias à Hiléia, normalmente pertencentes à flora do cerrado do Brasil Central.

As campinas são predominantemente pobres de gramíneas, com uma flora pertencente à Hiléia e identificada à "caatinga amazônica".

Identifica-se como vegetação de "caatinga" as matas de árvores de porte baixo e de folhagem decídua do nordeste seco brasileiro, não tendo, no entanto, nenhuma relação ou afinidade com a "caatinga amazônica" (Rodrigues 1961).

A "caatinga amazônica" desenvolve-se em terras firmes onde o solo é excessivamente arenoso, contendo no horizonte A do perfil, teor relativamente elevado de matéria orgânica que é suficiente para manter as espécies arbóreas (baixas) e arbustos, com ocorrência de árvores altas, associadas em alguns locais (Falesi 1969).

Noutros, a fisionomia desta formação botânica é formada por arbustos e árvores de pequeno porte com altura bastante uniforme.

Segundo Ducke & Black (1954) e Pires (1973) a "caatinga amazônica" não apresenta nenhuma identidade com outra qualquer formação florestal e também com os campos.

Os campos de várzeas são formações periodicamente inundadas pela água dos rios barrentos. Possuem uma flora típica, herbácea, predominando as gramíneas. Os solos hidromórficos aí desenvolvidos, normalmente, apontam boa fertilidade química.

O clima é quente e úmido, observando-se três tipos distintos de acordo com a clas-

sificação de Köppen: Afi, Ami e Awi (Lorente 1966) (Fig. 2 e Tabela 2).

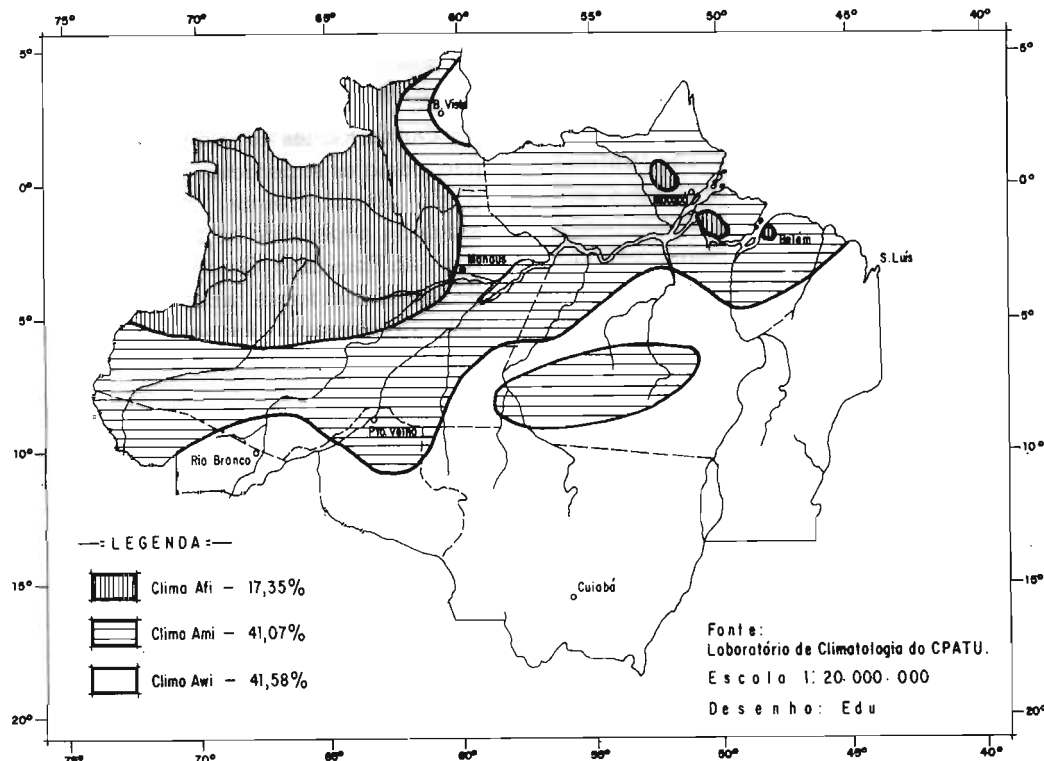


FIG. 2 Amazônia Legal: tipos climáticos segundo Köppen.

TABELA 2. Dados médios calculados de todas as estações climatológicas existentes na Amazônia Legal.

Mês	Precipitação pluvio métrica em mm			Temperaturas °C									Insolação			Umidade relativa		
	Afi	Ami	Awi	Afi			Ami			Awi			Hora e décimo			% Afi Ami Awi		
				Tmx	Tx	Tmin.	Tmx	Tx	Tmin.	Tmx	Tx	Tmin.	Afi	Ami	Awi	Afi	Ami	Awi
Janeiro	298,4	264,4	241,4	30,5	25,6	21,7	30,7	26,2	21,4	30,7	25,4	21,5	170,8	133,5	166,3	88,5	82,8	83,7
Fevereiro	271,6	326,3	249,8	30,5	25,5	21,6	30,3	26,0	22,3	30,7	25,3	30,6	131,7	111,6	135,8	88,3	84,7	84,9
Março	307,3	373,8	303,9	30,5	25,6	22,3	30,2	25,9	22,3	30,6	25,4	21,5	126,0	121,0	149,4	88,5	84,6	85,3
Abril	324,4	332,9	303,9	30,3	25,5	21,7	30,3	26,0	22,4	30,9	24,1	21,3	138,6	126,2	187,0	89,4	84,7	84,1
Maio	292,8	278,3	107,0	30,6	25,3	21,8	29,1	26,0	22,3	31,3	25,2	20,3	181,0	129,3	215,3	89,3	79,6	80,2
Junho	216,5	160,3	43,6	30,4	23,5	21,2	30,7	26,0	21,9	47,4	24,6	18,7	208,4	188,6	242,0	88,7	82,3	76,4
Julho	149,6	133,5	27,3	30,0	24,9	20,8	31,1	26,1	21,5	32,0	24,4	24,1	183,7	219,1	270,7	87,7	79,0	70,7
Agosto	137,6	75,2	13,8	31,1	25,5	20,8	32,0	26,7	21,9	33,5	24,3	18,5	184,3	239,8	260,1	86,3	78,0	65,6
Setembro	144,6	60,9	40,6	31,8	25,9	21,3	31,9	27,0	22,2	36,6	26,6	20,6	170,3	211,8	224,8	85,1	76,4	67,8
Outubro	169,0	63,6	101,9	31,7	26,0	21,6	32,6	27,3	22,5	32,9	27,9	21,3	244,8	197,8	210,3	86,1	77,3	74,0
Novembro	184,5	101,6	156,5	31,6	26,1	21,7	33,4	27,3	22,6	31,9	28,0	21,6	219,9	171,3	185,9	86,6	78,4	78,4
Dezembro	307,7	154,6	202,2	31,1	25,8	21,7	31,7	26,6	22,5	31,2	25,7	21,6	152,9	157,3	180,2	86,9	79,9	81,8
Totais	2.804,0	2.325,4	1.791,9	30,8	25,4	21,5	31,2	27,2	22,2	33,3	25,4	21,8	2.112,4	2.007,3	2.427,8	87,6	80,6	77,7

Fonte: Ministério da Agricultura — 2.º DISME

O Afi é o clima dos arredores de Belém e da parte centro-oeste da região (alto Amazonas). É chuvoso o ano todo (média de 2.800 mm/ano), com umidade relativa do ar elevada com cerca de 90% de média anual e a temperatura média anual de

26°C, ocupando 847.682 km², correspondendo a 17,35% da área total (Bastos 1982).

O tipo Ami ou de "monção" é chuvoso (média 2345 mm/ano), porém com um cur-

to período de estiagem, sendo compensado com os elevados índices de umidade relativa, cerca de 80%/ano e representa 2.050.000 km² com 41,07% da região (Bastos 1982).

O tipo Awi, com uma média anual de precipitação pluviométrica da ordem de 1790 mm/ano e 77% de umidade relativa, atinge o sul do Pará, norte de Goiás e norte de Mato Grosso. Tem uma estação seca bem pronunciada com um outro período chuvoso. As temperaturas chegam a atingir extremos, embora em um período muito pequeno do ano. No norte de Goiás varia de 8°C a 40°C; no Maranhão de 11°C a 39,7°C e no período de "friagem", fenômeno ocasionado pelas invasões de ar polar, a temperatura cai bastante nos Estados do Acre e Mato Grosso, além do Território Federal de Rondônia com índices de 4°C e 6°C. O município de Cáceres, no Mato Grosso, apresenta variações extremas com valores oscilando de 5°C a 40°C. Este tipo climático abrange uma área de 2.075.000 km² representando 41,58% da Amazônia Legal.

As condições climáticas amazônicas são complementadas por total de brilho solar anual situados entre 2000 e 2400 horas (médias), excelentes ao desenvolvimento de plantas tropicais, constituindo-se também um ambiente propício à incidência de pragas e moléstias.

O relevo é bem variado, ocorrendo desde as planícies de inundação, conhecidas regionalmente por várzeas, sendo planas e alagadiças durante o período das cheias ou das marés, até as Serras e Superfície de Arrasamento do Escudo das Guianas.

Margeando o Amazonas, distribui-se a grande bacia terciária formada por terrenos variando desde o plano até o ondulado, constituindo a Planície e Baixos Planaltos com altitudes inferiores a 100 m.

No relevo da Amazônia nota-se grandes contrastes quando compara-se as Serras e Superfícies de Arrasamento do Escudo

Guiano com a presença do Pico da Neblina com 3.014 m, considerado o ponto culminante do revelo brasileiro e o Monte Roraima, com 2.275 m de altitude com as terras baixas alagadiças de origem holocênica situadas próximo ao nível do mar.

Outras formas de relevo ocorrem na região, como as superfícies de Aplainamento do Brasil Central com modelado ondulado, separando as bacias do Paraná e do São Francisco. Os chapadões do Brasil Central com forma tabular, como a Chapada dos Parecis, Pacaas Novos (Brasil 1981).

No aspecto geológico, a Amazônia possui terrenos desde idades primitivas da terra, como os localizados no Maciço Guiano até as terras baixas, que constituem as várzeas de solos férteis de formação recente e sedimentar.

Os sedimentos depositados durante o Terciário, responsáveis pela formação da bacia amazônica, são de constituição mineralógica e química pobre de nutrientes, resultando de sua evolução diagenética solos de baixa fertilidade e também de baixa capacidade de troca catiônica, como consequência da presença dominante da argila do tipo caulinita.

No mapa geológico do Brasil (Brasil 1981) observa-se uma grande faixa alongada em forma de leque ladeando o Amazonas ao norte e ao sul constituindo os depósitos terciários, cujos sedimentos têm composição pobre em reserva de minerais essenciais à nutrição dos vegetais. Esta grande faixa tem cerca de 1.500.000 km² de superfície.

Da evolução diagenética desses sedimentos desenvolveram-se solos de características pedogenéticas latossólicas (Oxisolo), assim como Podzólicos Vermelho-Amarelos (Ultissolo), Areias Quartzosas (Entissolo), e solos Concrecionários Lateríticos, todos de baixa fertilidade química e portanto distróficos (Tabela 3 e Fig. 3).

TABELA 3. Áreas e distribuição porcentual das principais classes de solos da Amazônia brasileira.

Unidade de solo	ha	%
- Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico (Alfissolo)	275.000	0,05
- Brunizem Avermelhado (Alfissolo)	350.000	0,07
- Terra Roxa Estruturada (Alfissolo)	1.625.000	0,33
- Terra Roxa Estruturada, Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico (Alfissolo)	4.075.000	0,82
- Cambissolo Eutrófico, Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico (Cambissolo, Alfissolo)	14.025.000	2,81
- Solos Glei Pouco Húmico e Glei Húmico (Várzeas) (Entissolo)	19.000.000	3,81
- Solos Distróficos (Latossolos, Podzólicos, Areias Quartzosas, Plintossolos, Cambissolos)	459.702.000	92,11
Totais	449.052.000	100,00

Fonte : Falesi (1982)

HISTÓRICO

O conhecimento científico dos solos da Amazônia brasileira teve início praticamente em 1955 com a criação da Seção de Solos do Antigo IAN — Instituto Agrônomo do Norte, base física atual do CPATU — Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido — EMBRAPA. Até então, o conhecimento dos solos desta grande e discutida região baseava-se em estudos normalmente realizados por naturalistas, geólogos ou citações em publicações científicas. Assim, poucos eram os estudos referentes a solos da Amazônia, citando-se o grande Atlas Soviético do Mundo, que registrava uma imensa mancha de laterita em área representativa da Amazônia geográfica e a região das várzeas do Amazonas como solo aluvial; Marbut & Manifold (1926) em "The soil of the Amazon Basin in Relation to Agricultural Possibilities"; citações de Mohr e Van Baren em "Tropical Soils"; publicações de Felisberto Camargo, referindo-se ao antigo quartenário da região bragantina; descrição de perfis e análises de solos do então Território Federal do Guaporé (atual Estado de Rondônia) e de locais do Estado do Pará realizados no Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Norte e Instituto Agrônomo de Campinas por A.W. Dick e Walter B. Mors; os solos do Território Federal do Amapá de Luís Rainho Carneiro

e referências de Pendleton e Prescott em Laterite and Lateritic Soils. Posteriormente, estudos de classificação (as primeiras tentativas) do solo de Day (1959) e, bem como, de Levantamento Expedido dos Solos da Área de Caeté-Maracaçumé; trabalhos de Win G. Sombroek como Amazon Soils (1966) e o relatório dos solos da rodovia Belém-Brasília, além da zona do Mogno do Araguaia; e registra-se historicamente o primeiro levantamento pedológico realizado em 1958 pela equipe da antiga Seção de Solos do IAN, intitulado "Levantamento de Reconhecimento dos Solos da Região Bragantina", que constituiu o Vol. 2. da separata da Revista Agropecuária Brasileira, 1967. Após este estudo, inúmeros outros foram realizados por equipes da mesma seção em diversas áreas ou regiões da Amazônia, estrategicamente selecionadas por suas situações geográficas ou econômicas.

Mais de uma centena de milhar de amostras colhidas de perfis representativos de unidades pedológicas e analisadas no laboratório de solos do ex-IAN e ex-IPEAN, atual CPATU, definiram conscientemente não somente as classes de fertilidade das terras, mas também caracterizaram com segurança a gênese e a classificação dos solos da Amazônia brasileira.

Felisberto Camargo (1943) foi de fato o pioneiro da pesquisa de solos na Amazô-

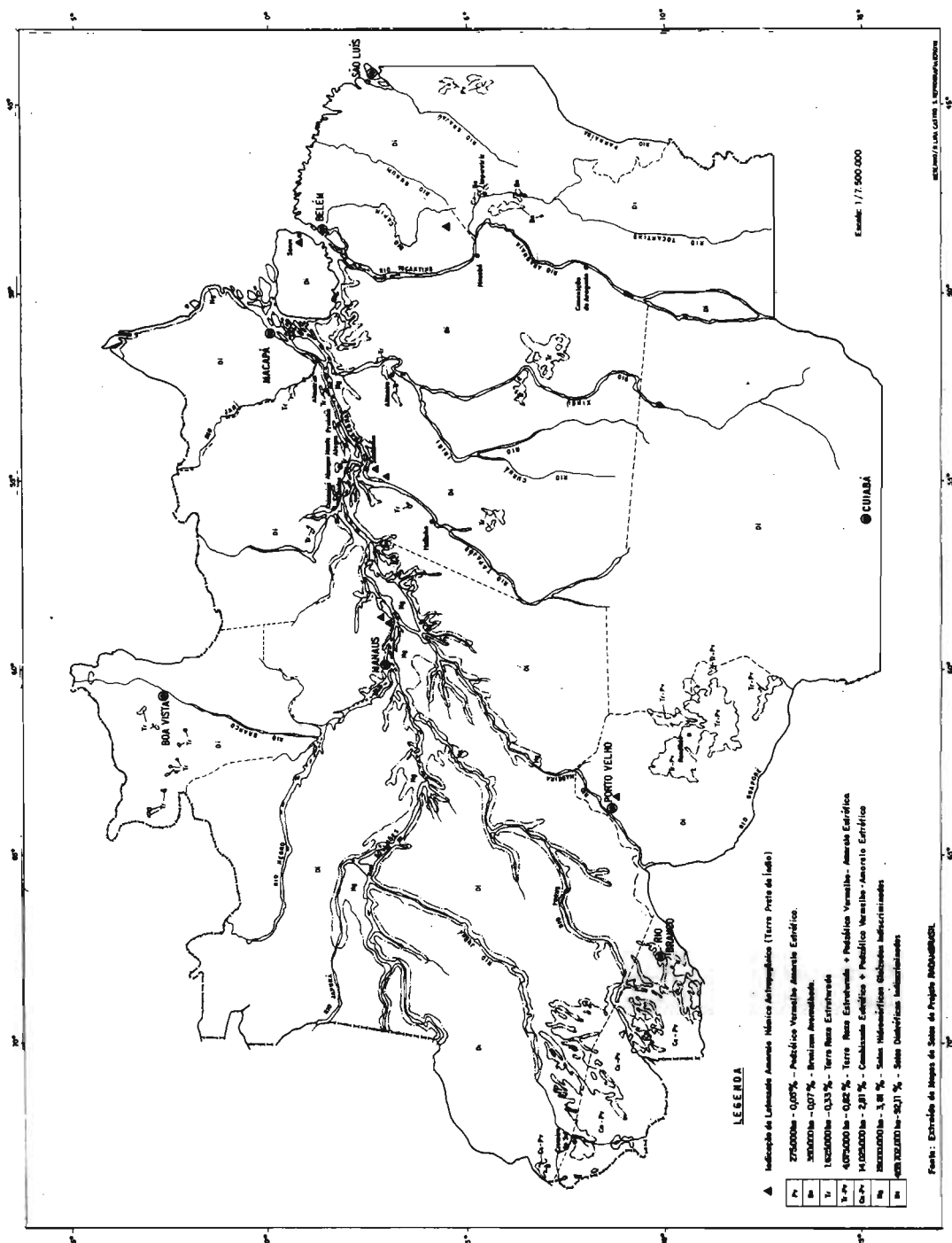


FIG. 3. Amazônia Legal - Ocorrências de Solos Distróicos e Eutróicos 1984

nia, usando moderna metodologia pedológica. Na oportunidade, foram colhidos por ele mesmo e com auxílio de técnicos do ex- IAN (Instituto Agrônomo do Norte) perfis de solos em locais previamente selecionados pertencentes às seguintes unidades geológicas Quaternário antigo e atual, Terciário, Carbonífero, Algonquiano e Arqueano.

As análises foram executadas pelo Instituto Agrônomo de Campinas — IAC e Instituto de Química, do Rio de Janeiro. Essas análises constaram de determinação de valores físicos, constantes químicas e petrográfica-mineralógicas.

O primeiro perfil de solo colhido na Amazônia (Camargo 1943) foi efetivado a 2 de março de 1941, em área de floresta do antigo IAN. Este perfil tomou o número 397, quando protocolado na Seção de Solos do IAC (Processo 1322/1941). O solo pertencia ao Quaternário antigo.

Os perfis de solo colhidos em terrenos do novo Quaternário foram selecionados em Marajó, Pará, e em áreas do Baixo Amazonas no Médio Solimões.

Salienta-se que na região do Baixo Amazonas, os perfis foram colhidos por Marbut e Manifold (Camargo 1943).

Os perfis relativos ao Terciário foram estudados em Belterra, localizada a 180 m de altitude, formando a chapada do Baixo Amazonas. Neste local foram colhidos perfis de Terra Amarela argilosa, correspondente, hoje, ao Latossolo Amarelo Álico textura muito argilosa e a famosa Terra Preta do Índio, solo com interferência pedogenética antropogênica.

As amostras de perfis relativos ao Carbonífero foram sacadas em Fordlândia, rio Tapajós, município de Itaituba, Pará. O perfil de n.º 452, analisado no IAC, constituiu a primeira Terra Roxa identificada na Amazônia brasileira (Camargo 1943). Esse perfil foi localizado no bloco do seringal n.º 53, em frente a Estação de Látex.

O perfil correspondente ao Algonquiano foi estudado por Camargo, em área do castanhal "Fortaleza", localizado à margem

esquerda do rio Araguaia, em floresta hi-leiana.

O estudo dos solos em terrenos pertencentes ao Arqueano, foi realizado em 1942, por A.W.J. Dyck, técnico do IAN, tendo como assistente o engenheiro agrônomo Mário Menegheti. A excursão tinha como objetivo subir a região do rio Jacu-Paraná, cuja finalidade era pesquisar o solo da zona do norte de Mato Grosso.

A excursão foi interrompida devido aos membros da equipe terem contraído a malária, além de infecções intestinais (Camargo 1943).

O advento em outubro de 1970 do Projeto Radam - Radar na Amazônia, utilizando técnica moderna de imagens de radar escala 1:250.000, além de outros sensores remotos, possibilitou em um curto espaço de dez anos, acionando-se equipes multidisciplinares, constantes de especialistas em solos, geologia, geomorfologia, climatologia, vegetação e uso potencial da terra, mapear os solos da Amazônia brasileira, utilizando-se como mapa de publicação final a escala 1:1.000.000. Os mapas de solos obtidos através deste sistema tecnológico, embora definam unidades associadas de mapeamento, constituem excelente ferramenta para a seleção de áreas com características físicas viáveis à execução de prospecções a nível mais detalhado, visando a um melhor planejamento de utilização da terra.

O Projeto Radam cobriu uma área de 4.600.000 km², o que corresponde a 54% do território nacional. Essa superfície abrange os Estados do Pará, Amazonas, Acre, Rondônia, Mato Grosso, Goiás, Maranhão, Piauí e os Territórios Federais de Roraima e Amapá.

A pesquisa realizada pelo Projeto Radam abrange geologia, geomorfologia, vegetação, solos e uso potencial da terra. O mapeamento geológico baseia-se no estudo das províncias geológicas de cada área prospectada descrevendo-se com algum detalhe todas as unidades identificadas.

Do mesmo modo, o estudo geomorfológico focaliza os aspectos da evolução geo-

morfológica, do relevo, os problemas da cartografia geomorfológica para as escalas do mapeamento e as soluções encontradas. Retrata também, as grandes unidades morfoestruturais e morfoclimáticas.

O mapeamento dos solos, a nível exploratório, procura identificar e caracterizar os principais solos e sua distribuição na área em estudo. Como parte integrante da pesquisa dos solos, reporta-se sobre o aspecto de aptidão agrícola, descrevendo-se os sistemas, tanto de manejo primitivo como de manejo desenvolvido.

No aspecto da vegetação apresenta um detalhado estudo fitogeográfico das áreas prospectadas, análise dos resultados de inventário florestal, a nível regional, realizado nos diferentes tipos de vegetação, fornecendo ainda informes básicos para uma avaliação global dos recursos florestais, principalmente a madeira. Para este estudo usou-se o processamento de dados, obtidos através de computador IBM 370/145 em FORTRAN-IV-Básico.

O mapeamento da Amazônia, através do Projeto Radam, sem dúvida colocou os conhecimentos básicos da região em poder dos diversos especialistas em um curto espaço de tempo.

Registra-se a importante contribuição ao conhecimento do solo da região, realizada pelo Ministério da Agricultura através da ex-Divisão de Pesquisa Pedológica, atual Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (EMBRAPA-SNLCS) com a publicação do Mapa Esquemático de Solos, relativo às regiões Norte, Meio Norte e Centro-Oeste do Brasil, 1.^a Aproximação escala em 1:5.000.000, 1966, onde toda a Amazônia acha-se incluída. Em 1975 foi editado o Boletim Técnico n.º 17 da Divisão de Pesquisa Pedológica, posteriormente o Centro de Pesquisas Pedológicas órgão da EMBRAPA, constituindo o texto explicativo do referido mapa de solos. Este estudo recebeu a contribuição do convênio MA-CONTAP-USAID/BRASIL.

Em 1981, a EMBRAPA-SNLCS publicou o Mapa de Solo do Brasil, escala

1:5.000.000, estando incluída a região amazônica, tendo nesta oportunidade sido feitas as correções devidas no relativo às unidades de mapeamento constantes do mapa esquemático de solos editado em 1966.

O Mapa de Solos do Brasil constitui o primeiro mapa pedológico do país, resultante dos informes colhidos dos levantamentos de solos, realizados nos últimos 30 anos. As unidades de mapeamento são, na quase totalidade, associações geográficas de solos, correspondentes a classes de categorias de grande grupo (Camargo 1981).

A partir de 1976 o SNLCS criou a Frente Regional Norte de Trabalho cujo objetivo é o estudo dos solos com maior detalhe de toda a região amazônica. Uma equipe de pedólogos sediada em Belém, no CPATU, executa a programação constante de levantamentos pedológicos, principalmente a nível de reconhecimento com alta, média e baixa intensidade, tendo, até o presente momento, sido prospectadas 22 importantes áreas da região.

Estes estudos de solos têm como finalidade definir a classificação, a correlação, bem como a legenda preliminar, para melhor conhecimento dos solos da Amazônia.

Deve-se registrar a importante contribuição que a equipe de solos do IDESP — Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Pará deu através da caracterização e mapeamento dos solos da parte baixa da ilha de Marajó, tradicional centro pecuário da região.

Tomando-se por base os levantamentos pedológicos executados na Amazônia, estima-se que, cerca de 92% de sua extensão territorial está ocupada por solos de baixa fertilidade química, onde os Latossolos (Oxisolos) e os Podzólicos Vermelhos Amarelos Distróficos (Ultissolos) constituem mais de 75% de toda a extensão (Tabela 3).

As áreas baixas, alagadiças, que vêm sendo formadas pela sedimentação recente do período holoceno e que constituem as várzeas amazônicas, ocupam 19 milhões de hectares, representando apenas 3,81% da superfície da Amazônia. (Tabela 3).

As propriedades físicas e químicas das principais classes de solos identificadas na região estão caracterizadas através de da-

dos analíticos relativos a pedis representativos (Tabela 4).

TABELA 4. Resumo de dados analíticos selecionados de classes de solos mais representativos da região amazônica (Valores médios).

Hor.	Prof. cm	Areia		Silte	Argila	M.O.	pH		Al ⁺⁺⁺	S	T	V	Saturação de alumínio	P ₂ O ₅	SiO ₂	
		grossa	fina	%	total		natural	H ₂ O	KCl	meq/100g	%		mg/100g	mg/100g	Al ₂ O ₃ %	
		%			%		%									
Latossolo Amarelo Álico textura média, floresta hileiana (Oxisolo)																
A	0-30	60	10	6	23	11	1,10	4,2	4,0	1,00	0,15	4,67	4	86	0,17	2,17
B	40-150+	56	10	6	25	0	0,28	4,6	4,2	0,50	0,12	1,99	6	80	0,14	1,70
Latossolo Vermelho-Amarelo Álico textura argilosa, floresta hileiana (Oxisolo)																
A	0-20	6	12	33	49	3	2,16	4,2	3,8	1,60	0,40	7,50	5	80	0,10	2,06
B	80-110	4	8	25	63	0	0,51	5,3	4,3	0,40	0,30	3,70	8	57	0,10	1,92
Latossolo Vermelho-Escuro Álico textura média, floresta semi-decídua (Oxisolo)																
A	0-30	46	22	8	21	7	1,44	4,6	4,0	1,00	0,50	5,10	10	67	0,30	1,91
B	40-150	42	23	5	29	8	0,76	4,4	4,2	0,40	0,80	2,86	32	34	0,28	1,60
Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico textura argilosa, floresta hileiana (Alfissolo)																
A	0-25	35	34	24	9	2	2,30	5,5	5,1	0,00	5,50	7,00	73	0	1,20	2,70
B	50-150	22	20	19	39	0	0,36	5,2	4,0	1,00	2,80	4,10	44	36	0,22	1,62
Podzólico Vermelho-Amarelo Álico textura argilosa, floresta hileiana (Ultissolo)																
A	0-25	58	19	9	13	6	1,08	4,0	3,5	0,80	1,27	5,32	22	39	0,30	3,00
B	50-150	42	19	9	38	2	0,41	4,2	3,8	0,81	0,50	3,61	13	62	0,25	2,10
Areia Quartzosa Álica, capoeira (Entissolo)																
A	0-35	81	14	3	2	1	0,60	5,0	4,1	0,80	0,16	1,67	13	83	0,11	1,30
B	50-150	76	16	2	6	1	0,38	4,9	4,3	0,60	0,12	2,26	4	83	0,11	1,42
Latossolo Amarelo Concrecionário Álico textura argilosa, floresta hileiana (Oxisolo)																
Acn	0-25	46	5	12	37	13	3,40	3,6	3,4	2,20	0,27	10,12	3	90	0,35	1,20
Bcn	50-150	18	7	15	60	0	1,55	4,1	3,8	0,90	0,16	5,50	3	85	0,12	1,25
Cambissolo Eutrófico textura argilosa, floresta hileiana (Cambissolo)																
A	0-25	1	11	52	36	25	2,26	5,6	5,1	0,00	17,25	23,50	93	0	1,22	2,30
(B)	40-70	0	9	47	44	33	0,46	5,0	4,5	3,80	23,25	28,60	81	14	0,30	3,55
Cambissolo Álico textura média, floresta hileiana c/babaçu (Cambissolo)																
A	0-15	4	20	47	29	18	2,05	4,6	3,5	3,63	2,17	9,91	21	63	0,24	2,84
B	15-50	3	15	61	21	16	0,48	4,6	3,5	4,39	0,45	5,55	8	91	0,14	2,62
Terra Roxa Estruturada Eutrófica textura argilosa, floresta hileiana (Alfissolo)																
A	0-30	13	12	34	41	27	6,00	6,6	5,8	0,00	23,50	25,15	91	0	1,05	2,60
B	60-150	16	10	31	43	15	0,60	6,6	5,5	0,20	5,35	6,25	87	3	0,55	2,50
Latosol Roxo Eutrófico textura argilosa, floresta hileiana (Alfissolo)																
A	0-40	21	21	29	29	7	1,98	6,8	5,9	0,50	9,32	11,20	82	5	0,55	2,02
B	50-150	23	17	23	37	0	0,51	6,8	6,1	0,00	3,12	4,11	80	0	0,55	1,67
Terra Preta do Índio (Latossolo Amarelo Múmico Antropogênico textura argilosa)																
A	0-40	8	9	46	37	6	6,00	6,2	5,4	0,10	32,00	38,00	79	0	60,23	2,05
B	50-150	5	15	39	41	21	0,80	6,0	5,3	0,20	4,33	7,00	61	4	82,42	2,10
Vertissolo A chernozêmico, textura argilosa, capoeira (Rocha calcária) (Vertissolo)																
A	0-60	11	14	30	45	13	2,36	6,4	5,4	0,10	29,66	32,34	92	0	0,55	3,97
C	60-120	18	19	39	24	1	0,34	7,8	6,4	0,00	59,09	59,10	100	0	0,55	6,01
Vertissolo A chernozêmico, textura argilosa, pastagem (Rocha básica) (Vertissolo)																
A	0-30	8	22	33	33	8	3,08	6,0	5,2	0,10	28,85	32,72	88	0	0,55	2,66
C	30-150	40	23	23	14	1	0,26	6,3	4,5	0,10	20,65	22,68	91	0	0,55	4,78
Solos Litólicos Eutróficos textura argilosa (Entissolo)																
A	0-30	4	38	34	24	4	2,54	6,2	5,1	0,10	9,97	13,35	75	1	0,29	3,72
C	30-50	2	18	33	47	7	0,50	5,1	3,7	2,85	8,60	13,84	62	25	0,28	2,67
Glei Pouco Múmico Eutrófico textura siltosa, floresta de várzea (Várzea Solimões) (Entissolo, Inceptissolo)																
A	0-30	2	2	69	27	24	1,50	5,3	4,3	0,25	20,50	23,50	85	2	9,01	
Cg	50-120	1	1	59	38	35	0,70	6,3	5,2	0,11	24,50	25,75	95	0	4,67	
Glei Pouco Múmico Eutrófico, floresta de várzea (Várzea Estuário) (Entissolo, Inceptissolo)																
Ag	0-30	2	1	75	25	14	1,83	5,10	3,7	1,80	9,02	14,92	62	17	1,20	3,60
Cg	50-120	5	4	46	54	38	0,80	4,70	3,4	5,06	10,34	18,70	59	30	0,25	2,62

TABELA 4. Continuação.

Hor.	Prof. cm	Areia		Argila		M.O.	pH		Al ⁺⁺⁺	S	T	V	Saturação de aluminio %	P ₂ O ₅ mg/100g	SiO ₂ mg/100g	Al ₂ O ₃ Ki	%	
		grossa	fina	%	total		natural	H ₂ O										KCl
		%					meq/100g											
<u>Solo Aluvial Eutrófico textura siltosa (Várzea do Solimões - Dique Marginal) (Entissolo)</u>																		
A(I)	0-20	13	23	49	15	11	0,33	5,3	4,0	0,30	12,65	15,24	85	2	20,78			
C(II)	60-150	12	23	52	13	11	0,41	6,6	4,8	0,10	14,62	15,29	94	1	24,67			
<u>Solo Orgânico, floresta de igapó (Igapó) (Histossolo)</u>																		
A/01	0-25	1	1	65	33		47,08	4,5	3,4	8,57	6,13	69,06	10	59				
<u>Plintossolo Álico textura argilosa, capoeira (Oxissolo)</u>																		
A	0-30	3	21	39	37	12	2,06	4,4	3,3	5,49	0,54	11,28	5	91		0,55		
Bp1	50-150	3	15	30	52	12	0,70	4,8	4,0	6,03	0,38	9,33	4	94		0,25		
<u>Podzol Hidromórfico, caatinga amazônica (Spodossolo)</u>																		
A ₁	0-20	79	14	4	3	0	1,60	4,0	2,6	1,21	0,47	6,40	7	27		0,80		
A ₂	20-100	88	6	3	3	2	0,27	4,3	3,5	0,30	0,44	2,24	17	40		0,28		
B _h	100-130	79	6	7	8	1	3,02	4,8	4,3	1,07	0,76	13,25	13	58		0,62		
<u>Areia Quartzosa, campina (Entissolo)</u>																		
A	0-12	83	11	5	1	x	2,60	3,6	2,5	1,15	0,33	8,25	4	78		0,55		
C	48-130	74	23	3	x	x	0,09	5,0	4,1	0,10	0,12	2,68	4	45		0,33		
<u>Solonetz-Solodizado, textura argilosa, campo natural (Aridissolo)</u>																		
A	0-30	x	x	52	48	32	2,02	4,5	3,3	6,02	5,86	18,25	32	51		0,45	2,39	
B	40-100	1	x	34	65	60	0,84	5,2	4,0	1,30	19,48	24,53	79	6		0,58	2,43	
C	150-175	x	x	27	73	73	0,62	6,9	5,8	0,00	30,41	30,41	100	0		3,19	1,88	

S - Soma de bases permutáveis

T - Capacidade de troca (S + H + Al)

V - Saturação de bases permutáveis

AS PRINCIPAIS CLASSES DE SOLOS

Latossolo

Os Latossolos constituem uma classe de solos que possuem de baixos a altos teores de óxidos secundários e baixos em sílica podendo não conter material laterítico como parte do perfil. O termo Latossolo é usado por alguns taxonomistas para os solos contendo um horizonte B óxico ou latossólico. Este horizonte diagnóstico é triável, poroso, de coloração amarelada, vermelho-amarelo, vermelho ou ainda vermelho-escuro. A estrutura é fraca, em forma de bloco subangular ou granular. Não há filmes de material coloidal, revestindo os agregados de estrutura (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1981).

O perfil é profundo, bem drenado, tendo sequência de horizontes do tipo A, B, e C, sem A₂; A textura varia de média à argilosa com baixa relação textural. A tran-

sição do A para o B é gradual, sendo no entanto difusa dentro do B, com difícil contraste entre si.

São solos cujos valores de pH (H₂O) estão em torno de 4,2 e o alumínio permutável entre 1 e 2 meq/100g de solo. Os teores de bases trocáveis são baixos, e a soma de bases, valor S, é inferior a 1 meq/100g de solo. A saturação de bases, valor V%, é menor do que 15%, sendo, portanto, considerados solos distróficos ou de baixa fertilidade. A capacidade de troca catiônica, valor T, também é baixa, indicativo da predominância de argila do tipo 1.1., caulinita. Os teores de fósforo assimilável também são baixos no perfil e os valores de matéria orgânica são mais elevados no horizonte A decrescendo consideravelmente com a profundidade do solo. Apresenta variação textural de média a argilosa, respectivamente com teores de argila entre 15% e 35% e acima de 35%.

A diferença entre o Latossolo Amarelo e o Latossolo Vermelho-Amarelo diz respei-

to principalmente ao teor de óxido do ferro. É mais elevado no segundo com percentagens menores do que 9% e menor no Amarelo, com percentual menor que 7%.

A maior distribuição geográfica dos Latossolos pertence ao grande grupo Latossolo Amarelo, ocorrendo principalmente na calha terciária amazônica.

Os Latossolos Vermelho-Amarelos distribuem-se prioritariamente ao norte do rio Amazonas em terrenos arqueanos do Maciço Guiano, bem como ao longo da rodovia Transamazônica e norte de Mato Grosso.

Os Latossolos Vermelho-Escuros ocorrem principalmente em Rondônia e ao norte de Mato Grosso, e assemelham-se bastante ao Latossolo Roxo, diferindo, no entanto, pelo material de origem. No Latossolo Vermelho-Escuro o material parental é pobre de minerais e como consequência resulta um solo de baixa fertilidade. O Latossolo Roxo é originado de rochas básicas, como o diabase formando um solo com alto teor de minerais ferromagnesianos. Estes solos possuem elevada fertilidade ocorrendo no Baixo Amazonas e na rodovia Transamazônica (Falesi 1972a) e em Rondônia (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1982a).

Os Latossolos ocorrem na Amazônia ocupando uma grande extensão e são, juntamente com os Podzólicos Vermelho-Amarelos, os solos mais representativos da região, sendo resultantes da ação dos fatores de sua formação, principalmente o clima atuando sobre o material originário, os sedimentos cauliniticos do terciário, tendo estágio avançado de intemperização.

São encontrados os Latossolos Amarelos, os Vermelho-Amarelos e os Vermelho-Escuros (Falesi 1972a), que apresentam as características modais da subordem Latossolo do sistema americano de 1938 de Baldwin, revisado em 1949 por Thorp e Smith (Baldwin et al. 1938) e recentemente pelo sistema brasileiro de classificação de solos, 2ª aproximação (1981).

Podzólico Vermelho-Amarelo

Os Podzólicos Vermelho-Amarelos são solos com perfis bem desenvolvidos, com presença ou não de um horizonte A_2 , bem a moderadamente drenado, com horizonte A fraco (ocrico) sobre um horizonte B argílico. O horizonte A quando desenvolvido um A_2 , este é descolorido como consequência da perda de argila, sendo também mais arenoso. O horizonte B é estruturado, em forma de bloco subangular com revestimento de filmes de material coloidal indicativo do movimento de argila no perfil. A coloração é normalmente avermelhada ou vermelho-amarelado e quase sempre de textura argilosa, ocorrendo no entanto as unidades de textura média.

Estes solos, de acordo com o material originário, podem ser distróficos ou eutróficos. Os primeiros são os mais comuns. Os Podzólicos distróficos, cuja saturação de bases é inferior a 50%, possuem baixa fertilidade com valores de pH (H_2O) situados entre 4 e 5 e alumínio trocável normalmente entre os valores de 1 a 2 meq/100g. Na Transamazônica ocorrem Podzólicos Vermelho-Amarelos desenvolvidos de folhetos pertencentes ao denoviano, cujos teores de alumínio permutável situam-se entre 5,00 e 10,00 meq/100g de solo, constituindo-se solos problemas (Falesi 1972). A saturação de alumínio possui valores acima de 50% indicativos de solos álicos.

Os Podzólicos Vermelhos eutróficos, ao contrário, possuem média - alta fertilidade, com valores de saturação de bases acima de 50% e consequentemente de saturação de alumínio abaixo de 50%.

Há uma grande variação neste grande grupo na Amazônia, ocorrendo áreas com Podzólico Vermelho-Amarelo Concrecionário, Podzólico Vermelho-Amarelo Cascalhento, Podzólico Vermelho-Amarelo Plúntico, além de outros.

Desenvolvem-se em terrenos onde a topografia é variável, desde suave ondulada a forte ondulada. No entanto, a mais obser-

vada é a suave ondulada com presença de colinas e/ou outeiros.

Solos Concrecionários Lateríticos

São atualmente classificados como Latossolo Amarelo ou Vermelho-Amarelo, caso possuam B latossólico, e Podzólico Vermelho-Amarelo se apresentarem B textural. Em ambos os casos adota-se o critério de fases de pedregosidade, que referem-se à presença de calhaus e matações na massa do solo e/ou na superfície do mesmo, em quantidades tais que tornam impraticável o uso de máquinas agrícolas (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1979).

Na Amazônia, é clássica a ocorrência de solos bem desenvolvidos apresentando no perfil nódulos arredondados ou com outras formas, endurecidos, ricos em óxidos de ferro e alumínio com interligação de grãos de quartzo, conhecidos por laterita ou vulgarmente "piçarra". Apresentam um perfil medianamente profundo, com B latossólico ou B argílico, de coloração normalmente amarela-avermelhada e estrutura subangular mascarada pelas concreções.

De uma maneira geral são solos distróficos ou álicos, ocorrendo em áreas reduzidas, com menos de 3% da superfície da Amazônia. No Território Federal do Amapá esta unidade tem sua maior representatividade (Falesi 1964).

Cambissolo

O Cambissolo possui perfil com B incipiente (B câmbico), não hidromórfico, com certo grau de desenvolvimento, porém não suficiente para decompor totalmente os minerais primários de mais fácil intemperização.

Possui perfil com horizontes A, (B) e C, sendo A de pequena espessura e o horizonte câmbico pode aparecer à superfície, se o solo for truncado, ou estar imediatamente abaixo de um epipedon diagnóstico. Os

processos de formação do solo modificaram ou alteraram bastante o material originário, formando estruturas se a textura for adequada. Não possui acumulação em quantidades significantes de óxidos de ferro, argila e humus para serem considerados como solos de B argílico (Estados Unidos 1975).

Os Cambissolos podem ser eutróficos ou distróficos. Os últimos são encontrados ao longo da Transamazônica, como na BR-174, rodovia que liga Boa Vista ao Marco BV-8 na fronteira com a Venezuela, e Estado do Acre (Brasil 1976). As unidades eutróficas são encontradas principalmente no Estado do Acre, ocupando grandes extensões, localizando-se entre os rios e Iaco e Tarauacá, nas coordenadas $8^{\circ}10' a 10^{\circ}45'$ de latitude sul e $69^{\circ}00'$ e $72^{\circ}00'$ de longitude WGr.

Ocorrem em revelo desde suave ondulado a forte ondulado, notando-se comumente afloramentos rochosos, nas áreas de maior movimentação do terreno.

Terras Roxas

As Terras Roxas são os solos mais importantes, sob o ponto de vista de fertilidade, que se desenvolvem na Amazônia (Fig. 4).

A expressão "Terra Roxa" é usada no Brasil para designar solos de procedência básica, de **fertilidade elevada**, **coloração vermelha**, com **tonalidade violácea** e quase sempre de **textura argilosa**.

As Terras Roxas são classificadas em Terra Roxa Estruturada quando apresentam B textural e Latossolo Roxo, na hipótese de B latossólico. Ambas podem ser eutróficas ou distróficas, dependendo dos valores de alta ou baixa saturação de bases.

Na região amazônica, a Terra Roxa Estruturada ocupa maior extensão geográfica, tendo sido encontrada em vários locais, enquanto o Latossolo Roxo localiza-se principalmente no Baixo Amazonas e na rodovia Transamazônica (Falesi 1982b).

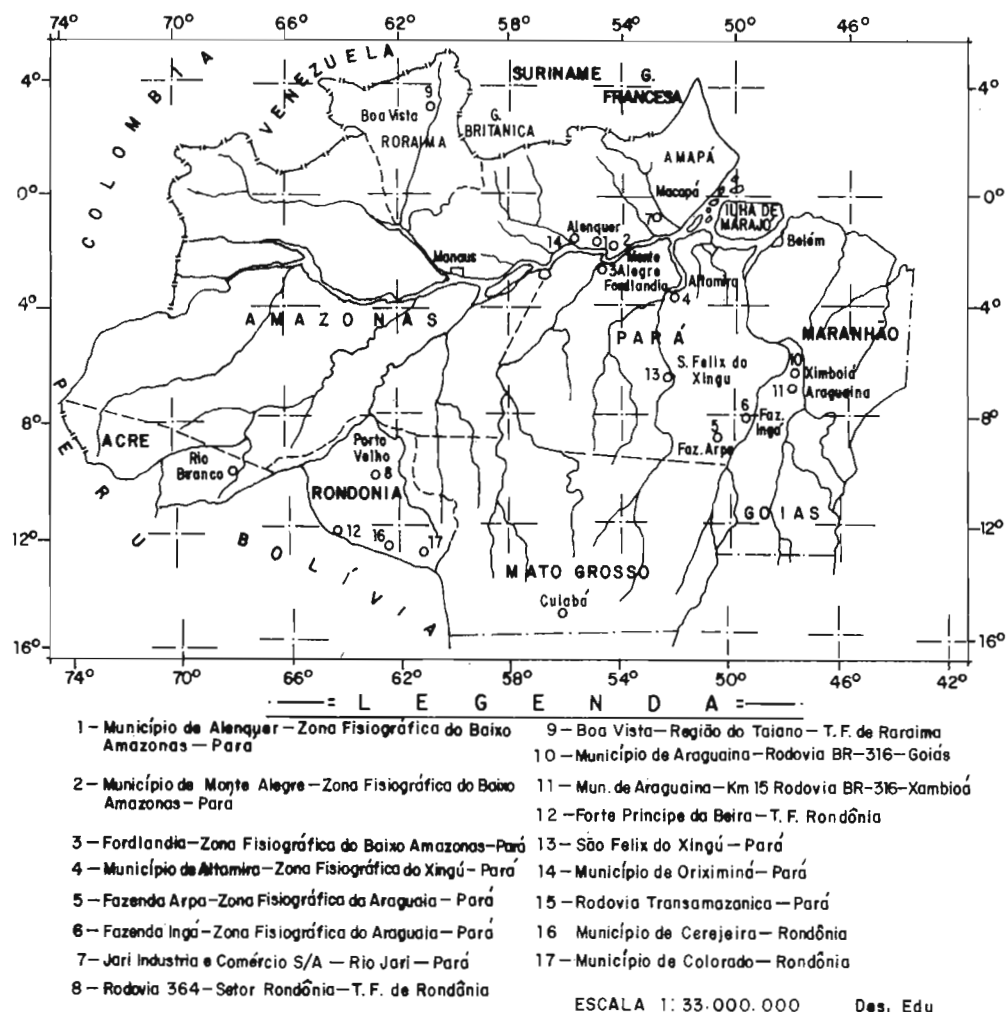


FIG. 4. Ocorrência das Terras Roxas na Amazônia brasileira.

A Terra Roxa tem origem a partir da meteorização de rochas básicas, que, no Brasil, aparecem, principalmente, durante o período rético, pelo diastrofismo paraense, acompanhado de derrames de lavas básicas, atingindo grandes áreas. Pelo fato dessas lavas recobrirem extensas regiões da Bacia do rio Paraná, O.A. Derby, citado por Oliveira & Leonardo (1943), designou esse derrame de Trapp do Paraná.

É fato já comprovado que o derrame do Paraná e sul do Brasil não ficou limitado a estas regiões tendo, também, atingido outras zonas como a Amazônia, chegando até a Venezuela e Guianas.

As áreas conhecidas, em função das vias de penetração atual, permitem estimar a ocorrência de manchas de Terras Roxas, cobrindo cerca de 3.600.000 hectares em território amazônico, sendo Altamira (Transamazônica), Rondônia, Baixo Amazonas e São Félix do Xingú os locais de sua maior presença.

As características pedogenéticas das Terras Roxas as destacam da grande maioria dos solos brasileiros, se comparadas não só quanto às propriedades físicas e químicas, mas sobretudo à sua elevada produtividade.

Brunizem Avermelhado

São solos minerais, não hidromórficos, medianamente profundos, moderadamente drenados, com A chernozêmico e B textural. Possuem permeabilidade moderada no horizonte superficial e lenta no B, condicionando a uma alta susceptibilidade à erosão, se desprotegidos (Falesi 1972b).

Tem um perfil, onde a sequência de horizonte é do tipo A, B, e C e o A possui espessura em torno de 35 cm, com coloração no matiz 10YR. A textura é quase sempre franco argilosa e a estrutura é granular e subangular. A consistência determinada com solo úmido pode variar de friável a firme e, quando molhado, é plástico e pegajoso. Transita gradualmente para o horizonte iluvial.

O horizonte B tem uma espessura em torno de 50 cm e varia de bruno-escuro a vermelho-amarelado, nos matizes 7,5YR e 5YR. A textura é da classe argilosa e a estrutura tem a forma de bloco subangular e angular, sendo fraca a moderadamente desenvolvida. A consistência determinada com o solo úmido é firme e quando molhado é plástico e muito plástico e pegajoso e até muito pegajoso. É evidente a presença de cerosidade moderadamente desenvolvida, recobrimdo as unidades estruturais.

No relativo às suas propriedades químicas são estes solos considerados como possuindo médios a altos teores de nutrientes, tendo saturação de bases elevada e baixa saturação de alumínio, sendo deste modo dotados de alta potencialidade agrícola.

Ocorrem em alguns locais associados a Terra Roxa Estruturada eutrófica e ocupam reduzida extensão na região amazônica — cerca de 350.000 ha.

Latossolo Amarelo Húmico Antropogênico (Terra Preta do Índio)

Na Amazônia ocorrem em áreas reduzidas, e em vários locais um solo com o horizonte A de coloração preta, argiloso, muito fértil e com presença notável de fragmentos

de cerâmica, sendo conhecido regionalmente como Terra Preta do Índio.

Este solo ocorre em manchas de terra de forma normalmente de lentes circulares, estando a parte plana voltada para cima, não ocupando grandes extensões. É um solo de alta fertilidade e com horizonte eluvial de coloração negra, devido ao elevado teor de matéria orgânica. Além dessa característica, apresenta elevados teores de fósforo assimilável, cálcio e magnésio trocáveis.

Uma outra característica deste solo é a presença notável de fragmentos de cerâmica indígena, principalmente localizadas no horizonte antrópico já tendo motivado várias hipóteses a respeito da origem destas terras.

As Terras Preta do Índio, já estudadas, apresentam normalmente uma sequência de horizontes A, B e C, tendo como característica mais evidente, um horizonte A chernozêmico, antrópico, preto, friável, húmico, normalmente com alto teor de argila, ligeiramente ácido, rico em bases trocáveis principalmente cálcio e magnésio, além de elevadíssimo teor de fósforo assimilável. Trata-se de um horizonte normalmente profundo com variação entre 30 e 100 cm. A média, no entanto, está em torno de 55 cm, sendo este horizonte mais profundo no centro da mancha circular (Falesi 1972a).

O horizonte B, ao contrário, é de coloração amarelada ou avermelhada, argiloso, de friável a firme com ou sem cerosidade, estrutura subangular, moderadamente desenvolvida, podendo, no entanto, ser maciça, porosa, coesa, desfazendo-se em terra fina, sendo plástico e pegajoso ou ligeiramente pegajoso.

Os teores dos elementos químicos são mais baixos quando comparados com o horizonte A. O fósforo mantém-se bastante elevado neste horizonte. O cálcio trocável, assim como o magnésio, apresenta teores elevados. Os valores de matéria orgânica determinado pelo cálculo do carbono apresenta-se no horizonte A variando de 1,5% a 10%, sendo os teores mais baixos

pertencentes ao horizonte de transição para o B. A matéria orgânica no horizonte iluvial é bem mais baixa variando de 0,44% a 2,00%.

A saturação de bases trocáveis determinada pelo valor V% é bastante elevada no perfil, cabendo ao horizonte A os teores mais elevados. Neste horizonte, o índice V varia de 50% a 90% e no B de 30% a 70%. Trata-se, portanto, de um solo eutrófico. A capacidade de troca catiônica, ou seja, o conteúdo de bases até a saturação expressa em equivalente miligrama apresenta-se com valores mais elevados no horizonte A devido a presença notável do teor de matéria orgânica. Varia de 13,00 a 61,00 meq/100g de solo no horizonte A e no B variando de 4,00 a 12,00 meq/100g de solo.

São solos com pouca extensão geográfica, sendo encontrados em toda a região, em pequenas manchas circulares, principalmente no Baixo Amazonas, Xingu, Purus, Urubu, etc. (Falesi 1972a).

Vertissolos

Os vertissolos são solos com as seguintes características: elevados valores de argila; maior do que 30 meq/100g de capacidade de troca catiônica em todos os horizontes abaixo de 5 cm superficial; gretas desde a superfície do solo até o horizonte A; presença de "gilgai"; ocorrência de "slickensides" agregados de estrutura em forma de cunha ou de paralelepípedos com inclinação entre 10° e 60° com a horizontal e a presença de horizontes cálcicos (Estados Unidos 1975). O tipo de argila é predominantemente montmorilonita e pode ser originado de rochas calcárias e básicas (Falesi 1972b).

Os Vertissolos durante o período chuvoso ficam muito molhados e na época da estiagem tornam-se muito secos, com formação de rachaduras com início à superfície do solo estendendo-se até vários centímetros de profundidade, e alcançando por vezes o horizonte C.

Os Vertissolos de origem calcária, com formação geológica atribuída ao Carbonífero e Pré-Cambriano, têm um perfil com horizontes A, C e R, onde A é espesso, e de coloração preta, muito argiloso e com elevada saturação de bases. A estrutura é forte, pequena e média em forma de bloco subangular, ocorrendo também a prismática e a colunar, sendo observado entre os elementos de estrutura, filmes de material coloidal assim como "slinkensides", estes entre as massas do solo.

O horizonte C está dividido em C₁, C₂, C₃, etc., com elevados teores de sais solúveis principalmente carbonato de cálcio observando-se abundantes concreções formadas pela precipitação desse sal. A coloração pode ser bruno-acinzentada-escuro, bruno-oliva-claro ou tonalidades cinzas.

Tem muito baixos teores de matéria orgânica, porém, elevados valores de saturação de bases, de soma de bases e de capacidade de troca, e como consequência a saturação de alumínio é neutralizada pelos elevados teores de bases trocáveis, principalmente de cálcio e magnésio.

Os de origem calcária, ocorrem em vários locais da região amazônica, sendo as áreas de maior expressão as localizadas na rodovia BR-174 em Roraima e em Monte Alegre, Baixo Amazonas (Falesi 1972a), em relevo plano.

Solos Litólicos

Em áreas de relevo forte ondulado e/ou montanhoso, com afloramentos rochosos e em especial de formações pré-cambrianas desenvolvem-se solos pouco evoluídos, rastos, com perfis A, R ou A, C e R denominados de Solos Litólicos.

O perfil tem um horizonte A normalmente de coloração escura, de aproximadamente 25 cm de espessura, assente sobre a rocha matriz. A fertilidade destes solos depende do material originário ou da rocha, sendo férteis se o material é de procedência básica, calcário, folhelho calcário,

etc., e ao contrário, de baixa fertilidade, se originado de arenito, argilito, granito ácido ou rochas pobres de composição mineralógica.

Estes solos são encontrados em vários locais da Amazônia, principalmente onde o relevo é fortemente ondulado ou montanhoso, como nas Serras de Tumucumaque, Acaraí, Gorotire, Carajás, Parima, Pacaraima, Neblina e Roraima, entre outras (Brasil 1966).

Areias Quartzosas

Na Amazônia são encontradas algumas classes de solos cuja característica morfológica mais evidente é ser excessivamente arenosa.

Atualmente essas areias englobam solos constituídos de horizontes A e C, distinguindo-se, no entanto, os perfis com coloração amarelada, avermelhada, amarelo-amarelhada ou suas variações, constituindo o que se denominava de Areias Quartzosas Vermelho-Amarelas ou posteriormente Areias Quartzosas.

Os solos excessivamente arenosos, porém formados de areia branca e um horizonte A superficial escuro devido ao contato com o material orgânico da vegetação, eram conhecidos como Regossolos. Nestes solos repousam as vegetações de "caatinga amazônica", as campinas (Vieira 1962). Exames de perfis com o uso de máquinas (retro-escavadeira) permite alcançar, nestes solos, maiores profundidades, chegando a 3 ou 4 m, quando quase sempre se observa a presença de um horizonte de acumulação de ferro e matéria orgânica. Neste caso, o solo é um Podzol Hidromórfico.

No momento, esses solos, exceto o Podzol Hidromórfico, acham-se agrupados em uma só classe: a Areia Quartzosa. No entanto, em termos amazônicos, deve-se diferenciar perfeitamente as areias brancas das "caatingas" e campinas das areias coloridas.

As características básicas desta classe de solo podem ser mais resumidas: perfil profundo, muito permeável, excessivamente drenado, excessivamente arenoso, onde o teor de argila é inferior a 15%. A composição mineralógica é formada quase que exclusivamente de quartzo.

A fertilidade natural é muito baixa, salientando-se, no entanto, que o horizonte superficial arenoso escurecido de matéria orgânica, é que suporta através do equilíbrio biológico a vegetação que se desenvolve nestes solos.

As Areias Quartzosas têm sérias limitações ao uso agrícola por serem excessivamente arenosas e possuírem elevada carência de nutrientes.

As Areias Quartzosas que suportam as campinas e as caatingas têm origem na evolução diagênica de sedimentos arenosos pertencentes ao pleistoceno (Sakamoto 1957).

Solos de Várzeas

Na calha baixa do Amazonas e de seus afluentes barrentos, desenvolvem-se terras de formação recente, sedimentar, férteis, constituindo a planície de inundação. São áreas planas, baixas, de formação recente, sedimentar, margeando os rios, apresentando extensões variáveis, chegando em alguns lugares, como no Baixo Amazonas, a atingir alguns quilômetros (Sioli 1951).

De acordo com a formação desta planície distinguem-se três tipos de terrenos: a várzea alta (dique marginal), a baixa (back swamp) e o igapó, estando a várzea diretamente relacionada com o processo de sedimentação das partículas em suspensão nas águas dos rios (Lima 1956).

Nas várzeas altas, as partículas mais grossas sedimentam primeiro, portanto, próximo ao rio, ficando com nível topográfico mais alto. A composição granulométrica destes solos é constituída também por partículas mais grosseiras, sendo por isso melhor drenados. A medida que se afastam das margens dos rios para o interior, as par-

tículas sedimentadas vão se tornando mais finas e o terreno apresenta-se com nível topográfico mais baixo formando as várzeas baixas e por último o igapó.

Igapó são os baixios com água constantemente estagnada, e material em suspensão, matéria orgânica semidecomposta e reação muito ácida (Sioli 1951).

As principais várzeas da Amazônia são as formadas pelos rios de água branca ou barrenta, ricas em sedimentos organominerais. As várzeas do rio Amazonas, bem como a do estuário, são as de maior importância por serem as mais conhecidas e utilizadas tanto para a pecuária como para a agricultura.

A classe de solo mais representativa formadora da várzea é do Glei Pouco Húmico-eutrófico, constituindo o Glei Pouco Húmico e os Solos Aluviais as classes componentes complementares ao sistema várzea.

Fisicamente os solos da várzea alta do estuário apresentam teores elevados da fração silte e argila, vindo a areia fina como partícula mais grosseira, com valores muito baixos.

A análise dos elementos químicos evidencia a presença de cálcio e magnésio, principalmente deste último com teores altos. O potássio com teores baixos a médios e o sódio com valores médios. A matéria orgânica revela valores médios nos horizontes de superfície decrescendo consideravelmente com a profundidade do perfil. O pH é muito fortemente ácido (pH 4,5 a 5). A potencialidade elevada dos solos de várzea do estuário deve-se à periódica deposição dos sedimentos trazidos nas águas dos rios, renovando, com isso, constantemente os teores dos elementos nutritivos.

A várzea formada pelo rio Amazonas é morfológicamente semelhante a do estuário, porém, em alguns locais os solos possuem os teores de elementos químicos mais elevados. São solos desenvolvidos em relevo plano, inundável pelas águas do rio Amazonas por um período aproximadamente de seis meses, deixando depositado com isso material sedimentar. Esse material constitui-se principalmente de partículas fi-

nas de silte e argila e outros minerais, além de elementos orgânicos. É evidente a presença de fragmentos de muscovita dispersos no perfil do solo.

O solo da várzea do Amazonas é também de formação recente, quaternária do período holoceno. É de imperfeito à má drenado e de textura fina (argila siltosa), com percentagem alta da fração silte. O pH é de 5,5 ocorrendo, porém, valores abaixo deste (Falesi 1969).

O perfil é constituído de um horizonte A organo-mineral, pouco profundo, seguindo-se de horizontes fortemente gleizados (acinzentados) com abundância de mosqueados. Estas condições de gleização são ocasionadas pela oscilação do lençol freático, resultando processos de redução e oxidação nas diversas camadas destes solos. Quando estas camadas ou horizontes estão molhados, falta o ar e conseqüentemente o oxigênio; o ferro livre trivalente é reduzido. Quando o lençol freático baixa, o ar e o oxigênio podem entrar nas diversas camadas através dos poros e o ferro é oxidado. Esta oxidação, no entanto, não é homogênea; diversas partes, especialmente próximas das raízes e também das fendas, são oxidadas, enquanto outras partes ainda permanecem reduzidas. Tem-se então, como conseqüência, um perfil com matiz cinza e manchas amarelas e avermelhadas (Falesi 1972a).

Nas partes melhor drenadas, geralmente as localizadas em nível topográfico mais elevado, a estrutura é moderadamente desenvolvida, sendo a consistência plástica e pegajosa, permitindo uma elevada saturação de água durante o inverno.

Estes solos, ao contrário dos de terra firme, não apresentam boas propriedades físicas, no entanto, devido às sucessivas deposições de ricos sedimentos trazidos pelas águas do rio Amazonas, são considerados como solos de fertilidade química acima da média, com saturação de bases alta e portanto eutróficos.

Para utilização econômica destes solos, se torna necessário, no entanto, um estudo

racional, para o planejamento de um sistema de drenagem e possivelmente de irrigação, este último para o período de estiagem.

Ocorrem margeando o rio Amazonas, alguns de seus afluentes e na região do estuário, constituindo as excelentes várzeas férteis devido às inundações anuais e periódicas das águas lodosas, as quais deixam sobre elas depósitos das vazantes.

A área total estimada das várzeas na região amazônica, considerando-se toda a extensão de oeste a leste no território brasileiro, acompanhando o rio Amazonas e seus afluentes barrentos, é de 190.000 km² (Falesi 1982).

O Glei Pouco Húmico pode ser revestido pela floresta equatorial úmida de várzea ou pelos campos naturais, constituindo, neste último caso, excelentes pastagens para pecuária extensiva, como é o caso dos campos situados no Baixo Amazonas.

Igapós

Os igapós desenvolvem-se normalmente próximo às várzeas em locais de cota topográfica mais baixa e inundados por quase todo o ano.

O igapó, segundo Sioli (1951), constitui fundo de vales muito baixos, quase que permanentemente inundados, muito ácido e recobertos por uma floresta característica de inundação.

Os rios são de água preta, pobres portanto de sedimentos e a cor escura é devido à presença de material orgânico em decomposição no chão do igapó, sendo transformado parcialmente em húmus dissolvidos ou coloidalmente dissolvidos (Sioli 1952).

O igapó constitui um terreno mais estável se comparado com a várzea. É de formação mais antiga, apesar de holoceno e criado pela erosão e não pela sedimentação, daí sua diferença para a várzea (Sioli 1951).

O perfil do solo do Igapó, (Reserva Mocambo — EMBRAPA-CPATU) taxonomica-

mente denominado de Solo Orgânico o Meio Orgânico (Entissolo), constitui-se de uma camada superficial, escura, muito ácida, formada por material orgânico em decomposição devido ao excesso de água local durante grande parte do ano. O teor de matéria orgânica é muito elevado, alcançando 40%, tendo o cálcio 3,60 meq/100g de solo, o magnésio 1,90 meq/100g de solo, e o potássio 0,45 meq/100g de solo. O fósforo assimilável é elevado, com teor de 9,95 meq/100g de solo (43 ppm de P) e o nitrogênio com 2,08%. A análise granulométrica evidencia predominância das frações silte e argila, correspondendo, respectivamente, aos valores 65% e 35%. A areia grossa e a areia fina com 1% cada (Falesi 1972a).

O igapó, devido passar inundado todo o ano, é praticamente inaproveitado, nas condições naturais, para implantação de empreendimentos agrícolas.

Plintossolo

Na região ocorrem em áreas baixas de drenagem imperfeita, solos hidromórficos, com perfis bem definidos e evoluídos pedogeneticamente denominados de Plintossolos.

O Plintossolo (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1983b) corresponde ao grande grupo Laterita Hidromórfica ou ao "Ground Water Laterite" da classificação de Day (1959), que considerou as fases: húmica, baixa, arenosa e truncada.

A fase húmica apresenta como característica mais importante um horizonte A de cor preta, rico em matéria orgânica ácida, muito mal drenado e com a plintita desenvolvida desde a parte superior do horizonte B.

A fase baixa, tem perfil definido por um horizonte A excessivamente arenoso, tendo um A₂ muito espesso, assente ao Bpl argiloso.

A fase arenosa, como o nome indica, apresenta um perfil com os horizontes A e Bpl excessivamente arenosos.

A truncada desenvolve-se em terrenos elevados, com perfil fortemente desgastado, ácido, tendo concreções lateríticas maciçamente concentradas no horizonte A, com visível erosão geológica ocasionando a remoção do horizonte A e parte do B. As concreções lateríticas, inicialmente maciças, do antigo horizonte B, secaram e endureceram e com a erosão do material de granulometria mais fina, permaneceram em forma de fragmentos de laterita endurecida agora localizados na camada superficial, dando origem a um perfil truncado (Day 1959).

O Plintossolo é constituído por solos hidromórficos, fortemente desgastados, excessivamente ácidos, de drenagem deficiente, devido à natureza argilosa e compacta de seu sub-solo, bem como pela situação topográfica, sendo desenvolvidos a partir de sedimentos atribuídos ao quaternário recente.

Os processos responsáveis pela formação destes solos são a podzolização dando origem ao horizonte A₂, juntamente com a laterização tornando-se evidente a presença da plintita (Day 1959).

A plintita é característica mais importante do Plintossolo; consta de um material argiloso, altamente intemperizado, rico em sesquióxidos e pobre em humus, ocorrendo geralmente com mosqueados vermelhos, cinzentos brancos, com arranjo poligonal ou reticular, pendendo, irreversivelmente, para "hardpan" ou concreções sob condições especiais de umidade e secagem (Estados Unidos 1975).

O perfil apresenta uma seqüência de horizontes A, B e C com presença ou não de horizontes A₂. O horizonte A apresenta coloração cinza-muito-escuro com matiz 10YR e textura muito variável, sendo a estrutura moderada e forte, de pequena a média em forma de bloco subangular transitando para o horizonte B de forma clara e irregular ou ondulada.

O horizonte B é mais argiloso, muito mosqueado, com estrutura maciça desfazendo-se em forte, grande, subangu-

lar, com ocorrência de prismática. A "plintita" localiza-se neste horizonte.

São solos de baixa fertilidade, sendo evidenciada pelos baixos valores de soma de bases, capacidade de troca e saturação de bases. O fósforo também tem teores muito baixos, assim como o pH está em torno de 4,3 portanto excessivamente ácido. Como consequência da elevada acidez, o alumínio aparece com teores altos, com valores acima de 2,00 meq/100g de solo.

lhados durante o período chuvoso devido à drenagem deficiente, podendo, no entanto, serem formados em áreas com níveis topográficos elevados e portanto fora das inundações.

Ocorrem os Plintossolos nos campos baixos da ilha de Marajó, Pará (Falesi & Santos 1964); em grandes extensões nos municípios maranhenses de Pinheiro, Santa Helena, Maracaçumé, (Brasil 1973); em áreas do Pólo Roraima (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1983b); Pólo Amapá (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1982b); em áreas do Projeto de Colonização Apiaú no Território Federal de Roraima (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1982c) em Barreirinhas, Estado do Amazonas (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1982d); ao longo da rodovia Manaus-Porto Velho (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1983a); na gleba Machadinho localizada no município de Ariquemes-Rondônia (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1982a), além de outros locais.

Podzol Hidromórfico

Sob esta denominação estão agrupados os solos com evidentes características de podzolização apresentando perfis nos quais o horizonte superficial possui humus ácido, horizonte A₂ lavado, com um horizonte iluvial de acumulação de óxido de ferro ou humus e óxido de ferro (Falesi 1969).

O perfil é excessivamente arenoso notando-se um horizonte A_1 escuro devido à presença de matéria orgânica dissolvida no material quartzoso, seguido de um A_2 branco, cinza-claro ou cinza-brunado normalmente espesso, constituído quase exclusivamente de areia quartzosa, assente sobre um horizonte Bhir, rico em óxido de ferro e humus; compacto, cimentado, denominado de "Ortstein" ou "hardpan" (Klinge 1968).

A profundidade dos perfis de Podzol Hidromórfico estudados na região amazônica varia de 80 a 220 cm, onde o A_2 predomina em espessura sobre os outros horizontes, alcançando mais de 150 cm.

A denominação hidromórfica dada a estes Podzóis deve-se à presença do lençol freático durante o período chuvoso, oscilando no perfil atingindo principalmente o horizonte Bhir.

O Podzol Hidromórfico é um solo excessivamente ácido, muito pobre de bases trocáveis e com baixa capacidade de troca catiônica. Sua principal utilização é fornecer areia branca no horizonte A_2 para uso em construção civil.

São oriundos de sedimentos areno-quartzosos, atribuídos ao pleistoceno e desenvolvidos sobre condições de drenagem deficiente.

A cobertura é bem característica nestes solos, constituída pela caatinga, que pode ser arbórea, arbustiva ou parque.

São conhecidas as citações a respeito das "caatingas" do rio Negro por diversos especialistas (Ferri 1969, Rodrigues 1961, Vieira 1962, Pires & Rodrigues 1964 e Klinge 1967).

O Projeto Radambrasil (Brasil...1975) mapeou uma significativa área com ocorrência destes solos, ocupando extensa faixa localizada entre o Território Federal de Roraima e o Estado do Amazonas, estendendo-se até os bordos dos Planaltos Residuais de Roraima, sob influência da rede hidrográfica formada pelos rios Branco, Demini, Aracá e Caturamaru.

É também bastante notória a presença destes solos na região do alto rio Negro.

Solos Halomórficos

Os solos halomórficos (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas 1954) devem suas características não somente à presença de excesso de sais de sódio como ao predomínio desse elemento entre as bases trocáveis.

Os solos salinos ou alcalinos brancos ou ainda Solonchak da escola russa são constituídos de excesso de sais de sódio, sendo os cloretos e sulfatos os mais comuns e possuindo estrutura floculada. Durante a época seca apresentam eflorescências brancas de cloreto ou sulfato de sódio. Na época chuvosa esses sais são dissolvidos e temporariamente levados em profundidade até alcançar a água freática.

Os solos alcalinos ou Solonetz caracterizam-se pela presença de carbonato de sódio, com reação fortemente alcalina e se encontram em estado de desfloculação.

Estes solos são ainda identificados morfológicamente pela forte e bem desenvolvida estrutura colunar ou prismática com extremidades arredondadas onde normalmente acumulam-se sais de coloração branca. Esta estrutura é consequência do estado de desfloculação das argilas coloidais.

Na região amazônica são encontrados principalmente na costa atlântica e na ilha de Marajó (principalmente os Solonetz solodizado).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALDWIN, M.; KELLOGG, C.E. & THORP, J. Soil classification. **Yearbook of agriculture**. Washington, 1938. p.979-1.001.
- BASTOS, T.X. O clima da Amazônia brasileira segundo Köppen. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1982, 4p. (EMBRAPA-CPATU, Pesquisa em Andamento, 87).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Divisão de Geologia e Mineralogia. **Mapa Geológico do Brasil**. Rio de Janeiro, 1981. Esc.1:5.000.000.

- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias. **Mapa esquemático de solos; região Norte, meio-Norte e Centro Oeste do Brasil, 1.^a Aproximação.** s.l., USAID-Brasil, 1966. Esc. 1:5.000.000.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha NA. 20 Boa Vista e parte das folhas NA. 21 Tumucumaque, NB. 20 Roraima e NB. 21; geologia geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra.** Rio de Janeiro, 1975. 426p. (Brasil MME.DNPM. Levantamento de recursos naturais, 8).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Folhas SA.23/24, São Luís/Fortaleza; mapa exploratório de solos.** Rio de Janeiro, IBGE, 1973. Esc. 1:1.000.000 (RADAM. Projeto Levantamento de Recursos Naturais, 3).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha SC. 19 Rio Branco; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra.** Rio de Janeiro, 1976, 464p. (Brasil. MME. DNPM. Levantamento de Recursos Naturais, 12).
- CAMARGO, F.C. **Estudo de alguns perfis de solo coletados em diversas regiões da Hiléia.** Belém, IAN, 1943 (datilografado).
- CAMARGO, M.N. **Comunicado expositivo do Mapa de Solos do Brasil.** 1.500.000. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. V. 6 n.º 3. Rio de Janeiro, 1981.
- DAY, T.H. **Guide to the classification of the Late Tertiary and Quaternary Soils of the Lower Amazon Valley.** s.l., FAO, 1959. 59p. Mimeo.
- DUCKE, A. & BLACK, G.A. **Notas sobre a fitogeografia da Amazônia brasileira.** Belém, IPEAN. 1954. p.3-62. (IPEAN. Boletim Técnico, 29).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo, Rio de Janeiro, RJ. **Sistema brasileiro de classificação de solos; (2.^a Aproximação).** Rio de Janeiro, 1981. 107p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo, Rio de Janeiro, RJ. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras em 100.000 hectares da gleba Machadinho, no município de Ariquemes, Rondônia.** Rio de Janeiro, 1982a., 157p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim Técnico, 16).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo, Rio de Janeiro, RJ. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação de aptidão agrícola das terras da área do Pólo Amapá.** Rio de Janeiro, 1982b. 405p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim Técnico, 3).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo, Rio de Janeiro, RJ. **Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do projeto de colonização APIAÚ — Território Federal de Roraima.** Rio de Janeiro, 1982c. 175p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim Técnico, 14).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo, Rio de Janeiro, RJ. **Levantamento exploratório dos solos que ocorrem ao longo da rodovia Manaus-Porto Velho.** Rio de Janeiro, 1983a. 97p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim Técnico, 21).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo, Rio de Janeiro, RJ. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da área do Pólo Roraima.** Rio de Janeiro, 1983b. 368p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim Técnico, 18).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo, Rio de Janeiro, RJ. **Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola**

- das terras da área piloto do município de Barreirinha - Estado do Amazonas. Rio de Janeiro, 1982d. 101p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim Técnico, 9).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de solo. Rio de Janeiro, RJ. **Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos.** Rio de Janeiro, 1978. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Série Miscelânea, 1).
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. **Soil Classification a comprehensive sistem; 7th approximation.** Washington, 1975.
- FALESI, I.C. **Levantamento de reconhecimento detalhado dos solos;** trecho 150-171, da Estrada de Ferro do Amapá. Belém, IPEAN, 1964. p.1-53. (IPEAN. Boletim Técnico, 45).
- FALESI, I.C. **O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazônia brasileira.** Belém, IPEAN, 1972a. p.17-61. (IPEAN. Boletim Técnico, 54).
- FALESI, I.C. **Solos da rodovia Transamazônica.** Belém, IPEAN, 1972b. p.1-196. (IPEAN. Boletim Técnico, 55).
- FALESI, I.C. & SANTOS, W.H. dos. **Contribuição ao estudo dos solos da Ilha de Marajó;** Fazenda Espírito Santo. Belém, IPEAN, 1964. p.57-161. (IPEAN. Boletim Técnico, 45).
- FALESI, I.C.; VIEIRA, L.S. SILVA, B.N.R. da; RODRIGUES, T.E.; CRUZ, E. de S.; GUIMARÃES, G. de A. & LOPES, E. de C. **Levantamento e reconhecimento dos solos da Colônia Agrícola Paes de Carvalho;** Alenquer-Pará. Belém, IPEAN, 1970, 150p. (IPEAN. Solos da Amazônia, V.2 n.º 2).
- FALESI, I.C. **Fatores climáticos e a fertilidade de solos tropicais.** Belém, SAGRI, 1982, 34p.
- FALESI, I.C.; BAENA, A.R.C. & DUTRA, S. **Consequência da exploração agropecuária sobre as condições físicas e químicas dos solos das microrregiões do nordeste paraense.** Belém, EMBRAPA-CPATU. 1980. 14p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 14).
- FALESI, I.C.; CRUZ, E. de S.; PEREIRA, F.B.; LOPES, E. de C.; SILVA, B.N.R. da;
- ARAÚJO, J.V.; GUIMARÃES, G. de A. & SILVA, R.P. da. **Solos da área Manaus-Itacoatiara.** Belém, IPEAN, 1969. 116p. (Secretaria de produção do Estado do Amazonas. Estudos e Ensaios, 1).
- FERRI, M.G. **Contribution to the Knowledge of the ecology of the Rio Negro Catinga.** Bull. Res. Counc. Isr., Jerusalém, 8(3/4):195-208, 1960.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS, México, México. **Diagnostico y rehabilitación de suelos salinos y sodicos.** México, 1954. 172p. (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Manual de agricultura, 60).
- KLINGE, H. **Report on tropical Podzols.** Germany, FAO, 1968. 88p.
- KLINGE, H. **Podzol Soils, a source of Black - water river in Amazonia.** In: SIMPÓSIO SOBRE A AMAZÔNIA. Atas... Rio de Janeiro, CNPq, 1967. v.3. p.117-25.
- LIMA, R.R. **A agricultura nas várzeas do Estuário do Amazonas.** Belém, IPEAN, 1956. p.3-159. (IPEAN. Boletim Técnico, 33).
- LORENTE, J.M. **Meteorologia.** Rio de Janeiro, Labor, 1966.
- MARBUT, C.S. & MANIFOLD C.B. **The soil of the Amazon basin in relation to agricultural possibilities.** Geogr. R. 16:414-42, 1926.
- MENDES, A. **Viabilidade econômica da Amazônia.** Belém, UFPa, 1971.
- OLIVEIRA, A.I. de & LEONARDOS, O.H. **Geologia do Brasil.** Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, SIA, 1943. 813p. (Ministério da Agricultura, SIA. Didática, 2).
- PIRES, J.M. **Tipos de vegetação da Amazônia.** Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi, 1973. p.170-202. (Museu Paraense Emílio Goeldi, Publicações Avulsas, 20).
- PIRES, J.M. & RODRIGUES, J.S. **Sobre a flora das caatingas do Rio Negro.** In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 8, Recife, 1964. S.n.t. p. 242-62.
- RODRIGUES, W.A. **Aspectos fisiológicos das caatingas do rio Negro.** Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi, 1961. (Museu Paraense Emílio Goeldi. Boletim, 15).
- SAKAMOTO, **Trabalhos sedimentológicos, geomorfológicos e pedogenéticos re-**

- ferentes a Amazônia. Belém, FAO/SPVEA, 1957. 179p. Mimeo.
- SIOLI, H. **Alguns resultados e problemas da limnologia amazônica.** Belém, IPEAN, 1951. p.3-44. (IPEAN. Boletim Técnico, 24).
- SIOLI, H. **As águas da região do Rio Negro.** Belém, IPEAN, 1962. p.117-55. (IPEAN. Boletim Técnico, 32).
- VIEIRA, L.S. & OLIVEIRA FILHO, J.P.S. **As caatingas do Rio Negro.** Belém, IPEAN, 1962. p.5-32. (IPEAN. Boletim Técnico, 42).
- VIEIRA, L.S.; SANTOS, W.H.P. dos; FALESI, I.C. & OLIVEIRA FILHO, J.P.S. Levantamento de reconhecimento dos solos da região Bragantina, Estado do Pará. **Pesq. Agropec. Bras.** Rio de Janeiro, 2:1-63, 1967.

MATÉRIA ORGÂNICA E ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LATOSSOLOS E PODZÓLICOS DA AMAZÔNIA

Thomas Wilhelm Wollersen¹ e Saturnino Dutra²

RESUMO: Com a finalidade de estabelecer uma base de dados de referência, foi feita uma revisão bibliográfica de dados publicados, relativos a 172 perfis de latossolos e podzólicos dos Estados do Amazonas e Pará. Desta base de dados foram considerados para tratamentos estatísticos os seguintes parâmetros: profundidade e espessura dos horizontes, teores de carbono, nitrogênio e argila, capacidade de troca catiônica, alumínio trocável e pH. Alguns perfis tinham dados das densidades real e aparente. As cores foram incluídas como dados de campo. As análises estatísticas foram feitas com auxílio do sistema SAS. A fim de se conhecerem as médias e variabilidades características dos respectivos parâmetros, para os Estados e grandes grupos de solos, foram calculados: média, erro padrão e coeficiente de variação do horizonte superficial. Foram determinadas as correlações simples entre todas as variáveis para todos os perfis e grupos de perfis. Como critério de classificação foram calculadas as relações carbono = f (profundidade) e argila = f (profundidade). Com base nos perfis estudados, os podzólicos tem no primeiro horizonte teores de carbono semelhantes nos dois Estados, em torno de 3%. Nos latossolos, o teor médio decresce entre as regiões na seguinte ordem: Amazonas, Pará, e particularmente na zona bragantina. O teor médio de carbono nos perfis de capoeira, numericamente superior, é estatisticamente igual ao de mata primária. O volume de dados representativos de culturas perenes e anuais não permite comparações estatísticas, no entanto, os dados sugerem teores médios de carbono mais baixos. Em cerca de 60% dos perfis, existe uma estreita correlação entre o valor da cor e o teor de matéria orgânica dentro do perfil. Considerada independentemente dos perfis, a cor apresenta uma correlação negativa fraca com o teor de carbono nos podzólicos e uma correlação nula nos latossolos estudados. Considerando as regressões carbono = f (profundidade), argila = f (profundidade) e a magnitude do valor de dispersão-floculação como critérios de separação de latossolos e podzólicos, 45% dos perfis são classificados conforme a classificação na literatura, 45% recebem classificação contrária e 10% não podem ser classificados. Um enfoque multivariado será dado aos parâmetros coletados para se obter uma função discriminante, a fim de se caracterizar melhor as classes de solos nas áreas estudadas. É necessário, no futuro, ampliar a base de dados para a zona bragantina e solos cultivados, para fins de comparação em estudos de avaliação dos efeitos de técnicas de manejo da matéria orgânica.

Termos para indexação: Amazônia, Pará, Zona Bragantina, latossolos, podzólicos, matéria orgânica, classificação de solo, propriedades físico-químicas.

¹Eng. Agr. Ph.D. Convênio EMBRAPA-CPATU/GTZ, EMBRAPA-CPATU, Caixa Postal 48, CEP 66000, Belém, PA.

²Eng. Agr. M.Sc. EMBRAPA-CPATU.

ORGANIC MATTER AND SOME PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF OXISOLS AND ULTISOLS IN AMAZONIA

ABSTRACT: In order to establish a reference data base, published data of 172 profiles of latosols (oxisols) and podzolic soils (ultisols) of the states of Amazonas and Pará were gathered in a bibliographic research. The following parameters of that data base were considered for statistical treatment: depth and width of horizons, carbon, nitrogen and clay content, cation exchange capacity, exchangeable aluminum and pH. Some profiles had data on bulk density and density of solids. Colours were included as field data. Statistical analyses were made utilizing SAS programs. In order to determine means and variability of the different parameters for the two states and great soils groups, means, standard deviation and coefficient of variation for the surface horizon were calculated. Simple correlations were determined between all variables for all profiles and groups of profiles. The regressions $\text{carbon} = f(\text{depth})$ and $\text{clay} = f(\text{depth})$ were calculated as classification criterion. According to the profiles studied, ultisols show similar carbon contents (about 3%), in the surface horizon in the two states. In oxisols, however, mean carbon content decreases in the order Amazonas, Pará, Zona Bragantina. Mean carbon content of secondary forest profiles is numerically greater but statistically equal to that of virgin forest profiles. The data volume representative of permanent and annual crops does not allow statistical comparisons. However, the data suggest lower carbon content means. In about 60% of the profiles there is a strong correlation between colour value and organic matter content, within the profile. Independently from profiles, the colour exhibits a weak negative correlation with carbon content in ultisols and no correlation at all in the oxisols studied. Considering the regressions $\text{carbon} = f(\text{depth})$ and $\text{clay} = f(\text{depth})$ and the magnitude of the dispersion-flocculation value as criteria to discriminate oxisols and ultisols, 45% of the profiles are classified according to their classification in the literature, 45% are classified contrarily and 10% cannot be classified. Further studies will focus on multivariate statistics with the collected data to obtain a discriminant function in order to better characterize soil classes in the study areas. In the future, it will be necessary to extend the data base for the Zona Bragantina and cultivated soils for studies to evaluate effects of management techniques of organic matter.

Index terms: Amazonia, Pará, Zona Bragantina, oxisols, ultisols, organic matter, soil classification, physico-chemical properties.

INTRODUÇÃO

Para estudos sobre o estado e o desenvolvimento da matéria orgânica do solo, uma base de dados de referência é de grande valor para se saber quais são as condições naturais dos solos e para se poder avaliar as tendências de degradação nestes solos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Tendo em vista que o banco de dados de solos — SISSOLOS (Meneguelli et al. 1983) não tendo ainda incorporado dados relativos aos Estados do Amazonas e do Pará, fo-

ram coletados dados de perfis relativos a 172 latossolos e podzólicos nestes Estados (Tabela 1). Desta base de dados foram considerados para tratamentos estatísticos os seguintes parâmetros: profundidade e espessura dos horizontes, teores de carbono (C), nitrogênio (N) e argila, capacidade de troca catiônica (CTC), alumínio trocável (Al) e pH. Alguns perfis tinham dados referentes à densidade real (d_r) e aparente (d_a). As cores foram incluídas como dados de campo.

As análises estatísticas foram efetuadas com auxílio do Sistema de Análise Estatística — SAS. A fim de se conhecerem as médias e variabilidades características dos respectivos parâmetros, para os Estados e grandes grupos de solos e tipos de vegeta-

TABELA 1. Fontes de perfis analisados.

Fonte	Perfis
Falesi et al. 1970	3, 4, 5, 6
Falesi et al. 1969	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13
Brasil, 1976	<u>16</u> , <u>33</u> , <u>47</u> , <u>49</u> , <u>50</u> , <u>51</u> , 58, <u>03</u> , <u>15</u> , 19, <u>24</u> , 38, <u>05</u> , 06, <u>09</u> , 10, 14, 17, <u>21</u> , <u>23</u> , 25, <u>26</u> , <u>29</u> , <u>30</u> , <u>32</u> , 37, <u>46</u> , <u>54</u> , 61, 01, 02, 04, 11, 12, 13, 18, 20, <u>07</u> , <u>08</u> , <u>22</u> , <u>28</u> , <u>31</u> , <u>42</u> , <u>43</u> , <u>44</u> , <u>52</u> , <u>60</u>
Silva, 1975	1, 2, 4, 6
Brasil, 1978	4, 26, 100, 97, 83, 102, 105, 31, 101, 104, 77, 74, 48, 52, 69, 107, 108, 114, 133, 10, 7, 75, 71, 111, 47, 17, 86, 88, 120, 132, 9, 13, 14, 19, 62, 117, 23, 49, 51, 61, 63, 67, 91, 95, 121, 122, 128, 3, 8, 21, 39, 42, 43, 53, 54, 55, 64, 57, 76, 90, 85, 87, 89, 98, 103, 113, 109, 123, 5, 1, 6, 78, 80, 81, 82
Brasil, 1974	2, 3, 4, 5, 7, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31
Brasil 1973	1, 2, 3, 21, 22
Silva et al. 1970	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 11
Vieira et al. 1967	13, 16, 25

Perfis com dados de densidade

ção, foram calculados: média, erro padrão e coeficiente de variação dos horizontes superficiais. Foram determinadas as correlações simples entre todas as variáveis. Como critério de classificação foram ajustadas as seguintes relações: carbono=f (profundidade), e argila=f (profundidade), segundo Bennema (1982).

RESULTADOS

Os teores médios de matéria orgânica, expressos como teores de C e N, bem como os outros parâmetros, são apresentados na Tabela 2. No horizonte superficial os teores médios de C, independentemente das regiões estudadas, apresentam teores da ordem de 3% nos podzólicos, sendo maior a variabilidade desses teores no Estado do Pará, em comparação ao Estado do Amazonas. Nos latossolos, o teor médio de C de-

cresce entre as regiões na seguinte ordem: Amazonas, Pará e particularmente na Zona Bragantina, possuindo uma média estatisticamente igual à dos podzólicos no Amazonas. Os solos sob capoeira apresentam numericamente teores médios maiores do que os solos sob mata primária, porém, devido ao pequeno número de repetições, esta diferença não é significativa. O volume de dados representativos de culturas perenes e anuais não permite comparações estatísticas, mas os dados sugerem teores médios mais baixos de carbono. O nitrogênio mostra tendências semelhantes. A capacidade de troca catiônica apresenta valores em todas as regiões, independentemente da vegetação, em torno de 10 meq./100g. As médias de argila mostram uma tendência para os horizontes superficiais serem mais arenosos em solos de capoeira quando comparados aos solos de mata. O pH e o Al trocável refletem o efeito da calagem da queima nos solos sob

TABELA 2. Médias, intervalos de confiança (95%) e coeficiente de variação (%) no 1º horizonte.

Vegetação		Tipo de solo Latossolos			Podzólicos	
		Região	AM	PA	ZB	AM
Espessura (cm)	M	11 ⁺ 2 (58)	14 ⁺ 2 (42)		10 ⁺ 2 (64)	12 ⁺ 3 (59)
	C	12 ⁺ 9 (47)	14 ⁺ 3 (26)	16 ⁺ (37)		
Carbono (%)	M	2.6 ⁺ 4 (52)	1.4 ⁺ 3 (51)		3.0 ⁺ .4(56)	2.9 ⁺ 1.1(93)
	C	2.7 ⁺ 3.4(91)	1.5 ⁺ .8(71)	.7 ⁺ .2(35)		
Nitrogênio (%)	M	.17 ⁺ .03(42)	.13 ⁺ .04(53)		.20 ⁺ .03(50)	.27 ⁺ .08(47)
	C	.18 ⁺ .22(16)	.14 ⁺ .06(54)	.06 ⁺ .02(42)		
CTC (meq./10g)	M	10.9 ⁺ 1.4(41)	8.1 ⁺ 1.4(41)		11.2 ⁺ 1.4(52)	14.2 ⁺ 3.7(64)
	C	14.3 ⁺ 16.1(81)	10.2 ⁺ 4.2(55)	9.2 ⁺ 4.1(50)		
Alumínio (meq./100g)	M	2.1 ⁺ .3 (55)	1.7 ⁺ .4 (61)		2.2 ⁺ .5 (93)	2.7 ⁺ 1.3(118)
	C	2.6 ⁺ 3.5(97)	.5 ⁺ .3 (86)	1.3 ⁺ .5(43)		
Argila (%)	M	45 ⁺ 7 (47)	33 ⁺ 11 (70)		23 ⁺ 3 (93)	30 ⁺ 6 (46)
	C	38 ⁺ 54(104)	19 ⁺ 7 (50)	12 ⁺ 3 (25)		
PH (H ₂ O)	M	3.8 ⁺ .1 (12)	4.2 ⁺ .3(18)		3.8 ⁺ .1(12)	4.1 ⁺ 3 (18)
	C	4.4 ⁺ .3 (5)	5.5 ⁺ .6 (16)	5.0 ⁺ .4 (9)		
PH (KCl)	M	3.6 ⁺ .1 (6)	3.9 ⁺ .3 (16)		3.6 ⁺ .1 (7)	3.7 ⁺ .3(18)
	C	3.8 ⁺ .2 (4)	4.7 ⁺ .6 (16)	(4.0+(N=2))		
Densidade real (g/cm ³)	M	2.52 ⁺ .06(3)	2.55 ⁺ .03 (1)		2.53 ⁺ .02(1)	2.52 ⁺ .04(3)
	C			2.54 ⁺ .01(.02)		
Densidade aparente (g/cm ³)	M	1.09 ⁺ .09(9)	1.17 ⁺ .14(13)		1.12 ⁺ .28(22)	1.15 ⁺ .11(18)
	C			1.45 ⁺ .08 (5)		

Vegetação: M = mata primária; C = mata secundária (capoeira). Região: AM = Estado do Amazonas; PA = Estado do Pará (sem ZB); ZB = Zona Bragantina (Estado do Pará)

TABELA 3. Médias, intervalos de confiança (95%), coeficiente de variação (%) dos estoques de carbono entre 0 cm e 100 cm (t C/ha)

		Latosolos		Podzólicos
		100 ⁺ 18 (35)		98 ⁺ 25 (52)
AM	121 ⁺ 18 (21)	121 ⁺ 22 (22)		142 (N = 2)
PA	95 ⁺ 22 (52)	95 ⁺ 35 (42)		95 ⁺ 28 (56)
ZB	66 ⁺ 9 (12)	66 ⁺ 9 (12)		

AM = Estado do Amazonas

PA = Estado do Pará (sem ZB)

ZB = Zona Bragantina (Estado do Pará)

capoeira. As médias de densidade aparente são iguais nos solos estudados, com exceção dos solos da zona bragantina, os quais se apresentam com maior densidade devido a uma textura mais arenosa.

As médias do estoque de carbono à profundidade de 0-100 cm são apresenta-

das na Tabela 3. Em termos médios, os latossolos e podzólicos estudados apresentam um estoque de aproximadamente 100 t/ha de carbono. Estes valores decrescem na seguinte ordem: Amazonas, Pará e particularmente na zona bragantina. Nos primeiros 30 cm de profundidade encontram-se, em média, 45 t/ha de carbono.

Das correlações (Tabela 4), destacam-se as de C com a CTC, as quais foram altamente positivas e significativas. A correlação CTC x argila é, com exceção da zona bragantina, praticamente nula. No seguinte modelo de regressão linear múltipla $CTC = f(C, \text{argila})$, a argila praticamente não contribui para explicar a variação total da CTC. Não há correlação entre C e argila nos solos do Amazonas e do Pará. Na zona bragantina, esta correlação apresentou-se negativa. A densidade aparente mostra clara dependência dos teores de argila

e carbono, isto é, quanto mais altos são os teores de argila e carbono mais baixa é a densidade. As correlações entre C e Al são pouco expressivas ou nulas nos podzólicos e nos latossolos, tanto no Estado do Pará como particularmente na zona bragantina. Nos outros grupos de perfis existem correlações positivas. Nestes solos o C favorece uma maior saturação de Al e um pH mais baixo. Nos solos de capoeira ocorrem correlações positivas entre C e pH, o que pode ser uma indicação de tipos diferentes de matéria orgânica nestes solos.

TABELA 4 Coeficiente de Correlação X (100)

Vegetação		Tipo de solo		Latossolo			Podzólico	
		Região	AM	PA	ZB		AM	PA
C - CTC	M		87	90			63	75
	C		100	87	43			
C - Al	M		53	55			0	19
	C		95	14	20			
C - argila	M		6	25			-19	-29
	C		21	-8	-62			
C - pH	M		-60	-28			-42	-23
	C		-38	20	50			
C - da	M		-43	-55			-63	-44
	C				-23			
Argila - da	M		-37	-85			-55	-58
	C				-55			
CTC - argila	M		4	26			9	-15
	C		18	4	-60			

AM = Estado do Amazonas

PA = Estado do Pará (sem ZB)

ZB = Zona Bragantina (Estado do Pará)

M = Mata

C = Capoeira

A cor do solo é uma característica útil para estimar o teor de matéria orgânica nos solos das zonas temperadas, porém, nos trópicos, o método é frequentemente contestado. Considerando somente os perfis com ausência de mosqueados nos primeiros três horizontes, a correlação entre o valor da cor

(segundo Munsell) e o teor de carbono foi insignificante nos latossolos e ligeiramente negativa ($r = -0,4$) nos podzólicos. Analisando os perfis individualmente, a maioria (cerca de 60%) dos latossolos e podzólicos mostram uma dependência muito nítida ($r^2 \geq 75\%$) entre cor e carbono. Segundo estes

resultados, a cor dificilmente se presta para avaliar o teor de C, porém, serve muito bem para caracterizar a distribuição de matéria orgânica dentro do perfil.

Segundo Bennema (1982), os latossolos (oxisols) e podzólicos (ultisols) diferenciam-se conforme as suas regressões $C=f(\text{profundidade})$ e $\text{argila}=f(\text{profundidade})$, e o valor crítico de dispersão-floculação (Tabela 5). Em função do primeiro critério, em torno da metade dos latossolos e podzólicos são classificados conforme a classi-

ficação existente na literatura. O segundo critério classifica cerca de 60% dos perfis corretamente. O terceiro critério deixa um quarto dos perfis sem classificação. O primeiro e o segundo critérios juntos classificam cerca de 30% dos perfis conforme a literatura. Considerando que pelo menos dois dos três critérios estejam de acordo com a literatura, aproximadamente 45% dos perfis são classificados corretamente conforme a literatura, 45% com classificação contrária, e 10% sem classificação.

TABELA 5. Três critérios analíticos de classificação dos solos.

Critério	Classificação
1º Critério	- Regressão % C = $a_0 + a_1 \cdot \text{profundidade}$ (Bennema 1982). Se b é maior ou igual a -0,7 e menor ou igual a -0,4 o solo será classificado como Latossolo (L), caso contrário será classificado como Podzólico (P).
2º Critério	- Regressão % argila = $a_0 + a_1 \cdot \log(\text{profundidade} + 1)$ (Bennema 1982). Se o coeficiente de determinação r^2 é maior ou igual a 90%, o solo será classificado como Latossolo (L), caso contrário como Podzólico (P).
3º Critério	- Valor crítico de dispersão-floculação (100 % C/% argila). Se o grau de floculação é maior ou igual a 97% e se o quociente 100 % C/% argila é maior do que 0,8, o solo será classificado como Latossolo (L), se o quociente é menor do que 1,0, o solo será classificado como Podzólico (P) (Bennema 1982).

Quando se considera a probabilidade de que um solo, classificado em função dos critérios analíticos, tem determinada classificação na literatura, 60% dos solos classificados como Latossolo, segundo os três critérios (LLL), são latossolos segundo a literatura e 67% dos solos classificados (PPP) são podzólicos, segundo a literatura (Tabela 6).

DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho mostram que se deve ter cuidado nas afirmações relacionadas a solos degradados, sem aparentemente considerar as diferenças existentes nos teores de matéria orgânica em condições naturais. Os solos de capoeira

podem se apresentar com melhores condições que os solos de mata. Esta situação não pode ser afirmada para a zona bragantina, tendo em vista a deficiência de dados coletados em solos de mata.

A importância de matéria orgânica como fator determinante da CTC e da densidade do solo é evidente neste estudo.

É necessário, no futuro, ampliar a base de dados para a zona bragantina e so-

TABELA 6. Classificação dos solos em função de três critérios analíticos.

Classificação		% de solos classificados na literatura		Probabilidade de classificação		
Critério		Latossolos	Podzólicos	Latossolos	Podzólicos	Σ
1º critério	L	46	48	47	53	100%
	P	54	52	48	52	100%
	Σ	100	100	-	-	-
2º critério	L	60	38	50	50	100%
	P	40	62	37	63	100%
	Σ	100	100	-	-	-
3º critério	L	53	44	53	47	100%
	P	20	31	38	62	100%
	?	27	25	50	50	100%
	Σ	100	100	-	-	-
1º e 2º critério	LL	28	20	56	44	100%
	LP	18	28	38	62	100%
	PL	32	18	62	38	100%
	PP	22	34	37	63	100%
	Σ	100	100	-	-	-
Dois dos três critérios	L	43	41	46	54	100%
	P	50	47	47	53	100%
	?	7	12	33	67	100%
	Σ	100	100	-	-	-
Três critérios	LLL	21	12	60	40	100%
	PPP	7	12	33	67	100%

los cultivados, para fins de comparação em estudos de avaliação dos efeitos de técnicas de manejo da matéria orgânica.

Devido às dificuldades de diferenciar entre podzólicos e latossolos, existe um interesse em critérios quantitativos de classificação. Os três critérios propostos por Ben-nema mostraram-se bastante limitados no seu poder discriminante, segundo a maneira simples como foram aplicados. Um enfoque multivariado dado também aos outros parâmetros para se obter uma função discriminante, talvez permitirá caracterizar melhor as classes de solos nas áreas estudadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENNEMA, J. Acid soils of the humid tropics of South America, with special reference to the well drained soils on old alluvial sediments. In: WORKSHOP ON MANAGEMENT OF LOW FERTILITY ACID SOILS OF THE AMERICAN HUMID TROPICS. Paramaribo, 1981. **Proceedings...** São José, IICA, 1982. 220p. (IICA. Ponencias, Resultados y Recomendaciones de Eventos Técnicos, 266).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha SA-23 São Luís e parte da folha SA-24 Fortaleza**; geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1973. (MME. DNPM. Levantamento de Recursos Naturais, 3).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha SA-22 Belém**; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1974. (MME. DNPM. Levantamento de Recursos Naturais, 5).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SA-21 Santarém**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1976. 522p. (MME. DNPM. Levantamento de Recursos Naturais, 10).
- BRASIL, Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SA-20 Manaus**; geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1978; 628p. (MME. DNPM. Levantamento de Recursos Naturais, 18).
- FALESI, I.C.; CRUZ, E. de S.; PEREIRA, F.B.; LOPES, E. de C.; SILVA, B.N.R. da; ARAÚJO, J.V.; GUIMARÃES, G. de A. & SILVA, R.P. da. **Os solos da área Manaus-Itacoatiara**. Belém, IPEAN, 1969. 117p. (IPEAN. Estudos e Ensaaios, 1).
- FALESI, I.C.; VIEIRA, L.S.; SILVA, B.N.R. da; RODRIGUES, T.E.; CRUZ, E. de S.; GUIMARÃES, G. de A. & LOPES, E. de C. **Levantamento de reconhecimento dos solos da colônia Agrícola Paes de Carvalho, Alenquer-Pa**. Belém, IPEAN, 1970. 150p. (IPEAN. Solos da Amazônia, v.2, n.2).
- MENEGUELLI, N. do A.; ASSIS, D.S.; SÉCHET, P.; ARAÚJO, A.R.; LIMA, W.N.; ARAÚJO, L.M. de; PAGANINE, M.L.G. & DRUMMOND, W.L. **SISSOLOS-Manual de uso**. Rio de Janeiro, EMBRAPA-SNLCS, 1983. 245p. (EMBRAPA-SNLCS. Documentos, 4).
- SILVA, B.N.R. da; ARAÚJO, J.V.; RODRIGUES, T.E.; FALESI, I.C.; RÊGO, R. da S. & GUIMARÃES, G. de A. **Os solos da área de Cacau Pirera-Manacaparu**. Belém. IPEAN, 1970, 198p. (IPEAN. Solos da Amazônia, v.2, n.3).
- SILVA, B.N.R. da. **Levantamento de reconhecimento detalhado dos solos da ilha de Mosqueiro (Pará) com auxílio de fotointerpretação**. Piracicaba, ESALQ, 1975. 156p. Tese Mestrado. Solos e Nutrição de Plantas.
- VIEIRA, L.S.; SANTOS, W.H.P. dos; FALESI, I.C. & OLIVEIRA, F.J.P.S. **Levantamento de reconhecimento dos solos da região brasileira do Estado do Pará. Pesq. Agrop. Bras., 2:1-63, 1967.**

SOIL SAMPLING FOR ESTIMATION OF MICRONUTRIENT AVAILABILITY AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF A REPRESENTATIVE SOIL TYPE OF MARAJÓ ISLAND, PARÁ

Ramendra Singh¹, Waldemar de Almeida Ferreira²
e José Ferreira Teixeira Neto³

ABSTRACT: A study was carried out to determine the number of core samples required to make a composite sample for a given area to estimate micronutrient availability and physico-chemical properties of a representative soil type, viz. Ground Water Laterite (having sandy surface and clayey subsoil, poor drainage and periodic flooding and level slope) of Marajó Island. Fifty two core samples (0-20 cm) were taken at random from 1 ha area under native pasture at the rate of 13 samples per block of 0.25 ha. The C.V. for the available Zn, Cu, Mn and Fe extracted by 0.005M DTPA (pH 7.3) varied from 40.5 to 51.8% with the sequence of the nutrients for it being: $Cu > Mn > Fe > Zn$. A confidence limit $\pm 30\%$ of the mean value of different soil characteristics was used to determine the number of core samples required to make a composite sample. In the case of micronutrients it was found that 7, 9, 11 and 13 core samples were needed to prepare a composite sample to estimate the availability of Zn, Fe, Mn and Cu respectively. Estimation of soil pH (H_2O) required only one representative soil core sample. To estimate macronutrient fertility, while total N and available P (Mehlich 1) required 3 core samples, organic carbon required 5 to make a composite sample. In the case of available K extracted by Mehlich 1, C.V. was found to be 123.8%, the highest for any soil characteristic and thus required 69 core samples for making a composite sample. For determination of effective C.E.C., exchangeable Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , H^+ and Al^{3+} could be analysed from a composite sample made respectively from 13, 12, 4, 3 and 2 core samples. Soil texture could be defined from the analysis of soil separates of a composite sample prepared from a minimum of 6 core samples as in the case of silt, C.V. (37.6%) was much higher than that for sand or clay. In general, it was concluded that for the soil studied under the given field conditions, a good estimation of available micronutrients, macronutrients and other their physico-chemical properties required a composite sample prepared from at least 15 core samples per hectare. The only exception to this was found to be available K.

Index terms: Soil fertility evaluation, micro-and macro-nutrients, availability, soil properties, soil variability and unit of sampling.

AMOSTRAGEM DE SOLOS PARA ESTIMAR A DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES E AS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE UM SOLO REPRESENTATIVO DA ILHA DO MARAJÓ, PARÁ

RESUMO: Foi conduzido um estudo para determinar o número necessário de amostras simples para obter-se uma amostra composta por unidade de área, visando estimar a disponibilidade

¹Ph. D. Soil Fertility specialist. Convênio IICA/EMBRAPA-CPATU. Caixa Postal 48. CEP 66000. Belém, Pa.

²Quím. Ind., M.Sc. EMBRAPA-CPATU. Caixa Postal 48. CEP 66000. Belém, PA.

³Eng. Agr. M.Sc., EMBRAPA-CPATU.

de micronutrientes e as propriedades físico-químicas de um solo representativo identificado como Literita Hidromórfica, arenosa/argilosa, fase campo higrófilo, relevo plano, ocorrente na ilha do Marajó. Cinquenta e duas amostras simples (0-20 cm) foram coletadas ao acaso, de uma área de 1 ha sob pastagem nativa, distribuídas em treze amostras por bloco de 0,25 ha. O C.V. para Zn, Cu, Mn e Fe extraídos por DTPA 0.005M (pH 7,3) variou entre 40,5 e 51,8% o qual obedeceu a seguinte sequência: $Cu > Mn > Fe > Zn$. Foi estabelecido o limite de confiança de $\pm 30\%$ do valor médio das diferentes características de solo para se determinar o número necessário de amostras simples para constituir uma amostra composta. No caso de micronutrientes achou-se que sete, nove, onze e treze amostras simples foram suficientes para a coleta de uma amostra composta visando estimar a disponibilidade de Zn, Fe, Mn e Cu, respectivamente. A estimativa do pH(H_2O) do solo requereu apenas uma amostra simples. Para o nitrogênio total e o P disponível (Mehlich 1) foram necessárias três amostras simples, enquanto

que para o carbono orgânico, cinco amostras. No caso do K disponível extraído por Mehlich 1, o coeficiente de variação foi de 123,8%, o maior de todos para as características do solo, havendo necessidade de 69 amostras simples para uma amostra composta. A CTC efetiva pode ser determinada em amostras compostas constituídas de treze, doze, quatro, três e duas amostras simples, respectivamente para Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , H^+ e Al^{3+} . É possível determinar a textura do solo em uma amostra composta constituída com o mínimo de seis amostras simples, como no caso de limo que apresentou C.V. (37,6%) muito maior que os obtidos para a areia e a argila. Em geral, concluiu-se que nas condições de campo do solo estudado para se obter uma boa estimativa da disponibilidade de micronutrientes, macronutrientes e de outras propriedades físico-químicas, há necessidade, por hectare, de uma amostra composta constituída de pelo menos quinze amostras simples. A única exceção encontrada foi para o potássio assimilável.

Termos para indexação: Avaliação de fertilidade de solo, disponibilidade de micro e macro nutrientes, propriedades do solo, variabilidade de solo e unidade de amostragem.

INTRODUCTION

Proper soil sampling is requisite of pragmatic evaluation on soil fertility in order to facilitate more efficient use of soil amendments and fertilizers. Soil as a heterogeneous body naturally presents a spatial variability in its physical and chemical composition and properties. Besides, interacting factors like topography, climate, vegetation, cultural and management practices among others are also determinants of the dynamics of any soil system. The soil sampling has to be thus area and soil-plant system specific, and there is continual need to define some of its important parameters such as depth of sampling, unit of sampling and number of core samples required to prepare a composite sample representative of the unit area.

The need to establish a more adequate system and techniques of collecting samples for soil fertility evaluation has been constantly emphasized by a number of Brazilian workers (Catani et al. 1954, Barreto

et al. 1974, Alvarez & Carraro, 1976, and Teixeira et al. 1984). However, these and other studies have been limited to evaluation of the status of macronutrients and soil properties and not much seems to have been done for the evaluation of micronutrient fertility of the soils. This study was thus undertaken to determine an appropriate sampling procedure for estimation of micronutrient and macronutrient fertility status apart from factors that affect their availability in a soil type predominantly representative in Marajó Island, state of Pará.

MATERIALS AND METHODS

Soil Samples

Soil samples for the study were collected in August 1984, before the onset of dry period, from Santo André Ranch, Anabiju River, Muaná County of Marajó Island, state of Pará. The soil of the area has been classified as Ground Water Laterite, characterized by sandy surface and clayey sub-

soil, poor drainage and periodic flooding and level slope.

The area had vegetation cover of native pasture predominantly composed of grasses and about 5% of forage legumes.

The unit area of sampling was 1 ha and for the convenience of sampling it was divided into four blocks of 0.25 ha each. In all, 52 surface soil samples (0-20 cm) were collected by selecting at random 13 core sites per block. To avoid contamination soil samples collected by a wooden tool were packed in polyethylene bags.

The samples were then air dried, ground with the help of wooden roller and board, passed through 1 mm sieve and finally stored in polyethylene lined cardboard boxes.

Analyses of soils

The physico-chemical properties of the soils were analysed as per method described by Guimarães et al. (1970). Organic carbon was determined by the method of Walkley & Black (1934). Available zinc, copper, manganese and iron were extracted by 0.005M DTPA (pH 7.3) (Lindsay & Norvell 1978). The micronutrients in the extract were analysed by atomic absorption spectrophotometry.

Statistical Analyses

The data were analysed statistically by the standard methods to determine the mean, standard deviation and C.V. of each of the available macronutrients and physico-chemical properties of the soil. Simple correlation coefficients were also determined between available micronutrients and soil physico-chemical properties.

The number of core samples (n) required to make a composite sample for determination of available micronutrients and macronutrients and soil physico-chemical properties was calculated by the following formula cited by Snedecor & Cochran (1967):

$$n = \frac{4 \sigma^2}{L^2}$$

Where:

n = number of core samples

σ^2 = variance of the population mean

4 = value of $(t)^2$ at the confidence level of 95%, assuming normal distribution.

L^2 = limit of confidence interval about mean

In this study, L value for any soil parameter studied was calculated as $\pm 30\%$ of its mean value. This criteria was adopted from a similar study conducted by Teixeira et al. (1984) on soil fertility evaluation of two Amazonian eco-systems.

RESULTS

The results of available micronutrients extracted by 0.005M DTPA (pH 7.3) are given in Table 1. As per the critical limits of 0.8 ppm zinc, 0.2 ppm copper, 1 ppm manganese and 8 ppm iron extracted by 0.005M DTPA (pH 7.3) (Lindsay & Norvell 1978) and the mean values of each of the available micronutrient in the soil, zinc, copper and manganese were found to be deficient whereas iron was sufficient. In such a comparison was made on the basis of individual determinations then 9.6% core samples for copper and 7.6% core samples for manganese could be classified as sufficient.

The C.V. was found to vary from 40.5 to 51.8% with the sequence of the micronutrients for it being $\text{Cu} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn}$.

The number of core samples required to constitute a composite sample determined for confidence limit of $\pm 30\%$ of mean value of each of the micronutrient studied with 95% probability was found to be 13, 11, 9 and 7 for copper, manganese, iron and zinc respectively.

TABLE 1. Minimum number of core samples (n) required to make composite sample for confidence limit of $\pm 30\%$ of mean value ($\bar{x}$) and other statistical parameters of available zinc, copper, iron and manganese in the soil.

Available Micronutrient	Minimum	Maximum	$\bar{x}$	Standard Deviation	C.V. (%)	n
Zinc (ppm)	0.08	0.44	0.168	0.068	40.5	7
Copper (ppm)	0.02	0.29	0.118	0.061	51.8	13
Iron (ppm)	47.3	284.2	125.68	56.32	44.8	9
Manganese (ppm)	0.10	1.60	0.610	0.301	49.4	11

The soil properties are known to affect availability of micronutrients, therefore correlation coefficients among them were determined. Matrix of correlation given in Table 2 shows significant relationship of cop-

per with organic carbon ($r = 0.32^*$), clay ($r = 0.66^{**}$), effective C.E.C. ($r = 0.49^{**}$) and base saturation ($r = -0.36^{**}$) and of iron with clay ($r = 0.73^{**}$) and effective C.E.C. ($r = 0.36^{**}$).

TABLE 2. Matrix of correlation.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Zn (ppm)	1	0.35*	0.20	0.32*	-0.24	0.05	0.06	-0.02	-0.03
2 Cu (ppm)		1	-0.13	0.61**	-0.13	0.32*	0.66**	0.49**	-0.36**
3 Mn (ppm)			1	0.06	-0.04	0.10	-0.11	0.27	-0.08
4 Fe (ppm)				1	0.02	0.05	0.73**	0.36**	-0.05
5 pH (H ₂ O)					1	0.14	0.02	0.06	0.36**
6 Org. C (%)						1	0.18	0.44**	-0.11
7 Clay (%)							1	0.59**	-0.21
8 Effective C.E.C. (meq/100g)								1	-0.32*
9 Base saturation (%)									1

* Significant at 0.05 level.

** Significant at 0.01 level.

Unmarked figures are not significant at 0.05 level.

In Table 3 are presented the results of the analyses of macronutrients, pH, organic carbon and the components of effective C.E.C. The soil reaction was found to be highly acidic ($\bar{x}$ of pH <4.). The C.V. of soil pH was found to be 9.3% which was the lowest among all the soil properties and thus required only one representative sample for its estimation. The macronutrient fertility of the soil may be considered poor as it was medium in organic carbon, low in total N, low in available P (Mehlich 1) and low in exchangeable K^+ . The C.V. for organic carbon, total N and available P was found to be varying between 24.7 and 32.4% and thus required 5.3 and 3 core samples respectively for constitution of a composite sample. The exchangeable K^+

presented a C.V. of 123.8% which was the highest for any soil parameter. To estimate the exchangeable K^+ in the soil thus would require a composite sample constituted from 69 core samples.

The results of the components of effective C.E.C. showed that soil was low in base saturation ($\bar{x}$ =2.92%) and high in Al^{3+} saturation ($\bar{X}$ =89.7%). The Ca^{2+} and Mg^{2+} presented C.V. of 53.5 and 51.5% respectively. On the other hand, the C.V. of Na^+ , H^+ and Al^{3+} varied between 21 and 31%. Accordingly, the number of core samples required for Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , H^+ and Al^{3+} analyses was found to be 13, 12, 4, 3 and 2 respectively for constituting a composite sample.

TABLE 3. Minimum number of core samples (n) required to make composite sample for confidence limit of $\pm 30\%$ of mean value ($\bar{x}$) and other statistical parameters of chemical properties of the soil.

Soil Properties	Minimum	Maximum	$\bar{x}$	Standard Deviation	C.V. (%)	n
pH (H ₂ O)	3.20	5.60	3.942	0.368	9.3	1
Organic Carbon (%)	0.41	2.23	1.293	0.419	32.4	5
Nitrogen (%)	0.04	0.14	0.092	0.023	24.7	3
Available P (ppm)	1.00	2.88	1.730	0.463	26.8	3
K ⁺ (meq/100g)	0.02	0.44	0.062	0.077	123.8	69
Ca ⁺⁺ (meq/100g)	0.01	0.16	0.052	0.028	53.5	13
Mg ⁺⁺ (meq/100g)	0.02	0.19	0.046	0.024	51.5	12
Na ⁺ (meq/100g)	0.02	0.05	0.027	0.008	30.1	4
H ⁺ (meq/100g)	1.28	7.33	4.838	1.206	24.9	3
Al ⁺⁺⁺ (meq/100g)	0.71	2.31	1.631	0.343	21.0	2

The results of the analysis of soil separates are presented in Table 4. The C.V. was found to be maximum in the case of silt followed by clay and sand. The number of core samples required for making a composite sample was found to be 1, 6 and 3 for sand, silt and clay respectively.

DISCUSSION

The fertility evaluation of a representative soil type, viz. Ground Water Laterite, of Marajó island, Pará, showed that it was highly acidic in reaction, low in base saturation, high in Al³⁺ saturation and poor in macronutrient and micronutrient fertility. The only exception to this was available iron which was found to be sufficient in the soil.

The available micronutrient contents showed high C.V. values (40.5 to 51.8%). The variations in available copper and iron in the soil were found to be associated with organic carbon, clay, effective C.E.C. and base saturation and clay and effective C.E.C. respectively. The variations in zinc and manganese may be perhaps due to other factors such as variations in composition of parent material, differential influence of vegetation, relief etc.

It was interesting to note that at the confidence limit of $\pm 30\%$ of the mean value with 95% probability < 13 core sample were required to constitute a composite sample representing unit area of 1 ha for the analyses of available zinc, copper, manganese and iron.

The pH was the only soil parameter which presented the lowest C.V. and thus required only one representative core sample for its determination. This finding was in conformity with the findings of Catani (1954), Barreto et al. (1974), Alvarez & Carraro (1976) and Teixeira et al. (1984). On the other hand, the maximum C.V. was found in the case of K⁺ which required 69 core sample for its determination. Highest values of C.V. for K⁺ among the various soil parameters studied were also reported for a soil having 32% slope by Barreto et al. (1974), for two soils studied by Catani et al. (1954) and for a soil under pasture for 5 years whether on slope or level ground by Teixeira et al. (1984).

For other macronutrients such as N and P and organic carbon as an index of nitrogen availability, the C.V. was found to vary from 24.7 to 32.4% and the confidence limit used in the study did not require > 5 core samples for constituting a composite sample for their analyses. In respect of the components of effective C.E.C., barring K⁺, the C.V. varied between 21.0 and 53.5% with its value for Ca²⁺ and Mg²⁺ being > 50%. Such high values of C.V. for Ca²⁺ and Mg²⁺ have also been reported by Teixeira et al. (1984) for a soil under pasture for 5 years. Taking this fact into consideration, determinations of all the components of effective C.E.C. would require a composite sample constituted from a minimum of 13 core samples.

TABLE 4. Minimum number of core samples (n) required to make a composite sample for confidence limit of $\pm 30\%$ of mean value ($\bar{x}$) and other statistical parameters of the soil separates.

Soil Separate	Minimum	Maximum	$\bar{x}$	Standard Deviation	C.V. (%)	n
Sand (%)	14	79	63.6	11.2	17.6	1
Silt (%)	16	83	28.0	10.5	37.6	6
Clay (%)	3	14	8.4	2.2	26.2	3

Soil texture could be defined from the analysis of soil separates of a composite sample prepared from a minimum of 6 core samples as, in the case of silt, C.V. (37.6%) was much higher than that for sand or clay. The comparative high variability of silt contents may have been introduced partly due to its migration by periodic flooding and microrelief characteristics of the soil.

In general, it was concluded that for the soil studied under the given field condition, estimation of available micronutrients and macronutrients and other physico-chemical properties at a confidence interval of $\pm 30\%$ of mean value with 95% probability required 15 core samples to prepare a composite sample to be representative of the unit area of sampling, i.e. 1 ha, used in the study. The only exception to this was found to be exchangeable K^+ which requires separate study in detail not only on method of sampling but also on the methodology used in determination of its availability in the soil. Further, it is suggested that this type of research should be extended to different agro-ecological conditions so that more judicious evaluation of soil fertility was possible.

LITERATURE CITED

- ALVAREZ, V.V. & CARRARO, I.M. Variabilidade do solo numa unidade de amostragem em solos de Cascavel e de Ponta Grossa, Paraná. *R. Ceres*, Viçosa, 23(130):503-10, 1976.
- BARRETO, A.C.; NOVAIS, R.F. de & BRAGA, J.M. Determinação estatística do número de amostras simples de solo por área para avaliação de sua fertilidade. *R. Ceres*, Viçosa, 21(114):142-7, 1974.
- CATANI, R.A.; GALLO, J.R.; GARGANTINI, H. & CONAGIN, A. Amostragem de solo para estudos de fertilidade. *Bragantia*, Campinas, 14(3): 19-26, 1954.
- GUIMARÃES, G. de A.; BASTOS, J.B. & LOPES, E. de C. *Método de análises física, química e instrumental de solos*. Belém, IPEAN, 1970, 108p. (IPEAN, Química de Solos, v.1. nº 1).
- LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Developments of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Soc. Am. J.*, Madison, 42:421-8, 1978.
- SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G. *Statistical methods*. 6 ed. Ames, The Iowa State University Press, 1967. 593p.
- TEIXEIRA, L.B.; RANZANI, G. & ESCOBAR, J.R. Números de amostras simples de solo para avaliação da fertilidade em dois ecossistemas amazônicos. Manaus, EMBRAPA-UEPAE de Manaus, 1984. 19p. (EMBRAPA-UEPAE de Manaus. Boletim de Pesquisa, 4).
- WALKLEY, A. & BLACK, I.A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, Baltimore, 37:29-38, 1934.

AMOSTRAGEM DE SOLO PARA FINS DE FERTILIDADE EM ÁREAS DE FLORESTA E PASTAGEM NA AMAZÔNIA

Leopoldo Brito Teixeira¹, José Ricardo Escobar²
e Guido Ranzani³

RESUMO: Objetivando determinar estatisticamente o número mínimo de amostras simples de solo para formação de uma amostra composta, representativa, para fins de avaliar a fertilidade do solo, foi realizado um estudo em ecossistemas de floresta e pastagem de *Brachiaria humidicola*. As áreas amostradas acham-se estabelecidas em Latossolo Amarelo argiloso e com relevo suave ondulado. Coletaram-se 100 amostras simples por ha, para cada ecossistema. O material foi analisado no Laboratório de Solos da EMBRAPA-UEPAE de Manaus, conforme normas citadas no manual de métodos de análise de solo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Os resultados mostram que é necessário coletar, para esse tipo de solo, dez subamostras para as áreas de floresta, tendo como base as variações percentuais em torno da média de 25% para magnésio e 18% para fósforo. Precisa-se de 40 subamostras para as áreas de pastagem, com base nas variações percentuais em torno da média de 31% para potássio, e 27% para cálcio. Por outro lado, fixando uma precisão de 30% de variação em torno da média, estima-se que, para áreas de floresta, são necessárias quatro amostras simples para o fósforo e cálcio, três para o potássio, seis para o magnésio e uma amostra para alumínio e pH, enquanto que, para as áreas de pastagem, serão necessárias 19 subamostras para fósforo, 43 para potássio, 32 para cálcio, nove para magnésio, treze para alumínio e uma para pH. Com os referidos números de subamostras para a obtenção de uma amostra composta, à profundidade de 0-20 cm, acredita-se que as avaliações da fertilidade nos dois ecossistemas estudados serão altamente confiáveis ($P = 0,95$).

Termos para indexação: Floresta, pastagem, solo, fertilidade, amostragem, Brasil, Amazonas.

SOIL SAMPLING FOR FERTILITY EVALUATION IN FOREST AND PASTURE AREAS IN THE AMAZON REGION

ABSTRACT: The objective of the study was to statistically determine the minimum of soil samples required to make a representative composite sample for soil fertility evaluation of forest and pasture (*Brachiaria humidicola*) ecosystems. The soil of the sampled areas was yellow Latosol (Oxisol) clayey textured with gentle to undulating relief. For each ecosystem, 100 soil samples/ha collected were analyzed in the Soils Laboratory of EMBRAPA-UEPAE, Manaus, as per norms cited in the Manual of Soil Analysis of the Brazilian Corporation of Agricultural Research (EMBRAPA). The results showed that for the soil, it was necessary to collect 10 sub-samples from the forest area, based on the percent variation about the mean of 25% for mag-

¹Eng. Agr. M.Sc. EMBRAPA-UEPAE Manaus. Caixa Postal 455. CEP 69000. Manaus, AM.

²Eng. Agr. M.Sc. Consultor IICA/EMBRAPA/UEPAE Manaus.

³Eng. Agr. Ph.D. Consultor IICA/EMBRAPA/CPATU. Caixa Postal 48. CEP 66000. Belém, PA.

nesium and 18% for phosphorus. From the pasture area, 40 subsamples were required based on percent variation about the mean of 31% for potassium and 27% for calcium. On the other hand, by fixing a precision of 30% variation about the mean, it was estimated that from the forest area the number of subsamples required to be taken for phosphorus and calcium were 4, for potassium 3, for magnesium 6 and for aluminum and pH one each. Similarly, from the pasture area, the number of subsamples required to be taken for phosphorus, potassium, calcium, magnesium, aluminum and pH were 19, 43, 32, 9, 13 and 1 respectively. With the referred number of subsamples of the surface layer soil (0-20 cm) for obtaining a composite sample, it is expected that soil fertility evaluation may be done with high confidence ($P = 0.95$) for the two ecosystems studied.

Index terms: Forest, pasture, soil, fertility, sample, Brazil, Amazon.

INTRODUÇÃO

A amostragem de solo na Amazônia vem sendo efetuada, quase sempre, baseada nas recomendações procedentes de outras regiões. São tiradas, normalmente, 20 subamostras para formar uma amostra composta, para os trabalhos de fertilidade, sem ser levado em conta o tipo de ecossistema existente.

A determinação da fertilidade do solo de um ecossistema busca de modo geral a utilização racional da área. A representação da população de solos através de amostras depende principalmente de três fatores: da homogeneidade do solo, do número de amostras simples coletadas por unidade de área e do modo como as amostras são retiradas. Santana et al. (1975) citam trabalhos de Hester (1948), Reed & Milles (1948) e Jackson (1958) indicando que o melhor método de amostragem de solo para estudos de fertilidade é o de tomar uma amostra média composta de várias subamostras colhidas em uma determinada área. Quanto maior o número de subamostras, menor é a variação e melhor é a representatividade das características dos solos considerados para fins de fertilidade.

O número de amostras simples ou subamostras para formar uma amostra composta é bastante variável. Sánchez (1981) cita que uma amostra representativa do solo tropical é composta por dez a 20 subamostras da zona radicular de uma área que tenha pouca variação em declive, drenagem, cor e aplicações anteriores de fertilizantes. Teixeira et al. (1984), trabalhando em ecos-

sistemas amazônicos, determinaram que é necessário coletar na profundidade de 0 - 20cm, seis subamostras para área de mata, 64 subamostras para área de mata recém-queimada e 43 para área de pastagem, tendo como base o limite de confiança de $\pm 30\%$ da média. Barreto et al. (1974) encontraram, no município de Viçosa, Minas Gerais, para duas áreas (área plana e área de encosta com declividade média de 32%) o número de 30 amostras para uma percentagem de variação de 20% em torno de um resultado médio. Santana et al. (1975) constataram, em plantações de cacau do sul da Bahia, que a variabilidade das características do solo decresce com o número de subamostras até alcançar um ponto de equilíbrio, no qual não são mais observadas grandes mudanças no coeficiente de variação mesmo sendo aumentado indefinidamente o número de subamostras. Recomendam a retirada de oito subamostras, tomadas a 0 - 20cm de profundidade, para obtenção de uma amostra composta, enquanto Raij (1981), citando solos do município de Pindorama e Ribeirão Preto do Estado de São Paulo, menciona que para um limite de confiança de $\pm 20\%$ da média são necessárias 24 amostras simples para potássio, nove amostras simples para cálcio e cinco amostras simples para pH.

A Reunião Técnica de Levantamento de Solos (1979) recomenda, para os trabalhos de fertilidade de solo, dividir a propriedade em áreas uniformes de até dez hectares para a retirada de amostras. Cada uma dessas áreas deverá ser uniforme

quanto à topografia, cor e textura do solo, bem como quanto às adubações e calagem que recebeu, e cada amostra composta deve ser formada de quinze a 20 subamostras.

Este trabalho tem como objetivo determinar, estatisticamente, o número de subamostras de solo capaz de formar uma amostra composta, para fins de fertilidade em áreas de floresta e pastagem, coletadas nas profundidades 0-20cm, 20 - 40cm e 40 - 100cm.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em áreas de floresta e de pastagem de capim *Brachiaria humidicola* com cinco anos de formada, no Campo Experimental da EMBRAPA - UEPAE de Manaus situado no Km 54 da Estrada BR-174.

Segundo levantamento de solo realizado por Rodrigues et al. (1971) o solo da área em estudo pertence à unidade taxonômica Latossolo Amarelo textura argilosa, sendo solo profundo (com mais de dois metros de profundidade) bastante desgastado, muito fortemente ácido, bem drenado, com teor de argila acima de 70% no horizonte B, com perfis bem desenvolvidos de seqüência de horizontes do tipo A, B e C.

O clima, de maneira geral, apresenta ocorrência chuvosa obedecendo uma distribuição cíclica: chove intensamente durante os meses de dezembro a maio e escassamente nos meses de junho a novembro. A precipitação anual média é de 2.400mm.

Em quadrado de 100m x 100m, tanto em área de floresta, quanto de pastagem, no platô, foram marcados pontos de dez em dez metros, perfazendo 100 locais em cada ecossistema, onde na profundidade de 0 - 20cm foram retiradas 100 subamostras de solo. Em 22 dos pontos de cada área procedeu-se a retirada de amostras de solos nas profundidades de 20 - 40cm e 40 - 100cm. As amostras foram retiradas com um trado de aço inoxidável tipo tubular, com dois cm de diâmetro.

As amostras foram acondicionadas em

sacos plásticos individuais etiquetadas e encaminhadas ao Laboratório de Solos da EMBRAPA - UEPAE de Manaus para a determinação dos valores de pH, dos teores trocáveis de Ca, Mg e Al e as quantidades de P e K disponíveis. As análises foram realizadas conforme normas citadas no Manual de Métodos de Análise de Solo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (1979). A seguir, procedeu-se o cálculo das médias, variâncias e coeficientes de variação para os elementos.

Para a determinação da precisão (%) para cada ecossistema (pastagem e floresta), com diferentes números de subamostras (1, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200, 300, 400, 500 e 1000), foi utilizada a fórmula citada por Snedecor & Cochran (1967):

$$n = \frac{4 S^2}{L^2}$$

No trabalho, considerou-se L como sendo um valor percentual em torno da média, ou seja $L = (\% \times \bar{X}) / 100$. Portanto;

$$\% = \frac{\sqrt{\frac{4 S^2}{n}}}{\bar{X}} \cdot 100$$

onde: % = percentagem em torno da média

n = número de subamostras.

S^2 = variância da média da população.

4 = valor de $(t)^2$ a um nível de confiança de 95%, assumindo uma distribuição normal.

$\bar{X}$ = valor médio do elemento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os valores médios e coeficientes de variação (%) de fósforo, potássio, cálcio + magnésio, alumínio e pH para as áreas de pastagem com cinco anos e floresta, nas profundidades 0 - 20cm, 20 - 40cm e 40-100cm.

TABELA 1. Valores médios e coeficientes de variação (%) de fósforo, potássio e cálcio em áreas de pastagem de *Brachiaria humidicola* com cinco anos e floresta, em três profundidades.

Área	Profundidade (cm)	Fósforo		Potássio		Cálcio	
		ppm	C.V. (%)	ppm	C.V. (%)	meq.%	C.V. (%)
Pastagem:	0-20	1,55	66	68,24	99	1,03	85
	20-40	2,18	19	52,54	90	0,40	77
	40-100	2,00	2	29,45	98	0,31	47
Floresta:	0-20	1,73	27	19,89	24	0,31	29
	20-40	1,50	38	8,5	23	0,30	18
	40-100	1,50	38	8,5	20	0,35	16

TABELA 2. Valores médios e coeficientes de variação (%) de magnésio, alumínio e pH em áreas de pastagem de *Brachiaria humidicola* com cinco anos e floresta, em três profundidades.

Área	Profundidade (cm)	Magnésio		Alumínio		pH	
		meq.%	C.V. (%)	meq.%	C.V. (%)	-	C.V. (%)
Pastagem:	0-20	1,05	45	0,92	53	4,93	10
	20-40	0,42	50	0,78	36	4,76	11
	40-100	0,32	50	0,63	32	4,94	7
Floresta:	0-20	0,39	40	1,65	18	4,42	3
	20-40	0,10	32	0,87	30	4,60	4
	40-100	0,10	32	0,82	17	4,60	2

Para a interpretação dos resultados analíticos de fósforo, potássio, cálcio + magnésio, alumínio e pH foram utilizados níveis críticos citados por Bloise et al. (1977). A área de pastagem apresentou teores de fósforo muito baixos (0 a 10 ppm) nas três profundidades. Os teores de potássio nas profundidades de 0 - 20cm e 20 - 40cm ficaram situados na faixa média (45 a 150 ppm), enquanto a profundidade de 40 - 100cm apresentou uma disponibilidade baixa (0 - 45 ppm). Para cálcio + magnésio foram observados teores situados na faixa (0 a 2 meq%) em todas as profundidades estudadas. O alumínio esteve sempre na faixa alta (>0,3 meq%), enquanto o pH se situou na faixa fortemente ácida (4,4 a 5,3) nas três profundidades.

Na área de floresta, nas três profundidades estudadas, foram observados valores de fósforo, potássio e cálcio + magnésio, situados de modo geral em níveis baixos, en-

quanto o alumínio foi alto e o pH fortemente ácido.

Observa-se, na área de pastagem, que os coeficientes de variação (CV%) para fósforo, cálcio e alumínio foram maiores na profundidade de 0 - 20cm, enquanto que para potássio, magnésio e pH foram observadas variações mínimas de CV% entre as três profundidades. Para a área de floresta, o fósforo mostrou um coeficiente de variação menor na profundidade de 0 - 20cm. Os coeficientes de variação de cálcio e magnésio foram maiores na profundidade de 0 - 20cm, ocorrendo variações mínimas para o potássio e pH entre as várias profundidades. Para alumínio, praticamente não existiu variação entre as profundidades de 0 - 20cm (18%) e 40 - 100cm (17%), o mesmo não sendo observado na profundidade 20 - 40cm (30%), que foi superior.

Ns Tabelas 3, 4 e 5 estão contidas as

variações percentuais em torno da média em função do número de subamostras (representado por n), para fósforo, potássio,

cálcio, magnésio, alumínio e pH em áreas de pastagem e floresta, nas profundidades de 0 - 20cm, 20 - 40cm e 40 - 100cm.

TABELA 3. Variação percentual em torno da média em função do número de subamostras (representado por n), para P, K, Ca, Mg, Al e pH, em áreas de pastagem e floresta, na profundidade de 0-20cm.

n	Pastagem						Floresta					
	P	K	Ca	Mg	Al	pH	P	K	Ca	Mg	Al	pH
1	133	196	169	89	106	20	54	47	58	78	36	7
5	59	88	76	40	48	9	24	21	26	35	16	3
10	42	62	54	28	34	6	17	15	18	25	11	2
15	34	51	44	23	27	5	14	12	15	20	9	2
20	30	44	38	20	24	4	12	11	13	17	8	1
30	24	36	31	16	19	4	10	9	11	14	7	1
40	21	31	27	14	17	3	9	7	9	12	6	1
50	19	28	24	13	15	3	8	7	8	11	5	1
60	17	25	22	12	14	3	7	6	7	10	5	1
70	16	23	20	11	13	2	6	6	7	9	4	1
80	15	22	19	10	12	2	6	5	6	9	4	1
90	14	21	18	9	11	2	6	5	6	8	4	1
100	13	20	17	9	11	2	5	5	6	8	4	1
200	9	14	12	6	8	1	4	3	4	5	3	0
300	8	11	10	5	6	1	3	3	3	4	2	0
400	7	10	8	4	5	1	3	2	3	4	2	0
500	6	9	8	4	5	1	2	2	3	3	2	0
1000	4	6	5	3	3	1	2	1	2	2	1	0

TABELA 4. Variação percentual em torno da média em função do número de subamostras (representado por n), para P, K, Ca, Mg, Al e pH, em áreas de pastagem e floresta, na profundidade de 20-40cm.

n	Pastagem						Floresta					
	P	K	Ca	Mg	Al	pH	P	K	Ca	Mg	Al	pH
1	37	180	153	100	73	23	75	45	37	63	61	8
5	17	80	69	45	32	10	34	20	16	28	27	4
10	12	57	48	32	23	7	24	14	12	20	19	3
15	10	46	40	26	19	6	19	12	9	16	16	2
20	8	40	34	22	16	5	17	10	8	14	14	2
30	7	33	28	18	13	4	14	8	7	12	11	2
40	6	28	24	16	11	4	12	7	6	10	10	1
50	5	25	22	14	10	3	11	6	5	9	9	1
60	5	23	20	13	9	3	10	6	5	8	8	1
70	4	22	18	12	9	3	9	5	4	8	7	1
80	4	20	17	11	8	3	8	5	4	7	7	1
90	4	19	16	11	8	2	8	5	4	7	6	1
100	4	18	15	10	7	2	8	5	4	6	6	1
200	3	13	11	7	5	2	5	3	3	4	4	1
300	2	10	9	6	4	1	4	3	2	4	4	0
400	2	9	8	5	4	1	4	2	2	3	3	0
500	2	8	7	4	3	1	3	2	2	3	3	0
1000	1	6	5	3	2	1	2	1	1	2	2	0

TABELA 5. Variação percentual em torno da média em função do número de subamostras (representado por n), para P, K, Ca, Mg, Al e pH, em áreas de pastagem e floresta, na profundidade de 40 - 100cm.

n	Pastagem						Floresta					
	P	K	Ca	Mg	Al	pH	P	K	Ca	Mg	Al	pH
1	3	197	93	101	63	14	75	41	31	63	34	3
5	1	88	42	45	28	6	34	18	14	28	15	2
10	1	62	30	32	20	4	24	13	10	20	11	1
15	1	51	24	26	16	4	19	11	8	16	9	1
20	1	44	21	23	14	3	17	9	7	14	8	1
30	1	36	17	18	12	3	14	7	6	12	6	1
40	1	31	15	16	10	2	12	6	5	10	5	1
50	0	28	13	14	9	2	11	6	4	9	5	0
60	0	25	12	13	8	2	10	5	4	8	4	0
70	0	24	11	12	8	2	9	5	4	8	4	0
80	0	22	10	11	7	2	8	5	3	7	4	0
90	0	21	10	11	7	1	8	4	3	7	4	0
100	0	20	9	10	6	1	8	4	3	6	3	0
200	0	14	7	7	4	1	5	3	2	4	2	0
300	0	11	5	6	4	1	4	2	2	4	2	0
400	0	10	5	5	3	1	4	2	2	3	2	0
500	0	9	4	5	3	1	3	2	1	3	2	0
1000	0	6	3	3	2	0	2	1	1	2	1	0

A variação percentual em torno da média, quase sempre, sofre alterações substanciais quando aumenta-se o número de subamostras. Essa alteração é mais acentuada até 20 subamostras, principalmente em área de pastagem. A partir desse nível, o decréscimo, em pontos percentuais, é menor até atingir um ponto de equilíbrio. Na Tabela 4, observa-se que o potássio em área de pastagem foi o elemento estudado que apresentou maiores variações percentuais em torno da média. O decréscimo em pontos percentuais foi acentuado até 40 subamostras e a partir desse ponto até 100 subamostras, as diminuições foram menores. Foi observado também, que a partir de 100 subamostras os decréscimos em pontos percentuais foi acentuado até 40 subamostras e a partir desse ponto até 100 subamostras, as diminuições foram menores. Foi observado também, que a partir de 100 subamostras os decréscimos em pontos percentuais são desprezíveis.

A literatura recomenda 20 amostras simples de solo para formar uma amostra composta, (Sánchez 1981 e Reunião Téc-

nica de Levantamento de Solo 1979). Para este número de amostras estimou-se para fósforo, na pastagem, variações percentuais em torno da média de 30%, 8% e 1% e de 12%, 17% e 17% na floresta, nas profundidades de 0 - 20cm, 20 - 40cm e 40 - 100cm, respectivamente. O potássio e o cálcio apresentaram, na área de pastagem, variações percentuais, bem superiores às observadas nos outros elementos. Foram encontrados valores de 44%, 40% e 44% para potássio e 38%, 34% e 21% para cálcio, o mesmo não ocorrendo na área de floresta, onde foram observados valores de 11%, 10% e 9% para potássio de 13%, 8% e 7% para cálcio, nas profundidades de 0-20cm, 20-40cm e 40-100cm, respectivamente. Com relação ao restante dos elementos, foram encontradas as seguintes variações para o mesmo número de 20 subamostras recomendadas: o magnésio apresentou variações percentuais em torno da média de 20%, 22% e 23% e o alumínio de 24%, 16% e 14% em área de pastagem, enquanto na área de floresta foram observados valores de 17%, 14% e 14% para

magnésio e 8%, 14% e 8% para alumínio, nas profundidades de 0-20cm, 20-40cm e 40-100cm, respectivamente. Tanto em área de pastagem quanto na de floresta, o pH foi o elemento que apresentou menores variações percentuais em torno da média, foram observados valores de 4%, 5% e 3% na pastagem e 1%, 2% e 1% na floresta, respectivamente, nas profundidades de 0-20cm, 20-40cm e 40-100cm.

Considerando a retirada de 40 subamostras, em área de pastagem, na profundidade de 0-20cm, as variações percentuais estimadas em torno da média seriam de 21% para fósforo, 31% para potássio, 27% para cálcio, 14% para magnésio, 17% para alumínio e 3% para pH. Ao se compararem essas variações percentuais recomendadas, nota-se um decréscimo em pontos percentuais de nove para fósforo, treze para potássio, onze para cálcio, seis para magnésio, sete para alumínio e apenas um para pH, indicando melhoras substanciais na precisão das estimativas. Por outro lado, ao se retirarem dez subamostras em área de floresta, na profundidade de 0-20cm, a variação percentual no magnésio alcança um máximo de 25%, ficando abaixo dos valores obtidos com potássio (31%) e cálcio (27%), em área de pastagem, quando retiradas 40 amostras simples para formar uma amostra composta.

Pelos resultados obtidos, sugere-se a retirada de 40 subamostras para obtenção de uma amostra composta, para o ecossistema pastagem. Apesar da recomendação implicar em maiores dificuldades de coleta, pelo aumento do número de amostras simples, existe em compensação um ganho notável na precisão das estimativas, quando comparada com a recomendação da literatura. O maior número de subamostras está relacionado com as condições de alta heterogeneidade inerentes aos ecossistemas de pastagem amazônicos.

Em áreas de florestas, a situação é diferente, observa-se maior uniformidade na distribuição dos elementos. Em consequência, a níveis comparáveis de precisão com

o ecossistema de pastagem, são necessárias dez subamostras para a obtenção de uma amostra composta.

Com a retirada de 40 subamostras em área de pastagem e dez subamostras em área de floresta para obtenção de uma amostra composta, acredita-se que as avaliações de fertilidade nos dois ecossistemas estudados serão altamente confiáveis, a um nível de 95% de probabilidade estatística.

CONCLUSÕES

a) Nas condições de trabalho, a área de pastagem apresentou maiores variabilidades dos elementos estudados (P, K, Ca, Mg, Al e pH) do que as observadas na área de floresta, principalmente na profundidade de 0-20cm.

b) O número de 20 subamostras, coletadas na profundidade de 0-20cm, para a obtenção de uma amostra composta, apresenta variações percentuais em torno da média de 30%, 44%, 38%, 20%, 24% e 4% para P, K, Ca, Mg, Al e pH na pastagem e de 14%, 11%, 13%, 17%, 8% e 1% na floresta, respectivamente.

c) Na pastagem, são necessárias 40 subamostras para a obtenção de uma amostra composta, com variações percentuais da média de 21%, 31%, 27%, 14%, 17% e 3% na profundidade de 0-20cm, de 6%, 28%, 24%, 16%, 11% e 4% na profundidade de 20-40cm e de 1%, 31%, 15%, 16%, 10% e 2% na profundidade de 40-100cm, respectivamente, para P, K, Ca, Mg, Al e pH.

d) Na floresta, são necessárias dez subamostras para a obtenção de uma amostra composta, com variações percentuais em torno da média de 17%, 15%, 18%, 25%, 11% e 2% na profundidade de 0-20cm, de 24%, 14%, 12%, 20%, 19%, e 3% na profundidade de 20-40cm e de 24%, 13%, 10%, 20%, 11% e 1% na profundidade de 40-100cm, respectivamente, para P, K, Ca, Mg, Al e pH.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRETO, A.C.; NOVAIS, R.F. de & BRAGA, J.M. Determinação estatística do número de amostras simples de solo por área para avaliação de sua fertilidade. **R. Ceres**, Viçosa, 21(114): 142-7 1974.
- BLOISE, R. M.; MOREIRA, G.N.C. & DYNIA, J.F. Os fertilizantes e seu emprego: técnica de coleta de amostras. Rio de Janeiro, EMBRAPA-SNLCS, 1977, 54p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979.
- RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fósforo / Instituto Internacional da Potassa, 1981, 142p.
- REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10, Rio de Janeiro, 1979. **Súmula**. Rio de Janeiro, EMBRAPA-SNLCS, 1979, 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Miscelânea, 1).
- RODRIGUES, T.G.; MORIKAWA, I.K.; REIS, R.S. dos & FALESI, I.C. **Solos do Distrito Agropecuário da SUFRAMA**; (Trecho: Km 30 - Km 79 - Rod. BR-174. Manaus, IPEAAOc, 1971.99p. (IPEAAOc. Solos, 1).
- SÁNCHEZ, P.A. **Suelos del trópico: características y manejo**. San José, IICA, 1981, 660p.
- SANTANA, C.J.; PEREIRA, C.P. & CABALA ROSAND, F. P. Amostragem de solos em cacauais do sul da Bahia. **R. Theobroma**, Ilhéus, 5(1):3-11, 1975.
- SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G. **Statistical methods**. 6. ed. Ames, Iowa State University, 1967. 593p.
- TEIXEIRA, L.B.; RANZANI, G. & ESCOBAR, J.R. **Número de amostras simples de solos para avaliação da fertilidade em alguns ecossistemas amazônicos**. Manaus, EMBRAPA-UEPAE de Manaus, 1984. 19p. (EMBRAPA-UEPAE de Manaus. Boletim de Pesquisa, 4).

MINERALOGIA DE ARGILAS DE SOLOS DA REGIÃO AMAZÔNICA BRASILEIRA

Maria Regina Freire Möller¹

RESUMO: Na Amazônia brasileira, os solos provenientes da deposição de materiais trazidos pelos rios e sob condições permanentes ou periódicas de hidromorfismo apresentam variadas dominâncias mineralógicas, enquanto que, naqueles bem drenados e intemperizados predominam caulinitas e óxidos. Em uma área a sudoeste da região ocorrem solos ora predominantemente caluníticos com quantidades apreciáveis de "amorfo" ora com minerais 2:1 como maior constituinte. As caulinitas da região, que vão desde aquelas bem ordenadas até as extremamente desordenadas, apresentam diferentes comportamentos frente à sorção de fósforo. Os óxidos de ferro mais comumente encontrados — hematitas e goethitas — têm diferentes reatividades frente ao fósforo. Os primeiros, mais reativos, possuem tamanho de partículas 1/10 do comumente encontrado.

Termos para indexação: Argilominerais, solos da região amazônica.

CLAY MINERALOGY OF SOILS IN THE BRAZILIAN AMAZON

ABSTRACT: In the Brazilian Amazon region, soils which results from deposits of materials carried by rivers and under permanent or periodic hydromorphic conditions, showed variable mineralogical dominance, while kaulinites and oxides are predominant in well-drained and weathered soils. In one area of the southeastern part of the region kaolinite predominant soils with significant quantity of "amorphous" or with 2:1 clay minerals as major constituents were found. The kaolinite of the region, which can be well-ordered up to extremely disordered, showed different behaviour in the sorption of phosphorus. The most common iron oxides found — hematites and goethites — have different phosphate reactivities. The size of the particles of the most reactive hematites was 1/10 of the particles commonly found.

Index terms: Clay minerals, Amazon soils.

INTRODUÇÃO

O progresso feito na ciência do solo torna indispensável o conhecimento dos minerais presentes nos mesmos, sobretudo os da fração coloidal, por serem eles, em grande parte, responsáveis pela capacidade de troca de cátions, sorção de compostos or-

gânicos e inorgânicos, retenção de água, desenvolvimento de estruturas, além de ser uma etapa importante em todas as análises pedogenéticas dos solos.

Na região amazônica brasileira, as primeiras avaliações dos minerais argilosos dos solos foram obtidas pelos índices Ki e Kr, os quais, de maneira bastante geral, dão

¹Quím. Ind.^{al} M.Sc. EMBRAPA-CPATU, Caixa Postal, 48, CEP 66000, Belém, PA.

o indicativo do grupo mineralógico predominante da fração coloidal. Posteriormente, Sombroek (1966), sentindo a necessidade de determinações mais precisas para classificar alguns solos, utilizou-se da difratometria de raios-X e da análise térmica diferencial para caracterizar os minerais das frações coloidais de algumas classes de solos.

A partir de 1973, com variados objetivos, começaram a aparecer trabalhos gerais de levantamento dos minerais argilosos em solos mais ocorrentes na área (Chiba 1973, Iwasa 1977 e Kitagawa & Möller 1979a).

Os estudos, então, evoluíram, no sentido de avaliar as estruturas e propriedades dos argilo-minerais mais ocorrentes nos solos bem drenados da região, com ênfase à sorção de fósforo (Möller & Klant 1984).

Aqui serão abordados genericamente os estudos realizados com os argilo minerais dos solos da região amazônica brasileira.

COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DA FRAÇÃO ARGILA DAS DIFERENTES CLASSES DE SOLOS DA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Os solos bem desenvolvidos e drenados da região amazônica brasileira, latossolos, podzólicos e terra roxa estruturada, têm em suas frações coloidais inorgânicas, o reflexo do intenso intemperismo químico a que estão submetidos. Seus minerais primários perdem significativamente os metais alcalinos, alcalino terrosos e o silício, ocasionando um enriquecimento relativo de ferro e alumínio nas suas frações coloidais inorgânicas. Portanto, os processos genéticos dos seus minerais coloidais secundários são processos de degradação, à exceção dos minerais chamados neste trabalho de 2:1 e /ou 2:2. Estes últimos são oriundos da degradação das vermiculitas e/ou montmorilonitas, minerais secundários ins-

táveis nas condições ambientais destes solos, que, com a inclusão de polímeros de alumínio entre suas camadas, se estabilizam (Carstea 1967).

Trabalhos realizados com solos da região amazônica brasileira (Chiba 1973, Iwasa 1976 e Kitagawa & Möller 1979a) têm mostrado este comportamento, embora algumas vezes, neles ainda se encontrem traços de minerais primários. Os latossolos apresentam nítida dominância de argilo-minerais 1:1 em sua fração coloidal inorgânica (Tabela 1), a exemplo do que tem sido observado em outras áreas tropicais (Townsend & Reed 1971 e Alwis & Pluth 1976). Como minerais acessórios ou traços, têm sido frequentemente encontrados gibbsitas, hematitas, goethitas, micas, quartzo, minerais 2:1 e/ou 2:2 e até mesmo feldspatos (Tabela 1).

Os podzólicos apresentam um quadro mineralógico bastante semelhante aos latossolos (Tabela 1), enquanto que, nas terras roxas estruturadas, por vezes, é encontrada a hematita, associada às caulinitas, como mineral dominante (Tabela 1).

É interessante notar, no entanto, que nestas classes de solos, apesar do alto grau de intemperismo sofrido, é muito provável que ainda ocorram níveis de silício relativamente altos, uma vez que não se conhece na região argilas predominantemente gibbsíticas. O valor máximo determinado de gibbsita, que suporta < 1 ppm de silício na solução (Kittrick 1969), foi de 22% numa Terra Roxa Estruturada de Mato Grosso e num Latossolo Vermelho Amarelo do Amazonas (Kitagawa & Möller 1890).

Contrastando com estes solos bem desenvolvidos e com boa drenagem, aqueles formados pela deposição dos detritos trazidos pelos rios e/ou sob condições permanentes ou periódicas de hidromorfismo, os gley, lateritas hidromórficas e os solos aluviais, apresentam uma mineralogia bastante variada, condicionada ao próprio material depositado e ao hidromorfismo. Nelas, as dominâncias mineralógicas são tão distintas como filossilicatos 1:1 ou misturas

destes com micas e interestratificados montmorilonitas/vermiculitas, até predominâncias nítidas de minerais 2:1 (Tabela 2), como mostraram Kitagawa & Möller (1979a). Os minerais considerados acessórios tam-

bém são bastante variáveis como caulinitas, micas, quartzo, feldspatos, montmorilonitas e/ou vermiculitas aluminosas, lepidocrocitas, hematitas, goethita, gibbsitas e montmorilonitas.

TABELA 1. Composição mineralógica da argila de solos bem desenvolvidos da região amazônica brasileira.

Solo	Localização	Minerais < 2 μ	
		Dominante	Acessório
LA	Rio Branco - AC	caulinita	Gbb, Gt, Hm, Qz
LA	Boca do Acre - AM	caulinita	Gt, Qz, Gbb, Hm
LA	Mojú - PA	caulinita	Gt, Qz
LV	Brasília - AC	caulinita	2:1, Qz, Gt, Hm
LV	Uapés - AM	caulinita	Gbb, Gt, Qz, Fd
LV	Obidos - PA	caulinita	Gt, Hm, Qz
LR	Rio Fresco - PA	caulinita	Gbb, Gt, Hm, Qz, 2:1
PV	Rio Branco - AC	caulinita	2:1, Qz, Gt, Hm, Fd
PV	Uapés - AM	caulinita	2:1, Gbb, Gt, Hm, Qz, Fd
PV	Altamira - PA	caulinita	Gt, Gbb, Qz, Hm
TE	Cáceres - MT	caulinita, Ht	Gbb, 2:1, Qz, Fd
TE	Obidos - PA	metahalosita	Hm, Gt, Qz

Legenda: LA — Latossolo Amarelo
 IV — Latossolo Vermelho Amarelo
 LR — Latossolo Roxo
 PV — Podzólico Vermelho Amarelo
 TE — Terra Roxa Estruturada
 Gbb — Gibbsita; Gt — Goethita; Hm — Hematita;
 Qz — Quartzo; Fd — Feldspato; 2:1 — Mica; Montmorilonita e/ou Vermiculita aluminosa

TABELA 2. Composição mineralógica da argila de solos depositados e/ou sob condições de hidromorfismo.

Solo	Localização	Minerais < 2 μ	
		Dominante	Acessório
GPH	Sena Madureira - AC	mont/ver	caulinita, mica, Qz, Fd
GPH	S. Gabriel da Cachoeira - AM	caulinita	mont/ver, mica, Qz, Lp
GPH	CPATU - PA	mont/ver, caulinita	mica, Qz
LH	Marabá - PA	caulinita, mica	Qz, Hm
LH	Ponta de Pedras - PA	caulinita	mont/ver, mica, Qz, Gt, Hm
SA	Porto Velho - RO	caulinita	mica, Gbb, Gt, Qz
SA	Xingú - PA	caulinita	mica, montmorilonita, Qz, Gbb

Dentro deste enfoque, especial atenção foi dada a alguns solos do Estado do Acre (Möller & Kitagawa 1982), classificados pelo RADAMBRASIL como cambissolos (Brasil 1976). Estes solos, cuja gênese ainda não está bem estudada, têm um conjunto de características pouco comuns para a região: alta capacidade de troca de cátions (CTC), valores de cálcio trocável variando de 0,03 a 20 meq/100g, alumínio trocável desde 0,00 até 15 meq/100g e relação Ki, desde 1,54 até 3,55.

Análises qualitativas e semi-quantitativas, feitas nas suas frações coloidais inorgânicas, mostraram que o teor de minerais 2:1 é inversamente proporcional ao teor de "amorfo" inorgânicos (Tabela 3) que ocorre onde há dominância caulinitica. Assim, a alta CTC observada nesta classe de solo se deve uma vez aos filossilicatos 2:1 e outra ao material "amorfo inorgânico". Por outro lado, os elevados teores de cálcio ocorrem em solos, onde predominam os filossilicatos 2:1, o que por certo concorre para a estabilidade destes minerais, enquanto os maiores valores de alumínio trocável coincidem com as maiores concentrações de amorfo e deve ser reflexo deste material, o que não pôde ser, no entanto, confirmado devido ao método utilizado nas determinações, método preconizado por Kitagawa (1976 e 1977).

A área de abrangência dos fenômenos anteriormente citados pode ser grosseiramente avaliada pelas Figuras 1, 2 e 3. Deve-se no entanto, levar em consideração o alto nível de abstração destes mapas, que foram obtidos por Möller et al (1982), utilizando tão somente 71 amostras numa área de 179.200 km² (1 amostra/2.500 km²).

MINERAIS ARGILOSOS DE SOLOS BEM INTemperizados

Caulinitas

Uma das dificuldades encontradas nas análises mineralógicas semi-quantitativas de solos bem intemperizados tem sido a quantificação das caulinitas, sobretudo em

presença dos minerais 2:1 e/ou 2:2. Os outros maiores componentes, hematitas, goethitas e gibbsitas, são relativamente simples de serem estimados; os dois primeiros, pela combinação de método químico do citrato-ditionito-bicarbonato (Mehra & Jackson 1960) e as medidas das intensidades das difrações (110), como utilizaram Kitagawa & Möller (1979b). A gibbsita, com relação endométrica à temperatura não coincidente com os demais minerais presentes, também pode ser quantificada por análise térmica diferencial (ATD) e termogravimetria (TG), método descrito por Watanabe & Sugô (1975). Já no grupo das caulinitas, as reações endotérmicas e exotérmicas que ocorrem em temperaturas muito próximas aos demais filossilicatos, não permitem uma quantificação por ATD ou TG quando em mistura com eles. As análises químicas propostas por Alexiades & Jackson (1966) que foram ajustadas a minerais ideais, nem sempre são adequadas aos solos tropicais e as determinações por difratometria de raios-X acumulam erros agravados pela presença dos minerais 2:1 e/ou 2:2. Os erros da difratometria de raios-X, no entanto, podem ser minimizados pelo uso de curvas feitas com padrão de caulinita separada do solo (Brindley 1972) e de um padrão interno (Phillips & White 1950). A dificuldade desta proposição reside na separação do padrão do solo.

Na região, foi testada a separação da caulinita de um latossolo, onde haviam sido determinados previamente os teores de amorfo oxalato, óxidos de ferro e gibbsita e removidos os dois primeiros. Obteve-se então uma curva de calibração com alta correlação ($r > 0,99$) entre o teor de caulinita e a relação das áreas de difração de caulinita (7,09Å) e do padrão interno Na/F (2,30Å) (Möller & Klant 1982), como mostra a Fig. 4.

Um outro aspecto que tem merecido atenção é a estrutura das caulinitas, na medida em que ela é uma condicionante da reatividade físico-química do mineral. A desordem cristalina (sobreposição das camadas nos eixos x e y) se reflete no tama-

TABELA 3. Composição mineralógica da fração argila dos cambissolos.

Município	Perfil/ horizonte	Minerais da fração argila (%)						
		2:1	Mica	Cau.	Qz.	Fd	Qt	Amorfos
Tarauacá	Perfil 01							
	A ₁	87	2	3	3	-	-	5
	(B)	87	2	6	3	-	-	2
	C	91	tr.	3	3	-	-	3
Tarauacá	Perfil 13							
	A ₁	81	5	6	5	-	-	3
	(B)	86	tr.	6	3	-	-	5
	Cca	89	2	4	3	-	-	2
Tarauacá	Perfil 14							
	A ₁	79	7	6	5	tr.	-	3
	(B)	83	2	5	2	-	-	7
	C	87	1	5	2	-	-	6
Tarauacá	Perfil 03							
	A ₁	70	5	16	3	-	-	6
	(B)	55	7	30	3	-	-	5
	C	48	tr.	43	2	-	-	7
Tarauacá	Perfil 12							
	A ₁	53	10	15	7	-	-	12
	(B)	71	9	8	6	-	-	6
	C	81	tr.	9	2	-	-	8
Tarauacá	Perfil 16							
	A ₁	63	tr.	18	7	-	-	12
	(B)	66	8	13	5	-	-	8
	C	76	tr.	12	3	-	-	9
Boca do Acre	Perfil 31							
	A ₁	19	15	46	5	tr.	-	15
	B21	35	tr.	44	4	-	-	17
	B3	25	12	45	3	-	-	15
Lábria	Perfil 78							
	A	tr.	11	67	3	tr.	tr.	19
	(B)	9	10	56	2	tr.	tr.	23
	C	tr.	15	65	1	tr.	tr.	18

Legenda: Cau - caulinita; Qz - quartzo; Fd - feldspato; GT - goethita; tr. - traços.

nho das partículas deste grupo de filosilicatos, que tem, nas superfícies quebradas, sua principal fonte de reatividade.

Nos solos da região amazônica brasileira encontraram-se desde caulinitas bem

ordenadas até aquelas intermediárias entre caulinitas e haloisitas (Kitagawa & Möller 1980) e "fire clay" (Möller & Araki 1984). O grau de desordem destes minerais tem sido atribuído aos teores de óxido

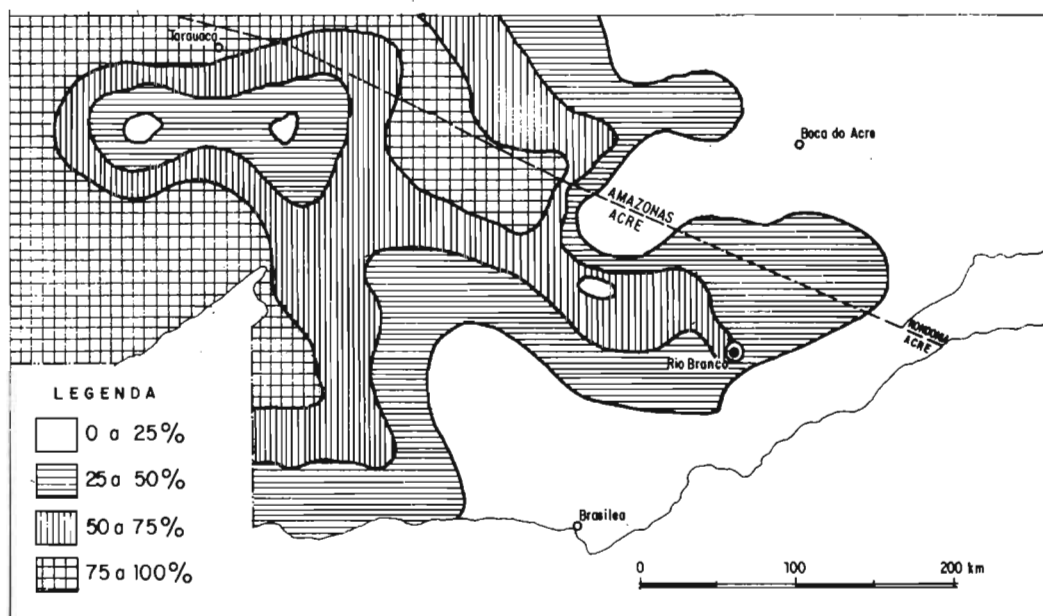


FIG. 1. Distribuição de minerais montmoriloníticos na fração argila do solo.

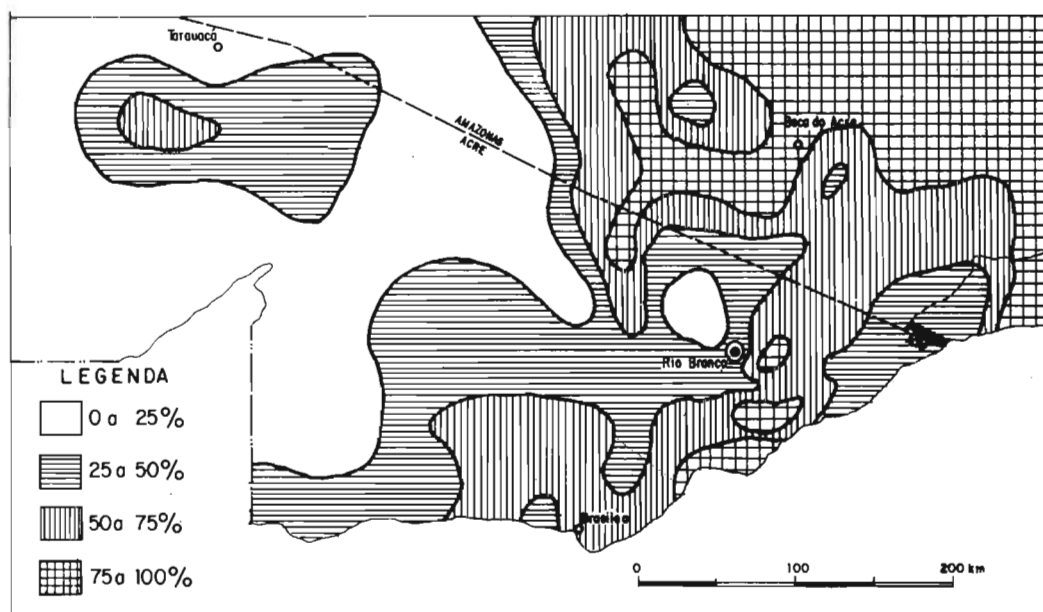


FIG. 2. Distribuição de minerais caulíníticos na fração argila do solo.

de ferro presentes nos solos (Kitagawa & Möller 1980), pois encontrou-se alta correlação entre o conteúdo de Fe_2O_3 e a altura das difrações 001. Esta difração, que se

torna cada vez mais alargada com o aumento de ferro, mostra bem esta relação pois, segundo Warren & Averbach (1950), seu alargamento reflete a desordem crist-

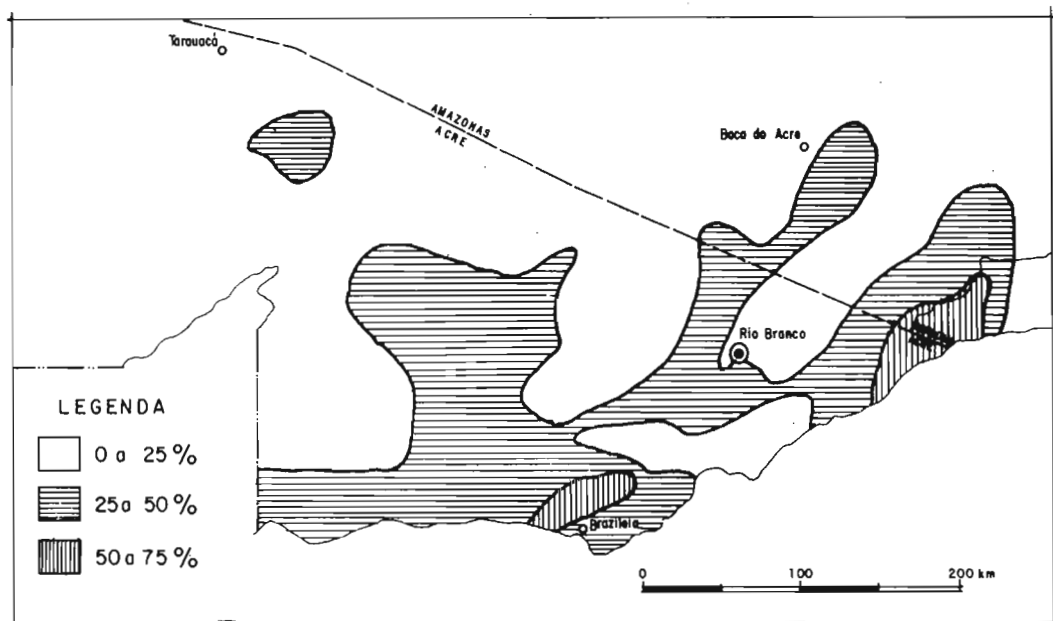


FIG. 3. Distribuição de minerais micas na fração argila do solo.

lina das caulinitas. O mesmo tipo de associação foi encontrada por Möller & Klant (1984), enquanto Möller & Araki (1984) encontraram caulinitas tipo "fire clay", a mais desordenada delas segundo Range et al. (1969), num Latossolo Amarelo coletado às proximidades de Manaus.

Óxidos

Hematitas, goethitas e gibbsitas têm sido os óxidos mais frequentes nos solos da região. As goethitas (α -Fe OOH) são relativamente abundantes nos Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho Amarelos e Podzólicos Vermelho Amarelos; as hematitas, nas Terras Roxas Estruturadas; Latossolos Vermelho Escuros e Latossolos Roxos e as gibbsitas em quase todas as classes de solos (Kitagawa & Möller 1979b e Möller & Klant 1984).

Como característica importante dos dois minerais de ferro, hematitas e goethitas, encontrou-se nos solos da região alta substituição isomórfica de ferro por alumínio (Kitagawa 1983 e Möller & Klant 1984), que se reflete no deslocamento das

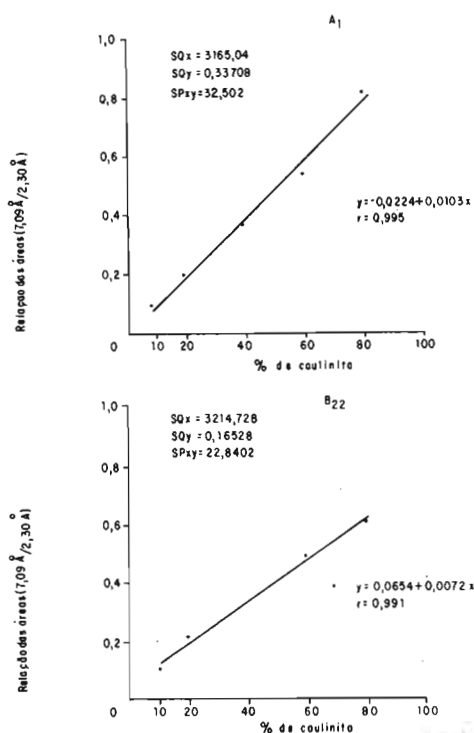


FIG. 4. Curvas de calibração da caulinita separada das argilas dos horizontes A₁ e B₂₂ do Latossolo Amarelo.

difrações (111) da goethita e (110) da hematita. A substituição isomórfica, segundo Norish & Taylor (1961), também ocasiona a diminuição dos tamanhos das partículas dos óxidos e uma maior estabilidade.

As gibbsitas da região têm sido encontradas como partículas retangulares ou hexagonais, supondo-se nelas substituições isomórficas de alumínio por ferro (Kitagawa 1980), sobretudo àquelas de solos com altos teores de Fe_2O_3 .

COMPORTAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DOS ARGILO-MINERAIS DOS SOLOS DA REGIÃO AMAZÔNICA BRASILEIRA

Os estudos feitos com os minerais coloidais dos solos só têm valor quando não se perde a visão global do solo. Esta fração granulométrica, com propriedades coloidais, permite entender melhor as propriedades físicas e químicas dos solos, para que se possa, em última análise, visar às culturas.

Na região, como nas demais partes do mundo, tem-se feito associações entre os minerais coloidais e as propriedades dos solos, sobretudo nos solos bem desenvolvidos. Assim, sabe-se que os óxidos de ferro presentes nos solos bem intemperizados, especificamente as hematitas, têm grande função na formação de micro agregados (Kitagawa & Möller 1979b), o que concorre para as boas condições físicas dos mesmos (porosidade, permeabilidade e retenção de água), permitindo desta forma a vigorosa respiração radicular. As goethitas, embora exerçam a mesma função, não são tão ativas como as hematitas. O conceito de que os óxidos de ferro promovem a agregação do solo é aceito unanimemente, mas o mecanismo pelo qual ocorre esta agregação ainda é controverso. Na região, algumas fotografias de microscopia eletrônica mostraram partículas de óxidos de ferro cimen-

tando partículas de caulinitas (Kitagawa 1983).

Se por um lado os óxidos de ferro (hematitas e goethitas) promovem as boas condições físicas dos solos, também concorrem para dificultar seu manejo no que diz respeito à nutrição das plantas. Os solos bem intemperizados, onde eles ocorrem em grandes quantidades, são solos com baixa CTC e poucas reservas de nutrientes, devido ao intenso intemperismo químico, como foi citado anteriormente, que condiciona a dominância caulinitica. Um outro fato bastante importante é a alta sorção de fósforo que eles apresentam. Misturas de hematitas e goethitas em diferentes proporções evidenciam que quando o teor de Fe_2O_3 é constante (concentração de óxidos de ferro em laboratório), a sorção de fósforo é dependente da área superficial específica dos minerais (Möller & Klant 1984). As altas correlações obtidas por Singh et al. (1983) entre a sorção do fósforo e os teores de Fe_2O_3 dos solos deve-se certamente às características e quantidades de hematitas e goethitas. As hematitas encontradas nos solos da Amazônia, com até 1/10 do tamanho citado na literatura (Kitagawa 1983), se formam a partir da ferrihidrita, onde há grandes concentrações de ferro. Já as goethitas se formam a partir dos íons em solução. Os solos mais vermelhos, de maneira geral, têm maior sorção de fósforo e são aqueles com maior teor de Fe_2O_3 , onde predominam hematitas.

Assim como os óxidos de ferro, as caulinitas apresentam diferentes reatividades frente ao fósforo. Aquelas mais bem ordenadas são muito menos reativas que as desordenadas (Möller & Klant 1984), isto se deve ao tamanho das partículas do mineral, pois as caulinitas a semelhança dos óxidos de ferro têm sua reatividade associada em grande parte às superfícies quebradas.

É interessante notar que todas estas diferenças se anulam quando se fazem experimentos de sorção de fósforo em altas doses (dados do autor, não publicados). Nessas condições, independente dos minerais

presentes, a sorção alcança níveis superiores a 90%, havendo neoformação de minerais. Sob o ponto de vista mineralógico, pode-se dizer que o fósforo (altas doses) tem o papel de um agente de intemperismo, que provoca a destruição parcial dos filosilicatos, com liberação de silício para a solução do solo. Esta situação provavelmente é o que ocorre nas microrregiões próximas aos grãos dos adubos fosfatados adicionados aos solos.

Apesar de todos estes estudos, não se pode dizer ainda que os óxidos de ferro sejam os maiores responsáveis pela sorção de fósforo, pois outras frações de argila reconhecidamente ativas como a gibbsita e o "amorfo" ainda não foram estudados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. EXIADES, C.A. & JACKSON, M.C. Quantitative clay mineralogical analysis of soils and sediments. In: NATIONAL CONFERENCE ON CLAYS MINERALS 14., Berkeley, Calif., 1966. *Proceedings...* Oxford, Pergamon, 1966. p.35-52.
- ALWIS, K.A. & PLUTH, D.J. The red latosols of Sri Lanka. II Mineralogy and weathering. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40: 920-8, 1976.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SC Rio Branco; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1976. 464p. (Brasil. MME.DNPM. Levantamento de Recursos Naturais, 12).
- BRINDLEY, G.W. Quantitative analysis of clay mixtures. In: BROWN, G. ed. *The X-ray identification and crystal structure of clay minerals*. London, The Mineralogical Society, 1972. p.489-516.
- CARSTEA, D.D. Formation and stability of Al, Fe and Mg interlayers in montmorillonite and vermiculite. Oregon, Oregon State University, 1967. 117p. Tese Doutorado.
- CHIBA, M. The soils and agriculture in the Amazon region. *J. Soil Sci. Mamure.* 44: 283-8, 1973.
- IWASA, Y. Report on the Japan-Brazil technical cooperation for the study of soils and clay minerals in the Amazon region. Tóquio, JICA 1976. 177p.
- KITAGAWA, Y. Determination of allophane and amorphous inorganic matter in clay fraction of soils. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 22 (2): 137-47, 1976.
- KITAGAWA, Y. Determination of allophane and amorphous inorganic matter in clay fractions of soils. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 23(1):21-31, 1977.
- KITAGAWA, W. Gibbsite in two amazon soils. *Clay Science*, 5:277-81, 1980.
- KITAGAWA, W. Goethite and hematite in some soils from the amazon region. *Soil Sci. Plant Nutr.* 29(2): 209-17, 1983.
- KITAGAWA, Y. & MÖLLER, M.R.F. Clay mineralogy of some typical soils in the Brazilian Amazon region. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 14(3): 201-28, 1979 (a).
- KITAGAWA, Y. & MÖLLER, M.R.F. Comparative clay mineralogy of the "terra roxa estruturada" soil in the amazon region. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 25(3):385-95, 1979(b).
- KITAGAWA, W. & MÖLLER, M.R.F. Kaolin minerals in the amazon soils. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 26(2):255-69, 1980.
- KITTRICK, J.A. Soils minerals in the Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O system and theory of their formation. *Clays and Clay-Miner.*, 17:157-67, 1969.
- 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 Miner.*, 7:317-27, 1960.
- MÖLLER, M.R.F. & ARAKI, S. Intercalação de caulinitas separadas de latossolos. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1984. No prelo.
- MÖLLER, M.R.F. & KITAGAWA, Y. Mineralogia de argilas em cambissolos do sudoeste da Amazônia brasileira. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1982. 19p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 34).
- MÖLLER, M.R.F.; KITAGAWA, Y. & COSTA, M.P. Distribuição aproximada de minerais argilosos na Folha SC-19-Rio Branco. In: ENCONTRO DE PROFISSIONAIS

- DA QUÍMICA DA AMAZÔNIA, 3º, Manaus, 1982. *Anais...* Belém, CRQ 6ª Região, 1982. p. 281-306.
- MÖLLER, M.R.F. & KLANT, E. **Quantificação de caulinita em latossolo por difração de raios-X.** Belém, EMBRAPA-CPATU, 1982. 25p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 39).
- MÖLLER, M.R.F. & KLANT, E. **Sorção de fósforo por colóides inorgânicos extraídos de dois solos da Amazônia.** Belém, EMBRAPA-CPATU, 1984. No Prelo.
- NORUSH, K. & TAYLOR, R.M. The Isomorphous replacement of iron by aluminium in soil goethites. *J. Soil Sci.*, 12: 294-306, 1961.
- PHILLIPE, M.W. & WHITE, J.L. Quantitative estimation of minerals in the sand and silt fraction of soils with the Geiger-Counter X-ray spectrometer. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 16:138-41, 1950.
- RANGE, K.J.; RANGE, A. & WEISS, A. **Fire-clay type kaolinite or fire-clay mineral experimental classification of Kaolinite-halloysite minerals.** s.n.t. (Trabalho apresentado na Internacional Clay Conferences, 4., 1969).
- SINGH, R.; MÖLLER, M.R.F. & FERREIRA, W. de A. **Características da sorção de fósforo relacionadas com propriedades selecionadas de solos do trópico úmido da Amazônia.** *R. bras. Ci. Solo* 7:233-41, 1983.
- SOMBROEK, W.G. **Amazon soils.** Wageningen, Center Agr. Pub. Doc., 1966. p.76-95.
- TOWNSEND, F.C. & REED, L.W. Effects of amorphous constituents on some mineralogical and chemical properties of a panamanian latosol. *Clays and Clay Miner.*, 19:303-10, 1971.
- WARREN, B.E. & AVERBACH, B.I. The effect of cold work distribution on X-ray patterns. *J. Appl. Phys.*, 21:595-9, 1960.
- WATANABE, Y. & SUGÔ, S. **An application of simultaneous differential thermal analysis and thermogravimetry to quantitative estimation of kaolin minerals and gibbsite in soils.** 1. Toquio, National Institute of Agriculture Sciences, 1975. 5p.

EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FOSFATOS NATURAIS DA AMAZÔNIA ORIENTAL

Emmanuel de Souza Cruz¹, Raimundo Freire de Oliveira¹,
Ramendra Singh², Nilson Pinto de Oliveira³, Areolino de Oliveira Matos¹
e Waldemar de Almeida Ferreira⁴

RESUMO: Os altos custos dos fosfatos industrializados têm contribuído para restringir o uso desses insumos na Amazônia, o que condiciona a busca de fontes alternativas de P. Neste trabalho foram testadas as eficiências agronômicas dos fosfatos de alumínio das ocorrências jandá, pirocaua, traúra superior, traúra inferior e itacupim, todos na Amazônia Oriental, calcinados a 970°C, e do fosfato de araxá, não calcinado. As doses de 0, 200, 400 e 600 kg de P₂O₅ total/ha foram utilizadas tanto para o superfosfato triplo, que serviu de fonte de referência, como para as demais fontes, à exceção do itacupim e do araxá, não aplicados na maior dose. Através da sucessão de cultivos de milho/caupi/milho, foi evidenciado que pirocaua, jandá, traúra superior e traúra inferior apresentaram maior eficiência agronômica que itacupim e araxá. O efeito residual do P das fontes mais eficientes, na dose de 400 kg de P₂O₅/ha, foi suficiente para manter rendimentos elevados nos cultivos sucessivos de caupi/milho. Esse efeito foi confirmado com as análises de solo, para P total e disponível (Bray 1). Análises físico-químicas de solo evidenciaram que o aumento dos níveis de P foi acompanhado pelo aumento do pH e da saturação de bases, e pelo decréscimo da saturação de Al³⁺. Tal comportamento não ocorreu com os fosfatos de araxá e traúra inferior. Observou-se a tendência do aumento da CTC (pH 8,2) em quase todos os tratamentos de fosfatos, o que é normalmente constatado quando altas doses de P são aplicadas no solo. As aplicações de P não mostraram qualquer efeito na disponibilidade de Zn, Cu, Fe e Mn extraídos pelo DTPA 0,005M (pH, 7,3).

Termos para indexação: Fosfato natural, fontes de fósforo, adubação fosfatada, efeito residual, índice de eficiência agronômica, milho e caupi.

AGRONOMIC EFFICIENCY OF NATURAL PHOSPHATES IN THE EASTERN AMAZON

ABSTRACT: High costs of commercial phosphates have restricted their use in the Amazon region, which has pressed the need to find alternative sources of P. In this study, the agronomic efficiency of natural aluminum phosphates whose deposits have been found in the eastern Amazon region viz. jandá, pirocaua, traúra inferior, traúra superior and itacupim, all calcinated at 970°C, and of uncalcinated phosphate of araxá was tested. P was applied at the rates of 0, 200, 400 and 600 kg P₂O₅/ha, based on total P₂O₅ content of the P sources, including triple superphosphate used as reference. In the case of itacupim and araxá, the highest dose of P was not applied. Field experiments with crop sequence of corn-cowpea-corn showed higher agro-

¹ Eng. Agr. M.Sc. EMBRAPA-CPATU, Caixa Postal, 48. CEP 66000. Belém, PA.

² Ph.D. especialista em Fertilidade de Solo. Convênio IICA/EMBRAPA. CPATU. Caixa Postal 48. CEP 66000. Belém, PA.

³ Geol. Ph.D. UFPA-Núcleo de Ciências Geodésicas e Geológicas. Caixa Postal 1161. CEP 66000. Belém-PA.

⁴ Quím. Ind. M.Sc. EMBRAPA-CPATU. Caixa Postal 48. CEP 66000. Belém-PA.

nomic efficiency for pirocaua, jandiá, traúra superior and traúra inferior than itacupim and araxá. The residual effect of the P applied at the dose of 400 kg P_2O_5 /ha through efficient sources was sufficient to maintain high yield of successive crops of cowpea and corn. This effect was also confirmed by the soil analyses for total P and available P (Bray 1). Analyses of physico-chemical properties of the soil showed that an increase in level of P was accompanied by an increase in pH and in base saturation and by a decrease in Al^{3+} saturation. Such changes were not observed in the case of the phosphate of araxá and traúra inferior. In all phosphate treatments, a tendency of increase in CTC (pH 8.2) was observed due to an increase in P doses. There was no effect of applied P on available Zn, Cu, Fe and Mn extracted by 0.005M DTPA (pH 7.3).

Index terms: Natural phosphates, phosphate sources, phosphate fertilization, residual effect, agronomic efficiency index, corn and cowpea.

INTRODUÇÃO

No trópico úmido brasileiro ocorrem solos representativos com teores muito baixos de fósforo disponível, dentre os quais predominam os Latossolos (Falesi et al. 1969, 1970, 1972; Vieira et al. 1967 e Rego et al. 1973). Segundo Vieira (1971) e Singh et al. (1983), em alguns desses solos o teor de fósforo total não atinge 400 ppm.

A adubação fosfatada nesses solos possibilita aumentar significativamente a produtividade de plantas cultivadas na Amazônia, segundo constataram Cruz et al. 1971, 1982 e Serrão et al. 1971.

As zonas bragantina e guajarina, no nordeste do Estado do Pará, se enquadram nessas condições, além de possuírem o maior índice de densidade demográfica do Estado com 59,69% (Santos & Homma 1980) e contribuir com altos percentuais para a produção agrícola.

Os altos custos dos adubos industrializados têm contribuído para restringir o uso de fertilizantes na Amazônia. Uma opção para tentar solucionar tal impasse consiste no uso de fontes alternativas de fósforo como os fosfatos naturais (Feitosa et al. 1978 e Korndörfer 1978).

A identificação de quatorze ocorrências de fosfatos aluminosos na Amazônia Oriental (Monteiro & Oliveira 1982) despertou o interesse pelo estudo agrônomo dessas fontes de fósforo, principalmente por es-

tarem localizadas bem próximas de grandes áreas potenciais de consumo (Fig. 1).

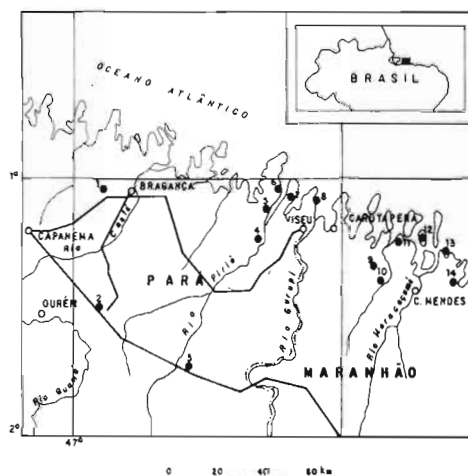


FIG. 1. Ocorrências de fosfatos: Jandiá (1) Santa Luzia (2) Cansa perna (3) Serra do Piriá (4) Serra Barreira (5) Peito de Moça (6) Itacupim (7) Pedra Grande (8) Serra Oca (9) Serra Tromba (10) Pirocaua (11) Tralhoto (12) Traúra (13) e Cumã (14) Fonte: Anais do 3º Encontro de Profissionais da Química da Amazônia, 1982.

Neste trabalho objetiva-se evidenciar a eficiência agrônoma dos fosfatos naturais de traúra e pirocaua ocorrentes no município de Cândido Mendes, no Estado do Maranhão, e itacupim no município de Viseu e jandiá no município de Bragança, no Pará. Estima-se que a cubagem desses depósitos totaliza mais de 30 milhões de toneladas. Individualmente são conhecidas apenas as cubagens de pirocaua, 8.700.000 t e traúra, 8.200.000 t, segundo Sakamoto & Vargas (1956).

MATERIAL E MÉTODOS

Os fosfatos naturais de jandiá, pirocaua, itacupim e traúra, este último subdividido em horizonte fosfático superior e horizonte fosfático inferior (Oliveira 1980), são todos de origem laterítica (Schwab et al. 1983).

Nessas ocorrências, os principais fosfatos são: crandallita — $(Ca, Sr) Al_3(PO_4)_2(OH)_5 \cdot H_2O$; augelita — $Al_2(PO_4)(OH)_3$; senegalita — $Al_2(PO_4)(OH)_3 \cdot H_2O$; e wardita — $NaAl_3(PO_4)_2(OH)_4 \cdot 2H_2O$ (Monteiro & Oliveira 1982). De acordo com Costa et al. (s.d.), a crandallita é o mineral predominante nas ocorrências de jandiá, itacupim e no horizonte superior da ocorrência de traúra. A wardita predomina no horizonte inferior do depósito de traúra, enquanto que os fosfatos de alumínio augelita e senegalita são os principais constituintes minerais da ocorrência de pirocaua.

Os fosfatos de todas essas ocorrências estão sempre associados a óxidos e hidróxidos de ferro, principalmente hematita (Fe_2O_3) e goethita ($FeOOH$), os quais são particularmente abundantes na ocorrência de itacupim (Schwab et al. 1983).

A coleta do material foi realizada segundo as condições peculiares de cada ocorrência. Em jandiá e pirocaua utilizaram-se, na amostragem, poços verticais que cortam todo o horizonte fosfático. Em itacupim, a amostragem foi feita nos flancos da elevação principal da ilha, nos quais o horizonte fosfático está aflorante. Finalmente, em traúra foram coletadas amostras nos flancos da ilha, em poços e em um túnel de 80 m de extensão que existe no local. Esse procedimento garantiu a coleta de amostras representativas dos fosfatos estudados.

O material coletado foi triturado com uso de martelo, submetido a moinho de rolos e passado através da peneira de 60 mesh, quando então foi calcinado a $970^\circ C$. Após este beneficiamento foram determinados os teores de P_2O_5 total de cada fosfato.

Desde 1983 está sendo conduzido um experimento, com o cultivo de milho seguido de caupi, em Podzólico Vermelho Amarelo álico latossólico, textura média/argilosa, ocorrente no Campo Experimental do CPATU $1^\circ 12'$ de latitude sul e $47^\circ 04'$ de longitude oeste, no município de Capitão Poço, Estado do Pará. No ano anterior, após a queimada da vegetação de mata, a área experimental foi cultivada com arroz sucedido por caupi, sem qualquer adubação, visando-se ao nivelamento da fertilidade do solo.

O delineamento experimental é inteiramente casualizado, com três repetições e os seguintes tratamentos: Testemunha; adubação nitrogenada (60 kg de N/ha) mais adubação potássica (40 kg de K_2O /ha); superfosfato triplo; jandiá; pirocaua; traúra superior e traúra inferior; todos nas doses de 200, 400 e 600 kg de P_2O_5 total/ha; e itacupim; e araxá (não calcinado), ambos nas doses de 200 e 400 kg de P_2O_5 total/ha, em face da quantidade disponível ser insuficiente.

Todos os tratamentos com aplicação de fósforo receberam adubações nitrogenada e potássica em doses constantes destes nutrientes, exceto para a testemunha. O nitrogênio foi aplicado na forma de uréia por ocasião do plantio do milho e aos 23 dias após, em duas porções iguais, correspondentes a 25% da dose total, e os 50% restantes aos 44 dias. O potássio na forma de cloreto, em duas porções iguais misturadas com o nitrogênio das segunda e terceira aplicações. A primeira aplicação do nitrogênio foi feita no sulco de plantio e as demais, em cobertura acompanhando a linha de cultivo. Todos os fosfatos foram aplicados de uma só vez, a lanco e incorporados com enxada à profundidade de 10 cm. Para o cultivo do caupi foi aplicada adubação potássica em cobertura na dose de 40 kg de K_2O /ha, de uma só vez, dez dias após a semeadura, acompanhando lateralmente a linha das plantas.

A cultivar de milho BR-5102 foi utilizada como planta indicadora, no espaçamento de 1,00 m x 0,40 m, com duas plan-

A análise da camada superficial do solo, antes da instalação do experimento, indicou 4 ppm de P disponível (baixo), 50 ppm de K^+ (médio), 1,8 meq de Ca^{2+} /100 g (médio), 0,7 meq de Mg^{2+} /100g (médio), 0,0 meq de Al^{3+} /100 g (baixo) e pH_{H_2O} de 5,3 (fortemente

ácido).

Na Tabela 2 são mostrados os rendimentos em kg/ha, os índices de eficiência agrônômica (IEA) e do equivalente supertriplo (EqST), da sucessão de cultivos milho/caupi do primeiro ano (1983) e do cultivo de milho do segundo ano (1984).

TABELA 2. Rendimentos de milho e de caupi, índices de eficiência agrônômica (IEA) e de equivalente supertriplo (EqST) obtidos com fosfatos naturais da Amazônia Oriental em Podzólico Vermelho Amarelo álico latossólico, textura média/argilosa (Capitão Poço 1983/1984).

Tratamento	P ₂ O ₅ total kg/ha	Milho						Caupi		
		1983 (1º cultivo)			1984 (3º cultivo)			1983 (2º cultivo)		
		Rend. kg/ha	IEA(1) %	EqST(2) %	Rend. kg/ha	IEA(1) %	EqST(2) %	Rend. kg/ha	IEA(1) %	EqST(2) %
Superfosfato triplo	200	4.549	100	-	3.010	100	-	1.261	100	-
	400	5.235	100	-	2.777	100	-	1.434	100	-
	600	4.655	100	-	3.181	100	-	1.425	100	-
Pirocaua	200	3.956	79	66	1.974	24	64	805	59	43
	400	4.178	66	39	2.284	57	43	1.189	81	42
	600	4.533	96	33	2.620	64	37	1.245	86	31
Jandiá	200	4.328	92	84	2.079	32	69	1.193	94	88
	400	3.830	59	31	2.467	73	59	1.348	93	63
	600	4.413	92	30	2.075	28	23	1.306	91	38
Trauíra superior	200	3.675	69	55	2.133	36	74	736	53	38
	400	4.454	77	47	2.143	44	37	1.285	88	53
	600	4.488	94	32	1.566	-5	-10	1.302	90	38
Trauíra inferior	200	4.031	81	70	2.497	62	100	1.146	90	78
	400	3.878	61	32	2.185	48	38	1.110	75	32
	600	4.340	89	29	2.058	27	23	1.101	75	24
Itacupim	200	3.995	80	69	1.530	-8	33	540	32	23
	400	4.069	66	36	2.050	36	33	705	44	17
Araxá	200	3.734	71	58	1.983	25	63	438	26	16
	400	2.842	31	14	2.270	55	42	479	26	9
Testemunha	0	1.778	-	-	1.643	-	-	143	-	-
NK (3)	0	1.220	-	-	217	-	-	12	-	-

$$(1) IEA = \frac{\text{Rendimento fonte X} - \text{rendimento testemunha}}{\text{Rendimento supertriplo} - \text{rendimento testemunha}} \times 100$$

(2) EqST = Relação percentual entre dose de supertriplo e dose de outra fonte que corresponde ao mesmo rendimento, calculado conforme ilustrado para o fosfato de pirocaua (Fig. 2).

(3) N = 60 kg de N/ha e K = 40 kg de K₂O/ha (milho), e 40 kg de K₂O/ha (caupi).

Os rendimentos de milho e de caupi, obtidos com as diferentes doses aplicadas de P₂O₅ total, proporcionaram curvas de produção conforme é mostrado na Fig. 2.

A análise estatística dos rendimentos do primeiro, segundo e terceiro cultivos indicou, respectivamente, os C.V. de 16,0%, 24,3% e 21,3%.

Os resultados referentes a modificações ocorridas nos teores de P disponível e total da camada superficial do solo (0-10 cm), em duas épocas de amostragem, são apresentados na Tabela 3.

Na Tabela 4 são mostrados os resulta-

dos de pH em H₂O e KCl, argila, C orgânico e de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, H⁺ e Al³⁺ trocáveis, obtidos na camada superficial do solo. Os resultados da soma de bases (S), CTC efetiva (T) e a CTC (pH 8,2), saturação de bases (V) e saturação de Al³⁺, calculados com base nos dados da Tabela 4, são apresentados na Tabela 5.

Os teores de Cu, Zn, Fe e Mn disponíveis constam da Tabela 6, bem como o efeito entre tratamentos, ao nível de 5% de probabilidade e o coeficiente de variação (C.V.), considerando-se isoladamente cada micronutriente.

DISCUSSÃO

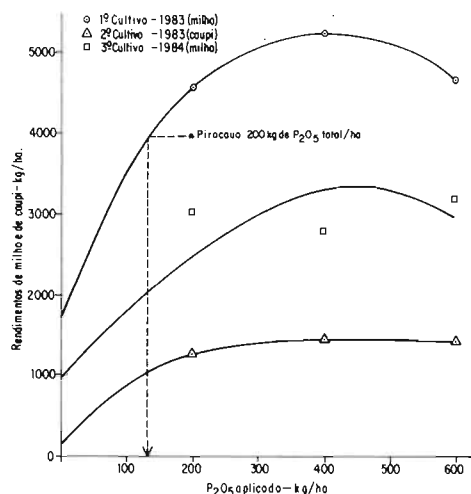


FIG. 2. Curvas de rendimento de milho e de caupi estabelecidas para o primeiro, segundo (efeito residual) e terceiro cultivos, em função das doses de P_2O_5 aplicado como superfosfato triplo (a inclusão de um ponto com o fosfato de pirocaua serve para ilustrar o cálculo do EqST).

A eficiência agrônômica dos fosfatos de pirocaua, jandiá, trauíra superior, trauíra inferior e itacupim foi avaliada em Podzólico Vermelho Amarelo álico latossólico, textura média/argilosa, de baixa fertilidade natural, conforme indicam os resultados da análise da camada superficial do solo antes da instalação do experimento. A adubação fosfatada nesse solo com doses crescentes de P_2O_5 mostrou acréscimos de rendimentos no primeiro cultivo de milho (Tabela 2), confirmando resultados obtidos por (Cruz et. al. 1971, 1982 e Serrão et al. 1971), em outros solos com baixos teores de P disponível.

Os índices de eficiência agrônômica (IEA) obtidos no primeiro cultivo de milho, para todos os fosfatos, nas doses de 200, 400 e 600 kg de P_2O_5 total/ha, mostraram-

TABELA 3. * Resultados referentes a modificações ocorridas nos teores de P disponível e total na presença de fontes e doses de P_2O_5 em Podzólico Vermelho Amarelo álico latossólico, textura média/argilosa em duas épocas de amostragem (Capitão Poço 1983/1984).

Tratamento		P disponível (Bray 1)		P total	
Fosfato	P_2O_5 total kg/ha	04/1983	01/1984	04/1983	01/1984
----- ppm -----					
Superfosfato triplo	200	19,8	10,4	170,3	150,7
	400	83,7	22,1	314,7	181,7
	600	138,9	32,8	403,7	214,7
Pirocaua	200	23,7	7,6	192,3	154,3
	400	69,4	20,5	319,7	173,7
	600	169,6	59,2	490,7	311,0
Jandiá	200	25,4	13,2	198,3	164,3
	400	73,4	20,8	283,7	197,3
	600	114,8	51,2	442,3	271,0
Trauíra superior	200	24,6	11,1	204,7	155,7
	400	28,2	39,1	204,3	256,7
	600	74,0	45,5	348,7	263,7
Trauíra inferior	200	23,9	15,7	207,7	196,7
	400	37,1	32,8	203,3	244,3
	600	147,4	33,5	393,0	241,3
Itacupim	200	14,0	6,4	198,7	150,7
	400	21,3	10,4	254,7	203,3
Araxá	200	6,7	4,7	189,7	160,3
	400	6,3	5,2	202,3	207,3
Testemunha	0	5,8	5,1	139,7	144,7
NK	0	6,6	5,8	151,3	150,3

* Média das amostras compostas de cada parcela das três repetições, referentes à camada superficial do solo, à profundidade de 0-10 cm.

TABELA 4. * Resultados referentes a modificações ocorridas em algumas propriedades físicas e químicas do solo na presença de fontes e doses de P_2O_5 em Podzólico Vermelho Amarelo álico latossólico, textura média/argilosa (Capitão Poço 1983).

Tratamento	P_2O_5 total kg/ha	pH		Argila	C orgânico	Cátions trováveis				
		H ₂ O	KCl			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H ⁺	Al ³⁺
				----	% ----	----- meq/100g-----				
Superfostato triplo	200	5,3	4,5	24	1,52	2,19	0,29	0,07	3,91	0,30
	400	6,2	5,6	19	1,42	4,58	0,30	0,09	2,24	0,01
	600	6,3	5,6	18	1,42	4,16	0,40	0,08	2,31	0,00
Pirocaua	200	5,7	5,2	22	1,49	2,94	0,29	0,07	3,27	0,10
	400	6,2	5,8	17	1,60	4,89	0,39	0,08	2,47	0,00
	600	6,2	5,8	16	1,69	4,72	0,25	0,05	1,90	0,10
Jandiá	200	5,6	5,1	21	1,26	3,16	0,28	0,07	2,55	0,20
	400	6,0	5,5	20	1,20	3,19	0,26	0,06	2,31	0,00
	600	5,7	5,3	21	1,45	3,69	0,25	0,09	2,83	0,01
Trauíra superior	200	5,6	5,1	20	1,13	1,69	0,29	0,07	2,65	0,30
	400	5,9	5,5	20	1,21	2,06	0,41	0,07	2,31	0,00
	600	5,8	5,3	19	1,14	2,84	0,27	0,07	2,53	0,00
Trauíra inferior	200	6,5	6,1	20	1,19	2,82	0,44	0,07	1,54	0,00
	400	5,5	5,0	20	1,18	2,00	0,39	0,05	2,97	0,00
	600	5,8	5,3	22	1,31	2,14	0,36	0,08	2,30	0,07
Itacupim	200	5,2	4,6	19	1,25	2,06	0,20	0,05	3,26	0,20
	400	5,7	5,2	21	1,29	3,35	0,26	0,06	2,72	0,01
Araxá	200	5,8	5,3	21	1,05	1,92	0,37	0,07	2,14	0,00
	400	5,5	5,1	24	1,16	1,93	0,39	0,06	2,49	0,20
Testemunha	0	5,2	4,7	25	1,38	1,99	0,36	0,06	3,20	0,30
NK	0	5,6	5,1	23	1,26	2,85	0,27	0,06	3,26	0,20

* Média das amostras compostas de cada parcela das três repetições, referente à camada superficial do solo, à profundidade de 0-10 cm.

se altos, variando de 59% a 96%, com exceção do fosfato de araxá que na dose de 400kg/ha foi de 31% (Tabela 2).

A relativamente baixa eficiência agromônica apresentada pelo fosfato de araxá é atribuída ao fato de tratar-se de uma apatita que não foi submetida a tratamento térmico, como as demais fontes, razão pela qual possui baixa solubilidade de P (Körndorfer 1978 e Goedert & Lobato 1984).

Os resultados das análises de fósforo disponível pelo Bray 1, obtidos em amostras de solo coletadas em abril de 1983, durante o primeiro cultivo, mostraram que a aplicação do fosfato de araxá nas doses de 200 e 400 kg de P_2O_5 /ha não aumentou o fósforo disponível em relação à testemunha. Entretanto, foram verificados aumen-

tos de fósforo disponível para as demais fontes (Tabela 3).

Por outro lado, o araxá, como os demais fosfatos, também apresentou um efeito benéfico no sentido do aumento da CTC em relação à testemunha. Não tendo ocorrido alterações nos teores de M.O. e de argila, este aumento é atribuído à sorção de fósforo aplicado no solo, conforme Sawhney (1974), Prasad & Motto (1978) e Laverdiere (1982). Tal fato indica que os baixos IEA verificados para o fosfato de araxá provavelmente, foram decorrentes dos baixos teores de fósforo disponível (Tabela 2 e 3), que se mostraram abaixo da faixa de 8-15 ppm estabelecida por Smyth & Bastos (1984), para milho em Latossolo Amarelo álico de textura argilosa, também deficiente em fósforo.

TABELA 5. * Resultados de soma de bases (S), CTC efetiva (T) e CTC (pH 8,2), saturação de bases (V) e saturação de Al^{3+} obtidos na presença de fontes e doses de P_2O_5 em Podzólio Vermelho Amarelo álico latossólico, textura média/argilosa (Capitão Poço 1983).

Tratamento	P_2O_5 total kg/ha	S	T	CTC (pH 8,2)	V	Saturação de Al^{3+}
Fosfato		-----	meq/100g	-----	-----	%
Superfosfato triplo	200	2,55	6,76	9,90	37,7	10,5
	400	4,97	7,22	10,76	68,8	0,0
	600	4,64	6,95	10,03	66,8	0,0
Pirocaua	200	3,30	6,67	9,78	49,5	2,9
	400	5,36	7,83	9,84	68,5	0,0
	600	5,02	7,02	10,21	71,5	2,0
Jandiá	200	3,51	6,26	9,04	56,1	5,4
	400	3,51	5,82	8,86	60,3	0,0
	600	4,03	6,87	10,09	58,7	0,2
Trauíra superior	200	2,05	5,00	9,72	41,0	12,8
	400	2,54	4,85	10,21	52,4	0,0
	600	3,18	5,71	10,70	55,7	0,0
Trauíra inferior	200	3,33	4,87	10,21	68,4	0,0
	400	2,44	5,41	9,72	45,1	0,0
	600	2,58	4,95	10,09	52,1	2,6
Itacupim	200	2,31	5,77	11,07	40,0	8,0
	400	3,67	6,40	10,57	57,3	0,3
Araxá	200	2,36	4,50	9,84	52,4	0,0
	400	2,38	5,07	11,07	46,9	7,8
Testemunha	0	2,41	5,91	8,68	30,5	11,0
NK	0	3,18	6,64	12,18	47,9	5,9

* Média das amostras compostas de cada parcela das três repetições, referente à camada superficial do solo, à profundidade de 0-10 cm.

Análises de micronutrientes disponíveis em amostras de solo, coletadas em cada parcela experimental (Tabela 6), mostraram que os teores de Cu, Zn, Fe e Mn apresentaram-se, geralmente, acima dos níveis críticos estabelecidos por Lindsay & Norvell (1978). Por outro lado, a disponibilidade desses micronutrientes não foi alterada pela aplicação das várias fontes e doses de fósforo. Esse aspecto indica que o fator limitante da produtividade de milho foi a disponibilidade de fósforo e não de micronutrientes como, geralmente, ocorre quando altas doses de fósforo são adicionadas ao solo (Lindsay 1972 e Olsen 1972).

O equivalente supertriplo (EqST) decresceu com o aumento das doses de P_2O_5

em todas as fontes, sendo que os menores valores ocorreram para o fosfato de araxá, conforme observado com relação ao IEA. Tais decréscimos ocorreram devido às altas doses de P_2O_5 aplicado, que acarretaram o decréscimo dos rendimentos ao atingirem o ponto de máxima eficiência técnica, nas condições do experimento.

No cultivo sucessivo com caupi para avaliação do efeito residual dos fosfatos, o IEA também manteve-se alto, variando de 53% a 94% para os fosfatos de pirocaua, jandiá, trauíra superior e inferior. Para o itacupim e o araxá, variou de 26% a 44%. O EqST apresentou comportamento semelhante ao observado para o IEA em relação aos diferentes fosfatos.

TABELA 6. *Resultados referentes à disponibilidade de micronutrientes na presença de fontes e doses de P_2O_5 em Podzólico Vermelho Amarelo álico latossólico, textura média/argilosa (Capitão Poço 1983).

Tratamento					
Fosfato	P_2O_5 total kg/ha	Cu	Zn	Fe	Mn
		ppm			
Superfosfato triplo	200	0,35	0,58	163,57	11,17
	400	0,42	1,03	123,33	18,72
	600	0,35	1,00	94,28	15,46
Pirocaua	200	0,31	0,93	124,94	9,13
	400	0,40	0,93	78,37	15,18
	600	0,33	1,08	62,24	11,55
Jandiá	200	0,42	0,74	107,42	12,66
	400	0,31	0,66	94,74	10,80
	600	0,37	0,82	103,50	13,60
Trauíra superior	200	0,26	0,61	108,57	10,25
	400	0,29	0,79	70,30	17,51
	600	0,38	0,72	77,68	14,90
Trauíra inferior	200	0,35	0,94	53,94	17,70
	400	0,27	0,71	125,17	8,45
	600	0,47	0,97	88,75	21,70
Itacupim	200	0,36	0,57	127,01	11,64
	400	0,42	0,70	104,65	12,57
Araxá	200	0,30	0,70	73,07	16,30
	400	0,29	0,78	100,27	11,73
Testemunha	0	0,39	0,86	95,89	6,42
NK	0	0,31	0,69	131,19	9,41
Efeito entre tratamentos**	-	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
C.V. (%)	-	21	43	46	46

* Média das amostras compostas de cada parcela das três repetições referente à camada superficial do solo, à profundidade de 0-10 cm.

** Ao nível de 5% de probabilidade.

Observa-se que, enquanto no primeiro cultivo com milho o IEA do itacupim foi semelhante aos obtidos nos demais fosfatos calcinados, no segundo cultivo (caupi) foi substancialmente menor, aproximando-se inclusive do IEA do araxá, não calcinado. Este comportamento está compatível com os resultados de fósforo solúvel em ácido cítrico e em citrato mais água, referentes ao itacupim, considerados baixos em relação aos demais fosfatos, conforme Tabela 1, o que justifica o seu menor efeito residual.

No terceiro cultivo implantado na área, correspondente ao segundo com milho, também visando a avaliar o efeito residual desses fosfatos, o IEA mostrou-se alto, ou se-

ja, acima de 60%, apenas para os fosfatos de pirocaua na dose de 600 kg de P_2O_5 /ha, jandiá na dose de 400 e trauíra inferior na de 200. Com relação ao itacupim e araxá, esses índices mantiveram-se baixos. Os valores do EqST comportaram-se semelhantemente aos obtidos para os cultivos anteriores, considerando-se os diferentes fosfatos, merecendo destacar que os seus valores sempre decresceram com o aumento das doses aplicadas de P_2O_5 .

A disponibilidade de fósforo (Bray 1), evidenciada em amostras de solo coletadas em janeiro de 1984, diminuiu em relação à amostragem efetuada em abril de 1983. Entretanto, no caso específico do itacupim,

na dose de 200 kg de P_2O_5 /ha, a disponibilidade de fósforo ficou abaixo do nível crítico do elemento determinado em solos semelhantes. Para o araxá, o nível de fósforo disponível, que na primeira amostragem estava abaixo do nível crítico, decresceu ainda mais na segunda amostragem.

Estes resultados comprovam que os valores altos de IEA e EqST observados para algumas fontes decorreram da liberação de fósforo disponível, em quantidades que permitiram o aumento da produtividade do terceiro cultivo em relação à testemunha.

Como este experimento continua em execução para avaliação do efeito residual dos fosfatos utilizados nesta pesquisa, abrangendo um maior período de tempo, somente serão possíveis outras considerações quando os dados de rendimento dos cultivos subseqüentes e de amostragens de solo estiverem disponíveis. Entretanto, com base nos dados de rendimento do terceiro cultivo, já discutidos neste trabalho, espera-se que não ocorram grandes alterações nas propriedades do solo.

Neste trabalho foram feitas considerações somente no que diz respeito ao teste biológico em face de se tratarem de fosfatos ainda não comercializados, o que impossibilitou uma estimativa de custos do produto beneficiado, prejudicando, portanto, a realização de uma análise econômica.

Os resultados assim obtidos permitiram concluir que os fosfatos de pirocaua, jandá, traúra superior e traúra inferior, quando calcinados a 970°C, apresentaram maior eficiência agrônômica que o de itacupim também calcinado e araxá não calcinado. O efeito residual do P dessas fontes, na dose de 400 kg de P_2O_5 total/ha, apresentou-se suficiente para manter rendimentos elevados nos cultivos sucessivos de caupi/milho.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a colaboração prestada pelo Centro de Estudos de Fertilizantes-CEFER, do Instituto de Pesqui-

sas Tecnológicas do Estado de São Paulo que em suas instalações calcinou, a 970°C, o material moído das diferentes rochas fosfatadas utilizadas na condução desta pesquisa, sem qualquer ônus para a EMBRAPA-CPATU, pelos serviços prestados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COSTA, M.L. da; COSTA, W.A. de M. & SCHWAB, R. G. Mineralogia das ocorrências de fosfatos lateríticos do Pará e Maranhão (Brasil). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú, SC, 1980. Anais... s.n.t.. v.4, p. 1982-96.
- CRUZ, E. de S.; COUTO, W.S.; OLIVEIRA, R.F. de & DUTRA, S. Adubação fosfatada na região Norte. In: OLIVEIRA, A.J. de; LOURENÇO, S. & GOEDERT, W.J.; eds. *Adubação fosfatada no Brasil*. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. p. 297-314. (EMBRAPA-DID. Documentos, 21).
- CRUZ, E. de S.; SOUZA, G.F. & BASTOS, J.B. *Influência de adubação NPK no milho em terra roxa estruturada (Altamira-zona do Xingu)*. Belém, IPEAN, 1971. 17p. (IPEAN. Fertilidade de Solos, 3).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, 1979. n.p.
- FALESI, I.C.; BASTOS, T.X. & MORAES, V.H.F. *Zoneamento agrícola da Amazônia; 1ª aproximação*, Belém, IPEAN, 1972. 153p. (IPEAN. Boletim Técnico, 54).
- FALESI, I.C.; CRUZ, E. de S.; PEREIRA, F.B.; LOPES, F. de C.; SILVA, B.N.R. da; ARAUJO, J.V.; GUIMARÃES, G. de A. & SILVA, R.P. da. *Os solos da área I Manaus-Itacoatiara, Manaus*, IPEAN, 1969, 117p. (IPEAN. Estudos e Ensaios 1).
- 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 Cacaú-Pirera*. Belém, IPEAN, 1970. 198p. (IPEAN. Solos da Amazônia, 3).
- FEITOSA, C.T.; RAIJ, B. Van; DE CHEN, A.R. & ALCARDES, J.C. *Determinação preli-*

- minar da eficiência relativa de fosfatos para trigo, em casa de vegetação. **R. Bras. Ci. Solo.** 2:193-5, 1978.
- GOEDERT, W.J. & LOBATO, E. Avaliação agromômica de fosfatos em solo de cerrado. **R. Bras. Ci. Solo.** 8:97-102, 1984.
- GUIMARÃES, G. de A.; BASTOS, J.B. & LOPES, E. de C. **Métodos de análises física, química e instrumental de solos.** Belém, IPEAN, 1970. 108p. (IPEAN. Química de solos, v.1, n.1).
- HESSE, P.R. **A textbook of soil chemical analysis,** London, Murray, 1971. p. 101-2.
- KÖRNDORFER, G.H. **Capacidade de fosfatos naturais e artificiais fornecerem fósforo para plantas de trigo.** Porto Alegre, Secretaria de Coordenação e Planejamento, 1978.
- LAVERDIERE, M.R. Effects of phosphate additions on the charge properties of a Podzolic B horizon. **Can J. Soil Sci.,** Ottawa, 62(3): 519-25, 1982.
- LINDSAY, W.L. Zin in soils and plant nutrition. **Adv. Agron.** New York, 24:147-86, 1972.
- LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Developments of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 42:421-8, 1978.
- MONTEIRO, R.W. & OLIVEIRA, N.P. de. Estudo da solubilidade dos fosfatos de Pirocaua e Trauíra (MA) e Itacupim e Jandia (PA) a diferentes temperaturas, visando ao seu aproveitamento agrícola. In: **ENCONTRO DE PROFISSIONAIS DA QUÍMICA DA AMAZÔNIA,** 3. Manaus, 1982. **Anais...** Manaus, Conselho Regional de Química - 6ª Região, 1982. p. 221-31.
- OLIVEIRA, N.P. de. **Mineralogie and geochemie der phosphatführenden Latent von Itacupim and Trauíra, Nordbrasilien.** Erlangen, Univ. Erlangen, 1980. Tese doutorado.
- OLSEN, S.R. Micronutrient interactions. In: NORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W. L. eds. **Micronutrients in agriculture; proceedings of a symposium.** Madison, Soil Science Society of America, 1972. p. 243-64.
- PRASAD, S.S. & MOTTO, H.L. Effect of P retention on C.E.C. and soluble Al and Si of some recent volcanic ash soils of Central America. In: **ANNUAL MEETINGS A.S.A.** Los Angeles, Nov. 1977. **Phosphorus in Agric.,** Paris, 32(74):31, 1978. Resumo.
- REGO, R.S.; VIEIRA, L.S.; AMARAL FILHO, Z.P. do; SANTOS, P.N. dos; LOPES, D.N.; REIS, C.P. dos; GAMA, J.R.N.F.; COSTA, M.F. da & SERRUYA, L.M. **Estudo detalhado dos solos em uma área do município de Capitão Poço.** Belém, IDESP, 1973. 119p. (IDESP Cadernos Paraenses, 9).
- SAKAMOTO, T. & VARGAS, L.F.C. Relatório preliminar sobre o depósito de bauxita fosfatada da Ilha de Trauíra, município de Cândido Mendes, Estado do Maranhão e relatório preliminar sobre o depósito de bauxita fosfatada no morro do Pirocaua, município de Cândido Mendes, Estado do Maranhão. s.l./s. ed./1956.
- SANTOS, A.I.M. dos & HOMMA, A.K.O. Regionalização do nordeste do Estado do Pará. **Relat. Téc. Anu. CPATU,** Belém, 1980. p.48.
- SAWHNEY, B.L. Charge characteristics of soils as affected by phosphate sorption. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.,** Madison, 38(1): 159-60, 1974.
- SCHWAB, R.G.; COSTA, M.L. da & OLIVEIRA, N.P. de. Über die Entwicklung von Bauxiten und Phosphate-lateriten der region Gurupi (Nordbrasilien). **Zbl. Geol. Paläont Teil I.** (3/4): 563-80, 1983.
- SERRÃO, E.A.S.; CRUZ, E. de S.; SIMÃO NETO, M.; SOUZA, G.F. de; BASTOS, J.B. & GUIMARÃES, M.C.F. Resposta de três gramíneas forrageiras (*Brachiaria decumbens* Stapf., *Brachiaria ruziziensis* Germain et Everard e *Pennisetum purpureum* Schum.) a elementos fertilizantes em latossolo amarelo. Belém, IPEAN, 1971. 38p. (IPEAN. Fertilidade de Solo, 2).
- SINGH, R., MÖLLER, M.R.F. & FERREIRA, W. de A. Características da sorção do fósforo relacionadas com propriedades selecionadas de solos dos trópicos úmidos da Amazônia. **R. Bras. Ci. Solo.** 7:233-41, 1983.
- SMYTH, T.J. & BASTOS, J.B. Adubação fosfatada, para milho e caupi em latossolo amarelo álico do Trópico Úmido. In: **REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO,** 16. Ilhéus, 1984. **Resumos...** Ilhéus, CEPLAC/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1984. p.12.

- SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G. **Statistical methods**. 6 ed. Ames, The Iowa State University, 1967. 593p.
- VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. EPFS, 1969. 24p. (Ministério da Agricultura, EPFS. Boletim Técnico, 7).
- VIEIRA, L.S. **Conteúdo de fósforo de alguns solos da Amazônia**. Belém, IDESP, 1971. 21p. (IDESP. Monografias, 6).
- VIEIRA, L.S.; SANTOS, W.H.P. dos; FALESI, I.C. & OLIVEIRA FILHO, J.P.S. Levantamento de reconhecimento dos solos da região bragantina, Estado do Pará. *Pesq. Agropec. Bras.* 2:1-63, 1967.
- WATANABE, F.S. & OLSEN, S.R. Tests of ascorbic acid method for determining phosphorus in Water and NaHCO_3 extracts from soils. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 29:677-8, 1965.

RESPOSTA À APLICAÇÃO DE FOSFATO DA FLÓRIDA EM LATOSSOLO AMARELO DO MUNICÍPIO DE CAPITÃO POÇO, ESTADO DO PARÁ

Dilson Augusto Capucho Frazão¹, Paulo F. da S. Martins²
e Pedro Jaime de Carvalho Genú³

RESUMO: Nos solos brasileiros, a carência de fósforo é bastante significativa, fato este que coloca o referido elemento em posição de destaque no que concerne à sua utilização na adubação. Considerando este aspecto extremamente importante e tomando por base que os fosfatos naturais são indicados principalmente para regiões que apresentam solos ácidos e que possuem grande vocação para cultivos perenes, como no caso da Amazônia foi desenvolvido o presente trabalho com os seguintes objetivos: a. avaliar a resposta da aplicação de P em um solo do tipo Latossolo Amarelo sob duas condições: capoeira de um ano após o desmatamento e pousio de três anos após dois anos de cultivo com culturas de ciclo curto; b. comparar o efeito do fosfato da Flórida em diferentes doses, tendo o superfosfato triplo como testemunha. O referido trabalho foi conduzido em condições de casa de vegetação, utilizando-se o painço (*Panicum milliaceum*) como planta teste e o solo foi um Latossolo Amarelo do município de Capitão Poço — Estado do Pará. Os resultados obtidos neste trabalho, permitem as seguintes conclusões: 1. O solo estudado apresenta resposta estatisticamente significativa à adição de P na forma de fosfato da Flórida, tendo sua eficiência alcançado um índice superior a 70% do padrão na dose de duas vezes a do referido padrão; 2. A produção de matéria seca de painço foi maior no solo sob condição de capoeira devido ao seu conteúdo de P originalmente maior. Por outro lado as respostas à adição de P foram maiores no solo sob condição de pousio, em consequência do seu menor conteúdo de P; 3. O P na forma de superfosfato triplo (35 ppm) mostrou, dentre os tratamentos utilizados, as melhores respostas em ambas as condições de solo; e 4. Dentre as doses de fosfato da Flórida testadas, as mais eficientes foram as correspondentes a 70 e 140 ppm de P, respectivamente, no solo sob condição de pousio e na capoeira.

Termos para indexação: Fosfatos naturais, Fosfato da Flórida, Aplicação de fosfato, Produção de matéria seca, *Panicum milliaceum*, Resposta à aplicação de fosfato.

RESPONSE OF A YELLOW LATOSOL (OXISOL) TO FLORIDA PHOSPHATE FERTILIZATION IN CAPITÃO POÇO REGION — STATE OF PARÁ

ABSTRACT: Phosphorus (P) deficiency in most Brazilian soils is well known. This fact makes the use of this element to have a great importance in fertilization. Considering this very important aspect and based on the fact that natural phosphates are fitted principally for acid soils which are suitable for perennial crops in regions such as the Amazon, this study was carried out to evaluate the response of a yellow Latosol (Oxisol), to phosphorus fertilization under one-year-old "capoeira" (second growth forest) and a three — year period of fallow after two years of cultivation with annual crops, and to compare the effect of different levels of Florida phosphate, with triple superphosphate as a control. The study was carried out under greenhouse condition, using "painço" (*Panicum milliaceum*) as test plant. The soil was collected in the Ca-

¹Eng. Agr. Ph.D., EMBRAPA-CPATU, Caixa Postal, 48, CEP 66000, Belém, PA.

²Eng. Agr. FCAP Caixa Postal 917, CEP 66000, Belém, PA.

³Eng. Agr. Ph.D. EMBRAPA-CPAC, Caixa Postal 70.0023, CEP 73300, Planaltina, DF.

pitão Poço region — State of Pará. The results made possible to conclude that: 1) The yellow Latosol showed statistically significant response to the addition of P as Flórida phosphate with an efficiency index over 70% at twice the amount of the standard dose; 2) *Panicum milliacum* dry matter yield was greater for the soil under one-year-old "capoeira" after land clearing without cropping than under the three-year-old fallow after two years of cropping but responses were greater for the latter; 3) P as triple superphosphate (35 ppm) showed the best responses on both soil conditions, being greater under fallow conditions; 4) The most efficient Flórida superphosphate levels were equivalent to 70 and 140 ppm of P for soil under fallow condition and second-growth forest respectively.

Index terms: Natural phosphate, Florida phosphate, phosphate fertilization, dry matter production, *Panicum milliacum*, response to phosphate fertilization.

INTRODUÇÃO

A deficiência de fósforo (P) nos solos brasileiros é bastante frequente (Raij et al. 1982) além do que este elemento é um dos mais exportados através das colheitas.

Este fato coloca o P em posição de destaque quanto à necessidade de sua utilização na adubação. Contudo, sabe-se que os solos tropicais exercem sobre o mesmo um elevado grau de adsorção e imobilização, especialmente sob condições de elevada acidez em consequência dos altos teores de óxidos de ferro e alumínio (Chang & Chung 1961).

Em ensaios de campo em Latossolo Amarelo do município de Capitão Poço - Pará, tem-se encontrado respostas significativas à adição de P até a dose de 120 kg de P_2O_5 na forma de superfosfato triplo, com um aumento de produção da ordem de 457% em relação à testemunha (Cruz et al. 1982). Por outro lado, em ensaios de casa de vegetação com esse mesmo tipo de solo, utilizando o feijão caupi cultivar IPEAN V-69 e doses de 25, 50, 100, 200 e 400 ppm de P, na forma de superfosfato simples, obtiveram-se aumentos respectivos de 59, 72, 107, 164 e 254% sobre a testemunha (EMPRESA... 1978).

Os fosfatos naturais, segundo Raij et al. (1982), embora apresentem baixa eficiência agrônômica são indicados para solos ácidos, como adubação corretiva e em cultivos perenes tolerantes à acidez, além do que seu aproveitamento aumenta com o tempo após a aplicação.

Também na Amazônia o P é apontado como o elemento mais limitante para o desenvolvimento das culturas (Cruz et al. 1982). Nesta região que apresenta solos ácidos e possui grande vocação para cultivos perenes a utilização de fosfatos naturais parece ser bastante promissora.

Trabalhando em solo classificado como Areia Quatzosa distrófica no município de Bragança - Pará, pesquisadores do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido - CPATU/ EMBRAPA têm encontrado efeito residual, após três anos de plantio, dos fosfatos naturais de Araxá, Patos de Minas e Pirocaua, comparáveis ao do superfosfato, quando aplicados na dose de 400 kg de P_2O_5 /ha na cultura de caupi, com aumentos da ordem de 100% sobre a testemunha (Oliveira et al. 1979).

Alguns fosfatos da região estão sendo também pesquisados pelo CPATU/EMBRAPA, estando os ensaios em fase de casa de vegetação. Utilizando Latossolo Amarelo do município de Capitão Poço - Pará foram testados, moídos com e sem calcinação a $970^{\circ}C$, os fosfatos Pirocaua, Trauíra - dividido em superior e inferior e Itacupim e Jandiá. Os dois primeiros oriundos do Estado do Maranhão e os dois últimos do Estado do Pará. Estes resultados preliminares indicaram maior eficiência dos fosfatos quando calcinados com rendimentos que variaram em função das doses aplicadas, de 25,0% a 60,3% em relação às mesmas doses do superfosfato triplo. Os rendimentos mais altos foram obtidos com fosfato Itacupim nas doses de 100 mg e 300

mg de P_2O_5/kg de solo, respectivamente 58,4% e 60,3%, enquanto que os menores corresponderam ao fosfato Trauíra inferior nas doses de 200 mg e 300 mg de P_2O_5/kg de solo respectivamente 25,0% e 29,1% (Cruz et al. 1981).

Comparando no mesmo ensaio o efeito residual desses fosfatos com o superfosfato triplo, concluiu-se que à exceção da dose de 100 kg de P_2O_5/ha , o efeito residual deste foi sempre superior ao daqueles. Contudo, o fosfato Pirocaua na dose de 100 kg de P_2O_5/ha , testado através de uma sucessão de cultivo caupi, milho e caupi, em Areia Quartzosa distrófica, mostrou índices de rendimentos da ordem de 58, 90 e 107, respectivamente, em relação à mesma dose de superfosfato triplo fixado no valor de 100 (Oliveira et al. 1980).

Face ao pouco conhecimento e à carência de trabalhos de pesquisa com fosfatos naturais na região amazônica, o presente ensaio foi realizado com os seguintes objetivos: a) avaliar a resposta da aplicação de P em um solo do tipo Latossolo Amarelo do município de Capitão Poço - Estado do Pará, sob duas condições: capoeira de um ano após o desmatamento e pousio de três anos após dois anos de cultivo com culturas de ciclo curto nos moldes tradicionais

da região; b) - comparar o efeito do fosfato da Flórida em diferentes doses, tendo o superfosfato triplo como padrão.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação pertencente ao Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", em Piracicaba-SP.

A planta teste escolhida foi o painço (*Panicum milliáceum*) e cultivada em vasos com a capacidade de 300 g de terra e sem drenagem.

- Solo

Foram utilizadas amostras de terra do horizonte A₁ de um Latossolo Amarelo do município de Capitão Poço, nordeste do Estado do Pará, sob duas condições: Capoeira de um ano após desmatamento tradicional e pousio de três anos após dois anos de cultivo.

As amostras foram coletadas abrangen- do o horizonte A₁ (10 cm de espessura) e após secas ao ar foram homogeneizadas e peneiradas em tamiz de 2 mm.

Os resultados das análises granulométrica e química em ambas as condições de solo se encontram contidas, respectivamente, nas Tabelas 1 e 2.

TABELA 1 - Características físicas do horizonte A₁ do Latossolo Amarelo sob condição de capoeira e de pousio, antes da incorporação do adubo.

Condição	Profundidade (cm)	Análise granulométrica %			Classe textural

		Areia	Silte	Argila	
Capoeira	0 — 10	62,8	13,0	24,2	Franco-argilo-arenosa
Pousio	0 — 10	75,2	9,6	15,2	Franco-arenosa

Delineamento experimental

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com três repetições, perfazendo um total de doze vasos para o

experimento em que se utilizou o solo sob condição de capoeira e um total de 21 vasos para o experimento em que se utilizou o solo sob condição de pousio.

Foi feita posteriormente uma análise

TABELA 2 - Características químicas do horizonte A₁ do Latossolo Amarelo sob condição de capoeira e de pousio, antes da incorporação do adubo.

Condição	Profundidade (cm)	pH	Carbono (%)	Teor trocável em meq/100 g de terra					
				PO ₄ ⁻³	K+	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	H+
Capoeira	0 - 10	5,8	1,56	0,11	0,20	3,31	1,13	0,14	3,04
Pousio	0 - 10	4,7	1,08	0,04	0,05	1,12	0,60	0,48	3,28

conjunta dos dois experimentos, utilizando-se apenas os quatro tratamentos do segundo experimento, em correspondência aos do primeiro.

A comparação dos tratamentos foi feita pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, segundo Gomes (1970).

- Tratamentos

Na Tabela 3, estão contidos os tratamentos tanto do 1º como do 2º experimento. Não foi feita calagem e as fontes de fósforo utilizadas foram as seguintes: superfosfato triplo com 45% de P₂O₅ total e o fosfato da Flórida com 32% de P₂O₅ total.

TABELA 3 - Tratamentos utilizados nos dois experimentos.

Tratamento	Condição	Dose de P (ppm)	Fonte
C ₀	Capoeira	0	—
C ₁ (SFT)	Capoeira	35	Superfosfato Triplo
C ₂ (FF)	Capoeira	70	Fosfato da Flórida
C ₄ (FF)	Capoeira	140	Fosfato da Flórida
P ₀	Pousio	0	—
P ₁ (SFT)	Pousio	35	Superfosfato Triplo
P ₁ (FF)	Pousio	35	Fosfato da Flórida
P ₂ (FF)	Pousio	70	Fosfato da Flórida
P ₃ (FF)	Pousio	105	Fosfato da Flórida
P ₄ (FF)	Pousio	140	Fosfato da Flórida
P ₅ (FF)	Pousio	175	Fosfato da Flórida

- Incorporação dos fertilizantes e adubação básica

Os adubos incorporados foram misturados ao volume total de terra de cada vaso. As quantidades utilizadas foram:

Tratamentos	Fontes	Quantidades (g)
C ₀ e P ₀	—	—
C ₁ (SFT) e P ₁ (SFT)	Superfosfato Triplo	0,073
P ₁ (FF)	Fosfato da Flórida	0,0945
C ₂ (FF) e P ₂ (FF)	Fosfato da Flórida	0,1890
P ₃ (FF)	Fosfato da Flórida	0,2835
C ₄ (FF) e P ₄ (FF)	Fosfato da Flórida	0,3780
P ₅ (FF)	Fosfato da Flórida	0,4725

A adubação básica foi feita com a aplicação de N e K, em solução de nitrato de amônio (32% de N) e cloreto de potássio (60% de K₂O) na base de 40 ppm de N e 30 ppm de K.

Práticas culturais

A semeadura do painço foi feita em 02/05/83, colocando-se dez sementes por vaso. Foi realizado um desbaste quinze dias após a germinação, deixando-se cinco plantas por vaso.

Foram feitas irrigações diárias com água destilada, variando a quantidade de acordo com o desenvolvimento e necessidade da planta.

Foram necessárias duas pulverizações com o produto LOKS-BAN 480 BR, na base de 1 cc/l litro, com a finalidade de pre-

venir contra o ataque de lagartas. Estas pulverizações foram feitas nos dias 17/05 e 02/06/83.

A colheita foi efetuada 40 dias após o plantio, cortando-se a parte aérea a uma altura de 1 cm do colo da planta. Esta foi levada para a estufa a 60°C, onde permaneceu até atingir o peso seco constante. Posteriormente, o material seco foi pesado e os resultados obtidos foram analisados estatisticamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Resposta à aplicação de P
Solo sob condição de pousio

Os resultados referentes ao peso da matéria seca de painço, obtidos no solo sob condição de pousio com os diferentes tratamentos, são mostrados na Tabela 4.

TABELA 4 - Produção de matéria seca de painço, aos 40 dias de idade nos diferentes tratamentos, em solo sob condição de pousio (média de 3 repetições)

Tratamento	Dose P (ppm)	Fonte	Matéria seca* (g/vaso)
P ₀ (testemunha)	0	—	0,0933 c
P ₁ (SFT)	35	Superfósforo Triplo	0,7173 a
P ₁ (FF)	35	Fósforo da Flórida	0,3610 bc
P ₂ (FF)	70	Fósforo da Flórida	0,6256 ab
P ₃ (FF)	105	Fósforo da Flórida	0,6163 ab
P ₄ (FF)	140	Fósforo da Flórida	0,6230 ab
P ₅ (FF)	175	Fósforo da Flórida	0,4770 b

CV (%) = 19,8666

DMS = 0,2780

* Letras iguais não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Observa-se pela Tabela 4 que o efeito do fósforo da Flórida sobre a produção de matéria seca do painço, nas doses de 70 a 140 ppm de P, não mostraram diferenças significativas quando comparadas às do superfósforo triplo na dose de 35 ppm de P. Embora as diferenças não tenham se evi-

denciado, verificou-se um decréscimo de produção de matéria seca na dose de 175 ppm, quando comparado com as demais doses na forma de fósforo da Flórida.

De um modo geral, a produção de matéria seca foi pequena em todos os trata-

mentos, porém, em termos de eficiência relativa, como pode ser observado na Tabela 5, houve grande efeito dos tratamentos

(índices de 388 a 771) em relação à testemunha; evidenciando um baixo conteúdo de P disponível neste solo (Tabela 2).

TABELA 5 - Eficiência relativa dos diferentes tratamentos, em relação à testemunha (T) e ao superfosfato triplo (STF) em Latossolo Amarelo sob condições de capoeira e pousio.

Capoeira				Pousio			
Tratamento		Efic. relativa		Tratamento		Efic. relativa	
	Matéria seca (g)	T	SFT		Matéria seca (g)	T	SFT
C ₀	0,796	100	72	P ₀	0,093	100	13
C ₁ (SFT)	1,104	139	100	P ₁ (SFT)	0,717	771	100
—	—	—	—	P ₁ (FF)	0,361	388	50
C ₂ (FF)	0,809	102	73	P ₂ (FF)	0,626	673	87
—	—	—	—	P ₃ (FF)	0,616	662	86
C ₄ (FF)	0,945	119	86	P ₄ (FF)	0,623	670	87
—	—	—	—	P ₅ (FF)	0,559	644	84

Solo sob condição de capoeira

Na Tabela 6 encontram-se os resultados referentes ao peso da matéria seca de painço, obtidos no solo sob condição de capoeira, com os diferentes tratamentos.

Verifica-se que o efeito das doses de 35 ppm de P na forma de superfosfato triplo

e 140 ppm de fosfato da Flórida não diferiram significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 6). Por outro lado, observa-se que a dose de 140 ppm na forma de fosfato da Flórida não diferiu da testemunha, bem como da dosagem de 70 ppm de P.

TABELA 6 - Produção de matéria seca de painço, aos 40 dias de idade, nos diferentes tratamentos, em solo sob condição de capoeira (média de 3 repetições).

Tratamento	Dose (ppm P)	Fonte	Matéria* seca (g/vaso)
C ₀ (testemunha)	0	—	0,7956 b
C ₁ (SFT)	35	Superfosfato triplo	1,1036 a
C ₂ (FF)	70	Fosfato da Flórida	0,8090 b
C ₄ (FF)	140	Fosfato da Flórida	0,9446 ab
CV % = 8,5586			
DMS = 0,2044			

* Letras iguais não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Têm sido observadas em Latossolo Amarelo de Capitão Poço-PA respostas à aplicação de elevadas quantidades de P solúvel, tanto em ensaios no campo (Cruz et

al. 1982), como em casa de vegetação (EMPRESA... 1978). Os resultados obtidos no presente trabalho com solo sob condição de capoeira, são compatíveis com os obtidos

por Cruz et al. (1982) o mesmo não acontecendo com o solo sob condição de pousio.

Os efeitos do fosfato da Flórida obtidos neste estudo, em solo sob condição de capoeira, são semelhantes aos melhores resultados obtidos com fosfatos regionais da Amazônia: a dose de 70 ppm P na forma de fosfato da Flórida correspondeu a um índice de eficiência de 73 em relação à dose padrão de 35 ppm de P como superfosfato triplo (Tabela 5), enquanto à dose de 65,5 ppm de P na forma de fosfato Pirocaua correspondeu a um índice de 60 em rela-

ção à dose padrão de 21,83 ppm de P na forma de superfosfato triplo, conforme ensaio desenvolvido por Cruz et al 1981.

A produção de matéria seca foi maior em todos os tratamentos do solo sob condição de capoeira em relação aos tratamentos sob pousio devido ao seu conteúdo de P originalmente maior. Os quocientes de produção obtidos entre estas duas condições de solo indicaram valores em torno de 1,5 para as doses de 35 ppm de P, na forma de superfosfato triplo, 70 e 140 ppm de P, na forma de fosfato da Flórida, enquanto que 8,6 para a testemunha (Tabela 7).

TABELA 7 - Quociente de produção de matéria seca obtida entre os solos sob condições de capoeira e pousio com diferentes níveis de fósforo.

Doses de P (ppm)	Fonte	Quociente capoeira/pousio
0	—	8,6
35	Superfosfato triplo	1,5
70	Fosfato da Flórida	1,3
140	Fosfato da Flórida	1,5

Em relação à testemunha a eficiência variou de 102 a 139, tendo sido estes valores bem menores que aqueles obtidos para o solo sob condição de pousio (Tabela 5). Este fato pode ser atribuído à maior disponibilidade de P encontrado no solo sob capoeira (Tabela 2), provavelmente devido ainda ao efeito da queimada além do seu conteúdo originalmente maior desse elemento, enquanto que na condição de solo sob pousio (cultivado por dois anos após a queimada e tendo permanecido três anos em repouso) ocorreu exportação por ocasião da colheita e provavelmente tenha também ocorrido imobilização do P.

Somente é possível comparar as duas condições de solo levando em conta a variação do manejo e a variação do solo, já que as amostras coletadas no horizonte A₁ possuem texturas diferentes (Tabela 1).

A diferença entre as duas condições de solo foi constatada estatisticamente através da análise conjunta dos dois experimentos (Tabela 8), onde para isso agregaram-se

apenas os tratamentos comparáveis. Os resultados indicaram que todos os tratamentos foram superiores à testemunha, sendo que a dose de superfosfato triplo correspondente a 35 ppm de P foi superior às doses de fosfato da Flórida com 70 e 140 ppm de P, não diferindo estatisticamente entre si (Tabela 9).

- Eficiência do fosfato da Flórida

O efeito do fosfato da Flórida em ambas as condições de solo foi, em todos os níveis de P, inferior ao superfosfato triplo.

No solo sob condição de pousio, com o mesmo nível de P (35 ppm de P₂O₅), o fosfato da Flórida mostrou um índice de eficiência de 50 em relação ao mesmo nível com superfosfato triplo (padrão), chegando a 87 ao se dobrar a dose e não aumentando nas doses 3, 4 e 5 vezes maiores que a do padrão. A testemunha por outro lado correspondeu a apenas 13% da produção da matéria seca obtida com o padrão (Tabela 5).

TABELA 8 - Análise estatística conjunta dos dois experimentos.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Condição do solo (CS)	1	0,95242	0,95242	220,14**
Tratamento (TR)	3	0,69678	0,23226	53,68**
Interação CS x TR	3	0,21698	0,72328	16,71**
Resíduo	16	0,06922	0,00432	
Total	23	1,93541		
Tratamentos dent. CS ₁	3	0,18581	0,06193	14,31**
Tratamentos dent. CS ₂	3	0,72795	0,24265	56,08**
Condição solo dent. TR ₁	1	0,73990	0,73990	171,02**
Condição solo dent. TR ₂	1	0,22388	0,22388	51,74**
Condição solo dent. TR ₃	1	0,05041	0,05041	11,65**
Condição solo dent. TR ₄	1	0,15520	0,15520	35,87**

CV (%) = 9,2116

CS₁ - solo sob condição de capoeiraCS₂ - solo sob condição de pousio

TABELA 9 - Média dos tratamentos, referente à análise conjunta dos dois experimentos.

Tratamento	Dose (ppm P)	Fonte	Matéria seca* (g/vaso)
C ₁ (SFT) e P ₁ (SFT)	35	Superfosfato triplo	0,91050 a
C ₄ (FF) e P ₄ (SFT)	140	Fosfato da Flórida	0,78383 b
C ₃ (FF) e P ₃ (FF)	70	Fosfato da Flórida	0,71733 b
C ₀ e P ₀ (testemunhas)	0	—	0,44450 c

CV (%) = 9,21

DMS = 0,1087

* Letras iguais não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Já no solo sob condição de capoeira, os índices de eficiência do fosfato da Flórida foram de 73 e 86, respectivamente, nas doses de 2 e 4 vezes maiores que a do padrão (Tabela 5).

Comparativamente ocorreu no solo sob condição de pousio maior eficiência do fosfato da Flórida, na dose correspondente a 2 vezes à dose do padrão (70 ppm de P), do que no solo sob condição de capoeira o que se atribui também ao menor conteúdo de P. Em contrapartida não houve diferença de eficiência na dose relativa a 140 ppm de

P entre as duas condições de solo estudadas (Tabela 5).

Na literatura disponível não foram encontrados trabalhos sobre eficiência do fosfato da Flórida conduzidos em casa de vegetação que pudessem ser comparados com os resultados aqui encontrados. Contudo, os resultados obtidos no presente trabalho mostram que em doses mais baixas de P (35 ppm) o fosfato da Flórida possui eficiência em torno de 50% em relação a mesma dose do padrão, enquanto as doses

mais elevadas (2, 3 e 4 vezes mais que a do padrão) chegaram a 86%.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho, permitem as seguintes conclusões:

1. O solo estudado apresenta respostas estatisticamente significantes à adição de P na forma de fosfato da Flórida, tendo sua eficiência alcançado um índice superior a 70% do padrão na dose de duas vezes a do referido padrão;

2. A produção de matéria seca de painço foi maior no solo sob condição de capoeira devido ao seu conteúdo de P originalmente maior. Por outro lado as respostas à adição de P foram maiores no solo sob condição de pousio, em consequência do seu menor conteúdo de P;

3. O P na forma de superfosfato triplo (35 ppm) mostrou, dentre os tratamentos utilizados, as melhores respostas em ambas as condições de solo; e

4. Dentre as doses de fosfato da Flórida testadas, as mais eficientes foram as correspondentes a 70 e 140 ppm de P, respectivamente, no solo sob condição de pousio e na capoeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHANG, S.C. & CHUNG, W.K. The effect of soluble phosphate applied to soil. *J. Soil. Sci.*, 12:286-93, 1961.
- CRUZ, E. de S.; COUTO, W.S.; OLIVEIRA, R.F. de & DUTRA, S. Adubação fosfatada na Região Norte. In: OLIVEIRA, A.J. ed. **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. p. 197-326.
- CRUZ, E. de S.; OLIVEIRA, R.F. de; OLIVEIRA, N.P. de; MATOS, A. de O. & FERREIRA, W. de A. Eficiência de fosfatos naturais da Amazônia Oriental em Latossolo Amarelo das zonas bragantina e guajarina. **Relat. Téc. Anu. CPATU**, Belém, 1981. p.62-4.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido, Belém, PA. Calibração de análise de solo para a cultura do caupi (*Vigna unguiculata*). **Relat. Téc. Anu. CPATU**, Belém, 1978. p.68-77.
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 4 ed. Piracicaba-SP, ESALQ/USP, 1970, 468p.
- OLIVEIRA, R.F. de; MATOS, A. de O. & CRUZ, E. de S. Efeito da adubação e do manejo sobre a produtividade de culturas regionais. **Relat. Téc. Anu. CPATU**, Belém, 1979. p.95-6.
- OLIVEIRA, R. F. de; MATOS, A. de O. & CRUZ, E. de S. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais e artificiais nas condições edafoclimatológicas da Amazônia. **Relat. Téc. Anu. CPATU**, Belém 1980. p.91-2.
- RAIJ, B. VAN; ROSAND, P.C. & LOBATO, E. Adubação fosfatada no Brasil — apreciação geral, conclusões e recomendações. In: OLIVEIRA, A.J. ed. **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. p.9-28.

MICRONUTRIENT AVAILABILITY IN DOMINANT SOIL TYPES OF BRAZILIAN HUMID TROPICS. III. COPPER

Ramendra Singh¹

ABSTRACT: To survey Cu status of the soils of humid tropics of the Brazilian Amazon region, total and available Cu were determined in surface and subsoil samples of six major soil classes, viz. Red-Yellow Podzolics (PV), Yellow Latosols (LA), Red-Yellow Latosols (LV), "Terra Roxa Estruturada" (TE), Low Humic Gley (GPH), and Alluvial soil (AL). Total Cu in surface soils varied from 0.91 (in a PV) to 340.63 ppm (in a TE). Order of sequence of the soils for total Cu was: TE > LV > GPH > PV > LA > AL. Available Cu varied with soil type and also depended on extractant used. TE soils followed by LV and GPH contained more available Cu than other soils irrespective of extractant used. Higher Cu contents in TE soils was perhaps due to their origin from basic rocks. Copper extracting efficiency of the extractants differed and their order of sequence was: 0.05M EDTA (pH 7.0) > 0.1N HCl > 0.05N HCl + 0.025N H₂SO₄ > 0.005M DTPA (pH 7.3) > 1N NH₄OAc (pH 4.6). In spite of such differences, the extractants correlated significantly with each other ($r > 0.82^{**}$). Copper extracted by any of the five extractants correlated significantly with clay ($r > 0.47^{**}$), total P ($r > 0.50^{**}$) and Fe_d ($r > 0.62^{**}$) content of the soils. Similarly total Cu correlated significantly with total P ($r = 0.64^{**}$), clay ($r = 0.67^{**}$) and Fe_d ($r = 0.92^{**}$). The Cu extracting efficiency of 0.05M EDTA (pH 7.0) and 0.005M DTPA (pH 7.3) affected the least number of soil properties and hence were more suitable to diverse soil types. As the efficiency of 0.05M DTPA (pH 7.3) was more moderate than that of 0.05M EDTA (pH 7.0), it was considered the most suitable one but required standardization. Based on adopted critical limit of 0.2 ppm Cu extracted by 0.05M DTPA (pH 7.3), 47% of the soils were deficient. All the deficient soils belonged to PV and LA soil classes and were generally coarse textured. Only TE soils may contain phytotoxic levels of available Cu. Surface soil samples in general contained less total but more available Cu than samples of subsoil and those taken at increasing soil depth.

Index terms: Amazon Region, available copper, total copper, deficiency and toxicity, relative efficiency of extractants.

DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES EM TIPOS DOMINANTES DE SOLOS DO TRÓPICO ÚMIDO BRASILEIRO. III. COBRE

RESUMO: Para o levantamento do estado do cobre em solos do trópico úmido da região amazônica brasileira foram determinados os valores de Cu total e assimilável em amostras superficiais e subsuperficiais de seis classes dominantes de solos, quais sejam: Podzólico Vermelho-Amarelo (PV), Latossolo Amarelo (LA), Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), Terra Roxa Estruturada (TE), Gley Pouco Húmico (GPH), e solo Aluvial (AL). O Cu total em amostras superficiais

¹Ph. D. Soil Fertility Specialist. Convênio IICA/EMBRAPA. CPATU. Caixa Postal 48. CEP 66000. Belém, PA.

de solos variou de 0.91 (em um PV) a 340.63 ppm (em um TE). A sequência dos solos quanto ao Cu total foi: TE > LV > GPV > PV > LA > AL. O Cu assimilável que variou com o tipo de solo, também depende do extrator utilizado. As TE seguidas pelos LV e GPV, contém mais Cu assimilável que as outras classes de solos, independentemente do extrator utilizado. O alto teor de Cu nas TE pode ser devido serem solos originados de rochas básicas. A sequência dos extratores de Cu assimilável nos solos, foi: EDTA 0,05M (pH, 7,0) > HCl 0,1N > HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N > DTPA 0,005M (pH 7,3) > NH₄OAc 1N (pH 4,6). Apesar destas diferenças, os extratores, entre si, apresentaram correlações significativas ($r > 0,82^{**}$). Coeficientes de correlação significativos foram encontrados entre o Cu extraído por qualquer dos cinco extratores e os teores de argila ($r > 0,47^{**}$), P total ($r > 0,50^{**}$) e Fe_d ($r > 0,62^{**}$) dos solos. O Cu total também apresentou correlações significativas com o P total ($r = 0,64^{**}$), argila ($r = 0,67^{**}$) e Fe_d ($r = 0,92^{**}$). Os teores de Cu extraído pelo EDTA 0,05M (pH 7,0) e pelo DTPA 0,005M (pH 7,3) foram os menos afetados pelas propriedades dos solos, portanto são os extratores mais pertinentes para as diversas classes de solo. Como a extração pelo DTPA 0,005M (pH 7,3) foi mais moderado que pelo EDTA 0,05M (pH 7,0), este último foi considerado como o mais conveniente, porém requerendo padronização. Baseado no limite crítico adotado de 0,2 ppm para o Cu extraído com DTPA 0,005M (pH 7,3), 47% dos solos estudados apresentaram deficiências. Todos os solos deficientes pertencem a classe dos PV e LA, tendo geralmente textura mais leve. Somente as TE podem conter níveis de Cu fitotóxicos. As amostras superficiais de solo, geralmente, contém menos Cu total porém, mais Cu assimilável que as amostras subjacentes e de maior profundidade.

Termos para indexação: Região amazônica, cobre disponível, cobre total, deficiência e toxidez de cobre, eficiência relativa dos extratores.

INTRODUCTION

Cooper (Cu) deficiency and sometimes its toxicity in soils adversely affect crop production. In a recent review, Graham & Nambiar (1981) have emphasized the need to ameliorate Cu deficiency in cereal-growing soils of the world to increase cereal production. In Brazil, Cu deficiency appears to be prevalent in sandy soils. Citrus grown on such soils in the Votuporanga county of São Paulo state were reported to suffer from Cu deficiency (Rodriguez & Gallo 1960). Primavesi and Primavesi (1971) found response to Cu in rice grown on sandy soils of the state of Rio Grande do Sul. Malavolta (1967) has also considered that Cu deficiency may generally be acute in acidic sandy soils especially those inherently poor in this element. Besides, Cu deficiency has been reported in soils of other regions, i. e. in sugarcane-growing 'tabuleiro' soils of Alagoas state (Cavalcanti 1975) and in some soils of the 'Zona Litoral-Mata' region of the state of Pernambuco (Horowitz & Dantas 1973).

Cooper deficiency in soils and as a result in pasture grasses may affect animal

production as well. Low levels of Cu in pasture grasses of Morrinhos county in Goiás state (Teixeira et al. 1971) and in Marajó island in the state of Pará (Costa & Moreira 1983) were considered inadequate to meet the nutritional requirement of grazing animals.

Since crop and animal production are a major activity in the humid tropics of the Brazilian Amazon region, it was deemed necessary to conduct a preliminary survey of the Cu status of the predominant soil types of the region. Accordingly, this study was conducted with the objective to (i) determine total and available Cu in the soils; (ii) select a suitable chemical extractant for plant available Cu in soils; and (iii) diagnose deficiency/sufficiency and/or toxicity of Cu in the soils.

MATERIALS AND METHODS

Soils

Soil samples (surface and subsoil) for the study were collected from the humid tropics of the Brazilian Amazon region. These soils, based on Brazilian system of soil clas-

sification, represented six major soil classes, viz. Red-Yellow Podzolics (PV), Yellow Latosols (LA), Red-Yellow Latosols (LV), "Terra Roxa Estruturada" (TE), Low Humic Gley (GPH), and Alluvial soil (AL). According to the U.S. Soil Taxonomy, while latosols, Podzolics and "Terra Roxa Estruturada" correspond to Oxisols, Ultisols and Alfisols orders respectively, the Low Humic Gley and Alluvial soils are Inceptisols/Entisols. The same samples were used in earlier studies on zinc (Singh & Möller 1984) and manganese (Singh 1984).

Analyses of Physico-chemical Properties of the Soils

The physico-chemical properties of the soils were determined as per methods described in Singh & Möller (1984).

Analysis of Total Cu in the Soils

Total Cu was determined by atomic absorption spectrophotometer in the extracts prepared by digesting soil samples in HClO_4 70% as per method described by Singh & Möller (1984).

Analysis of Available Cu in the Soils

Five different chemical extracts were used to extract available Cu from the soils as per details given below: 1. Extraction with 0.1N HCl. A 5g sample of soil was shaken for 45 minutes with 50 ml 0.1N HCl solution and filtered through Whatman No. 42 filter paper; 2. Extraction with 0.05N HCl + 0.025N H_2SO_4 (Mehlich extractant). A 5g sample of soil was shaken for 15 minutes with 20 ml Mehlich extractant and filtered through Whatman No. 42 filter paper; 3. Extraction with 1N NH_4OAc (pH 4.6) (Morgan extractant). A 5g sample of soil was shaken for 2 hours with 50 ml of Morgan extractant and filtered through Whatman No. 42 filter paper; 4. Extraction with 0.005M DTPA (pH 7.3) (Lindsay & Norvell 1978). A 10g sample of soil was shaken for 2 hours with 20 ml of

0.005M DTPA, 0.1M TEA and 0.01M CaCl_2 (pH 7.3) solution and filtered through Whatman No. 42 filter paper; 5. Extraction with 0.05M EDTA (pH 7.0) (Viro 1955). A 5g samples of soil was shaken for 15 minutes with 20 ml 0.05M EDTA (pH 7.0) solution and filtered through Whatman No. 42 filter paper.

The Cu in the filterates was analysed by atomic absorption spectrophotometry.

Statistical Analysis

The results were analysed statistically by standard methods of simple correlation analysis and stepwise multiple linear regression analysis.

RESULTS

The results of soil analysis for physico-chemical properties were presented earlier (Singh & Möller 1984) and for total and available Cu are presented in detail in Annex 1 and in summary form in Table 1.

Total Cu

The total Cu in the soils varied from 0.91 (in a PV) to 340.63 ppm (in a TE) with an average of 25.67 ppm (Table 1). The decreasing order of sequence of the soils for total Cu was found to be: TE > LV > GPH > PV > LA > AL. The total Cu content in TE varied from 171.13 to 340.63 ppm while in rest of the other soils it varied from 0.91 to 35.52 ppm. The TE soils were thus richest in total Cu which was perhaps due to their formation from basic rocks.

Barring a few cases, subsoil contained more total Cu than surface soil. For some soil classes distribution of total Cu in the profile was studied in relation to some selected soil properties. Total Cu followed the trend of clay content which also invariably increased with increasing soil depth. The trend of organic carbon was opposite as it decreased with increasing soil depth (Table 2).

TABLE 1 — Copper extracted by different extractants from surface soil samples and their total Cu content (ppm).

Extractant and total Cu	Statistical Parameter	Soil Classes						
		PV	TE	LV	LA	GPH	AL	All soils
0.1N HCl	Minimum	0.14	7.48	0.68	0.27	0.68	—	0.14
	Maximum	4.45	30.66	4.48	0.41	2.99	0.68	30.66
	Mean	0.60	15.77	2.35	0.35	1.76	0.68	2.17
	Standard Deviation	0.84	8.98	1.58	0.07	0.70	—	5.06
0.05N HCl + 0.025N H ₂ SO ₄	Minimum	0.00	4.52	0.43	0.00	0.21	—	0.00
	Maximum	2.77	22.56	3.83	0.21	1.38	0.37	22.56
	Mean	0.23	10.40	1.95	0.07	0.84	0.37	1.30
	Standard Deviation	0.53	7.14	1.41	0.06	0.45	—	2.58
1N NH ₄ OAc (pH 4.6)	Minimum	0.00	1.48	0.16	0.00	0.00	—	0.00
	Maximum	0.33	9.05	1.48	1.16	0.66	0.16	9.05
	Mean	0.09	3.66	0.77	0.23	0.35	0.16	0.51
	Standard Deviation	0.09	3.13	0.54	0.38	0.22	—	1.37
0.005M DTPA (pH 7.3)	Minimum	0.09	7.66	0.54	0.03	0.29	—	0.03
	Maximum	3.09	12.10	1.52	0.26	1.80	0.31	12.10
	Mean	0.28	9.26	1.06	0.09	1.13	0.31	1.21
	Standard Deviation	0.59	1.76	0.40	0.07	0.48	—	2.61
0.05M EDTA (pH 7.0)	Minimum	0.06	7.95	0.65	0.06	1.00	—	0.06
	Maximum	5.25	48.41	4.31	0.30	2.66	0.47	48.41
	Mean	0.46	20.58	2.20	0.10	1.78	0.47	2.47
	Standard Deviation	1.01	16.20	1.54	0.08	0.58	—	7.43
Total Cu	Minimum	0.91	171.13	6.46	1.61	6.46	—	0.91
	Maximum	35.52	340.63	30.67	3.23	14.53	1.61	340.63
	Mean	3.66	236.51	16.68	2.07	11.53	1.61	25.67
	Standard Deviation	6.84	67.19	10.24	0.73	2.50	—	68.38

TABLE 2. Depthwise distribution of total and available Cu in relation to some soil properties.

Soil Number	Depth (cm)	Total Cu (ppm)	Available Cu (ppm)					Soil Properties		
			0.1N HCl	0.005M DTPA (pH 7.3)	0.05N HCl + 0.025N H ₂ SO ₄	0.05M EDTA (pH 7.0)	1N NH ₄ OAc (pH 4.6)	pH (H ₂ O)	Clay %	organic Carbon (%)
<u>RED - YELLOW PODZOLICS</u>										
<u>Mazagão, AP</u>										
39.146	0-15	3.23	0.41	0.17	0.05	0.24	0.00	4.10	49	2.43
39.147	15-30	3.62	0.27	0.06	0.00	0.06	0.00	4.50	57	1.41
39.148	30-45	5.43	0.27	0.03	0.05	0.06	0.00	4.70	63	0.86
39.149	45-60	4.59	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	4.65	65	0.61
<u>Boa Vista, RR</u>										
39.230	0-15	35.52	4.45	3.09	2.77	5.27	0.33	6.00	34	1.10
39.231	15-30	39.26	3.67	1.69	2.98	4.25	1.15	4.90	46	0.52
39.232	30-60	45.09	2.99	0.86	2.45	3.37	1.15	5.10	50	0.43
<u>YELLOW LATOSOLS</u>										
<u>Macapá, AP</u>										
39.141	0-15	1.61	0.27	0.03	0.05	0.06	0.16	5.00	23	0.70
39.142	15-30	2.72	0.41	0.03	0.00	0.06	0.00	4.44	25	0.16
39.143	30-60	3.34	0.14	0.03	0.00	0.00	0.16	5.45	29	0.28
<u>Boa Vista, RR</u>										
39.233	0-10	1.61	0.41	0.03	0.05	0.12	0.00	4.60	21	0.43
39.234	10-25	2.11	0.27	0.00	0.00	0.06	0.00	4.90	25	0.28
39.235	25-70	3.34	0.14	0.03	0.00	0.06	0.16	5.20	29	0.18
<u>RED - YELLOW LATOSOLS</u>										
<u>Boa Vista, RR</u>										
39.225	C.25	30.67	4.48	1.52	3.83	4.31	1.48	5.40	37	0.37
39.226	25-35	30.50	4.22	1.26	3.83	4.31	1.65	5.50	42	0.34
39.227	35-70	30.06	3.40	0.77	2.93	3.31	1.65	5.70	41	0.25

Available Cu

Available Cu in soil was extracted by five different chemical extractants and its contents varied from one soil type to another as well as depended on the extractant used (Table 1). Generally, TE soils followed by LV and GPH soils contained higher available Cu as compared to the other soils irrespective of the extractant used. The LA soils, on the contrary, contained the least quantities of available Cu extracted by any of the five extractants.

Surface soil generally contained more available Cu than subsoil. But in some cases it was the same or even more. In the soil profile decrease in available Cu with increasing soil depth followed the trend of organic carbon but was opposite to that of clay content (Table 2).

Comparing the efficiency of the extractants for the quantity of Cu extracted, the decreasing order of sequence was found to

be: 0.05M EDTA (pH 7.0) > 0.1N HCl > 0.05N HCl + 0.025N H₂SO₄ > 0.005M DTPA (pH 7.3) > 1N NH₄OAc (pH 4.6). This indicated that the strong chelating agent e.g. EDTA and mineral acids e.g. HCl and a mixture of HCl and H₂SO₄ exercised stronger extracting action than that by other extractants. The DTPA and NH₄OAc were apparently mild in their behaviour to extract Cu from the soils.

Inter-relationship among the Extractants used

The simple correlation coefficients were determined among the quantities of Cu extracted by different extractants (Table 3). Strong correlation among all the extractants ($r > 0.82^{**}$) irrespective of differences in their efficiency to extractant Cu from indicated the general usefulness of these extractants in determining available Cu.

TABLE 3. Simple correlation among Cu extracted with different extractants and total Cu in surface soil samples.

Extractant	0.1N HCl	0.05N HCl + 0.025N H ₂ SO ₄	1N NH ₄ OAc (pH 4.6)	0.005M DTPA (pH 7.3)	0.05M EDTA (pH 7.0)	Cu Total
0.1N HCl	1	0.99**	0.96**	0.92**	0.96**	0.93**
0.05N HCl + 0.025N H ₂ SO ₄		1	0.98**	0.89**	0.98**	0.90**
1N NH ₄ OAc (pH 4.6)			1	0.82**	0.97**	0.87**
0.005M DTPA (pH 7.3)				1	0.87**	0.97**
0.05M EDTA (pH 7.0)					1	0.90**
Total Cu						1

** Significant at the level of 0.01.

The other important finding is that the Cu extracted by all the five extractants highly significantly correlated ($r > 0.87^{**}$) with total Cu.

Influence of Soil Properties on Extracted Cu

Highly significant correlation coefficients were found between the Cu extracted and clay ($r > 0.47^{**}$), total P ($r > 0.50^{**}$) and Fed ($r > 0.62^{**}$) contents of the soils (Table 4).

Of these three soil properties, free iron oxides in the soils appear to exert more dominant influence on the amount of Cu extracted.

The total Cu content of the soils also correlated highly significantly with total P ($r = 0.64^{**}$), clay ($r = 0.67^{**}$) and Fed ($r = 0.92^{**}$) contents. These inter-related soil parameters besides being determinants of the efficacy of the extractants were apparently also indicators of the relative extent to which the soils may contain total Cu.

TABLE 4. Simple correlation between soil properties and Cu extracted by different extractant and total Cu of surface soil samples.

Extractant	Soil Properties					
	pH	Organic Carbon	Clay	Available P	Total	Fe _d
0.1N HCl	0.26ns	0.02ns	0.58**	-0.14ns	0.58**	0.75**
0.05N HCl + 0.025N H ₂ SO ₄	0.27ns	-0.01ns	0.54**	-0.15ns	0.54**	0.70**
1N NH ₄ OAc (pH 4.6)	0.24ns	-0.07ns	0.47**	-0.14ns	0.50**	0.62**
0.005M DTPA (pH 7.3)	0.14ns	0.07ns	0.70**	-0.15ns	0.67**	0.90**
0.05M DTPA (pH 7.0)	0.22ns	0.01ns	0.53**	-0.12ns	0.57**	0.70**
Total-Cu	0.14ns	0.03ns	0.67**	0.16ns	0.64**	0.92**

ns Not significant at the level of 0.05.

* Significant at the level of 0.05.

** Significant at the level of 0.01.

In order to determine the influence of the soil properties as a group on the Cu extracted by the extractants, step-wise multiple linear regression analysis was done to fit the best prediction equations (Table 5). It was interesting to note that only two parameters viz. total Cu and Fe_d entered into the equations. This analysis thus further confirmed the predominant effect that these two parameters may have on the extracting efficiency of the extractants. Nevertheless, in order to select a suitable extractant, the criteria adopted has been that the extractant whose extracting efficiency was affected by the least number of soil parameters was perhaps the most convenient one as it could be adopted to a diverse group of soil types. Based on this criteria, 0.005M DTPA (pH 7.3) and 0.05M EDTA (pH 7.0)

were classified as suitable extractants. It may, however, be recalled that of the extractants, 0.005M DTPA (pH 7.3) was more moderate in its ability to extract Cu from the soils.

Diagnosis of Cu Deficiency/Sufficiency or Toxicity in Soils

A preliminary diagnosis, based on the critical limit of 0.2 ppm Cu extracted by 0.005M DTPA (pH 7.3) as fixed by Lindsay & Norvell (1978) for corn, was made to categorize soils as deficient/sufficient in available Cu. Accordingly, 22 soils (47% of the soils studied) were classified as deficient. It was observed that only La and PV soils were deficient with 86 per cent and 67 per cent of these soils being deficient.

TABLE 5. The best linear regression equations fitted by stepwise analysis between Cu extracted by different extractants from surface soil samples and their physico-chemical properties.

Extractant	Equation	r ²
0.01N HCl	$\hat{Y} = 1.349 + 0.114X_1 - 0.739X_2$	0.93
0.05N HCl + 0.025N H ₂ SO ₄	$\hat{Y} = 0.917 + 0.088X_1 - 0.662X_2$	0.93
1N NH ₄ OAc (pH 7.0)	$\hat{Y} = 0.468 + 0.037X_1 - 0.319X_2$	0.91
0.005M DTPA (pH 7.3)	$\hat{Y} = 0.266 + 0.037X_1$	0.94
0.05M EDTA (pH 7.0)	$\hat{Y} = -0.036 + 0.098X_1$	0.81

1. The F value for each equation in the analysis of variance was significant at the level of 0.01.
2. In the equations Y = Cu extracted (ppm) by an extractant and X_1 = total Cu (ppm) and X_2 = Free Iron. (%Fe₂O₃).

All the surface samples of TE soils, on the other hand, contained 7 ppm Cu extracted by 0.005M DTPA (pH 7.3) which may be phyto-toxic.

DISCUSSION

Total and available Cu content of surface and subsoil samples of six major soil classes viz. PV, LA, LV, TE, GPH and AI of the humid tropics of the Brazilian Amazon region were determined by chemical methods. The surface soil samples of TE soils contained much higher total and available Cu as compared to soils of the other classes. Higher Cu content in TE soils could be perhaps explained due to their being formed from parent material composed of basic rocks. Valadares (1975) and Santos Filho & Rocha (1982) respectively working with the soils of the states of São Paulo and Paraná have also reported that soils derived from basic rocks generally contained more Cu than those soils developed from alluvial and colluvial materials, modern sediments, and sandstone.

The study showed that status of available Cu was generally better in surface soil than in subsoil. This was perhaps due to accumulation of Cu in surface soil by the activity of plants. In the surface soils, although no correlation existed between available Cu and organic carbon, their distribution in the soil profile was similar as both of them decreased with increasing soil depth. In contrast, total Cu was generally more in subsoil than in surface soil. The distribution of total Cu in soil profile followed the increase in clay content with increasing soil depth. This was in conformity to the findings of Horowitz & Dantas (1973) for some soils of the state of Pernambuco. The inverse relationship between total and available Cu contents of the soils suggests that total Cu may not be an index for available Cu for short duration crops.

Comparing the extractants for their extracting efficiency 0.05M EDTA (pH 7.0) was found to be more efficient than a mineral acid e.g. 0.1N HCl or mixture of mineral acids e.g. 0.05N HCl + 0.025N

H₂SO₄, a complexing agent e.g. 0.005M DTPA (pH 7.3) and a buffer e.g. 1N NH₄OAc (pH 4.6). Jacintho et al. (1969) also found that 1% EDTA-Na₂ extracted more Cu from some soils of the São Paulo state than that by 0.05N or 0.1N HCl and by 0.1N CH₃COOH. Strong chelating action of EDTA apparently results in greater dissolution of Cu from the soil.

Although the extractants differed in their capacity to extract Cu from the soils, they highly significantly correlated with each other ($r > 0.82^{**}$). This indicated the general usefulness of the extractants in determination of available Cu in the soils. Nevertheless, each of the extractant requires proper standardization.

The study showed a highly significant correlation of total and available Cu with clay, total P and Fe contents of the soils. The finding that more the clay content, more would be available Cu was in agreement with the general observations made by some workers (Rodriguez & Gallo 1960; Primavesi & Primavesi 1971; and Malavolta 1967) that Cu deficiency was more prevalent in sandy soils. Besides, correlation of total Cu with soil clay and Fe₂O₃ (extracted by H₂SO₄) contents has also been reported by Valadares (1975) and Santos Filho & Rocha (1982).

The stepwise multiple linear regression analysis showed that 0.05M EDTA (pH 7.0) and 0.005M DTPA (pH 7.3) may be the most suitable extractants as their extraction ability was affected by the least number of soil properties. It may, however, be pointed out that 0.05M EDTA (pH 7.0) was found to be the most efficient extractant and hence it may extract some of those fractions of Cu which are not easily available to plants. The final choice of 0.005M DTPA (pH 7.3) as the most suitable extractant for evaluation of available Cu in the soils is thus obvious. But even this extractant requires further studies and standardization through greenhouse and field experiments. In such studies the other extractants may be included for even more practical comparison through extractant-soil-plant system.

Tentatively, soils studied were categorized into deficient / sufficient classes based on critical limit of 0.2 ppm Cu extracted by 0.005M DTPA (pH 7.3) (Lindsay & Norvell 1978). Twenty two soils (47% of those studied) were found to be deficient. The deficiency of available Cu was only limited to LA and PV soil classes with 86 and 67 per cent of the soils in the respective soil classes being deficient. It was interesting to note that the deficient soils were generally coarse textured i.e. deficient PV soils barring two samples had sand, loamy sand, sandy loam and sandy clay loam texture while deficient LA soils had sandy clay loam texture. This finding further supported the observation that coarse textured soils are more prone to having Cu deficiency.

The study showed that the TE soils may be containing phytotoxic levels of available Cu. High available Cu (7 ppm Cu extracted by 0.005M DTPA (pH 7.3) in the surface soils of this soil class may lead to accumulation of toxic levels of Cu in plant tissue. This observation, however, requires verification through greenhouse and field experiments.

ACKNOWLEDGEMENT

The author sincerely thanks Nucleus of Geo-physics and Geological Sciences, Section of Geo-chemistry, Federal University of Pará for providing the facility to use their Atomic Absorption Spectrophotometer.

LITERATURE CITED

CAVALCANTI, G. Respostas a aplicação de Cu em cana de açúcar nos tabuleiros de Alagoas. Piracicaba, São Paulo, CE-NA, 1975. Trabalho apresentado no Seminário sobre Cana de Açúcar, 1975.

- COSTA, N.A. da & MOREIRA, J.R. de A. Deficiência de cálcio, fósforo e cobre e toxicidade pelo ferro em bubalinos na ilha de Marajó. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1983. 6p. (EMBRAPA-CPATU. Comunicado Técnico, 41).
- GRAHAM, D. & NAMBIAR, E.K.S. Advances in research on copper deficiency in cereals. Aust. J. Agric. Res., Melbourne, 32:1009-37, 1981.
- HOROWITZ, A. & DANTAS, H. da S. Geoquímica dos elementos menores nos solos de Pernambuco, III. Cobre na zona litoral-Mata. Pesq. Agropec. bras., Sér. Agron., Brasília, 8:169-76, 1973.
- JACINTHO, A.O.; CATANI, R.A. & PIZZINATO, A. Determinação do teor total e do teor solúvel, em diversas soluções, do cobre do solo. An. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz, Piracicaba, 26:99-117, 1969.
- LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Developments of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 42:421-8, 1978.
- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola; adubos e adubação. 2. ed. São Paulo, Ceres, 1967. 606p.
- PRIMAVESI, A.M. & PRIMAVESI, A. Influência do cobre na nutrição do arroz (*Oryza sativa* L.). R. Cent. Ci. Rurais, Santa Maria, 1(3): 9-14, 1971.
- RODRIGUEZ, O. & GALLO, J.R. Deficiências de cobre em citros. Bragantia, Campinas, 19:CXXXIII-CXXXVII, 1960. (Nota, 26).
- SANTOS FILHO, A & ROCHA, H.O. da. Cobre em solos do Estado do Paraná. R. Setor Ci. Agrar., Curitiba, 4:23-6, 1982.
- SINGH, R. Disponibilidade de micronutrientes em classes dominantes de solos do trópico úmido brasileiro. II. Manganês. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1984. 42p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 62).
- SINGH, R. MÖLLER, M.R.F. Disponibilidade de micronutrientes em classes dominantes de solos do trópico úmido brasileiro. I. Zinco. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1984. 43p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 55).

- TELXEIRA, T.; CAMPOS, J.; BRAGA, J.M. & SILVA D.J. Deficiência de fósforo, cobre e cobalto em pastagens no município de Morrinhos, Goiás. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNICA, 8., Rio de Janeiro, 1971. *Anais...* Rio de Janeiro SBZ, 1971. p. 79-80.
- VALADARES, J.M.A.S. Cobre em solos do Estado de São Paulo. I. Cobre total. *Bragantina*, Campinas, 34(4): 125-32, 1975.
- VIRO, P. Use of ethylenediaminetetraacetic acid in soil analysis. I. *Experimental. Soil Sci.*, Baltimore, 79:459-65, 1955.

APPENDIX 1. Total and available Cu content of different soils (ppm)

Protocol Nº	Depth (cm)	Total	0.05M DTPA + 0.1M TEA + 0.01M CaCl ₂ (pH 7.3)				
			0.1N HCl	0.05N HCl + 0.25N H ₂ SO ₄	0.05M EDTA (pH 7.0)	1N NH ₄ OAc (pH 4.6)	

Red-Yellow Podzolics**Capitão Poço-PA**

39.041	0-15	1.24	0.41	0.11	0.11	0.18	0.16
39.042	0-15	1.86	0.95	0.17	0.21	0.30	0.00
39.043	0-15	1.86	0.41	0.11	0.11	0.12	0.16
39.044	0-15	4.84	0.54	0.20	0.16	0.24	0.00
39.045	0-15	3.23	0.54	0.26	0.16	0.35	0.16
39.046	15-60	3.02	0.27	0.09	0.00	0.12	0.16
39.047	0-15	4.84	0.54	0.23	0.11	0.41	0.00
39.048	15-60	5.13	0.41	0.23	0.21	0.35	0.16
39.049	0-15	1.86	0.27	0.11	0.11	0.18	0.16
39.050	0-15	2.17	0.41	0.20	0.11	0.30	0.16
39.051	0-15	1.61	0.41	0.20	0.11	0.35	0.16

Tracuateua-PA

39.052	0-15	1.24	0.14	0.09	0.16	0.18	0.16
39.053	15-60	1.21	0.14	0.03	0.00	0.06	0.16
39.054	0-15	0.91	0.14	0.09	0.11	0.12	0.00
39.055	15-60	0.91	0.14	0.03	0.00	0.06	0.16
39.056	0-15	0.91	0.14	0.09	0.05	0.12	0.00
39.057	0-15	0.91	0.27	0.09	0.05	0.12	0.00

Bragança-PA

39.058	0-15	1.81	0.27	0.11	0.05	0.24	0.00
39.059	0-15	1.61	0.27	0.14	0.11	0.18	0.16

Vizeu-PA

39.062	0-15	0.51	0.14	0.09	0.00	0.06	0.00

Altamira-PA

39.071	0-15	8.07	0.95	0.37	0.27	0.53	0.16
39.072	15-30	16.01	1.22	0.83	0.85	1.30	0.49

Tomé-Açu-PA

39.164	0-15	1.61	0.41	0.17	0.21	0.30	0.16
39.165	15-30	3.32	0.27	0.11	0.21	0.24	0.16

APPENDIX 1. Continued

Protocol Nº	Depth (cm)	Total	0.1N HCl	0.05M DTPA + 0.1M TEA + 0.01M CaCl ₂ (pH 7.3)		0.05M EDTA (pH 7.0)	1N NH ₄ OAc (pH 4.6)
					0.05N HCl + 0.25N H ₂ SO ₄		
39.166	0-15	1.61	0.95	0.11	0.11	0.18	0.00
39.167	15-30	2.72	0.41	0.09	0.05	0.12	0.16
39.168	0-15	3.23	0.68	0.29	0.16	0.78	0.00
39.169	15-30	3.32	0.82	0.11	0.11	0.18	0.16
<u>Igarapé Açú-PA</u>							
39.170	0-15	1.21	1.27	0.14	0.11	0.18	0.16
39.171	15-30	0.91	0.27	0.11	0.11	0.12	0.16
<u>Santa Isabel-PA</u>							
39.174	0-15	1.21	0.41	0.14	0.11	0.14	0.00
39.175	15-30	1.21	0.27	0.17	0.11	0.18	0.00
<u>Mazagão-AP</u>							
39.146	0-15	3.23	0.41	0.17	0.05	0.24	0.00
39.147	15-30	3.62	0.27	0.06	0.00	0.06	0.00
39.148	30-45	5.43	0.27	0.03	0.05	0.06	0.00
39.149	45-60	4.59	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00
<u>Boa Vista-RR</u>							
39.230	0-15	35.32	4.45	3.09	2.77	5.27	0.33
39.231	15-30	39.26	3.67	1.69	2.98	4.25	1.15
39.232	30-60	45.09	2.99	0.86	2.45	3.37	1.15
<u>Macapá-AP</u>							
39.138	0-15	3.23	0.41	0.09	0.11	0.06	0.16
39.139	0-15	1.61	0.41	0.06	0.05	0.06	0.16
39.140	0-15	1.61	0.27	0.09	0.05	0.06	0.16
39.141	0-15	1.61	0.27	0.06	0.05	0.06	0.16
39.142	15-30	2.72	0.41	0.03	0.00	0.06	0.00
39.143	30-60	3.34	0.14	0.03	0.00	0.00	0.16
39.144	0-15	1.61	0.27	0.06	0.00	0.06	0.00
39.145	0-15	3.23	0.41	0.26	0.21	0.30	0.00
<u>Boa Vista-RR</u>							
39.233	0-10	1.61	0.41	0.03	0.05	0.12	0.00
39.234	10-25	2.11	0.27	0.00	0.00	0.06	0.00
39.235	25-70	3.34	0.14	0.03	0.00	0.06	0.16

APPENDIX 1. Continued

Protocol No	Depth (cm)	Total	0.1N HCl	0.05M DTPA + 0.1M TEA + 0.01M CaCl ₂ (pH 7.3)		0.05M EDTA (pH 7.0)	1N NH ₄ OAc (pH 4.6)
					0.05N HCl + 0.25N H ₂ SO ₄		
Red-Yellow Latosols							
<u>Altamira-PA</u>							
39.065	0-10	6.46	0.68	0.54	0.43	0.65	0.16
39.066	10-60	7.85	1.09	0.46	0.37	0.65	0.16
<u>Boa Vista-RR</u>							
39.225	0-25	30.67	4.48	1.52	3.83	4.31	1.48
39.226	25-35	30.50	4.22	1.26	3.83	4.31	1.65
39.227	35-70	30.06	3.40	0.77	2.93	3.31	1.65
39.228	0-10	12.92	1.90	1.12	1.60	1.65	0.66
39.229	10-30	14.80	2.18	1.03	1.76	1.95	0.82
"Terra Roxa Estruturada"							
<u>Altamira-PA</u>							
39.063	0-15	171.13	10.20	9.35	6.33	12.99	1.91
39.064	15-60	175.16	8.70	1.66	8.91	8.62	2.47
39.067	0-15	250.23	7.48	7.66	4.52	12.99	1.48
39.068	0-15	340.63	30.66	12.10	22.56	48.41	9.05
39.069	15-60	347.30	25.40	4.43	21.92	36.01	11.19
39.070	0-15	184.04	14.75	7.95	8.19	7.95	2.30
<u>Low Humic Gley</u>							
<u>Vizeu-PA</u>							
39.060	0-15	12.92	1.22	0.29	0.43	1.30	0.33
39.061	0-15	12.92	2.99	0.66	1.38	2.66	0.33
39.658	0-15	11.30	1.50	1.23	0.48	1.48	0.16
<u>Santa Isabel-PA</u>							
39.172	0-15	6.46	1.57	1.23	0.90	1.48	0.33
39.173	15-30	8.46	1.36	1.17	0.80	1.48	0.33
<u>Bragança</u>							
39.657	0-15	9.69	0.68	1.69	0.21	1.00	0.00
<u>Mazagão-AP</u>							
39.150	0-20	12.92	12.04	1.60	1.28	2.13	0.66

APPENDIX 1. Continued

Protocol Nº	Depth (cm)	Total	0.1M HCl	0.05M DTPA + 0.1M TEA + 0.01M CaCl ₂ (pH 7.3)		0.05M EDTA (pH 7.0)	1M NH ₄ OAc (pH 4.6)
					0.5M HCl + 0.25M H ₂ SO ₄		
39.151	20-40	9.66	1.22	0.77	0.80	1.06	0.66
39.152	0-20	14.53	2.31	1.80	1.33	2.42	0.66
39.153	20-40	13.29	2.04	1.43	1.38	1.89	0.82
<u>Alluvial</u>							
<u>Boa Vista-RR</u>							
39.236	0-15	1.61	0.68	0.31	0.37	0.47	0.16
39.237	15-30	3.62	0.68	0.34	0.37	0.53	0.16

MICRONUTRIENT AVAILABILITY IN DOMINANT SOIL TYPES OF BRAZILIAN HUMID TROPICS. IV. IRON

Ramendra Singh¹

ABSTRACT: With the objective to delineate deficiency/sufficiency or toxicity of iron in the predominant soil types of humid tropics of Brazilian Amazon region, total and available Fe were determined in samples representing Red-Yellow Podzolic (PV), Yellow Latosols (LA), Red-Yellow Latosols (LV), "Terra Roxa Estruturada" (TE), Low Humic Gleys (GPH) and Alluvial Soil (AL) apart from their physico-chemical properties. Relationship between free iron oxide contents (Fe_d) and total Fe determined by perchloric acid and by sulfuric acid methods showed that the latter method was more suitable to estimate total iron in the soils. Total Fe as per this method varied from 0.46 to 26.33% Fe_2O_3 and the sequence of the soils for total Fe was found to be: $\text{TE} > \text{GPH} > \text{LV} > \text{LA} > \text{PV} > \text{AL}$. The same sequence of soils was found for Fe_d whose contents varied from 0.11 to 22.52% Fe_2O_3 and thus was the predominant form of Fe in the soils. An almost perfectly linear relation between Fe total and Fe_d suggested that Fe_d content of the soils could be predicted with confidence ($r^2 = 0.92$) from their total Fe contents. Available Fe determined by 0.005M DTPA (pH 7.3), 0.05M EDTA (pH 7.0), 0.05N HCl + 0.025 NH_4SO_4 and 1N NH_4OAc (pH 4.6) varied with soil type and also with the extractant used. Available Fe correlated negatively with soil pH ($r \geq -0.49^{**}$) but positively with organic carbon ($r \geq 0.65^{**}$) and total P ($r \geq 0.31^{**}$). A stepwise linear regression analysis showed that 1N NH_4OAc (pH 4.6) was the most promising extractant for determining available Fe in the soils but required proper standardization in comparison to other extractants. Based on the adopted critical limit of 8 ppm Fe extracted by 0.005M DTPA (pH 7.3) almost all soils were found to be sufficient in available Fe. The possibility of Fe toxicity in submerged rice in GPH soils containing 300 - 400 ppm Fe extracted by 0.005M DTPA (pH 7.3) has been discussed, with the recommendation that appropriate studies should be undertaken to solve the problem. Study of some soil profiles showed that while total Fe increased with increasing soil depth, available Fe, on the contrary, decreased. Total Fe followed the depthwise distribution of clay contents but available Fe associated with that of organic carbon.

Index terms: Amazon Region, available iron, free iron oxides, total iron, iron sufficiency and toxicity, relative efficiency of extractants.

DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES EM CLASSES DOMINANTES DE SOLOS DO TRÓPICO ÚMIDO BRASILEIRO. IV. FERRO

RESUMO: Com o objetivo de delinear deficiência/suficiência ou toxicidade de ferro em classes dominantes de solos do trópico úmido da região amazônica brasileira, foram determinados valores de Fe total e assimilável em amostras de Podzólico Vermelho-Amarelo (PV), Latossolo Ama-

¹Ph. D. Soil Fertility Specialist. Convênio IICA/EMBRAPA-CPATU. Caixa Postal 48. CEP 66000. Belém, PA.

relo (LA), Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), Terra Roxa Estruturada (TE), Gley Pouco Húmico (GPH), e solo Aluvial (AL) além de suas propriedades físico-químicas. Relacionamento entre o conteúdo de ferro livre (Fe_d) e o de ferro total determinado pelos ataques perclórico e sulfúrico mostrou que o último método é o mais conveniente na estimativa do ferro total dos solos. O ferro total determinado por este método variou de 0,46 a 26,33% de Fe_2O_3 e a sequência dos solos quanto ao Fe total foi: TE > GPH > LV > LA > PV > AL. A mesma sequência foi achada para o Fe_d , cujo conteúdo de Fe_2O_3 variou de 0,11 a 22,52% que foi no entanto a forma dominante de Fe nos solos. A equação linear de regressão quase perfeita entre Fe total e Fe_d sugeriu que o conteúdo de Fe_d pode ser predito com confiança ($r^2 = 0,92$) pelo conteúdo de Fe total. O Fe disponível extraído pelo DTPA 0,005M (pH 7,3), EDTA 0,05M (pH 7,0), HCl 0,05N + H_2SO_4 0,025N e NH_4OAc 1N (pH 4,6), variou com o tipo de solo e com o extrator usado. O Fe disponível correlacionou-se negativamente com o pH do solo ($r \geq 0,49^{**}$) mas positivamente com o carbono ($r \geq 0,65^{**}$) e o P total ($r \geq 0,31^{**}$). A análise de regressão linear passo a passo mostrou que o NH_4OAc 1N (pH 4,6) foi um extrator promissor para a determinação de Fe disponível mas requer padronização própria comparado com outros extratores. Baseado no nível crítico adotado de 8 ppm extraído pelo DTPA 0,005M (pH 7,3) quase todos os solos foram suficiente em Fe disponível. Há a possibilidade de ocorrer toxidez de Fe em arroz de várzea sobre GPH com conteúdo de 300 - 400 ppm Fe extraído pelo DTPA 0,005M (pH 7,3). Tem sido discutida a recomendação que um apropriado estudo deva ser feito para resolver este problema. Estudos de alguns perfis de solos mostraram que enquanto o Fe total cresceu com o aumento da profundidade, o Fe disponível, ao contrário, decresceu. O Fe total seguiu a argila na distribuição com a profundidade mas o Fe disponível associou-se ao carbono orgânico.

Termos para indexação: Região amazônica, ferro disponível, ferro livre, ferro total, suficiência e toxidez de ferro, eficiência relativa dos extratores.

INTRODUCTION

Soils of the tropical region are generally rich in iron. A large proportion of the iron in these soils exists as free iron oxides which influence many physical and chemical properties. From the point of view of plant nutrition, however, the availability of iron to plants is predominantly governed by soil pH and oxidation-reduction conditions and those factors that influence these parameters. Quite often, deficiency of iron in the soils is not due to their low native level but is due to high pH and/or the conditions leading to oxidation of Fe^{2+} to Fe^{3+} . Asghar and Kanehiro (1981) have reported that pineapple suffered from iron deficiency in an oxisol of Hawaii, even when it had high levels of native iron, because this soil contained large amounts of higher valence manganese oxides which oxidized iron to unavailable Fe^{3+} . Toxicity of iron, on the other hand, is caused by reducing conditions under flooding of soil by inundation or by poor

water drainage which result in predominance of readily available Fe^{2+} (Ponnamperuma 1972).

According to Cox (1972), there is little evidence of any native iron deficiency in the soils of Latin America. In Brazil, a few reports have Brazil, though indicated deficiency of iron in coffee (Lott et al. 1961) and in sugarcane (Gallo et al. 1968) grown on some soils of the state of São Paulo. On the contrary, iron toxicity has been more commonly observed in rice under submerged soil conditions in different parts of Brazil (Freire et al. 1984; Barbosa Filho et al. 1983) and elsewhere in the world (Howeler 1973; Ottow et al. 1983).

This study was undertaken to determine the status of total and available iron in the predominant soil types of the humid tropics of the Brazilian Amazon region with the objective of delineating the deficiency/sufficiency or toxicity of iron in them.

MATERIALS AND METHODS

Soils

In this study the same soil samples (both surface and subsoil), were used as in earlier studies on zinc (Singh & Möller 1984), manganese (Singh 1984a) and copper (Singh 1984b). According to the Brazilian Soil Classification System, the soils under study represent six predominant soil classes, viz. Red-Yellow Podzolics (PV), Yellow Latosols (LA), Red-Yellow Latosols (LV), "Terra Roxa Estruturada" (TE), Low Humic Gleys (GPH) and Alluvial Soil (AL). While the Latosols, Podzolics and "Terra Roxa Estruturada" soil classes correspond to Oxisols, Ultisols and Alfisols respectively in the U.S. Soil Taxonomy, the Low Humic Gleys and Alluvial Soil are Inceptisols/Entisols.

Analyses of Physico-Chemical Properties of the Soils.

The physico-chemical properties of the soils were determined as per methods described in Singh & Möller (1984).

Analysis of Total Fe in the Soils.

Total Fe was determined by digesting soil samples in HClO_4 (70%) as described by Singh & Möller (1984), and in H_2SO_4 (sp. gr. = 1.47) as described in Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1979). Iron in the extracts was analysed by atomic absorption spectrophotometry.

Analysis of Free Iron Oxides in the Soils.

Free iron oxide content (Fe_d) in the soils was determined by the citrate-dithionite-bicarbonate method (Jackson 1969).

Analysis of Available Fe in the Soils

Available Fe was extracted by four different chemical extractants, viz. 0.005M

DTPA (pH 7.3), 0.05N HCl + 0.025N H_2SO_4 , 1N NH_4OAc (pH 4.6) and 0.05M EDTA (pH 7.0). The details with respect to time of extraction, soil to solution ratio, filtration etc. are given in Singh (1984b). The Fe in the extracts was analysed by atomic absorption spectrophotometry.

Statistical Analysis

Simple correlation, linear regression and stepwise multiple linear regression analysis of the data were made as per standard statistical methods.

RESULTS

The data concerning physico-chemical properties and Fe_d contents of the soils were presented earlier (Singh & Möller 1984). The results of analyses for total and available Fe are presented in detail in Appendix 1 and in summary form in Table 1.

Total Fe

The total Fe in the soils was estimated by the perchloric acid and by the sulfuric acid digestion methods, as mentioned earlier. The sulfuric acid method gave more total Fe content in the soils than the perchloric acid method. The total Fe (% Fe_2O_3) varied from 0.36 (in a PV) to 24.69% (in a TE) by the perchloric acid method and from 0.46 (in a PV) to 26.33% (in a TE) by the sulfuric acid method (Table 1). The sequence of soils for total Fe determined by either of two methods was: $\text{TE} > \text{GPH} > \text{LV} > \text{LA} > \text{PV} > \text{AL}$. The average total Fe in TE soils was 21% Fe_2O_3 by either of the two methods in comparison to 0.49 to 4.21% Fe_2O_3 (by perchloric acid method) and 0.71 to 4.43% Fe_2O_3 (by sulfuric acid method) in other soils. Study of some soil profiles showed that total Fe generally increased with increasing soil depth and followed the trend of clay content but was opposite to that of organic carbon dis-

TABLE 1. Fe extracted (ppm) by different extractants from surface soil samples and their free and total Iron (Fe₂O₃ %).

Extractant and Free and total Fe	Statistical Parameters	Soil classes						
		PV	TE	LV	LA	GPH	AL	All soils
0.005M DTPA (pH 7.3)	Minimum	25.16	19.24	6.66	17.76	95.28	-	6.66
	Maximum	310.10	50.82	53.20	57.17	454.96	96.07	454.96
	Mean	88.76	35.25	24.89	28.25	314.30	96.07	105.21
	Standard Deviation	57.73	12.11	20.29	12.26	133.69	-	114.30
0.05M EDTA (pH 7.0)	Minimum	32.80	70.84	43.01	22.77	166.99	-	22.77
	Maximum	551.57	210.00	58.19	80.96	1222.05	154.34	1222.05
	Mean	137.77	135.99	51.44	37.59	734.82	154.34	207.96
	Standard Deviation	100.69	55.39	6.31	19.10	371.57	-	279.22
0.05N HCl + 0.025N H ₂ SO ₄	Minimum	32.04	15.09	10.56	36.31	148.32	-	10.56
	Maximum	446.69	36.31	97.68	64.38	1111.97	249.10	1111.97
	Mean	135.41	27.80	42.61	53.14	580.44	249.10	177.68
	Standard Deviation	98.64	7.94	39.11	8.78	369.72	-	239.22
1N NH ₄ OAc (pH 4.6)	Minimum	9.20	4.96	4.96	14.16	55.93	-	4.96
	Maximum	134.52	15.58	37.52	32.57	792.06	80.00	792.96
	Mean	40.35	9.20	18.88	21.24	379.18	60.00	85.76
	Standard Deviation	26.91	4.28	13.70	15.73	268.95	-	163.13
Free Iron Oxides (Fed)	Minimum	0.43	14.35	0.90	0.38	1.22	-	0.11
	Maximum	4.49	22.52	2.40	1.73	2.57	0.11	22.52
	Mean	1.20	16.84	1.76	1.35	1.84	0.11	2.69
	Standard Deviation	0.90	3.30	0.63	0.44	0.46	-	4.54
Total - Fe (HClO ₄)	Minimum	0.36	18.72	1.26	0.90	2.81	-	0.36
	Maximum	6.48	24.69	3.13	2.26	5.78	0.49	24.69
	Mean	1.51	21.42	2.41	1.78	4.21	0.49	3.73
	Standard Deviation	1.34	2.24	0.82	0.40	1.00	-	5.69
Total - Fe (H ₂ SO ₄)	Minimum	0.46	21.50	1.44	1.14	2.84	-	0.45
	Maximum	7.61	26.33	3.14	2.77	7.13	0.71	26.33
	Mean	1.84	23.15	2.51	2.26	4.43	0.71	4.17
	Standard Deviation	1.44	1.87	0.76	0.52	1.35	-	6.08

TABLE 2. Depthwise distribution of total and available Fe in relation to some soil properties.

Soil Number	Depth (cm)	Total Fe (Fe ₂ O ₃ %)		Available Fe (ppm)				Soil Properties		
		HClO ₄	H ₂ SO ₄	0.005M DTPA (pH 7.3)	0.05M HCl + 0.025M H ₂ SO ₄	0.05M EDTA (pH 7.0)	1M NH ₄ OAc (pH 4.6)	pH (H ₂ O)	Clay (%)	Organic Carbon (%)
<u>Red-Yellow Podzolics</u>										
<u>Mazagão, AP</u>										
39.146	0-15	4.00	3.87	310.10	148.32	551.57	134.52	4.10	49	2.42
39.147	15-30	3.48	5.78	85.75	113.22	237.83	82.13	4.50	57	1.41
39.148	30-45	4.68	6.13	22.20	44.86	78.43	53.40	4.70	63	0.86
39.149	45-60	4.77	3.84	9.62	29.90	32.89	12.04	4.65	65	0.61
<u>Boa Vista, RR</u>										
89.230	0-15	6.48	7.61	65.11	210.60	129.04	17.70	6.00	34	1.10
39.231	15-30	6.98	9.83	48.43	102.12	73.37	19.12	4.90	46	0.52
39.232	30-60	9.51	10.98	21.46	145.85	58.19	14.16	5.10	50	0.43
<u>Yellow Latosols</u>										
<u>Macapá, AP</u>										
39.141	0-15	1.84	2.61	19.98	36.31	22.77	14.16	5.00	23	0.70
39.142	15-30	2.00	2.78	8.14	34.18	12.65	8.50	5.55	25	0.46
39.143	30-60	2.28	3.73	2.96	7.76	7.59	4.96	5.45	29	0.28
<u>Boa Vista, RR</u>										
39.233	0-10	0.90	1.14	23.68	55.26	35.42	19.82	4.60	21	0.43
39.234	10-25	0.98	1.27	6.66	20.25	15.18	16.99	4.90	25	0.28
39.235	25-70	1.21	1.51	2.22	5.91	5.06	5.66	5.20	29	0.18
<u>Red-Yellow Latosols</u>										
<u>Boa Vista, RR</u>										
39.225	0-25	2.84	3.14	6.66	10.56	53.13	4.96	5.40	37	0.37
39.226	25-35	3.24	3.53	3.70	10.17	45.54	4.96	5.50	42	0.34
39.227	35-70	3.26	3.67	2.96	0.53	30.36	2.83	5.70	41	0.25

tribution (Table 2). In the surface soils as well, total Fe correlated significantly with clay ($r = 0.81^{**}$), with total P ($r = 0.75^{**}$) and with Fe_d ($r = 0.96^{**}$) (Table 3).

Free Iron Oxides

Free iron oxide content (Fe_d) in surface soils varied from 0.11 to 22.52% Fe₂O₃

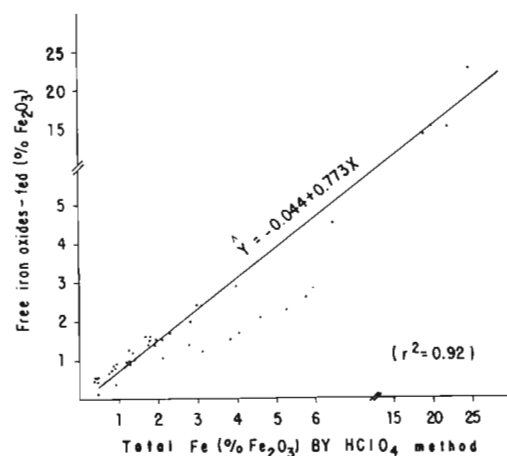
with an average of 2.69% Fe_2O_3 . The sequence of soils for Fe_d was found to be: $\text{TE} > \text{GPH} > \text{LV} > \text{LA} > \text{PV} > \text{AL}$. The proportion of Fe_d to total Fe varied from one soil type to another as can be observed below:

Soil Class	Percentage of Fe_d to total Fe	
	H_2SO_4 Method	HClO_4 Method
PV	45 - 97	66 - 121
TE	67 - 86	69 - 91
LV	62 - 82	69 - 77
LA	33 - 77	50 - 92
GPH	36 - 50	39 - 50
AL	15	22

The above data also show that while Fe_d was a fraction of total Fe determined by sulfuric acid method, in some soils it was found to be more than that determined by the perchloric acid method.

Quantitative Relationship Between Fe_d and Total Fe.

The relationship between Fe_d and total Fe is shown in Fig. 1. The linear regression equations fitted between Fe_d as dependent variable and total Fe as independent variable were not only highly significant ($P = 0.01$) but also had high values of the coefficient of determination ($r^2 = 0.92$).



Available Fe

The available Fe (Table 1) in the soils was extracted by four chemical extractants. Its content varied from one soil type to another and also depended on the extractant used, as can be observed from the sequences of soils for available Fe given below:

Extractant	Sequence
0.005M DTPA (pH 7.3)	$\text{GPH} > \text{AL} > \text{PV} > \text{TE} > \text{LA} > \text{LV}$
0.05M EDTA (pH 7.0)	$\text{GPH} > \text{AL} > \text{PV} > \text{TE} > \text{LV} > \text{LA}$
0.05N HCl + 0.025N H_2SO_4	$\text{GPH} > \text{AL} > \text{PV} > \text{LA} > \text{LV} > \text{TE}$
1N NH_4OAc (pH 4.6)	$\text{GPH} > \text{AL} > \text{PV} > \text{LA} > \text{LV} > \text{TE}$

Soils formed from alluvial materials, viz. GPH and AL, contained more available Fe than those originated from acidic rocks (PV, LA and LV) and basic rocks (TE).

The efficiency of the extractants to extract available Fe also depended on the soil types, but in general followed the sequence: 0.05M EDTA (pH 7.0) > 0.05N HCl + 0.025N H_2SO_4 > 0.005M DTPA (pH 7.3) > 1N NH_4OAc . The 0.05M EDTA (pH 7.0) was thus found to be the most efficient and 1N NH_4OAc (pH 4.6) the least, but perhaps the most moderate, one for available Fe for any of the soil types studied.

Distribution of available Fe in the soil profiles studied in relation to some of their physico-chemical properties is given in Ta-

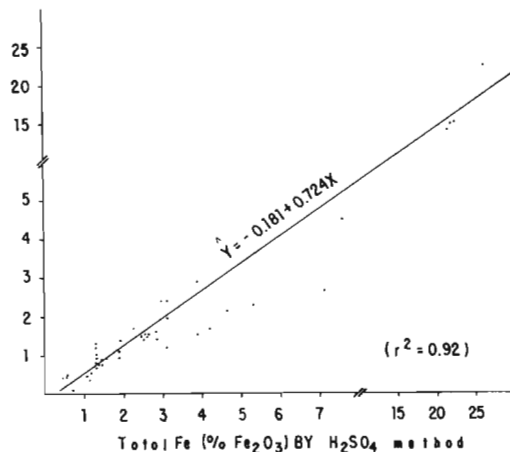


FIG.1. Relationship between free iron oxides and total iron contents of surface soil samples.

ble 2. The decrease in available Fe with increasing soil depth was accompanied similarly by organic carbon but was opposite to the trends of total Fe and clay contents.

Available Fe in Relation to Soil Properties.

A significant, negative correlation was found between soil pH and Fe extractants ($r \geq -0.49^{**}$) (Table 3). On the other hand, po-

sitive correlations were found between available Fe and organic carbon ($r \geq 0.65^{**}$) and total P ($r \geq 0.31^{**}$). Clay contents also correlated significantly with available Fe but only when extracted by 0.005M DTPA (pH 7.3), 0.05M EDTA (pH 7.0) and 1N NH_4OAc (pH 4.6) ($r \geq 0.31^*$). Correlation of available P (extracted by 0.05N HCl + 0.025N H_2SO_4 with available Fe extracted by 0.05M EDTA (pH 7.0) was the only exception ($r = 0.37^*$). Available Fe had no correlation with Fe_d (Table 3) and total Fe (Table 4).

TABLE 3. Simple correlation between soil properties and Fe extracted by different extractants and total Fe in surface soil samples.

Extractant & total Fe	Soil Properties					
	pH (H_2O)	Organic Carbon	Clay	Available P	Total P	Fe_d
0.005M DTPA (pH 7.3)	-0.49**	0.81**	0.34*	0.23ns	0.41**	-0.13ns
0.05M EDTA (pH 7.0)	-0.42**	0.77**	0.48**	0.37*	0.55**	-0.03ns
0.05N HCl + 0.025N H_2SO_4	-0.31*	0.65**	0.21ns	0.19ns	0.31*	-0.16ns
1N NH_4OAc (pH 4.6)	-0.43**	0.74**	0.31*	0.23ns	0.41**	-0.11ns
Total Fe (HClO_4)	0.01ns	0.16ns	0.81**	-0.08ns	0.75**	0.96**
Total Fe (H_2SO_4)	0.01ns	0.16ns	0.81**	-0.08ns	0.75**	0.96**

ns Not significant at the level of 0.05

* Significant at the level of 0.05

** Significant at the level of 0.01

TABLE 4. Simple correlation among Fe extracted by different extractants and total Fe in surface soil samples.

	0.005M DTPA (pH 7.3)	0.05M EDTA (pH 7.0)	0.05N HCl + 0.025N H_2SO_4	1N NH_4OAc (pH 4.6)	Total Fe (HClO_4)	Total Fe (H_2SO_4)
0.005M DTPA (pH 7.3)	1	0.93**	0.85**	0.87**	-0.05ns	-0.07ns
0.05M EDTA (pH 7.0)		1	0.77**	0.79**	0.08ns	0.06ns
0.05N HCl + 0.025N H_2SO_4			1	0.93**	-0.08ns	-0.10ns
1N NH_4OAc (pH 4.6)				1	-0.03ns	-0.04ns
Total Fe (HClO_4)					1	0.99**
Total Fe (H_2SO_4)						1

ns Not significant at the level of 0.05.

** Significant at the level of 0.01.

Selection of a Suitable Extractant

The extractants correlated significantly ($r \geq 0.77^{**}$) among themselves (Table 4). To select a suitable extractant among the ones studied, a stepwise multiple linear regression analysis was done between Fe extracted as dependent variable and va-

rious soil properties as independent variables. The best regression equations thus fitted (Table 5) showed that while Fe extracted by 0.005M DTPA (pH 7.3), 0.05M EDTA (pH 7.0) and 0.05N HCl + 0.025N H_2SO_4 was influenced by several soil properties, extraction of Fe by 1N NH_4OAc (pH 4.6) was affected only by organic carbon content of the soils.

TABLE 5. The best equations by stepwise multiple linear regression analysis between Fe extracted by different extractants and physico-chemical properties of the surface soil samples:

Extractant	Equation ^{1,2/}	r ²
0.005M DTPA (pH 7.3)	$\hat{Y} = 204.437 - 40.562X_1 + 81.128X_2 + 0.242X_3 - 10.822X_4$	0.81
0.05M EDTA (pH 7.0)	$\hat{Y} = 103.173 + 175.31X_2 + 0.958X_3 - 29.092X_4$	0.77
0.05M HCl + 0.025M H ₂ SO ₄	$\hat{Y} = 29.79 + 150.88X_2 + 0.461X_3 - 22.574X_4$	0.53
1M NH ₄ OAc (pH 4.6)	$\hat{Y} = -85.224 + 138.519X_2$	0.54

1/ The value of Fe for each equation in the Analysis of Variance was significant at the level of 0.01.

2/ $\hat{Y}$ = Fe extracted by an extractant; and X_1 = pH; X_2 = organic carbon (%); X_3 = total P (ppm); and X_4 = Free Iron (% Fe₂O₃).

Diagnosis of Deficiency/Sufficiency of Fe

Based on the critical limit of 8 ppm Fe extracted by 0.005M DTPA (pH 7.3) (Lindsay & Norvell 1978), all but one soil sample (LV) were found to be sufficient in available Fe. On the other hand, many soils contained very high available Fe e.g. 67% of the soils had > 50 ppm Fe and 22% of the soils had > 100 ppm Fe extracted by 0.005M DTPA (pH 7.3). The GPH soils containing 300-400 ppm Fe extracted by the same extractant must be posing problems of Fe-toxicity, especially in rice grown in submerged conditions.

DISCUSSION

The results of analyses for total and available Fe in six predominant soil types of the Brazilian Amazon region showed that the soils were well supplied with the plant nutrient. Total iron determined by perchloric and by sulfuric digestion methods respectively varied from 0.36 to 24.69% and 0.46 to 26.33% Fe₂O₃. The sequence of soils for total Fe determined by any of the two methods was: TE > GPH > LV > LA > PV > AL. The TE soils being derived from basic rocks contained more total Fe than the soils derived from acidic rocks (LA, LV and PV) or the soils derived from alluvial materials (GPH and AL).

The major part of total Fe in soils was in the form of free iron oxides. This was in agreement with the findings of Sannigrahi et al. (1983) for some lateritic soils of India. According to them free oxides occur in soil as discrete particles which smear the surfaces of minerals and act as cementing material between mineral particles. The TE soils contained the highest Fe_d contents and the sequence of soils for total Fe and Fe_d was the same. The proportional relationship of free iron to total Fe determined by the perchloric and by the sulfuric methods showed that the latter method was more suitable for estimation of total Fe in the soils studied. An almost perfectly linear quantitative relationship between total Fe and Fe_d indicated that Fe_d could be calculated with a high degree of confidence ($r^2 = 0.92$) from total Fe contents of the soils.

The total Fe in the surface soils correlated significantly with clay ($r = 0.81^{**}$), total P ($r = 0.75^{**}$) and Fe_d ($r = 0.96^{**}$). Sannigrahi et al. (1984) also found positive correlation of total Fe and clay ($r = 0.648$) for some lateritic soils of India.

The available Fe in the soils extracted by 0.005M DTPA (pH 7.3), 0.05M EDTA (pH 7.0), 0.05N HCl + 0.025N H₂SO₄ and 1N NH₄OAc (pH 4.6) varied from one soil type to another and also depended on the extractant used. Soils formed from alluvial materials, viz. GPH and

AL, contained more available Fe than those originated from acidic rocks (PV, LA and LV) and basic rocks (TE). It was quite interesting to note that even though the TE soils contained the highest total Fe, they were comparatively poor in available Fe. Also, the AL soil contained the least amount of total Fe but was comparatively well supplied with available Fe. High available Fe in GPH and AL soils and its lower contents in TE soils may be due to their characteristic oxidation-reduction potentials.

The available Fe extracted by any of the four extractants correlated negatively with soil pH ($r \geq -0.49^{**}$) and positively with organic carbon ($r \geq 0.65^{**}$) and total P ($r \geq 0.31^{**}$). Gupta et al. (1982) also reported negative correlation of available Fe extracted by 0.005M DTPA (pH 7.3) with pH ($r = -0.214^{**}$) but a positive one with organic carbon ($r = 0.218^{**}$).

Study of profiles of some soils showed that while total Fe increased with increasing soil depth, the available Fe on the other hand decreased. Depthwise distribution of organic carbon associated with the trend of available Fe and that of clay with total Fe. As positive correlation of organic carbon with available Fe was also found in surface soils, it may be quite possible that organic matter promotes the availability of Fe through formation of soluble metal-organic complexes with Fe in the soils. Such a possibility has also been discussed by Takkar and Bhumbra (1968).

Significant correlation of the extractants used among themselves ($r \geq 0.77^{**}$), despite differences in their efficiency, indicated that they could be, in general, adopted in determination of available Fe. Nonetheless, to select the most suitable extractant a stepwise multiple linear regression analysis was done. As per this analysis, 1NNH₄OAc (pH 4.6) appeared to be the most promising one as its ability to extract Fe from the soil was

found to be influenced only by organic carbon content. To standardize this extractant and also fix its critical limit in comparison to other extractants, suitable greenhouse studies should be undertaken.

In the absence of a critical limit for available Fe in the soils studied, the limit of 8 ppm Fe extracted by 0.005M DTPA (pH 7.3) (Lindsay & Norvell 1978) was adopted. Based on this critical limit, barring one sample, all others were found to be sufficient in available Fe. This is in agreement with the general observation made by Cox (1972) that Fe deficiency may not be common in the soils of the tropics.

Contrary to this, Fe toxicity appears to be of general occurrence in the soil, as many of the soils contained ≥ 50 ppm Fe extracted by 0.005M DTPA (pH 7.3). But in practice the problem is not that accentuated because most of the soils are cultivated under upland conditions where oxidation-reduction potentials favour predominance of Fe³⁺. But in GPH soils, cultivated under submerged conditions, having 300-400ppm Fe extracted by 0.005M DTPA (pH 7.3) and oxidation-reduction potential favouring Fe²⁺ accumulation, phyto-toxicity of this nutrient, was more than likely to occur specifically in susceptible rice cultivars. This calls for more specific studies to characterize the incidence of Fe toxicity in rice grown in GPH soils under submerged conditions and to develop suitable management practices to control it.

ACKNOWLEDGEMENT

The author sincerely thanks the Nucleus of Geo-physics and Geological Sciences, Section of Geo-chemistry, Federal University of Pará, for providing the use of their Atomic Absorption Spectrophotometer.

LITERATURE CITED.

- ASGHAR, M. & KANEHIRO, Y. The fate of applied iron and manganese in an oxisol and ultisol from Hawaii. **Soil Sci.**, Baltimore, 131:53-5, 1981.
- BARBOSA, FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K. & STONE, L.F. Manejo d'água e calagem em relação à produtividade e toxicidade de ferro em arroz. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, 18 (8): 903-10, 1983.
- COX, F.R. Micronutrients. In: SANCHEZ, P.A. **A review of soils research in tropical Latin America**. Raleigh, North Carolina State University, 1972. p. 244-63.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979.
- FREIRE, F.M NOVAIS, R.F. de; SOARES, P.C. & COSTA, L.M. da. Toxicidade de ferro e seu controle em arroz irrigado. **Inf. Agropec.**, Belo Horizonte, 10(114):45-51, jun., 1984.
- GALLO, J.R.; HIROCE, R. & ALVAREZ, R. Levantamento do estado nutricional de canaviais de São Paulo, pela análise foliar. **Bragantia**, Campinas, 27:365-82, 1968.
- GUPTA, G.P.; RATHORE, G.S.; KHAMPARIA, R.S. & SINHA, S.B. Iron and manganese status in soils and wheat plants of Gwalior district Madhya Pradesh. **Indian Agric**, Calcutta, 26(1):13-8, 1982.
- HOWELER, R.H. Iron-induced orange disease of rice in relation to physico-chemical changes in a flooded oxisol. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, 37:898-903, 1973.
- JACKSON, M.L. Soil chemical analysis; advanced course. Madison, University of Wisconsin, Department of Soil, 1969. 991p.
- LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, 42: 421-8, 1978.
- LOTT, W.L.; McCLUNG, A.C.; VITA R. de & GALLO, J.R. **A survey of coffee fields in São Paulo and Paraná by foliar analysis**. New York, IBEC Research Institute, 1961. 68p. (IBEC. Research Institute. Bulletin, 26).
- OTTOW, T.C.G; BENCKISER, G.; WATANABE, I. & SANTIAGO, S. Multiple nutritional stress as the prerequisite for iron toxicity of wet land rice (*Oryza sativa* L.) **Trop. Agric.**, Trinidad, 60:102-6, 1983.
- PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. **Adv. Agron.**, New York, 24:29-96, 1972.
- SANNIGRAHI, A.K.; BISHAYEE, P.C. & GUPTA, S.K. Distribution of different forms of iron and manganese in some lateritic soils of West Bengal under different forest vegetations. **Indian Agric.**, Calcutta, 27(1):85-91, 1983.
- SINGH, R. **Disponibilidade de micronutrientes em classes dominantes de solos do trópico úmido brasileiro. II Manganês**. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1984a. 42p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 62).
- SINGH, R. **Micronutrient availability in dominant soil types of Brazilian humid tropics. III Copper**. Belém, EMBRAPA-CPATU. 1984. Paper presented in I Symposium on Humid Tropics, Belém, November, 1984b.
- SINGH, R. & MÖLLER, M.R.F. **Disponibilidade de micronutrientes em classes dominantes de solos do trópico úmido brasileiro. I. Zinco**. Belém, EMBRAPA-CPATU. 1984. 43p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 55).
- TAKKAR, P.N. & BHUMBLA, D.R. Distribution of Fe and Mn forms in non-calcareous soils of the Punjab and Haryana. **Agrochimica**, Pisa, 12:549-57, 1968.

APPENDIX 1.

Total Fe (% Fe₂O₃) and available Fe contents in different soils

Protocol Nº	Depth (cm)	Total		0.005M DTPA + 0.1M TEA 0.01M CaCl ₂ (pH 7.3)	0.05M HCl + 0.025M H ₂ SO ₄	0.05M EDTA (pH 7.0)	1M NH ₄ OAc (pH 4.6)
		HClO ₄	H ₂ SO ₄				
<u>Red-Yellow Podzolics</u>							
<u>Capitão Poço-PA</u>							
39,041	0-15	1.16	1.26	80.19	270.86	86.02	43.19
39,042	0-15	1.29	1.90	90.52	289.87	136.63	50.98
39,043	0-15	1.94	2.46	57.96	140.90	101.20	54.52
39,044	0-15	1.94	2.50	123.86	446.69	141.69	84.25
39,045	0-15	2.10	2.54	129.42	277.34	174.58	55.93
39,046	15-60	3.40	3.85	35.52	95.46	70.84	42.48
39,047	0-15	1.39	1.29	54.79	97.68	128.78	16.28
39,048	15-60	1.68	1.83	26.64	122.10	296.02	16.99
39,049	0-15	0.84	1.33	25.16	64.38	32.89	9.20
39,050	0-15	0.77	1.33	60.34	59.81	78.43	24.07
39,051	0-15	1.39	1.33	36.26	88.80	70.84	17.70
<u>Tracuateua-PA</u>							
39,052	0-15	1.26	1.30	181.03	79.92	227.71	58.76
39,053	15-60	1.83	1.93	30.34	84.36	103.73	22.66
39,054	0-15	0.87	1.55	95.28	84.36	98.67	28.32
39,055	15-60	1.77	1.94	29.60	71.04	151.81	22.66
39,056	0-15	0.36	0.46	80.19	86.58	116.39	39.65
<u>Bragança-PA</u>							
39,058	0-15	0.51	1.14	108.78	46.99	172.06	33.98
39,059	0-15	0.90	1.46	127.04	88.80	151.81	48.14
<u>Vizeu-PA</u>							
39,062	0-15	0.46	1.04	46.05	32.04	58.19	15.58
<u>Altamira-PA</u>							
39,071	0-15	1.20	1.34	53.20	49.13	55.66	21.24
39,072	15-30	2.00	2.15	33.30	86.58	65.78	35.40
<u>Tomé-Açu - PA</u>							
39,164	0-15	1.74	1.93	69.08	177.86	113.86	37.52
39,165	15-30	2.41	2.67	37.00	170.57	103.73	40.36
39,166	0-15	0.77	0.94	88.93	173.04	113.86	65.84
39,167	15-30	1.30	1.51	92.10	246.53	136.63	79.30
39,168	0-15	3.07	3.11	44.46	59.81	260.60	13.45
39,169	15-30	3.68	4.13	28.12	82.14	65.78	20.53
<u>Igarapé-Açu - PA</u>							
39,170	0-15	0.46	0.54	76.22	138.43	144.22	37.52
39,171	15-30	1.00	1.15	65.90	264.50	139.16	53.10

APPENDIX 1. Continued

Protocol Nº	Depth (cm)	Total		0.005M DTPA + 0.1M TEA 0.01M CaCl ₂ (pH 7.3)	0.05N HCl + 0.025N H ₂ SO ₄	0.05M EDTA (pH 7.0)	1N NH ₄ OAc (pH 4.6)
		HClO ₄	H ₂ SO ₄				
<u>Santa Izabel do Pará-PA</u>							
39,174	0-15	0.39	0.53	50.02	73.26	68.31	32.57
39,175	15-30	0.81	0.81	57.96	191.70	96.14	43.19
<u>Mazagão-AP</u>							
39,146	0-15	4.00	3.87	310.10	148.32	551.57	134.52
39,147	15-30	3.48	5.78	85.75	113.22	237.83	82.13
39,148	30-45	4.68	6.13	22.20	44.86	78.43	35.40
39,149	45-60	4.77	3.84	9.62	29.90	32.89	12.04
<u>Boa Vista-RR</u>							
39,230	0-15	6.48	7.61	65.11	210.60	129.04	17.70
39,231	15-30	6.98	9.83	48.43	102.12	73.37	19.12
39,232	30-60	9.51	10.98	21.46	145.85	58.19	14.16
<u>Yellow Latosols</u>							
<u>Macapá-AP</u>							
39,138	0-15	2.10	1.93	17.76	46.99	22.77	24.07
39,139	0-15	1.74	2.51	27.38	64.38	22.77	14.87
39,140	0-15	1.77	2.60	27.38	55.54	37.95	21.95
39,141	0-15	1.84	2.61	19.98	36.31	22.77	14.16
39,142	15-30	2.00	2.78	8.14	34.18	12.65	8.50
39,143	30-60	2.28	3.73	2.96	7.76	7.59	4.96
39,144	0-15	2.26	2.26	24.42	55.54	40.48	21.24
39,145	0-15	1.84	2.77	57.17	61.94	80.96	32.57
<u>Boa Vista-RR</u>							
39,233	0-10	0.90	1.14	23.68	51.26	35.42	19.82
39,234	10-25	0.98	1.27	6.66	20.25	15.18	16.99
39,235	25-70	1.21	1.51	2.22	5.91	5.06	5.66
<u>Red - Yellow Latosols</u>							
<u>Altamira-PA</u>							
39,065	0-10	3.13	2.94	53.20	97.69	58.19	37.52
39,066	10-60	3.23	3.51	25.90	117.66	43.01	35.40
<u>Boa Vista-RR</u>							
39,225	0-25	2.84	3.14	6.66	10.56	53.13	4.96
39,226	25-35	3.24	3.53	3.70	10.17	45.54	4.96
39,227	35-70	3.26	3.67	2.96	9.53	30.36	2.83
39,228	0-10	1.26	1.44	14.80	19.60	43.01	14.16
39,229	10-30	1.44	1.61	8.14	17.88	25.30	7.08

APPENDIX 1. Continued

Protocol Nº	Depth (cm)	Total		0.005M DTPA + 0.1M TEA 0.01M CaCl ₂ (pH 7.3)	0.05N HCl + 0.025N H ₂ SO ₄	0.05M EDTA (pH 7.0)	1N NH ₄ OAc (pH 4.6)
		HClO ₄	H ₂ SO ₄				
<u>"Terra Roxa Estruturada"</u>							
<u>Altamira-PA</u>							
39,063	0-15	20.18	22.19	42.08	27.77	70.84	10.62
39,064	15-60	16.91	23.65	8.88	42.72	35.42	4.96
39,067	0-15	24.69	26.33	50.82	32.04	96.14	15.58
39,068	0-15	22.11	22.59	19.24	15.09	210.00	4.96
39,069	15-60	19.34	23.49	8.14	53.40	144.22	4.96
39,070	0-15	18.72	21.50	28.86	36.31	166.99	5.66
<u>Low Humic Gley</u>							
<u>Vizeu-PA</u>							
39,060	0-15	5.78	7.13	304.85	498.96	895.66	509.76
39,061	0-15	3.10	3.10	454.96	1097.71	660.36	792.96
39,658	0-15	5.26	5.28	407.32	646.27	1222.05	297.36
<u>Santa Izabel do Pará-PA</u>							
39,172	0-15	2.81	2.84	404.94	1111.97	979.15	665.52
39,173	15-30	4.07	4.53	279.44	560.74	531.32	325.68
<u>Bragança-PA</u>							
39,657	0-15	4.58	4.64	400.18	399.17	986.75	254.88
<u>Mazagão-AP</u>							
39,150	0-20	3.84	3.87	95.28	148.32	166.99	55.93
39,151	20-40	3.18	3.60	75.43	236.26	161.93	77.17
39,152	0-20	4.07	4.17	132.60	160.68	232.77	77.88
39,153	20-40	3.71	4.29	89.72	228.55	197.35	65.84
<u>Alluvial</u>							
<u>Boa Vista-RR</u>							
39,236	0-15	0.49	0.71	96.07	240.10	154.34	80.00
39,237	15-30	0.84	1.08	53.00	220.50	88.55	58.76

O SOLO DE UM ECOSISTEMA NATURAL DE FLORESTA LOCALIZADO NA AMAZÔNIA ORIENTAL. I. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA

Paulo Fernando da Silva Martins¹ e Carlos Clemente Cerri²

RESUMO: Procedeu-se a caracterização química e física do solo de um ecossistema natural de floresta, localizado no município de Capitão Poço, Estado do Pará, na Amazônia Oriental. O solo possui um "litter" constituído de folhas, galhos, fragmentos vegetais em decomposição e raízes vivas. Embora qualitativamente homogêneo, do ponto de vista mineralógico, possui variações nas características químicas e físicas, especialmente na drenagem interna. Tomou-se por base três pedons, pertencentes às três classes de drenagem dominantes: mal, moderadamente e bem drenado. A amostragem foi realizada no fim da estação seca (início de dezembro de 1982) tendo sido coletadas amostras do "litter" e dos horizontes minerais. O "litter" foi quantificado, bem como seus componentes, além de determinados seus teores de carbono e nitrogênio e calculada a relação C/N. Os horizontes minerais foram caracterizados através da determinação do pH, dos teores de carbono, nitrogênio e cátions trocáveis, da granulometria e das relações massa/volume, incluindo a densidade de partículas, a densidade global e a porosidade. O peso seco do "litter" é em média 17.702 kg/ha, sendo maior no pedon bem drenado e menor no moderadamente drenado. As folhas e os galhos correspondem a 84% do peso total do "litter", os fragmentos a 15% e as raízes vivas a 1%. As quantidades de carbono e nitrogênio encontradas no "litter" são em média, respectivamente, 6.120 e 174 Kg/ha e a relação C/N é variável em função dos componentes do "litter" e da drenagem. A relação C/N é maior nos galhos, especialmente nos pedons mal e moderadamente drenados, e menor nas raízes vivas do pedon bem drenados. Nos horizontes minerais, embora haja variação entre os valores que expressam as características dos diferentes pedons, o padrão é semelhante. Os teores de carbono e nitrogênio decrescem progressivamente e a relação C/N em geral é mais elevada nos horizontes superficiais. O complexo de troca iônica no horizonte A₁ é fortemente influenciado pela matéria orgânica proveniente da decomposição do "litter". No horizonte B, os três pedons se apresentaram pobres em base, sendo que o pedon bem drenado apresentou os menores teores, enquanto o mal drenado os maiores. O pH diminui com a profundidade no horizonte A e aumenta no horizonte B, ocorrendo o inverso com os valores de Δ pH. A densidade de partículas é, em um mesmo pedon, pouco variável e a densidade global tende a aumentar com a profundidade até o horizonte B₁, diminuindo daí em diante. A variação da porosidade total praticamente está condicionada à variação da densidade global nos horizontes superficiais e à densidade de partículas nos horizontes mais profundos.

Termos para indexação: Amazônia, floresta, solo, características químicas, características físicas, terra firme.

¹Eng. Agr. M.Sc. Faculdade de Ciências Agrárias do Pará. Caixa Postal 917. CEP 66000. Belém, PA.

²Eng. Agr. Ph. D. Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Caixa Postal 96. CEP 13400. Piracicaba, SP.

THE SOIL OF A NATURAL ECOSYSTEM IN THE EASTERN AMAZON REGION. I. PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS

ABSTRACT: A soil physical and chemical characterization in a natural forest ecosystem localized in the county of Capitão Poço, State of Pará, in the eastern Amazon region, was carried out. The soil had a litter composed of leaves, branches, plant fragments in decomposition and alive roots. Although the soil was (on the mineralogical point of view) qualitatively homogeneous, it had variations in its chemical and physical characteristics, mainly in its internal drainage. As a technical base, three pedons belonging to three classes of drainage viz, poorly, moderately and well drained, were taken. The sampling was performed at the end of the dry season (beginning of December 1982) when samples of litter and mineral horizons were collected. The litter was quantified together with its components as well as its contents of carbon, nitrogen and C/N ratio. The mineral horizons were characterized through the pH, carbon, nitrogen and exchangeable cations determinations, as well as particle size and relation between volume/mass, including particle density, bulk density and porosity. The dry weight of the litter was 17,702 kg per ha and it was higher in the well drained and lower in the moderately drained soils. The leaves and branches made up 84 per cent of the total weight of the litter, fragments 15 per cent and live roots 1%. The carbon and nitrogen found in the litter averaged 6,120 kg 174 ka per ha, respectively. The C/N ratio varied with litter component and drainage and was higher in the branches, specially in the poorly and moderately drained pedons and lower in the live roots in the well drained pedon. In the mineral horizons, although there were variations of values among the different characteristics of the different pedons, a similar pattern was found. The carbon and nitrogen values decreased progressively and the C/N ratio was, in general, higher in the superficial horizons. The ionic exchange complex in the horizon A₁ was strongly influenced by the organic matter from the litter decomposition. The horizon B in the three pedons showed low content of bases. The well drained pedon showed a lower content, while the poorly drained pedon showed higher content. The pH decreased with the depth in the horizon A and increases in the horizon B. The values of Δ pH had an inverse tendency. The density of the particles showed little in the same pedon and the bulk density had a tendency to increase with depth until the horizon B₁, decreasing onward. The total porosity variation was practically subjected to the bulk density variation in the superficial horizons and to the particle density in the deeper horizons.

Index terms: Amazon, forest, soil, chemical characteristics, physical characteristics, upland.

INTRODUÇÃO

Este estudo foi desenvolvido tomando-se por base três pedons de um ecossistema natural de terra firme localizado na Amazônia Oriental, nordeste do Estado do Pará, microrregião 22 (Fundação IBGE 1968), denominada Guajarina, município de Capitão Poço, trecho compreendido entre as calhas do rio Guamá e seu afluente rio Irituia.

O nordeste paraense apresenta, na maior parte, subdomínio climático úmido com um a dois meses secos (Nimer 1977). Na microrregião Guajarina as chuvas se iniciam no fim de novembro ou início de dezembro e são mais frequentes a partir de

janeiro (Fundação IBGE 1968). A precipitação anual no município de Capitão Poço é de 2.449 mm.

A microrregião Guajarina possui vegetação primária de floresta, que na terra firme corresponde à Floresta Perenifolia Hidrófila Hileiana Amazônica (Kuhlmann 1977) ou Floresta Ombrófila de Baixo Platô com cobertura de emergentes (Brasil... 1973).

O ecossistema estudado se constitui em um dos remanescentes da região da floresta densa, sub-região dos Baixos Platôs do Pará/Maranhão, área alterada da zona bragantina (Brasil... 1973), possui árvores emergentes e estrato inferior aberto (Empresa... 1981). Ocorrem mais de 1.000 es-

pécies por hectare, as árvores emergentes possuem fuste maior que 20 m e o estrato superior é dominado por plantas com 10 m de altura. A espécie de maior frequência é o matamatá branco (*Euchweilera odora*).

MATERIAL E MÉTODOS

O solo possui um "litter" com cerca de 5 cm e é formado por dois estratos: um mais superficial (1 cm a 3 cm) composto principalmente de galhos e folhas não decompostos, e outro, em contato com os horizontes minerais, constituído de fragmentos vegetais em decomposição e raízes vivas que penetram e se nutrem diretamente do material em decomposição, além de se prolongarem para o interior dos horizontes minerais.

O horizonte A tem uma espessura máxima a de 20 cm e subdivide-se em A₁₁, A₁₂ e A₃.

O horizonte A₁₁ varia de 4 cm a 6 cm, possui cor bruno com manchas de cor amarelo escuro, textura areia franca ou franca arenosa, estrutura fraca ou moderada e é formado de agregados de 0,5 cm a 2 cm, tipo granular, e areia em grãos simples, associados a fragmentos de folhas e galhos em decomposição e uma rede intrincada de raízes finas com elevado número de segmentos.

O horizonte A₁₂ varia de 2 cm a 6 cm de espessura, possui cor bruno com manchas ligeiramente mais escuras, textura franco arenosa, estrutura fraca ou moderada, formada de agregados de 0,5 a 4 cm, tipo granular, e areia em grãos simples em maior quantidade que em A₁₁, também associados a fragmentos de partes vegetais em decomposição, que ocorrem em muito menor quantidade. A maioria das raízes possui menos de 1 cm de diâmetro, podendo porém, algumas vezes, até ultrapassar a espessura do horizonte.

Já o horizonte A₃ é variável em espessura e cor, apresenta-se com ou sem manchas e a estrutura é fraca, em blocos subangulares, chegando a ser maciça em alguns locais.

O horizonte B é variável quanto a espessura, subdivisão, cor e textura. É um horizonte latossólico que se apresenta com características podzólicas especialmente nos pedons de textura mais argilosa.

Pelo fato do ecossistema apresentar variações na drenagem do solo, foram escolhidas três áreas de aproximadamente 900m², correspondentes a três pedons de drenagem diferente: Pedon Imperfeitamente Drenado; Pedon Moderadamente Drenado; Pedon Bem Drenado.

Foram feitas amostragens do "litter" e dos horizontes minerais. Durante a coleta do "litter" foram separadas as folhas, os galhos, as raízes vivas (existentes acima dos horizontes minerais) e os fragmentos vegetais diversos. A coleta desses componentes foi realizada em três diferentes locais dentro de cada área, com o auxílio de um quadro de madeira de 1 m x 1 m.

A amostragem dos horizontes minerais foi feita em três perfis referentes aos três pedons e complementada com amostras dos horizontes A₁₁, A₁₂ e A₃, coletadas nos mesmos locais onde foram retiradas as amostras do "litter". Logo, cada pedon está representado, à exceção dos dados referentes à granulometria, pela média de três amostras no que se refere ao "litter" e ao horizonte A, e por uma amostra no tocante ao horizonte B.

A determinação do carbono (C) total foi feita por via seca utilizando-se o aparelho Carbon Biological Oxider e a do nitrogênio (N) pelo método de Kjeldahl.

O pH foi determinado em água e KCl 1N, em ambos os casos utilizando-se 25 ml da solução, ou água, para 100 g de solo.

A extração do cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio (H) e alumínio (Al) trocáveis foi feita utilizando-se KCl 1N e a do sódio (Na) e potássio (K) utilizando-se HCl 0,05N.

A dosagem do Ca, Mg, Na e K foi feita no espectrofotômetro de absorção atômica e a do H e Al por titulação com NaOH.

Foram calculados os valores de soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (T) e saturação em bases (V%).

A granulometria foi avaliada através da separação das partículas nas classes de 0 — 0,05; 0,05 - 0,2 e 0,2 - 2,0 mm de diâmetro, feita com auxílio de peneira e dispersão ao ultra-som.

A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico (Empresa... 1979) utilizando-se álcool metílico para completar o volume.

A determinação da densidade global foi feita pelo método do torrão impermeabilizado com parafina (Kiehl 1979) utilizando amostras com estrutura indeformada coletada nos perfis. No horizonte A, de natureza arenosa, onde a variação de densidade é maior, utilizou-se o método da escavação (Empresa... 1979). Na parte superior do horizonte A, corresponde ao horizonte A₁₁ - e F/A₁₁ no caso do pedon imperfeitamente drenado no qual não foi possível se utilizar um dos dois métodos descritos, em virtude da natureza quase solta da estrutura além da reduzida espessura do horizonte, fez-se uma simulação do arranjo do horizonte em laboratório, utilizando-se provetas de 250 ml para se estimar a densidade global.

A porosidade total foi calculada através das densidades de partícula e global.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apresentados e discutidos os resultados referentes ao "litter" e aos horizontes minerais de cada um dos pedons correspondentes às três classes de drenagem do solo: Imperfeitamente Drenado, Moderadamente Drenado e Bem Drenado.

Liteira

Morfológicamente, o "litter" é semelhante nas três classes de drenagem de solo. Apresenta-se subdividida em dois horizontes que, adotando-se a nomenclatura proposta por Babel (1971), citado por Tou-

tain (1981), podem ser designados como: L, "litter" inteiro e pouco modificada e F, liteira fragmentada.

O horizonte L é mais superficial e constitui-se de folhas e galhos que ainda guardam sua estrutura original. Abaixo deste está o horizonte F que mantém contato com o solo e é constituído de fragmentos vegetais em vários estágios de decomposição e raízes vivas que penetram e se nutrem diretamente do material em decomposição. Estas, além disto, se prolongam para o interior do solo.

Peso do "litter" e de seus componentes

Na Tabela 1 estão apresentados os pesos úmidos e secos do "litter" e de seus componentes.

O peso do "litter" do pedon bem drenado é de 23.985 kg/ha úmido e 21.046 kg/ha seco. Estes valores são maiores que os do "litter" do pedon imperfeitamente drenado (21.288 kg/ha úmido e 18.257 kg/ha seco) os quais são superiores ao do "litter" do pedon moderadamente drenado (16.052 kg/ha úmido) e (13.805 kg/ha seco).

A Fig. 1 contém a distribuição relativa dos principais componentes do "litter". Através dela verificam-se que os galhos constituem o componente de maior participação no peso do "litter". Juntamente com as folhas correspondem, em média, a 84% do peso do "litter", enquanto os fragmentos correspondem a 15% e, por último, as raízes vivas a 1%.

Não existe relação uniforme entre o peso das folhas, raízes vivas ou fragmentos, com a classe de drenagem. Embora o mesmo aconteça com o peso total dos galhos, verifica-se que a drenagem se correlaciona com o tamanho dos galhos.

Os galhos possuem diâmetro de até 3 cm. Sua subdivisão nas classes de 1-3 cm e de menos que 1 cm de diâmetro indica determinada relação com as classes de drenagem. Na Fig. 1 observa-se que no pedon imperfeitamente drenado, a maior parte

TABELA 1. Peso úmido, peso seco, quantidade de carbono, nitrogênio e relação C/N dos diversos componentes do "litter" dos três pedons.

Hori- zonte	COMPONENTES	Peso Úmido kg/ha	Peso seco kg/ha	CARBONO kg/ha	NITROGÊNIO kg/ha	C/N
Pedon Imperfeitamente Drenado						
L	Folhas	5698	5071	1762	57,80	30
	Galhos	12170	10218	3701	48,37	76
	< 1 cm Ø	8032	6744	2476	43,16	57
	1-3 cm Ø	4138	3474	1225	5,21	235
F	Raízes vivas	141	120	41	1,87	22
	Fragmentos	3279	2848	987	44,46	22
	folhas	305	265	-	-	-
	galhos	1016	883	-	-	-
	frutos	171	148	-	-	-
	indiferenciados	1787	1552	-	-	-
	Total	21288	18257	6491	152,50	43
Pedon Moderadamente Drenado						
L	Folhas	7775	6695	2373	99,83	24
	Galhos	6675	5713	1936	32,08	60
	< 1 cm Ø	3671	3142	1078	22,31	48
	1-3 cm Ø	3004	2571	858	9,77	88
F	Raízes vivas	80	70	22	1,19	18
	Fragmentos	1522	1327	447	20,88	21
	folhas	204	178	62	-	-
	galhos	362	316	111	-	-
	frutos	113	98	32	-	-
	indiferenciados	843	735	242	-	-
	Total	16052	13805	4778	153,98	31
Pedon Bem Drenado						
L	Folhas	9484	8864	3062	104,55	29
	Galhos	9333	7842	2661	35,41	75
	< 1 cm Ø	3267	2745	944	21,14	45
	1-3 cm Ø	6066	5097	1717	14,17	120
F	Raízes vivas	491	408	128	7,95	16
	Fragmentos	4677	3931	1236	68,76	18
	folhas	1253	1053	-	-	-
	galhos	919	772	-	-	-
	frutos	0	0	-	-	-
	indiferenciados	2505	2106	-	-	-
	Total	23985	21046	7087	216,67	33
MÉDIA DOS TRÊS PEDONS						
L	Folhas	7652	6877	2399	87,39	27
	Galhos	9393	7924	2766	38,62	72
	< 1 cm Ø	4990	4210	1499	28,87	52
	1-3 cm Ø	4403	3714	1267	9,75	130
F	Raízes vivas	237	199	64	3,67	17
	Fragmentos	3159	2702	890	44,70	20
	folhas	587	499	-	-	-
	galhos	766	667	-	-	-
	frutos	95	62	-	-	-
	indiferenciados	1711	1464	-	-	-
	Total	20411	17702	6119	174,08	35

(66%) dos galhos do "litter" possui diâmetro menor que 1 cm e a menor parte (34%) diâmetro de 1-3 cm. Esta distribuição se inverte no pedon bem drenado: a menor parte (35%) de galhos tem menos de 1 cm de diâmetro e a maior parte (65%) diâmetro de 1-3 cm. A distribuição dos galhos no pedon moderadamente drenado ocupa uma posição intermediária entre a dos dois pedons, possuindo percentuais idênticos entre as duas classes de diâmetro.

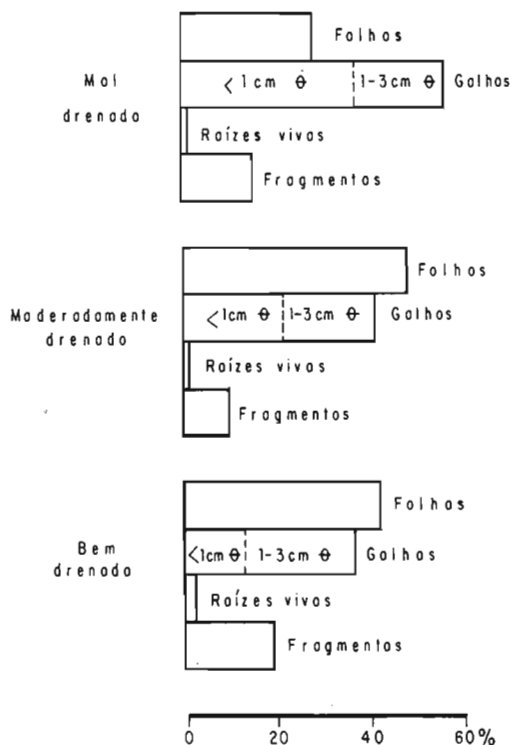


FIG. 1 Distribuição relativa dos componentes do litter dos três pedons.

A explicação para a relação inversa existente entre o diâmetro dos galhos e a restrição na drenagem do solo deve estar ligada ao fato de o impedimento da drenagem influir no crescimento das árvores. Segundo Boulet (1981), uma área de floresta, na Guiana Francesa, com drenagem vertical bloqueada apresentou árvores de maior diâmetro em número três vezes menor que em outra área com drenagem vertical livre.

Além dos componentes folhas, galhos e raízes vivas, o "litter" possui fragmentos em vários estágios de decomposição. Estes provêm da decomposição daqueles e os de maior expressão em peso, e que podem ser reconhecidos, são os fragmentos de folhas, de galhos e de frutos.

A maior parte dos fragmentos não pode ser separada devido aos mesmos terem perdido sua estrutura original. Por esse motivo, foram denominados fragmentos indiferenciados. Eles possuem, na maioria, tamanho inferior a 2 mm e são oriundos das diversas partes dos vegetais.

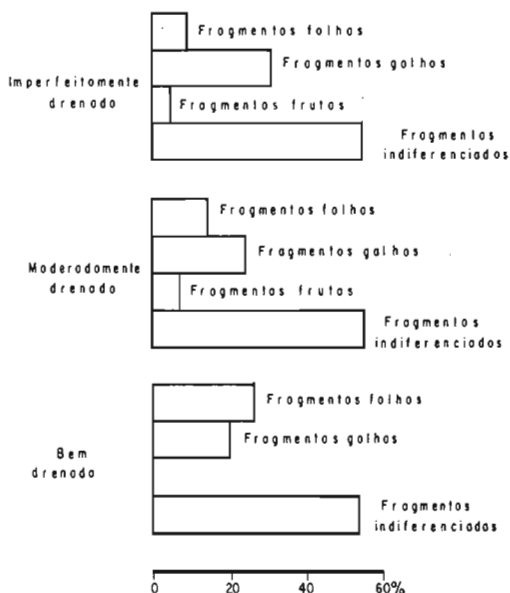


FIG. 2 Distribuição relativa dos fragmentos do "litter" dos três pedons.

A distribuição relativa dos fragmentos do "litter" está representada na Fig. 2. Verifica-se que a proporção dos fragmentos indiferenciados é praticamente a mesma nas três classes de drenagem. Por outro lado, a proporção dos demais fragmentos é semelhante nos pedons das classes imperfeitamente e moderadamente drenados, diferindo da encontrada no pedon da classe bem drenado. Nos dois primeiros pedons

citados há relativamente mais fragmentos de galhos que de folhas, enquanto no terceiro pedon, o bem drenado, ocorre um percentual maior de fragmentos de folhas, o que se atribui à maior ocorrência de galhos de diâmetro mais grosso e, por isso, de menor resistência à decomposição. A ocorrência de fragmentos de frutos é reduzida nos três pedons.

Quantidades de Carbono e Nitrogênio

Existe no ecossistema natural, em média, 17.700 kg/ha de "litter" e contém 6.119 kg/ha de C e 174 kg/ha de N (Tabela 1).

Considerando-se a variação da drenagem do solo, observa-se que o pedon bem drenado apresenta o "litter" de maior peso e com as maiores quantidades de C e N. O pedon moderadamente drenado possui o "litter" de menor peso e com a menor quantidade de C. Contudo, seu conteúdo em N é ligeiramente mais elevado que o do pedon mal drenado, que é o menor (Tabela 1).

Logo, as quantidades de N não acompanham o peso do "litter". Embora no pedon moderadamente drenado o "litter" seja o de menor peso, o mesmo não possui a menor quantidade de N. Por outro lado, o "litter" do pedon imperfeitamente drenado contém a menor quantidade de N sem o de menor peso, conforme é evidenciado pelos respectivos valores da relação C/N.

As diferenças de valores da relação C/N do "litter" dos pedons imperfeitamente e moderadamente drenados provavelmente têm sua explicação na constituição de seus componentes. De fato, as folhas e os galhos, componentes em maior quantidade no "litter", possuem relação C/N mais baixa no pedon moderadamente drenado e mais elevada no pedon imperfeitamente drenado. Neste, inclusive, são mais elevados, não obstante próximos, que os do pedon bem drenado.

Assim, as diferenças na quantidade de N do "litter" se deve principalmente ao

maior ou menor conteúdo desse elemento encontrado nas folhas e nos galhos.

Teoricamente, os conteúdos de N encontrados nas folhas e nos galhos do "litter" dos diferentes pedons podem ser atribuídos a duas causas: à constituição original dessas partes vegetais e à evolução diferencial no processo de sua decomposição.

É de se esperar variações no conteúdo de N e, conseqüentemente, na relação C/N das folhas e dos galhos de acordo com sua origem e idade. Embora nada se possa afirmar, nesse tocante, com relação às folhas, os galhos apresentam variações substanciais de relação C/N em função da sua espessura.

É plausível que os galhos de maior espessura tenham maiores valores de relação C/N em virtude de serem mais velhas e possuírem teores mais elevados de celulose e lignina, sendo mais baixos os de proteínas. Os galhos de classes de 1 - 3 cm de diâmetro apresentam, nas três classes de drenagem, valores de relação C/N nitidamente superiores aos da classe com menos de 1 cm de diâmetro.

Observa-se, também, que é marcante a influência da relação C/N dos galhos de 1 - 3 cm de diâmetro no valor da relação C/N calculado para o total dos galhos.

Horizontes Minerais

Nas Tabelas 2, 3 e 4 encontram-se os dados analíticos referentes às principais características químicas e nas Tabelas 5 e 6 as características físicas dos pedons correspondentes às três classes de drenagem do solo que ocorrem no ecossistema natural em estudo.

Além da diferença na drenagem, verifica-se a existência de um horizonte misturado, designado F/A₁₁, no pedon imperfeitamente drenado (Tabela 2). Este horizonte é proveniente da mistura de parte dos fragmentos do horizonte F do "litter" com parte do horizonte A₁₁. Sua existência no pedon imperfeitamente drenado in-

TABELA 2. Teores de carbono e nitrogênio totais, relação C/N, valores de pH em água e KCl e Δ pH dos horizontes minerais dos três pedons.

Horizonte	Profundidade (cm)	% C	% N	C/N	pH.		
					H ₂ O	KCl	Δ
Pedon Imperfeitamente Drenado							
F/A ₁₁	0- 2	4,77	0,360	13,2	4,90	4,05	-0,85
A ₁₁	2- 6	1,42	0,143	9,9	4,45	3,60	-0,85
A ₁₂	6- 10	0,80	0,083	9,6	4,20	3,75	-0,45
A ₃	10- 18	0,51	0,060	8,5	4,30	3,80	-0,50
B ₁	18- 32	0,38	0,050	7,6	4,50	3,90	-0,60
B ₂₁	32- 50	0,34	0,030	11,3	4,90	4,05	-0,85
B ₂₂	50- 80	0,26	0,030	8,7	4,90	4,00	-0,90
B ₂₃	80-110	0,25	0,028	8,7	4,95	4,00	-0,95
B ₃₁	110-180	0,20	0,020	10,0	5,00	4,05	-0,95
B ₃₂	180-230	0,16	0,017	9,4	5,10	4,10	-1,00
Pedon Moderadamente Drenado							
A ₁₁	0- 4	2,01	0,166	12,1	4,35	2,55	-0,80
A ₁₂	4- 8	1,12	0,087	12,9	4,00	3,50	-0,50
A ₃	8- 15	0,67	0,054	12,4	4,00	3,70	-0,30
B ₁₁	15- 30	0,53	0,040	13,2	4,50	3,95	-0,55
B ₁₂	30- 45	0,36	0,034	10,6	4,60	4,00	-0,60
B ₂₁	45- 60	0,34	0,030	11,3	4,80	4,00	-0,80
B ₂₂	60- 70	0,32	0,024	13,3	4,75	4,00	-0,75
B ₂₂	70-110	0,28	0,024	11,7	4,75	4,00	-0,75
B ₂₃	110-170	0,23	0,015	15,3	5,00	4,05	-0,95
B ₃₁	170-210	0,21	0,013	16,2	5,05	4,05	-1,00
Pedon Bem Drenado							
A ₁₁	0- 4	2,59	0,218	11,9	4,65	3,95	-0,70
A ₁₂	4- 10	1,10	0,109	10,1	4,20	3,55	-0,65
A ₃	10- 20	0,67	0,055	10,3	4,30	3,70	-0,60
B ₁₁	20- 30	0,46	0,041	11,2	4,15	3,75	-0,40
B ₁₁	30- 50	0,33	0,035	9,4	4,30	3,85	-0,45
B ₁₂	50- 75	0,26	0,029	9,0	4,35	3,85	-0,50
B ₁₂	75-100	0,21	0,022	9,5	4,40	3,90	-0,50
B ₂₁	100-150	0,15	0,015	10,7	4,35	3,85	-0,50
B ₂₂	150-180	0,16	0,017	9,4	4,60	3,95	-0,45
B ₃	180-210	0,16	0,020	7,5	4,45	4,00	-0,45

dica uma atividade biológica mais intensa que nos demais pedons, ao nível dos primeiros centímetros do solo.

Características Químicas

A caracterização química inclui a avaliação dos teores de C e N, dos valores do pH, em água e KCl, e do complexo de troca iônica.

Carbono e Nitrogênio Totais

Na Tabela 2 constam os teores de C e N e a relação C/N dos diversos horizontes dos três pedons.

Observa-se que o pedon imperfeitamente drenado possui maior teor de C nos dois primeiros centímetros devido à ocorrência do horizonte F/A₁₁. A partir de seis centímetros de profundidade, o pedon moderadamente drenado apresenta sempre o maior teor desse elemento. O pedon bem drenado possui os mais baixos teores, à exceção da profundidade compreendida entre 0 - 30 cm onde são mais elevados que os do pedon imperfeitamente drenado (Tabela 2).

Muito embora os ecossistemas naturais em clímax estejam, no todo, em equilíbrio dinâmico, cujas perdas são iguais às adições, não é possível se afirmar que isto esteja ocorrendo com o C armazenado nos pedons. Por outro lado, espera-se a ocorrência de variações internas no ecossistema, as quais devem se anular globalmente já que os pedons são heterogêneos. Além dos mais, é provável que o equilíbrio somente ocorra ao final de um ciclo. Se assim for, os dados apresentados se referem a uma fase do ciclo.

De qualquer forma, a quantidade de C encontrada em determinada parte do ecossistema depende do balanço entre as adições e as perdas, e estas ao término de um ciclo de variação não podem ser superiores às aquelas.

As adições se dão em consequência

da migração em profundidade de substâncias húmidas que se formam ao nível do "litter" (Manarino et al. 1982) da incorporação de parte dos seus fragmentos, da biomassa microbiana e dos dejetos e cadáveres dos animais.

As perdas ocorrem por erosão, oxidação e lixiviação do material orgânico (Greenland & Nye 1959) e são influenciadas pelo clima, textura, drenagem e cobertura vegetal (Buckman & Brady 1968), além de outros fatores que atuam na atividade dos organismos como pH e disponibilidade de nutrientes.

No ecossistema natural em estudo são adicionados anualmente ao "litter" cerca de 9 t/ha (peso seco) de partes vegetais (Empresa... 1981), enquanto a quantidade de C armazenada é, em média, 17,7 t/ha (peso seco) no "litter" (Tabela 1) e 66 t/ha até um metro de profundidade. Verifica-se, portanto, que as perdas de C, embora inferiores às adições, são muito intensas, impedindo que haja maior acumulação.

Considerando-se que nesse ecossistema as variações do clima e da cobertura vegetal sejam irrelevantes e que a erosão seja desprezível, restam a textura e a drenagem como fatores responsáveis pela oxidação e lixiviação do C.

Os solos arenosos e os bem drenados em geral possuem menores quantidades de C e N que os solos argilosos e os de drenagem deficiente. Já a relação C/N tende a aumentar nos primeiros em comparação aos últimos (Buckman & Brady 1968).

Na Tabela 3 constam as quantidades acumuladas de C e as diferentes profundidades dos três pedons do ecossistema natural. O pedon moderadamente drenado contém uma quantidade de C ligeiramente maior que a dos pedons bem e imperfeitamente drenados, e estas quantidades idênticas.

Considerando-se que o processo de armazenamento de C está em equilíbrio

dinâmico no ecossistema natural e que as adições devem se refletir com maior intensidade na parte superior do perfil, enquanto as perdas na parte inferior, tomaram-se as profundidades de 10, 50, 100 e 200 cm como referencial para comparação da distribuição do C conforme consta da Tabela 3.

Verifica-se que de 0 - 10 cm, embora as diferenças não sejam elevadas, o pedon bem drenado possui maior quantidades de C armazenada que os outros dois pedons.

A partir de dez centímetros, nos intervalos considerados, o pedon moderadamente drenado possui quantidade de C sempre mais elevada que os demais pedons.

Na profundidade de 10 - 50 cm o pedon bem drenado ainda possui quantidade maior que o imperfeitamente drenado, porém, a partir daí os valores são sempre menores.

Portanto, o pedon moderadamente drenado acumula as maiores quantidades de C embora apresente menor quantidade na superfície (0 - 10 cm). O pedon bem drenado acumula mais C na parte superior (0 - 50 cm) que o imperfeitamente drenado, enquanto na parte inferior (50 - 200 cm) ocorre o inverso.

A maior quantidade de C encontrada na profundidade de 0 - 10 cm do pedon bem drenado parece indicar uma maior adição de matéria orgânica. Com efeito, verifica-se que o "litter" correspondente a este pedon possui um peso de maior valor (Tabela 1).

Comparando-se os pedons moderadamente e bem drenados, as diferenças entre a quantidade de C armazenada podem ser explicadas do seguinte modo: embora as adições sejam maiores no pedon bem drenado, as perdas também o são devido às condições de textura e drenagem propícias à oxidação da matéria orgânica, de tal modo que a diferença entre as adições dos dois pedons é menor que a diferença entre as perdas. Em con-

seqüência, a quantidade de C armazenada é maior no pedon bem drenado.

No pedon imperfeitamente drenado as adições e as perdas são de magnitude intermediárias entre os outros dois pedons. A diferença entre as adições do pedon imperfeitamente e do pedon bem drenado é semelhante à diferença entre as perdas, daí estes pedons possuírem quantidades idênticas de C armazenada.

Ressalte-se, contudo, que apesar das diferenças entre adições e perdas dos três pedons a quantidade de C armazenada não varia muito mais que 10%.

A quantidade de N armazenada no ecossistema natural, assim, como a de C, varia com a classe de drenagem, porém de forma diferente.

O pedon moderadamente drenado possui a maior quantidade de C armazenada e a menor de N o que é evidenciado pelos valores de relação C/N, nitidamente mais elevados nos diversos horizontes em comparação aos outros dois pedons (Tabela 2).

O pedon bem drenado, que possui a menor quantidade de C, armazena mais N que o pedon moderadamente drenado e menos N que o imperfeitamente drenado. Contudo a relação C/N é semelhante nos pedons imperfeitamente e bem drenados (Tabela 2).

A existência de relação C/N de valores mais elevados no pedon moderadamente drenado indica que a oxidação da matéria orgânica é menor que nos demais pedons.

A diferença entre a quantidade de N armazenada nos pedons bem e imperfeitamente drenados, do mesmo modo que a de C, é pequena e se deve igualmente a um balanço final idêntico entre adições e perdas, embora suas intensidades sejam diferentes nesses pedons. Como as quantidades de C e N armazenadas também são proporcionais, os valores de relação C/N são semelhantes.

TABELA 3. Distribuição do carbono nas três classes de drenagem do ecossistema natural, até 200 cm de profundidade.

Pedon	Quantidade de C (kg/m ²)				Total
	0-10cm	10-50cm	50-100cm	100-200cm	
Imperfeitamente drenado	1,81	2,52	1,96	2,80	9,09
Moderadamente drenado	1,68	2,90	2,26	3,36	10,20
Bem drenado	1,99	2,75	1,83	2,47	9,04
Média	1,83	2,72	2,02	2,88	9,44

TABELA 4. Cátions trocáveis, soma de bases (S), capacidade de troca de cátion (T) e saturação em bases (V%) dos horizontes minerais dos três pedons.

Horizonte	Profundidade (cm)	meq/100g solo				S	H+Al	T	V%
		Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺¹	K ⁺¹	meq/100g	meq/100g	meq/100g	
Pedon Imperfeitamente Drenado									
F/A ₁₁	0- 2	5,47	1,23	0,19	0,38	7,26	0,68	7,94	91
A ₁₁	2- 6	2,88	0,36	0,03	0,06	3,33	0,88	4,21	79
A ₁₂	6- 10	0,29	0,13	0,02	0,04	0,48	1,23	1,71	28
A ₃	10- 18	0,09	0,06	0,03	0,03	0,21	1,10	1,31	16
B ₁	18- 32	0,12	0,04	0,02	0,02	0,20	1,11	1,31	15
B ₂₁	32- 50	0,13	0,22	0,05	0,04	0,44	0,86	1,30	34
B ₂₂	50- 80	0,63	0,22	0,06	0,01	0,92	0,54	1,46	63
B ₂₃	80- 110	0,35	0,12	0,06	0,02	0,55	0,96	1,51	36
B ₃₁	110- 180	0,30	0,15	0,04	0,01	0,50	0,84	1,34	37
B ₃₂	180- 230	0,26	0,13	0,06	0,01	0,45	0,68	1,13	40
Pedon Moderadamente Drenado									
A ₁₁	0- 4	1,23	0,57	0,13	0,19	2,12	1,02	3,14	68
A ₁₂	4- 8	0,28	0,12	0,05	0,08	0,53	1,37	1,90	28
A ₃	8- 15	0,06	0,07	0,03	0,04	0,20	1,39	1,59	13
B ₁₁	15- 30	0,28	0,04	0,03	0,04	0,39	1,28	1,67	23
B ₁₂	30- 45	0,14	0,03	0,03	0,02	0,22	1,20	1,40	16
B ₂₁	45- 60	0,15	0,07	0,04	0,02	0,28	1,16	1,44	19
B ₂₂	60- 70	0,06	0,09	0,03	0,02	0,20	1,16	1,36	15
B ₂₂	70- 110	0,04	0,07	0,04	0,02	0,17	1,25	1,42	12
B ₂₃	110- 170	0,01	0,06	0,03	0,04	0,14	0,95	1,09	13
B ₃₁	170- 210	0,01	0,05	0,06	0,02	0,14	0,81	0,95	15
B ₃₂	210- 230	0,01	0,04	0,03	0,02	0,10	0,81	0,91	11
Pedon Bem Drenado									
A ₁₁	0- 4	2,94	0,74	0,08	0,21	3,97	0,62	4,59	86
A ₁₂	4- 10	0,66	0,22	0,04	0,08	1,00	1,00	2,00	50
A ₃	10- 20	0,23	0,08	0,02	0,03	0,36	1,39	1,75	21
B ₁₁	20- 30	0,03	0,02	0,02	0,02	0,09	2,06	2,15	4
B ₁₁	30- 50	0,03	0,02	0,01	0,01	0,07	2,24	2,31	3
B ₁₂	50- 75	0,01	0,02	0,02	0,01	0,06	2,09	2,15	3
B ₂₁	75- 100	0,01	0,02	0,01	0,01	0,05	1,66	1,71	3
B ₂₁	100- 150	0,02	0,02	0,02	0,01	0,07	1,46	1,53	5
B ₂₂	150- 180	0,01	0,01	0,02	0,01	0,05	1,22	1,27	4
B ₃	180- 230	0,02	0,02	0,05	0,01	0,10	1,18	1,28	8

Complexo de Troca Iônica

Os valores de pH em água são idênticos nos pedons imperfeitamente e moderadamente drenados e estão em torno de 4,7. No pedon bem drenado, estão em torno de um valor cerca de 0,3 unidades mais baixo. Essa diferença, porém, praticamente desaparece no pH em KCl, estando os três pedons com valores próximos a 3,85 (Tabela 2).

Portanto, no complexo de troca iônica dos três pedons predominam as cargas negativas, porém, elas são menores no pedon bem drenado indicando uma possível presença de óxidos e hidróxidos de Fe e Al em maior quantidade.

A variação nos valores de ΔpH indica que as cargas positivas no pedon bem drenado se distribuem ao longo de todo o perfil, sendo que no horizonte A₁₁ seu efeito é levemente atenuado pela presença da matéria orgânica.

Nos pedons imperfeitamente e moderadamente drenados, ao contrário do bem drenado, a presença de cargas negativas é mais acentuada na parte superior (30 cm), sendo sua influência atenuada no horizonte A₁₁, no qual também é mais elevado o teor da matéria orgânica.

Portanto, o complexo de troca iônica é fortemente influenciado nos horizontes superficiais pela matéria orgânica, especialmente no horizonte que está em contato com o "litter".

As justificativas para a ocorrência de valores mais elevados de Ca, Mg, Na e K trocáveis, bem como dos valores de S, T e V, nos horizontes superficiais (Tabela 4) estando exclusivamente ligados ao conteúdo de matéria orgânica.

Por outro lado, nos horizontes onde é muito reduzida a quantidade de matéria orgânica, observam-se variações no complexo de troca que são decorrentes da fração mineral do solo.

O pedon moderadamente drenado possui o menor valor S e o imperfeitamente drenado o maior. O mesmo não acon-

tece com os teores de H + Al trocáveis que são maiores no pedon bem drenado e menores no pedon imperfeitamente drenado (Tabela 4).

Até o horizonte A₁₂, os valores médios ponderados de V (em relação a espessura dos horizontes) são de 61, 48 e 64, respectivamente aos pedons imperfeitamente, moderadamente e bem drenados, todos visivelmente correlacionados, aos teores de C. No horizonte A₃ onde é menor a influência da matéria orgânica e a fração mineral está mais intemperizada, os valores de V são relativamente semelhante — 16, 13 e 21, respectivamente.

Já no horizonte B, onde a influência da matéria orgânica é muito menor, os valores correspondentes à média aritmética entre os sub-horizontes são de 37, 15 e 4%, respectivamente aos pedons imperfeitamente, moderadamente e bem drenado. Verifica-se, portanto, que onde não há influência marcante da matéria orgânica, a saturação de bases é compatível com a classe de drenagem. Assim, quanto mais deficiente a drenagem, maior a saturação em bases. Isso é plenamente justificável, já que quanto maior a drenagem do perfil, maiores são as perdas das bases as quais são substituídas pelo H e Al.

Calculando-se a média aritmética de T entre os sub-horizontes do horizonte B, constata-se que, embora semelhantes — 1,34, 1,29 e 1,77 meq/100 g de solo, respectivamente aos pedons imperfeitamente, moderadamente e bem drenado, diferem consideravelmente quanto à quantidade de bases e H + Al trocáveis, acarretando as variações encontradas no valor V.

Características Físicas

A caracterização física inclui a avaliação da granulometria e das relações massa/volume, incluindo a densidade de partículas, a densidade global e a porosidade total.

TABELA 5. Distribuição percentual das frações granulométricas nas classes de 2 - 0,2, 0,2 — 0,05 e menor que 0,05 mm do horizonte A dos três pedons.

Pedon	Fração Granulométrica (%)		
	2 - 0,2mm	0,2 - 0,05mm	0 - 0,05mm
Imperfeitamente drenado	42	31	27
Moderadamente drenado	46	29	25
Bem drenado	34	46	20

TABELA 6. Classes de textura e valores de densidade e porosidade dos três pedons.

Horizonte	Profundidade (cm)	Textura (U.S.D.A)	Densidade (g/cm)		Porosidade (cm ³ /cm ³)
			Partículas	global	
Pedon Imperfeitamente Drenado					
F/A ₁₁	0- 2	Franco arenosa	2,42	0,70	0,71
A ₁₁	2- 8	Franco arenosa	2,67	1,15	0,57
A ₁₂	8- 10	Franco arenosa	2,68	1,53	0,43
A ₃	10- 18	Franco argilo arenosa	2,68	1,60	0,40
B ₁	18- 32	Franco argilo arenosa	2,73	1,62	0,40
B ₂₁	32- 50	Argilo arenosa	2,78	1,64	0,41
B ₂₂	50- 80	Argilo arenosa	2,71	1,55	0,43
B ₂₃	80-110	Argila	2,64	1,50	0,43
B ₃₁	110-180	Argila	2,79	1,41	0,50
B ₃₂	180-290	Argila	2,66	1,40	0,47
Pedon Moderadamente Drenado					
A ₁₁	0- 4	Franco arenosa	2,68	1,07	0,60
A ₁₂	4- 8	Franco arenosa	2,75	1,36	0,49
A ₃	8- 15	Franco argilo arenosa	2,79	1,56	0,44
B ₁₁	15- 30	Franco argilo arenosa	2,80	1,60	0,43
B ₁₂	30- 45	Franco argilo arenosa	2,79	1,56	0,44
B ₂₁	45- 60	Argilo arenosa	2,80	1,53	0,45
B ₂₂	60- 70	Argilo arenosa	2,81	1,55	0,45
B ₂₂	70-110	Argilo arenosa	2,93	1,48	0,50
B ₂₃	110-170	Argila	2,79	1,44	0,48
B ₃₁	170-210	Argila	2,86	1,48	0,48
B ₃₂	210-230	Argila	2,92	1,46	0,50
Pedon Bem Drenado					
A ₁₁	0- 4	Areia franca	2,62	1,02	0,62
A ₁₂	4- 10	Franco arenosa	2,68	1,41	0,47
A ₃	10- 20	Franco arenosa	2,74	1,52	0,44
B ₁₁	20- 30	Franco argilo arenosa	2,70	1,55	0,42
B ₁₁	30- 50	Franco argilo arenosa	2,81	1,55	0,45
B ₁₂	50- 75	Franco argilo arenosa	2,77	1,57	0,43
B ₂₁	75-100	Franco argilo arenosa	2,80	1,55	0,45
B ₂₁	100-150	Franco argilo arenosa	2,91	1,59	0,45
B ₂₂	150-180	Franco argilo arenosa	2,90	1,50	0,48
B ₃	180-230	Franco argilo arenosa	2,80	1,52	0,46

Granulometria

A Tabela 5 apresenta a distribuição granulométrica nas classes de 2 - 0,2; 0,2 - 0,05 e 0 - 0,05 mm de diâmetro do horizonte A dos três pedons e a Tabela 6 a textura, obtida através do tato, dos diferentes horizontes dos perfis correspondentes a cada um dos pedons.

Os pedons imperfeitamente e moderadamente drenados possuem textura semelhante: franco arenosa nos horizontes A₁₁ e A₁₂, franco argilosa nos horizontes B₂₁ e B₂₂ e argila nos horizontes B₂₃, B₃₁ e B₃₂ (Tabela 6). A distribuição percentual das frações granulométricas do horizonte A, apresentada na Tabela 5, é semelhante entre os dois pedons, especialmente nas frações menores que 0,2 mm.

O pedon bem drenado possui textura mais arenosa que os demais: areia franca no A₁₁, franco arenoso nos horizontes A₁₂ e A₃, e franco argilo arenosa no restante do perfil. No horizonte A ocorre maior percentual das frações de 0,2 - 0,05 mm em comparação aos pedons mal e imperfeitamente drenados, acontecendo o inverso com as demais frações.

Relações Massa/Volume

Excluindo os horizontes que possuem altos teores de matéria orgânica, observa-se que as variações na densidade de partículas, densidade global e porosidade total dos horizontes do mesmo pedon não são muito acentuadas (Tabela 6).

A densidade de partícula, excluindo os horizontes que estão em contato com o "litter", varia em torno de $2,79 \pm 0,08 \text{ g/cm}^3$ no pedon bem drenado e $2,82 \pm 0,06 \text{ g/cm}^3$ no pedon moderadamente drenado. No pedon imperfeitamente drenado ela varia em torno de um valor cerca de $0,1 \text{ g/cm}^3$ menor que os primeiros, ou seja, $2,71 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$.

Nos três pedons, a influência da matéria orgânica sobre a densidade global é marcante nos dois primeiros horizontes,

não acontecendo o mesmo do terceiro horizonte em diante. (Tabelas 2 e 6).

Excluindo o horizonte A₁, onde é mais elevado o conteúdo de matéria orgânica, os valores de densidade global são semelhantes nos três perfis e estão em torno de $1,53 \pm 0,06 \text{ g/cm}^3$.

A porosidade total é mais alta nos horizontes que possuem elevado teor de matéria orgânica devido à influência da densidade global. Todavia, nos demais horizontes há influência maior da densidade de partículas acarretando variação entre os pedons.

Comparando-se a média ponderada em função da espessura, embora com variações entre os horizontes A₁₁ e A₁₂, o horizonte A₁ possui valores de porosidade muito semelhantes nas três classes de drenagem.

Excluindo o horizonte A₁, a porosidade total varia ao redor de $0,45 \pm 0,02 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ no perfil bem drenado e $0,46 \pm 0,03 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ no perfil moderadamente drenado. No perfil imperfeitamente drenado, os valores são menores e estão em torno de $0,44 \pm 0,04 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Verifica-se, portanto, que excluindo a influência da matéria orgânica, os perfis possuem variações na densidade de partículas que por sua vez influem na porosidade total. O perfil imperfeitamente drenado possui fração mineral de menor densidade que os demais, acarretando menor porosidade, já que a densidade global é pouco variável quando não há elevado conteúdo de matéria orgânica.

As diferenças entre os valores da densidade de partículas dos pedons bem e moderadamente drenados são pequenas e justificam a menor diferença de porosidade entre esses pedons a partir dos horizontes menos influenciados pela matéria orgânica. Contudo, o fato do pedon bem drenado apresentar valores menores pode ser atribuído ao seu menor conteúdo de argila.

Não se observa relação estreita entre a porosidade total e a classe de drenagem

dos pedons, o que é justificável, já que os valores de porosidade não são muito diferentes e há variação na granulometria. Contudo, a relação entre a classe de drenagem e a microporosidade deve ser estreita. No pedon imperfeitamente drenado, o horizonte B₂₁ apresenta-se fortemente adensado, onde o plasma é interrompido por uma quantidade reduzida de vazios do tipo fissural que ocorrem relativamente isolados (Martins et al. s.d.).

CONCLUSÕES

O solo do ecossistema estudado apresenta um "litter" constituído de folhas e galhos pouco alterados, os quais constituem a maior parte, raízes vivas e fragmentos vegetais em decomposição.

Existe relação entre o tamanho dos galhos e a drenagem do solo. O impedimento da drenagem acarreta a ocorrência de menor quantidade de galhos grossos.

Dentre os fragmentos em decomposição encontrados no "litter", a maior parte possui diâmetro menor que 2 mm, não podendo ser reconhecida sua origem.

Nos três pedons, a quantidade de carbono armazenada do "litter" é proporcional ao seu peso, o que não acontece com a quantidade de nitrogênio. A quantidade desse elemento é relativamente menor no "litter" do pedon imperfeitamente drenado por causa da elevada quantidade de material com alta relação C/N, especialmente os galhos mais grossos, além do mais avançado grau de decomposição em que se encontram.

Nos horizontes minerais, a quantidade de carbono armazenada até 200 cm é de 9 kg/m², tanto no pedon imperfeitamente como no bem drenado, já no pedon moderadamente drenado encontra-se 10 kg/m².

As adições de matéria orgânica são maiores no pedon bem drenado, contudo, as perdas são menores nos pedons imperfeitamente e moderadamente drenados, especialmente neste. De tal forma que o

balanço entre adições e perdas propiciam uma quantidade de C armazenada no pedon moderadamente drenado ligeiramente maior que nos demais pedons, cujas quantidades são idênticas.

Embora predominem cargas negativas no complexo de troca dos três pedons, o pedon bem drenado possui maior quantidade de cargas positivas que os demais, as quais se distribuem ao longo de todo o perfil. Ao contrário, nos pedons imperfeitamente e moderadamente drenados a ocorrência dessas cargas é mais acentuada na parte superior do perfil. Nos três casos, observa-se na parte superior do horizonte A o efeito das cargas negativas de matéria orgânica neutralizando as cargas positivas existentes no complexo.

Nos três pedons, tanto a densidade de partículas quanto a densidade global são influenciadas pela matéria orgânica nos horizontes próximos à superfície.

Nos horizontes mais profundos, onde é insignificante a influência da matéria orgânica, a densidade de partículas dos pedons bem e moderadamente drenados apresenta-se com valores mais elevados que os do pedon imperfeitamente drenado. Isto acarreta valores mais baixos de porosidade total neste pedon.

A influência da matéria orgânica na porosidade total se dá praticamente nos primeiros 10 cm de solo, onde os valores de densidade global são mais reduzidos e se correlacionam com os teores de C. A partir de 10 cm, praticamente não há influência da matéria orgânica, já que os valores de densidade global são idênticos nos três pedons.

A matéria orgânica influencia sobremaneira a quantidade de bases trocáveis, a capacidade de troca de cátions e a fertilidade dos horizontes mais próximos ao "litter".

No horizonte B, os três pedons apresentam-se pobres em bases, contudo, o pedon bem drenado é o mais pobre e o pedon imperfeitamente drenado o menos pobre, confirmando suas condições diferentes de drenagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BABEL, U. Gliederung und beschreibung des humus profils in mitteleuropaschen Wäldern. *Geoderma*, 5:297-324, 1971.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha SA. 23 São Luís e parte da folha Sa. 24 Fortaleza**; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1973. (MME. DNPM. Levantamento de Recursos Naturais, 3).
- BUCKMAN, H.O. & BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. 2 ed. São Paulo/Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1968, 594 p. (Traduzido do original "The nature and properties of soils" por Antonio B. Neiva Figueiredo Filho).
- BOULET, R. Etude pedologique des bassins versants ECEREX. Bilan de la cartographie. In: Schirle, A. et al., Ed. **L'ecosysteme forestier guyanais. Etude et mise en valeur**. Cayenne, ORSTOM, 1981. p.33-44. (ORSTOM. Bulletin de liaison du groupe de travaux, 4).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido, Belém, PA. **Sistemas de produção com plantas perenes em consórcio duplo para o trópico úmido brasileiro** — Resultados preliminares. Belém, 1981. 117p.
- FUNDAÇÃO IBGE, Rio de Janeiro, RJ. **Divisão do Brasil em microrregiões homogêneas**. Rio de Janeiro, 1968. 563p.
- GREENLAND, D.J. & NYE, P.H. Increases in carbon and nitrogen contents of tropical soil under natural fallows. *J. Soil Sci.*, 10(2):284-99, 1959.
- KIEHL, J.E. Densidade aparente. In: **Manual de edafologia. Relações solo-planta**. S. Paulo, Agronômica Ceres, 1979. p.76-88.
- KUHLMANN, E. Vegetação. In: FUNDAÇÃO IBGE, Rio de Janeiro, RJ. **Geografia do Brasil: Região Norte**. Rio de Janeiro, 1977. p.59-91.
- MANARINO, R.P.; VOLKOFF, B & CERRI, C.C. Comparação do húmus de Capoeira e de floresta natural em Latossolo Amarelo da região amazônica, Brasil. In: Cerri, C.C. et al. ed. **COLÓQUIO REGIONAL SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO. Anais...** Piracicaba, CENA-USP/PROMOCET, 1982. p.51-8.
- MARTINS, P.F. da S.; CHAUVEL, A. & CERRI, C.C. **O solo de um ecossistema natural de floresta localizado na Amazônia oriental. III. Caracterização micromorfológica**. s.n.t. (não publicado).
- NIMER, E. Clima. In: FUNDAÇÃO IBGE, Rio de Janeiro, RJ. **Geografia do Brasil: Região Norte**. Rio de Janeiro, 1977. p.39-58.
- TOUTAIN, F. Les humus forestiers, structures et modes de fonctionnement. *R. For. Fr.*, Nancy, 23(6): 449-77, 1981.

OCORRÊNCIA DE NODULAÇÃO ESPONTÂNEA EM LEGUMINOSAS FLORESTAIS NATIVAS DE CAPITÃO POÇO - PA

Areolino de Oliveira Matos¹

RESUMO: Efetuou-se um levantamento de nodulação espontânea em espécies florestais nativas em mata e capoeira de Capitão Poço, Estado do Pará, com características de vegetação tropical úmida de terra firme, assentadas sobre Latossolo Amarelo Distrófico textura média, sob um clima do tipo Am, pela classificação de Köppen. O levantamento foi efetuado em uma área previamente inventariada, através da coleta de nódulos em plantas jovens e adultas. Foram observadas treze espécies na mata e oito em capoeira, sendo que com nodulação foram encontradas oito e quatro, respectivamente. Na mata, quatro foram da subfamília Mimosoideae, uma da Caesalpinioideae e uma Papilionoideae. Em capoeira, três foram da Mimosoideae, uma da Papilionoideae e nenhuma Caesalpinioideae. Dos nódulos coletados foram observadas características quanto à coloração e forma. A coloração variou de creme clara a marrom na maioria das espécies, tendo sido observadas as colorações branca e preta. A forma globosa foi observada na maioria das espécies, seguida das formas alongada, lobada e bifurcada. Foram feitos isolamentos de estirpes de *Rhizobium* de nódulos de espécies dos dois ambientes, sendo anotadas suas características quanto à velocidade de crescimento em cultura pura, coloração e reação de pH ao meio de cultura. Observou-se nodulação em árvores adultas de Acapu (*Vouacapoua americana*) uma Caesalpinioideae de grande valor comercial no Estado do Pará.

Termos para indexação: Região amazônica, *Rhizobium*, Leguminosae, leguminosas florestais, nodulação, levantamento.

OCCURRENCE OF NATURAL NODULATION IN NATIVE FOREST LEGUMES IN CAPITÃO POÇO - PA

ABSTRACT: A survey on natural nodulation of native legume tree species was done in Capitão Poço, State of Pará. The upland (terra firme) humid tropical primary and secondary forest studied grew on dystrophic, medium-texture, yellow latosol (oxisol) under the Am climatic type of Köppen's classification. The survey was fulfilled by collecting nodules of young and adult plants of an area previously surveyed. Thirteen species from primary and eight from secondary forest were observed, in which eight and four species, respectively, had nodules. In the primary forest, four species belong to sub-family Mimosoideae, one to Caesalpinioideae and one to Papilionoideae. In the secondary forest, three species belong to Mimosoideae, one to Papilionoideae and none to Caesalpinioideae. The color and form of the collected nodules were observed. The color varied from light cream to brown in most of the species. White and black colors were also observed. Globose forms were observed in most of the species. Elongated, lobed and bifurcated forms were also observed. Isolation of different strains of *Rhizobium* from the nodules collected was carried out. Their growth rate in pure culture, color and pH reaction to culture medium are described. Nodulation was observed in one adult tree of Acapu (*Vouacapoua americana*) which is a Caesalpinioideae of great commercial value in the State of Pará.

Index terms: Amazon region, *Rhizobium*, Leguminosae, forest legume, nodulation, survey.

¹Eng. Agr. M.Sc. EMBRAPA-CPATU. Caixa Postal 48. CEP. 66000. Belém, PA.

INTRODUÇÃO

Entre os sistemas biológicos capazes de fixar nitrogênio, a simbiose leguminosa — *Rhizobium* é o mais especializado, sendo responsável pela maior parte do nitrogênio incorporado aos ecossistemas (Dobereiner 1980). Grande parte desse nitrogênio necessário para as leguminosas pode ser obtido da atmosfera, desde que haja compatibilidade entre uma linhagem de rizóbio no nódulo e a leguminosa e a planta nodulada esteja provida dos nutrientes essenciais e num ambiente adequado (Evans 1977).

A família Leguminosa é a terceira maior entre as plantas floríferas (National Academy of Science 1979), sendo a quinta família melhor representada na floresta amazônica (Silvester-Bradley et al. 1980). Sabe-se também que 85% das espécies desta família são lenhosas, porém, com exceção de grãos e forrageiras, é muito pouco conhecida a contribuição das leguminosas arbóreas na fixação de nitrogênio atmosférico e na manutenção da fertilidade dos solos, nos diferentes ecossistemas dos trópicos úmidos (Okigbo 1977). São as leguminosas, em geral, as primeiras plantas que colonizam qualquer terra recém-derrubada (Todd 1978) e que podem acrescentar quantidades apreciáveis de nitrogênio ao solo (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária — EMBRAPA 1980).

O reflorestamento com leguminosas inoculadas pode ser uma alternativa de utilização bastante promissora dentro dos ecossistemas amazônicos. Trabalhando com sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*), Dobereiner (1967) demonstrou que existiu maior capacidade de sobrevivência de mudas no campo, quando estas foram inoculadas com estirpes eficientes de rizóbio. No momento, algumas espécies (*Enterolobium cyclocarpus* e *Schyzolobium parahyba*) na América Central e outras (*Mimosa scabrella* e *Schyzolobium amazonicum*) na América do Sul, já são em-

pregadas em projetos de reflorestamento (Vietmeyer 1979).

Na Amazônia brasileira, é conhecido o potencial silvicultural de algumas espécies de leguminosas arbóreas (Yared 1982, Carvalho 1980), porém, somente alguns trabalhos foram executados dentro desse enfoque de levantamento (Magalhães et al. 1982, Silvester-Bradley et al. 1980). Esse trabalho teve como objetivo contribuir para o conhecimento de nodulação espontânea em leguminosas florestais, visando estudos posteriores de inoculação, principalmente em espécies de reconhecido valor econômico.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área

O levantamento foi realizado em área de floresta, no município de Capitão-Poço, no Estado do Pará, distante 230 quilômetros de Belém, latitude 47°04'. A vegetação é do tipo mata tropical úmida da terra firme, com relevo plano, assentada em solos classificados como Latossolo Amarelo Distrófico textura média e pequenas manchas de Concrecionário Laterítico. O clima da área é do tipo Am pela classificação de Köppen, com temperatura média anual de 25,9°C, máxima de 32,2°C, mínima de 21,0°C e uma precipitação média anual de 1957 mm (Bastos et al. 1984). Foi executada também à mesma época prospecção em capoeira de cinco anos de idade, em área contígua a floresta.

Trabalho de campo e laboratório

O trabalho de campo foi realizado conjuntamente com um mateiro, para a identificação das espécies. Das espécies não identificadas no campo foi trazido material botânico para identificar no laboratório de botânica do CPATU. A floresta, previamente inventariada pela equipe do Programa Nacional de Pesquisa de Florestas, sediada no CPATU, foi percorrida em picadas

transversais situadas a cada 25 m, de uma área total de 10 hectares. Foram observadas raízes de árvores adultas, quando possível, e de plantas jovens de leguminosas arbóreas, com a finalidade de detectar a presença de nódulos. Depois de caracterizados quanto a coloração e forma, os nódulos foram acondicionados em pequenos tubos de ensaio com cloreto de cálcio anidro, para manutenção da viabilidade do *Rhizobium*.

Os nódulos assim acondicionados foram armazenados em geladeira até serem manuseados para isolamento de estirpes de *Rhizobium*, seguindo a metodologia descrita por Vincent (1970). As colônias de bactérias foram isoladas em meio de cultura sólido YMA (yeast mannitol agar), as quais foram descritas quanto à velocidade de crescimento, coloração e reação de pH. As estirpes isoladas foram estocadas em geladeira, em tubos de cultura, para posteriores trabalhos em casa-de-vegetação.

RESULTADOS

As Tabelas 1 e 2 mostram a ocorrência ou não de nodulação em todas as espécies estudadas em mata e capoeira, respectivamente.

A Tabela 3 mostra a distribuição por subfamília das espécies noduladas em floresta. A subfamília Mimosoideae foi a que apresentou maior percentagem, com 57% de espécies noduladas vindo a seguir a Papilionoideae e Caesalpinoideae com 33% cada uma. Na Tabela 4 é mostrada a mesma distribuição de espécies ocorrentes em capoeira, com a maior percentagem ocupada pela subfamília Papilionoideae (100%) seguida da Mimosoideae (50%) e por último a Caesalpinoideae (0%).

Na Tabela 5 são apresentadas as características dos nódulos coletados, tanto em floresta como em capoeira. A coloração variou desde branca em *Inga edulis* (Ingá cipó) até preta observado em *Voua-*

capoua americana (Acapu), passando pela creme clara em *Tachigalia myrmecophylla* (Taxi preto folha graúda) e *Inga rubiginosa* (Ingá peluda) até creme escura observada em *Parkia multijuga* (Fava-arara-tucupi) e *Piptadenia suaveolens* (Timborana ou Fava-folha-fina). Ocorreram também quatro espécies com nódulos marrons: *Poecilante* sp. (Cocão), *Machaerium froesi* (Unha de gato), *Pithecelobium pedicellare* (Fava mapuxiqui ou Ingá de porco) e *Pithecelobium ju-pumba* (Pau de bicho ou Saboeiro). Na mesma Tabela pode-se observar que foram encontradas quatro formas distintas de nódulos: globosa, encontrada em seis espécies; alongada, observada em duas espécies; lobada também observada em duas espécies e bifurcada, encontrada em *Poecilante* sp.

A maioria das plantas em que foi observada nodulação variava entre 0,3 m e 8,0 m de altura, com diâmetros entre 1,5 cm e 10,0 cm, sendo portanto plantadas jovens. Entretanto, foram também observadas plantas adultas com nodulação em Acapu e Taxi preto folha graúda, em pequenas raízes saindo de grandes raízes laterais, próximo ao coleto.

Algumas características de colônias de *Rhizobium* de espécies florestais de Capitão-Poço são mostradas na Tabela 6. A coloração das colônias de bactérias variou de branca a branca amarelada, com exceção de colônia isolada de Timborana, que apresentou um amarelo forte nos isolamentos efetuados. Observou-se também que a reação da colônia, ao meio YMA com bromotimol azul, foi ácida na maioria das espécies. Apenas as espécies Taxi preto folha graúda, Timborana e Fava mapuxiqui apresentaram reação alcalina. Na mesma Tabela pode-se observar que o crescimento das colônias foi rápido (menos que cinco dias) em todas as estirpes, com exceção dos isolamentos efetuados em Acapu que foram muito lentos (mais de doze dias).

TABELA 1. Ocorrência de nodulação em leguminosas florestais nativas de mata — Capitão-Poço.

Espécie	Nome vernacular	Nodulação
Subfamília Mimosoideae		
<i>Inga edulis</i>	Ingá cipó	+
<i>Parkia multijuga</i>	Fava-arara-tucupi	+
<i>Piptadenia suaveolens</i>	Timborana ou Fava-folha-fina	+
<i>Pithecelobium pedicellare</i>	Fava mapuxiqui	-
<i>Stryphnodendron pulcherrimum</i>	Paricarana	-
<i>Parkia auriculata</i>	Visgueiro	-
<i>Pithecelobium jupunba</i>	Pau de bicho ou Saboeiro	+
Subfamília Papilionoideae		
<i>Poecilanthe</i> sp.	Cocão	+
<i>Vataireopsis speciosa</i>	Fava amargosa	-
<i>Hymenolobium excelsum</i>	Angelim da mata	-
Subfamília Caesalpinoideae		
<i>Tachigalia myrmecophylla</i>	Taxi preto folha graúda	+
<i>Vouacapoua americana</i>	Acapu	+
<i>Hymenaea parvifolia</i>	Jutai-mirim	-

TABELA 2. Ocorrência de nodulação em leguminosas florestais nativas de capoeira — Capitão-Poço.

Espécie	Nome vernacular	Nodulação
Subfamília Mimosoideae		
<i>Inga rubiginosa</i>	Ingá peluda	+
<i>Piptadenia suaveolens</i>	Timborana ou Fava-folha-fina	-
<i>Inga alba</i>	Ingá chichica	-
<i>Pithecelobium pedicellare</i>	Fava mapuxiqui	+
<i>Parkia</i> sp.	Fava atana	-
<i>Inga edulis</i>	Ingá cipó	+
Subfamília Papilionoideae		
<i>Machaerium froesi</i>	Urna de gato	+
Subfamília Caesalpinoideae		
<i>Cassia fruticosa</i>	Cássia	-

TABELA 3. Ocorrência de nodulação em leguminosas arbóreas nativas de floresta — Capitão-Poço.

Subfamília	Nº de espécies observadas	Nº de espécies noduladas	% de espécies noduladas
Mimosoideae	7	4	57
Papilionoideae	3	1	33
Caesalpinoideae	3	1	33
Total	13	-	6

TABELA 4. Ocorrência de nodulação em leguminosas arbóreas nativas de capoeira — Capitão-Poço.

Subfamília	Nº de espécies observadas	Nº de espécies noduladas	% de espécies noduladas
Mimosoideae	6	3	50
Papilionoideae	1	1	100
Caesalpinoideae	1	0	0
Total	8	4	—

TABELA 5. Características dos nódulos de leguminosas arbóreas — Capitão-Poço.

Nome vernacular	Espécie	Coloração	Forma
Cocão	<i>Poecilbante</i> sp.	Marrom	Bifurcada
Taxi preto	<i>Tachigalia myrmecophylla</i>	Creme clara	Globosa
Ingá cipó	<i>Inga edulis</i>	Branca	Globosa
Fava-arara-tucupi	<i>Parkia multijuga</i>	Creme escura	Elongada
Acapu	<i>Vouacapoua americana</i>	Preta	Globosa
Timborana	<i>Piptadenia suaveolens</i>	Creme escura	Elongada
Fava mapuxiqui	<i>Pithecelobium pedicellare</i>	Marrom	Lobada
Pau de bicho	<i>Pithecelobium jupunba</i>	Marrom	Globosa
Ingá peluda	<i>Inga rubiginosa</i>	Creme clara	Globosa
Unha de gato	<i>Machaerium froesi</i>	Marron	Globosa

TABELA 6. Características de colônias de *Rhizobium* de espécies de leguminosas de Capitão-Poço.

Nome vernacular	Espécie	Crescimento*	Coloração	Reação ao pH
Cocão	<i>Poecilanthé</i> sp.	R	Branca	Ácido
Taxi preto folha graúda	<i>Tachigalia myrmecophylla</i>	R	Branca	Álcali
Ingá cipó	<i>Inga edulis</i>	R	Amarelada	Ácido
Ingá peluda	<i>Inga rubiginosa</i>	R	Amarelada	Ácido
Timborana ou Fava-folha-fina	<i>Piptadenia suaveolens</i>	R	Amarela	Álcali
Fava mapuxiqui ou Ingá de Porco		R	Branca	Álcali
Acapu	<i>Vouacapoua americana</i>	L	Branca	Ácido
Fava-arara-tucupi	<i>Parkia multijuga</i>	L	Branca	Álcali
Pau de Bicho	<i>Pithecelobium jupunba</i>	R	Amarelada	Ácido
Unha de gato	<i>Machaerium froesi</i>	R	Amarelada	Ácido

* R = rápido e L = lento.

DISCUSSÃO

Observa-se na Tabela 3 que a distribuição por subfamília de espécies noduladas em floresta, obedece um padrão normal, se forem levados em consideração outros levantamentos efetuados em outras regiões. Bañados & Fernandez (1954) em le-

vantamento realizado nas Filipinas, também observaram nodulação em todas as espécies da Papilionoideae, de 60% a 100% em Mimosoideae e somente poucas espécies da Caesalpinoideae examinadas mostraram nodulação. A mesma tendência foi observada em levantamento realizado em diferentes áreas em Singapura, onde foi en-

contrada nodulação em todas as espécies das subfamílias Mimosoideae e Papilionoideae, o mesmo não acontecendo com a subfamília Caesalpinioideae (Lim & Ng 1977). Outros autores (Allen e Campello, citados por Magalhães et al. 1982) em levantamentos anteriores, observaram percentagens maiores que 70% nas subfamílias Mimosoideae e Papilionoideae e de até 33% de espécies noduladas na Caesalpinioideae, uma subfamília de baixa ocorrência em espécies noduladas.

Em levantamento conduzido por Magalhães et al. (1982), com 34 espécies da Amazônia, foram encontradas 22 noduladas, sendo que a maior percentagem ocorreu na subfamília Papilionoideae, seguida da Caesalpinioideae e por último a Mimosoideae. O fato de ter ocorrido uma maior percentagem na subfamília Caesalpinioideae em detrimento da Mimosoideae é atribuído pelos autores à amostragem, isto é, ao pequeno número de espécies observadas.

Os dados percentuais observados nas espécies da capoeira (Tabela 4) apontam uma distribuição diferente seguindo porém a mesma tendência de outros levantamentos, apesar do pequeno número de espécies analisadas e ser um ecossistema alterado.

Na Tabela 5 são apresentadas as características morfológicas dos nódulos, de dados tomados no campo por ocasião da coleta. Verifica-se que a coloração dos nódulos variou de branca, encontrada em *Ingá cipó*, até preta, observada em *Acapu*. Em trabalho em que a morfologia dos nódulos foi um dos parâmetros estudados, foi observado de uma maneira geral que a coloração dos nódulos variou de marrom a marrom pálida. Os mesmos autores fazem também alusão à ocorrência de nódulos pretos descritos por outros pesquisadores (Cloonan e Dobereiner, citado por Lim & Ng 1977).

Na mesma tabela são mostradas as diferentes formas de nódulos observadas nas espécies estudadas, conforme os padrões

da Fig. 1. Houve predominância da forma globosa em seis das espécies observadas, vindo a seguir a alongada com duas espécies e as formas lobada e bifurcada com uma espécie cada. Com exceção da forma bifurcada, todas as demais formas foram observadas em recente levantamento com leguminosas florestais da Amazônia, onde foram predominantes as formas alongada e lobada (Magalhães et al. 1982). A forma bifurcada foi também descrita por Lim & Ng (1977) em levantamento efetuado em Singapura.

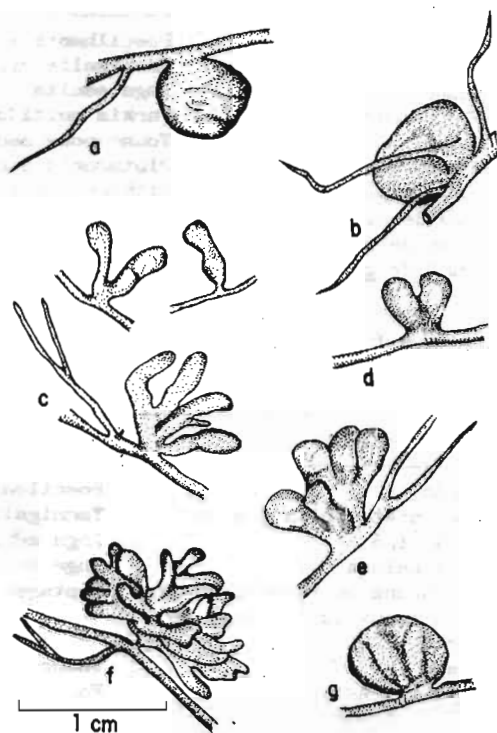


FIG. 1. Formas de nódulos: a) globosa; b) semi-globosa; c) alongada e lobada; d) bifurcada; e) forma de leque; f) coralada; g) globosa e estriada.

Fonte: Lim, G. & Ng, H.L. Root nodules of some tropical legumes in Singapore. *Plant and Soil*, 46, 317-327, 1977.

A Tabela 6 mostra algumas características de colônias de *Rhizobium*, referentes ao seu crescimento em cultura pura. Observou-se que a velocidade de cres-

cimento das colônias, isto é, o tempo necessário para que estas alcancem dois milímetros de diâmetro, foi rápido (menos que cinco dias) na maioria das espécies e muito lento (mais que doze dias) em Acapu, de acordo com a classificação de Lim & Ng (1977).

A coloração das colônias variou de branca (cinco espécies) a amarelada (quatro espécies). Ocorreu também a coloração amarela forte em apenas uma espécie (Timborana). Em trabalho sobre características de nódulos e colônias de *Rhizobium*, Basak & Goyal (1980) fazem referência a muitas outras, sem no entanto mencionar qualquer item referente à coloração de colônias.

São apresentadas na mesma tabela a reação da colônia ao meio de cultura YMA (Yeast mannitol agar) com bromotimol azul. Observou-se reação ácida em seis espécies (Cocão, Ingá cipó, Ingá peluda, Acapu, Pau de bicho e Unha de gato) e alcalina nas outras três (Taxi preto, folha graúda, Timborana e Fava-araratucupi). Dados sobre reação de pH em cultura pura são apresentados na coleção de *Rhizobium* do CIAT, com enfoque porém para as leguminosas forrageiras (CIAT *Rhizobium* Collection, 2nd edition). Em estirpes isoladas de leguminosas da Índia, foi observada que a produção de álcali em cultura pura foi predominante (Basak & Goyal 1980).

Os gêneros *Tachigalia*, *Parkia*, *Machaerium*, *Pithecelobium*, *Inga* e *Poecilanthe* foram observados com nodulação em outros levantamentos na Amazônia (Magalhães et al. 1982 e Silvester-Bradley et al. 1980), o mesmo não ocorrendo com os gêneros *Piptadenia* e *Vouacapoua*, também objetos deste estudo.

Entre as espécies que apresentaram nodulação, o Acapu é a de maior valor comercial no Estado do Pará (Loureiro et al. 1979). Sabe-se que essa espécie possui crescimento lento no seu "habitat" natu-

ral, sendo porém desconhecido seu potencial silvicultural em trabalhos sobre inoculação, podendo ser, portanto, uma boa alternativa futura dentro dessa linha de pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASAK, M.K. & GOYAL, S.K. Studies on tree legumes. III. Characterization of the symbionts and direct and reciprocal cross inoculation studies with tree legumes and cultivated legumes. *Plant. soil*, 56: 3951, 1980.
- BAÑADOS, L.L. & FERNANDEZ, W.L. Nodulation among the Leguminosae. *Philipp. Agric.* 37(9):529-33, 1954.
- BASTOS, T.X.; DINIZ, T.D. de A.S.; KOBAYASHI, L. T & Santos, A.R. dos. Estudos mesoclimáticos — variação termoplúviométrica em campos experimentais da EMBRAPA-CPATU no Estado do Pará. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1984. 3p. (EMBRAPA-CPATU. Pesquisa em Andamento, 134).
- CARVALHO, J.O.P de Inventário diagnóstico da regeneração natural em área da floresta nacional do Tapajós. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1980. 23p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 2).
- DOBEREINER, J. & DUQUE, F.F. Contribuição da pesquisa em fixação biológica de nitrogênio para o desenvolvimento do Brasil. *R. Econ. Rural*, Brasília, 18(3):447-60, 1980.
- DOBEREINER, J. Efeito da inoculação de sementeiras de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*) no estabelecimento e desenvolvimento das mudas no campo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 2:301-5, 1967.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Nacional de Arroz e Feijão, Goiânia, GO. *Leucema: alternativa para pequena e média agricultura*. Goiânia, 1980. 12p. (EMBRAPA-CNPAP. Circular Técnica, 6).
- EVANS, H.J. & BARBER, L.E. Biological nitrogen fixation for food and fiber production. *Science*, 197(301):332-9, 1977.

- LOUREIRO, A.A.; SILVA, M.F. de & ALENCAR, J.C. *Essências madeireiras da Amazônia*. Manaus, INPA, 1979, v.1.
- LIM, G. & Ng, H.L. Root nodules of some tropical legumes in Singapore. *Plant Soil*, 46:317-27, 1977.
- MAGALHÃES, F.M.M.; MAGALHÃES, L.M.S.; OLIVEIRA, L.A. de & DOBEREINER, J. Ocorrência de nodulação em leguminosas florestais de terra firme na região de Manaus — *Acta Amaz.* 12(3):509-14, 1982.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE, Washington, EUA. *Tropical legumes: resources for the future*. Washington, 1979. 331p.
- OKIGBO, E.N. Legumes in Farming systems of the humid tropics. In: AYANABA, A. & DART, P.J. eds. *Biological nitrogen fixation in farming systems of the tropics*. New York, J. Willey, 1977. p.61-72.
- SILVESTER-BRADLEY, R.; OLIVEIRA, L.A. de; PODESTÁ FILHO, J.A. de & St. JHON, T.V. Nodulation of legumes, nitrogenase activity of roots, and occurrence of nitrogen-fixing *Azospirillum* spp. in representative soils of Central Amazonia. *Agro-Ecosystems*, 6:249-66, 1980.
- TODD, R.L.; MEYER, R.D. & WIADE, J.R. Nitrogen fixation in a deciduous forest in the South - Eastern United States. *Ecol. Bull.*, Stockholm, 26: 172-7, 1978.
- VIETMEYER, N. Arboles leguminosas tropicales: arma secreta contra la deforestación. *Ceres*, Roma 12(5):3841, 1979.
- VINCENT, J.M. *A manual for the practical study of the root-module bacteria*. London, International Biological Programme/Blackwell, 1970. 164p. (International Biological Programme. Handbook, 15).
- YARED, J.A.G. & CARPANEZZI, A.A. *Ensaio de espécies a pleno sol com "one-tree-plot" na Floresta Nacional do Tapajós*. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1982. 34p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 35).

EFEITO DE INOCULAÇÃO COM MICORRIZA (VA) EM DUAS CULTIVARES DE CAUPI (*Vigna unguiculata*) EM CASA DE VEGETAÇÃO

Elizabeth Ying Chu¹ e Areolino de Oliveira Matos¹

RESUMO: Os efeitos de inoculação com uma mistura de micorriza VA (*Gigaspora margarita* + *Acaulospora longula* + *Glomus* + *manihotis*) em duas cultivares de caupi (Quebracadeira e V-48) foram estudados num ensaio em vaso em casa-de-vegetação com solo de Tracuateua, caracterizado como Areia Quartzosa Vermelha Amarela, fumigado e sem adição de qualquer corretivo. A nodulação ocorreu naturalmente em todas as plantas utilizadas neste experimento. A inoculação com micorriza aumentou significativamente a nodulação, o crescimento da planta, as quantidades de N e P absorvidas, a produção de grãos e antecipou o amadurecimento das vagens, independente das cultivares de caupi. Porém, a inoculação não aumentou proporcionalmente o valor de raiz/parte aérea. A cultivar V-48 respondeu melhor à inoculação com micorriza, indicando haver diferenças em efetividade da micorriza sobre diferentes variedades de planta. O resultado deste trabalho preliminar mostrou a perspectiva futura de utilizar-se micorriza na produção de caupi na região amazônica.

Termos para indexação: Região amazônica, caupi, *Gigaspora margarita*, *Glomus manihotis*, *Acaulospora longula*, *Rhizobium*, nodulação, Areia Quartzosa Vermelho Amarela.

THE EFFECT OF INOCULATION WITH MYCORRHIZA (VA) ON TWO COWPEA (*Vigna unguiculata*) CULTIVARS UNDER GREENHOUSE CONDITION

ABSTRACT: The effects of inoculation with a mixed mycorrhizal inoculum (*Gigaspora margarita* + *Acaulospora longula* + *Glomus manihotis*) on two cowpea cultivars (Quebracadeira e V-48) were studied in a pot experiment in greenhouse with fumigated and unamended Red Yellow Quartz Sand soil from the country of Tracuateua of State of Pará. Nodulation occurred naturally in all the plants used. The inoculation with mycorrhiza significantly increased nodulation, plant growth, amount of N and P absorbed, bean yield and anticipated the seed pod maturation, independent of cowpea cultivar. However, inoculation did not proportionally increase the root/shoot ratio. The cultivar V-48 responded better to inoculation with mycorrhiza which indicates a difference in mycorrhiza effectiveness on different plant cultivars. The results of this preliminary work showed that there is a potential for the use of mycorrhiza for cowpea production in Amazon region.

Index terms: Amazon region, cowpea, *Gigaspora margarita*, *Glomus manihotis*, *Acaulospora longula*, *Rhizobium*, nodulation.

¹Eng. Agr. M.Sc. EMBRAPA-CPATU. Caixa Postal 48. CEP 66.000. Belém, PA

²Eng. Agr., M.Sc. EMBRAPA-CPATU.

INTRODUÇÃO

As raízes da maioria das plantas formam associações com micorrizas endotróficas tipo vesicular-arbuscular (Gerdemann, 1968). As evidências de micorrizas vesicular-arbuscular em aumentar a absorção de nutrientes do solo, principalmente fósforo, pelas plantas podem tornar esta associação a desempenhar um importante papel na nutrição mineral de plantas nos solos tropicais de baixa fertilidade (Mosse, 1981).

Na Amazônia, a maioria dos solos são carentes em teor de fósforo. Para melhorar a produtividade da planta é necessária a aplicação constante de fertilizantes fosfatados, que geralmente resulta em alto custo de produção. Entretanto, a utilização de inoculação com micorriza VA de eficiência comprovada pode se transformar numa técnica promissora para aumentar a produtividade de plantas sem onerar o custo de produção.

Devido a sua alta resistência fitopagênica e adaptabilidade sob condições da região amazônica, o caupi já é uma cultura de grande importância alimentícia no nordeste paraense. Nos últimos cinco anos, a área de produção desta cultura aumentou significativamente. Para manter a sua alta produtividade (1.000 kg/ha) uma dosagem de 111 kg de supertríplo/ha é aplicada anualmente. Portanto, é de grande interesse realizar um estudo sobre a inoculação de micorriza VA nesta cultura em condições climáticas e de solos da Amazônia. Neste trabalho preliminar verificou-se o efeito de inoculação com micorrizas VA no crescimento e desenvolvimento de duas cultivares (Quebra-cadeira e V-48) de caupi.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação em vasos plásticos contendo três quilos de solo fumigado com brometo de metila (5m², 10 cm profundidade/lata). Foi utilizado solo sob vegetação de capoei-

ra, caracterizado como Areia Quartzosa Vermelho Amarela, em área localizada próximo aos experimentos de caupi no Campo Experimental de Tracuateua. O solo foi coletado numa profundidade de 0-20 cm e peneirado. A análise do solo mostrou as seguintes características: pH: 4,5; N: 0,05%; Ca+Mg: 1.20 meq/100g T.F.S.A.: K: 0,05meq/100g T.F.S.A. P₂O₅: 1,21 mg/100g. O solo foi utilizado sem adição de qualquer corretivo.

Foi usado como inóculo uma mistura de três tipos de micorrizas VA: *Gigaspora margarita* (fornecido pelo IAC, originária da Inglaterra), *Acaulospora longula* e *Glomus manihotis* (proveniente do CIAT, Colômbia). Os esporos dos fundos foram multiplicados em vasos-de-cultivo plantados com *Brachiaria decumbens*. Uma mesma quantidade de solo contendo raízes e esporos foi retirada dos três vasos-de-cultivo e homogeneizada dentro de um saco plástico. Dez gramas desta mistura, contendo aproximadamente 1700 esporos, foram utilizados como inóculo por vaso.

Foram testadas duas cultivares de caupi: Quebra-cadeira e V-48. Em cada vaso, o inóculo foi depositado numa profundidade de 2 cm sobre o qual foram colocadas três sementes. Após a germinação foi feito o desbaste, deixando-se uma planta por vaso. Todos os vasos receberam 5 ml de suspensão preparada com o mesmo solo no qual foi utilizado inóculo, isenta de esporos dos fungos micorrízicos, mas contendo outros microorganismos do solo.

O delineamento do experimento foi fatorial 2x2 com os blocos inteiramente casualizados e quatro repetições por tratamento, totalizando 32 vasos. Foram feitas duas avaliações: 40 e 62 dias após o plantio para avaliar o crescimento e a produção das plantas. Foram utilizados 16 vasos para cada avaliação.

Uma pequena parte das raízes foi corada conforme a técnica descrita por Phillips & Haymann (1970) para avaliação de infecção de raiz. A estimativa da percentagem do comprimento de raiz infectada foi

feita através do método descrito por Giovannetti & Mosse (1980). Após remoção das raízes, 50 g de solo de cada vaso foram peneirados pelo método sugerido por Gerde-mann & Nicolson (1963) e centrifugados para avaliação de esporos e detecção de contaminação.

Para determinação do peso de grão, as vagens foram secadas ao sol e debulhadas. Após a pesagem, os grãos foram secados novamente numa estufa de 65°C até atingir peso constante. As determinações de nitrogênio e fósforo totais foram feitas conforme metodologia descrita por Chapman & Pratt (1973).

Os teores de fósforo dos solos de cada tratamento foram analisados 40 dias após o plantio pelo método de Riley and Murphy.

RESULTADOS

O efeito da inoculação foi observado duas semanas após o plantio. Com 20 dias de idade as plantas inoculadas já demonstravam crescimento superiores às plantas não inoculadas. A diferença mais acentuada foi observada na cultivar V-48. Embora não tendo sido adicionada suspensão de *Rhizobium* neste experimento, todas as plantas nodularam. Na Tabela 1 são mostrados o número e o peso seco de nódulos das cultivares de caupi 40 dias após o plantio. Constatou-se que a inoculação aumentou significativamente o número e o peso seco de nódulos independente das cultivares de caupi.

TABELA 1. Efeito da inoculação com micorriza VA sobre o número e o peso seco de nódulos de duas cultivares de caupi 40 dias após o plantio.

	Nº de nódulo /pl			Peso seco nódulo (g/pl)		
	Q. cadeira	V-48	$\bar{X}$	Q. cadeira	V-48	$\bar{X}$
Inoculada	169,0	363,50	266,25a	1,20	1,18	1,19a
Não Inoculada	89,75	45,25	67,50b	0,69	0,65	0,67b
$\bar{X}$	129,38	204,38	-	0,95	0,91	-
Dif. entre inoculação		*			**	
Dif. entre variedades		NS			NS	
Int. inoc. x Var.		NS			NS	
CV (%)		88,44			8,83	

* Indica diferença significativa à probabilidade de 5%

** Indica diferença significativa à probabilidade de 1%

Na Tabela 2 observou-se que a inoculação aumentou significativamente a altura da planta, o diâmetro do primeiro nó e a área foliar da cultivar V-48, enquanto a cultivar Quebra-cadeira teve aumento significativo somente no diâmetro do primeiro nó e a área foliar.

Pelos dados da Tabela 3 constatou-se que a inoculação aumentou significativamente a produção de matéria seca da raiz e da parte aérea, quantidade de nitrogênio e fósforo absorvidos pela planta, independente da cultivar. Embora não tenha havido interação entre inoculação e culti-

TABELA 2. Efeito da inoculação com micorrizas VA sobre o crescimento de duas cultivares de caupi 40 dias após plantio.

	Altura da planta (cm/pl.)			Diâmetro basal (cm/pl.)			Diâmetro 1ª nod. (cm/pl.)			Nº Trifólio/planta			Área foliar (cm²/pl.)		
	Q. caeteira	V-48	$\bar{X}$	Q. caeteira	V-48	$\bar{X}$	Q. caeteira	V-48	$\bar{X}$	Q. caeteira	V-48	$\bar{X}$	Q. caeteira	V-48	$\bar{X}$
Inoculada	38,89a	33,87a	36,37	0,63	0,55	0,59a	0,74a	0,84a	0,79	13,00	7,50	10,25a	1.134,58a	1.196,33a	1.165,45
Não inoculada	36,80a	18,80b	27,80	0,55	0,42	0,48b	0,62b	0,57b	0,59	8,50	4,75	6,62b	663,59b	368,15b	515,86
$\bar{X}$	37,83	26,33		0,59a	0,48b		0,68	0,70		10,75a	6,12b		899,08	782,24	
Dif. entre inocu															
lação		**			**			**			**			**	
Dif. entre varie															
dades		**			**			N.S.			**			*	
Int. inoc. x Var.		*			N.S.			**			N.S.			**	
CV (%)		12,73			9,25			5,06			14,55			10,18	

* Indica diferença significativa à probabilidade de 5%

** Indica diferença significativa à probabilidade de 1%

var, o efeito de inoculação foi bem maior na cultivar V-48. A inoculação diminuiu significativamente a relação raiz/parte aérea da planta. Observou-se também que o sistema radicular da planta inoculada foi bem mais fino e ramificado do que da planta não inoculada.

A avaliação de produção foi feita, conseqüentemente, a partir do amadurecimento da primeira vagem (62 dias após o plantio). A inoculação aumentou significativamente o número e o peso seco de grãos e a quantidade de proteína bruta, enquanto diminuiu significati-

TABELA 3. Efeito da inoculação com micorrizas VA sobre peso da matéria seca da raiz, peso da matéria seca da parte aérea, relação raiz/parte aérea, Nitrogênio e Fósforo absorvidos de duas cultivares de caupi 40 dias após plantio.

	Peso seco raiz(g/pl.)			Peso seco aérea (g/pl.)			Relação raiz/parte aérea			N absorvido (mg/pl)			P absorvido (mg/pl)		
	Q. caeteira	V-48	$\bar{X}$	Q. caeteira	V-48	$\bar{X}$	Q. caeteira	V-48	$\bar{X}$	Q. caeteira	V-48	$\bar{X}$	Q. caeteira	V-48	$\bar{X}$
Inoculada	4,13	4,27	4,20a	12,05	10,03	11,04a	0,34	0,44	0,39b	242,60	196,62	219,61a	12,90	10,83	11,87a
Não inoculada	3,40	1,95	2,68b	6,79	2,4	4,62b	0,51	0,80	0,66a	148,53	75,20	111,87b	6,02	1,89	3,96b
$\bar{X}$	3,77	3,11		9,24a	6,24b		0,43b	0,62a		195,57a	135,91b		9,47a	6,37b	
Dif. entre inocu															
lação		*			**			*			**			**	
Dif. entre va															
riedades		N.S.			**			**			**			**	
Int. inoc. x Var.		N.S.			N.S.			N.S.			N.S.			N.S.	
CV (%)		29,63			14,84			28,38			15,50			22,44	

* Indica diferença significativa à probabilidade de 5%

** Indica diferença significativa à probabilidade de 1%

vamente a época de colheita, antecipando o amadurecimento das vagens (Tabela 4). Observou-se também interação entre inoculação e a cultivar V-48, notando-se que o aumento do peso seco de grãos e quantidade de proteína bruta das plantas inoculadas foi bem maior (teste Duncan 5%). A cultivar Quebra-cadeira não apresentou aumentos significativos (teste Duncan 5%).

A percentagem do comprimento das

raízes infectadas 40 dias após a inoculação variou de 66%-87% para Quebra-cadeira, 64%-79% para V-48 e 0% para as plantas não inoculadas. A análise de solo após o plantio mostrou que a concentração de P disponível nos solos inoculados com micorriza foi bem menor do que nos solos sem micorriza, sendo de 3,4ppm e 1,9ppm para Quebra-cadeira e V-48 inoculadas; 6,8ppm e 6,6ppm para Quebra-cadeira e V-48 não inoculadas.

TABELA 4. Efeito da inoculação de micorriza VA sobre produção de grãos de duas cultivares de caupi.

	Peso seco grão (sol) (g/pl)			Peso seco grão (estufa) (g/pl)			Proteína bruta do grão (g/pl)			Nº de grão/pl.			Dias de coleta/pl.		
	Q. cadeira	V-48	$\bar{X}$	Q. cadeira	V-48	$\bar{X}$	Q. cadeira	V-48	$\bar{X}$	Q. cadeira	V-48	$\bar{X}$	Q. cadeira	V-48	$\bar{X}$
Inoculado	6,64a	5,84a	6,24	5,98	5,08a	5,53	1,45a	1,35a	1,40	35,75	32,75	34,25a	62,00	69,00	65,50b
Não inoculado	6,08a	2,48b	4,29	5,46a	2,22b	3,84	1,32a	0,60b	0,96	25,75	15,25	20,50b	70,25	84,00	77,13a
$\bar{X}$	6,36	4,16		5,72	3,65		1,39	0,97		30,75a	24,00b		66,13b	76,50a	
Dif. entre inoculação		**			**			**			**			**	
Dif. entre variedades		**			**			**			*			**	
Int. inoc. x Var.		*			*			*			N.S.			N.S.	
CV (%)		19,66			19,76			20,46			15,96			5,17	

* Indica diferença significativa à probabilidade de 5%

** Indica diferença significativa à probabilidade de 1%

DISCUSSÃO

A fumigação do solo provavelmente reduz mas não elimina totalmente os endófitos nativos (Islam & Ayanaba 1981a), isto pode ter contribuído para a nodulação espontânea das plantas utilizadas neste experimento. A ocorrência de micorriza VA em leguminosas que nodulam é um exemplo de infecção dupla envolvendo a bactéria que fixa nitrogênio e o fungo que aumenta a absorção de nutriente pela planta, especialmente fósforo, através de uma associação simbiótica com as raízes da planta. Para nodulação e fixação de nitro-

gênio, uma quantidade adequada de fósforo no solo é indispensável (Schreven 1958). No solo de baixo teor de fósforo, a leguminosa não consegue nodular sem ser infectada pela micorriza (Asai 1944). Segundo Crush (1974), o aumento de nodulação na presença de micorriza ou adubação fosfatada solúvel é devido a um aumento no fornecimento de fósforo à planta. Entretanto, o aumento de nodulação pode ser considerado um efeito indireto da micorriza sobre o Rhizóbium.

Godse (1978) observou que a inoculação com micorriza aumentou a nodulação e crescimento de caupi, tanto nas plantas

inoculadas com *Rhizobium* como nas plantas noduladas naturalmente. Islam & Ayanaba (1981b) relatou que no solo fumigado com formalina ou não sob condições de campo, a inoculação com micorriza no início do plantio aumentou o peso seco da parte aérea, infecção da raiz N e P total e produção de grãos. Os mesmos efeitos benéficos da inoculação foram observados neste trabalho. A inoculação com micorriza aumentou sensivelmente a produção de matéria seca, quantidades de N e P absorvidas e produção de grãos.

A proporção sistema radicular/parte aérea da planta inoculada foi reduzida em relação ao tratamento não inoculado. Hayman e Mosse (1971) verificaram que as plantas não inoculadas de cebola absorvem menos fósforo, enquanto as suas proporções de raiz/parte aérea foram duas vezes maior do que as plantas inoculadas, sugerindo que o aumento de absorção de nutrientes com inoculação de micorriza não resultou de um crescimento proporcionalmente maior do sistema radicular. Foi observado também que o sistema radicular das plantas inoculadas apresentou raízes mais finas e ramificadas. A mesma observação foi descrita pelo Sieverding (1980) em raízes de sorgo inoculadas com micorriza. A alteração da morfologia da raiz pode ser um feito micorrízico e ter contribuído para o aumento de absorção de nutrientes pela planta.

Segundo Mosse (1972), a efetividade da endomicorriza em aumentar o crescimento e absorção de nutrientes da planta depende dos estados fisiológicos do fungo e da planta, condições do solo e interação entre eles. Portanto, diferentes plantas respondem diferentemente à infecção micorrízica. Quebra-cadeira e V-48 são duas cultivares morfológica e fisiologicamente distintas. A inoculação com micorriza promoveu o desenvolvimento de ambas as cultivares em diferentes graus, sendo a efetividade da micorriza maior na cultivar V-48.

A inoculação com micorriza reduziu significativamente o ciclo da planta de cau-

pi sob condições de casa-de-vegetação. O aumento em absorção de nutrientes e o crescimento da planta podem ter contribuído para o amadurecimento antecipado da planta.

Os resultados deste trabalho preliminar mostraram perspectiva de se utilizar micorriza na produção de caupi na região amazônica.

CONCLUSÃO

A inoculação com micorriza VA aumentou significativamente a nodulação, o crescimento, a absorção de N e P e a produção de grãos de caupi.

O aumento de absorção de nutrientes com inoculação de micorriza não resultou num crescimento proporcionalmente maior do sistema radicular, embora, a presença de micorriza tenha alterado a morfologia das raízes.

A inoculação com micorriza estimulou o desenvolvimento da planta, antecipando sua fase reprodutiva sob condições de casa-de-vegetação.

Existem diferentes graus de efetividade da micorriza entre as diferentes cultivares de caupi.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos auxiliares Srta. Marluce Pereira da Costa e Sr. Ocir Matos de Moraes pela ajuda prestada na realização deste experimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASAI, T. Über die Mycorrhizenbildung der Leguminosen-Pflanzen. *Japan. J. Bot.*, 13:463-85, 1944.
- CRUSH, I.R. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza VII. Growth and nodulation of some herbage legumes. *New Phytol.*, 73(4):743-52, 1974.
- GERDEMANN, J.M. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth. *Ann. R. Phytopath.*, 6:397-418, 1968.

- GERDEMANN, J.W. & NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting **Trans. Brit. Mycol. Soc.**, **46**, 235-44, 1963.
- GIOVANNETTI, M. & MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytol.**, **84**(3):498-500. 1980.
- GODSE, D.B.; WAIN, S.P.; PATIL, R.B. & BAGYARAJ, D.J. Response of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) to Rhizobium-VA mycorrhiza dual inoculation, **Curr. Sci.**, **47**(20):784-5, 1978.
- HAYMAN, D.S. & MOSSE, B. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. I. Growth of endogene-inoculated plants in phosphate-deficient soils. **New Phytol.**, **70**:19-27, 1971.
- HOMER, D.C. & PARKER, F.P. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. México, Triallas, 1973.
- ISLAM, R. & AYANABA, A. Growth and yield responses of cowpea and maize to inoculation with *Glomus mosseae* in sterilized soil under field conditions. **Plant and soil**, **63**:505-9, 1981a.
- ISLAM, R. & AYANABA, A. Effect of seed inoculation and pre-infecting cowpea (*Vigna unguiculata*) with *Glomus mosseae* on growth and seed yield of the plants under field conditions **Plant and Soil**, **61**:341-50, 1981.
- MOSSE, B. The influence of soil type and endogone strain on the growth of mycorrhizal plants in phosphate deficient soils. **R. Ecol. Biol. Soil.**, Paris, **9**(3):529-37, 1972.
- MOSSE, B. Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. **Annu. R. Phytopathol.**, **11**:171-96, 1973.
- MOSSE, B. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza research for tropical agriculture and human resources**. s.l., university of Hawaii, 1981. (Research Bulletin, 194).
- PHILLIPS, J.M. & HAYMAN, D.S. improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Trans. Br. Mycol. Soc.**, **55**:158-61, 1970.
- SCHREVEN D.A. van. (1958). Some factors affecting the uptake of nitrogen by legumes. In: HALLSWORTH, E.G. ed. **Nutrition of legumes**. London, Butterworths, 1958. p.137.
- SIEVERDING, E. **Einfluss der Bodenfeuchte auf Entwicklung und Effektivität Der vesikulär-arbusculären Mykorrhiza**. Fakultät der Georg-August-universität. Göttingen, 1980. Tese doutorado.

INTERACTION OF VA-MYCORRHIZA AND *Rhizobium* IN *Pueraria phaseoloides*

Erhard Blum¹ e Herbert Hoting²

ABSTRACT: The tropical kudzu (*Pueraria phaseoloides*) is important for fodder, mulching and green manure. A number of studies have shown that this crop benefits from symbiotic relationship with *Rhizobium* through N_2 fixation and also from association with VA-mycorrhiza which increases its P uptake. However such studies had been conducted independently for each symbiont. This study was undertaken to determine the interaction of both the symbionts on plant growth, chemical composition and root infection of the host plant. The treatments included plants without inoculation, inoculated with mycorrhiza (one group with *Glomus macrocarpus*, the other with *Glomus albidum*), inoculated with *Rhizobium* and with both symbionts. The experiment was conducted in the greenhouse in a sterilized low fertility sandy soil, similar to a tropical Podzol. The soil was limed to four different pH levels viz. 4.5, 5.5, 6.5 and 7.5. Three sources of P viz. monocalcium phosphate, hydroxyapatite and ferric phosphate, of different solubilities were used. Plants without *Rhizobium* received the full amount of nitrogen, those with *Rhizobium* only 10% of this. The important findings of the study are given below: VA-mycorrhiza increased the growth and P uptake of kudzu when phosphate of low solubility was applied, especially in soils with high pH. In this treatment, the highest rates of mycorrhizal infection were also observed; In general, growth of plants inoculated with *Rhizobium* was lesser than that of not inoculated plants; *Rhizobium*-inoculated plants with mycorrhiza had higher yields, higher N contents and better nodulation than those without mycorrhiza; The mycorrhizal efficiency and its infection rate was less in *Rhizobium*-inoculated plants than in plants inoculated only with mycorrhiza. Treatment with soluble phosphate and with full amount of nitrogen had the highest yields, but the treatments may be uneconomic in practice. The cost can be reduced by using phosphate of low solubility plus mycorrhiza, and use of nitrogen fertilizer can be dispensed with, when legumes are inoculated with *Rhizobium*.

Index terms: *Rhizobium*, VA-mycorrhiza, *Pueraria phaseoloides*, nitrogen fertilizer, phosphate.

INTERAÇÃO DE MICORRIZA VA E *Rhizobium* EM *Pueraria Phaseoloides*

RESUMO: Puerária (*Pueraria phaseoloides*) é importante como forrageira, para cobertura morta e adubação verde. Um número de trabalhos tem mostrado que esta cultura se beneficia da relação simbiótica com o *Rhizobium*, através da fixação de N_2 e também da associação com micorriza que aumenta a captação de fósforo. Entretanto, tais estudos têm sido conduzidos independentemente para cada simbiote. Este estudo, foi efetuado para determinar a inte-

¹ Agronomist. Ph.D. EMBRAPA-CPATU. Caixa Postal 48. CEP 66000. Belém, PA.

² Agronomist. Ph. D. Universität Göttinger.

ração de ambos os simbioses e o efeito no crescimento da planta, composição química e infecção das raízes da planta hospedeira. Os tratamentos incluíram plantas sem inoculação, inoculação com micorriza (um grupo com *Glomus macrocarpus* o outro com *Glomus albidum*) inoculado com *Rhizobium* e com ambos os simbioses. O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação em solo arenoso de baixa fertilidade, esterilizado, semelhante a Podzol tropical. Foi aplicado calcário em quatro níveis diferentes, resultando em pH 4,5 5,5, 6,5 e 7,5. Três fontes de fósforo (fosfato monocálcico, fosfato de ferro e de apatita de diferentes solubilidades) foram usados. Plantas sem *Rhizobium* receberam quantidades de nitrogênio completa, e plantas com *Rhizobium* somente 10%. As descobertas importantes do estudo foram: Micorriza VA aumentam o crescimento e capacidade de adaptação de P da *Puerária* quando fosfato de baixa solubilidade foi aplicado, especialmente em solos com pH alto. Neste tratamento também foram observadas as mais altas taxas de infecção de micorriza; em geral o crescimento de plantas inoculadas com *Rhizobium* foi menos do que das plantas não inoculadas; plantas inoculadas com *Rhizobium* e micorriza tiveram produções de matéria seca mais elevadas, com teor de N alto e melhor nodulação do que as sem micorriza; a eficiência micorrízica e sua taxa de infecção foi menor nas plantas inoculadas somente com micorriza; o tratamento com fosfato solúvel e com dose completa de nitrogênio teve as mais altas produções, mas os tratamentos podem ser anti-econômicos na prática. O custo pode ser reduzido usando-se fosfato de baixa solubilidade mais micorriza, e o uso de fertilizante nitrogenado pode ser dispensado quando as leguminosas são inoculadas com *Rhizobium*.

Termos para indexação: *Rhizobium*, micorriza VA, *Pueraria phaseoloides*, fertilizante nitrogenado, fosfato.

INTRODUCTION

The ability of vesicular-arbuscular (VA) mycorrhiza to improve the phosphorus (P) uptake of plants has been known for long time (Haymann & Mosse 1971). Plants inoculated with VA mycorrhiza grow better than non-inoculated plants particularly in P deficient soil fertilized with insoluble phosphate (Gerdemann 1964, Daft & Nicolson 1972). This symbiosis has a special importance for agriculture under tropical and subtropical conditions (Moawad 1979).

The influence of VA mycorrhizal infection on nodulation of a number of legumes was first shown by Asai (1944). In legumes infected by Rhizobia, VA mycorrhiza stimulated nodulation and nitrogen (N) fixation whereas non-mycorrhizal legumes grew poorly and failed to nodulate (Darf & El Giahmi 1974).

The influence of *Rhizobium* on the efficiency of mycorrhiza or vice-versa has not been fully investigated. Not much information is also available on growth and nutrient uptake of non-rhizobial and rhizobial plants, inoculated with VA-mycorrhiza fungus or

not. From the practical point of view, it is important to investigate the effect of double infection on legumes under different agro-ecological conditions. This study was conducted to determine the effect of *Rhizobium* on the efficiency of two mycorrhizal fungi in Kudzu (*Pueraria phaseoloides*) at four soil pH levels and three types of P fertilizers.

MATERIALS AND METHODS

The soil used in this experiment was a low fertility sandy soil similar to tropical podzol collected from Dransfeld (near Göttingen, West Germany).

It had the following nutrient contents:
N (soluble in 10% HCl) 1.23 mg/100 g soil
P (soluble in lactate) 0.04 mg/100 g soil
K (exchangeable in 1N NH₄Cl) 2.94 mg/100 g soil

The original soil pH (0.01M CaCl₂, 1:2.5) was 4.3. After mixing the soil with quartz sand in 1:1 ratio by weight, it was limed to four different pH levels (4.5, 5.5, 6.5, 7.5). The following amounts of fertilizer were applied to each pot:

KCl 25.2 mg/kg = 40 kg K/ha
 K₂SO₄ 29.7 mg/kg = 40 kg K/ha
 MgCl₂ 6H₂O 55.2 mg/kg = 20 kg Mg/ha
 Na₂MoO₄ 2H₂O 1.7 mg/kg = 2 kg Mo/ha

Three different P fertilizers of different solubility were used:

monocalcium phosphate (MCP) 122.1 mg/kg = 90 kg P/ha
 hydroxyapatite (HA) 162.2 mg/kg = 90 kg P/ha
 ferric phosphate (FePO₄) 146.1 mg/kg = 90 kg P/ha

The inoculation of seeds of *P. phaseoloides* with *Rhizobium* was carried out by dipping them in a suspension of an appropriate *Rhizobium* strain (CB 756 from CSIRO Cunningham Laboratory - Division of Tropical Crops & Pastures). One half of the seeds remained uninoculated. They were all sown in the sterilized soil.

For mycorrhizal inoculation two species of VA-mycorrhiza, viz. *Glomus macrocarpus* (M₁) and *Glomus albidum* (M₂), were used. Well infected roots of *Eupatorium odoratum* inoculated with either one of this species were cut into pieces and immersed in water. The roots of ten days old Kudzu seedlings were dipped in this suspension to inoculate them, and then transplanted to experimental pots.

The following combinations of inoculation were used:

Plants without inoculation	NM NR
Plants inoculated with	
<i>G. macrocarpus</i> only	M ₁ NR
<i>G. albidum</i> only	M ₂ NR
<i>Rhizobium</i> only	NM R
<i>G. Macrocarpus</i> + <i>Rhizobium</i>	M ₁ R
<i>G. albidum</i> + <i>Rhizobium</i>	M ₂ R

R-plants received only a small amount of N fertilizer i. e. 19.01 mg NH₄NO₃/kg soil equivalent to 20 kg N/ha. NR plants received the full dose of 190.4 mg NH₄NO₃/kg equivalent to 200 kg N/ha to compensate for N-fixation by *Rhizobium* - host plant symbiosis. There were four replications of each treatment. The plants we-

re grown in the greenhouse at a temperature of 25 - 35°C and relative humidity of 40 - 70%. Supplementary light from HPL lamps was applied to maintain 14 hours of day light, if necessary. The plants were allowed to grow for six weeks and then they were harvested. The dry matter weight of shoot, root and nodules were measured. Phosphorus and nitrogen contents of the shoot were determined colorimetrically by the procedure of Koch & Moawad (1977). The mycorrhizal infection rate was estimated after staining a sample of the root system as described by Philipps & Hayman (1970).

RESULTS

Dry matter yield

The dry matter (DM) yield of plants inoculated with *Rhizobium* was less than that of NR plants (Fig. 1) Plants which received the MCP had the highest yield and did not show any positive response to mycorrhizal inoculation. When HA (less soluble) was applied, the shoot dry weight was increased by M₁ and M₂, especially in the group of NR plants. R plants showed this effect only at pH 6.5 and 7.5. Plants fertilized with FePO₄ not inoculated with mycorrhiza did not grow at all, but when inoculated there was significant yield increase due to mycorrhizal infection both in NR and R plants and at pH levels of 6.5 and 7.5. In general, the yield of HA fertilized plants decreased due to increase in soil pH but the magnitude of yield decrease in mycorrhizal plants was less. The DM yield of plants fertilized with FePO₄ was lower and remained unaffected by increase in soil pH, but the DM yield of inoculated plants increased with increase in pH level. On the average, the shoot DM of plants fertilized with FePO₄ was less than that of plants fertilized with HA.

The mycorrhizal efficiency is described by the M/NM ratio (Table 1). In this experiment, the ratio was generally more than one, except for the MCP. In some cases (NR plants fertilized with HA and FePO₄ at pH 7.5), mycorrhiza increased the DM yield more than 300%. In R plants the efficiency was lower than in NR plants, particularly with those plants inoculated with M₂. In all the cases, except for MCP treatment, the mycorrhizal efficiency increased with increasing pH level.

TABLE 1. Efficiency of *G. macrocarpus* (M₁) and *G. albidum* (M₂) on the shoot dry weight of *P. phaseoloides*.

Treatment	NR plants				R plants			
	pH	M ₁ /NM	M ₂ /NM		M ₁ /NM	M ₂ /NM		
MCP	4.5	0.98	0.99		0.89	0.95		
	5.5	0.93	1.04		0.87	0.98		
	6.5	0.95	1.01		1.00	0.97		
	7.5	0.88	1.03		0.93	1.02		
	$\bar{x}$	0.94	1.02		0.92	0.98		
HA	4.5	1.24	1.27		0.94	0.95		
	5.5	1.15	1.33		1.04	1.09		
	6.5	1.24	1.35		1.50	1.16		
	7.5	3.09	2.96		2.53	1.74		
	$\bar{x}$	1.68	1.73		1.50	1.24		
FePO ₄	4.5	1.04	1.26		1.05	1.14		
	5.5	1.20	1.20		1.00	1.07		
	6.5	2.15	1.35		1.48	1.35		
	7.5	3.41	2.36		1.85	1.45		
	$\bar{x}$	1.95	1.54		1.35	1.25		
$\bar{x}$		1.52	1.43		1.26	1.16		

A direct statistical comparison between NR and R plants was not possible, because the former group of plants received the full dose of N and the latter ones only 10% as starter dose.

To determine the effect of *Rhizobium* on the efficiency of mycorrhiza, rhizobial effect was calculated by dividing mycorrhizal efficiency of R plants by mycorrhizal efficiency of NR plants as given in Table 2. On the average numerical value of the rhizobial effect was ≤ 1 . This showed that mycorrhiza was more effective in the NR variants than in the R variants. When HA was applied, the negative rhizobial effect was stronger with M₂ than with M₁. This effect

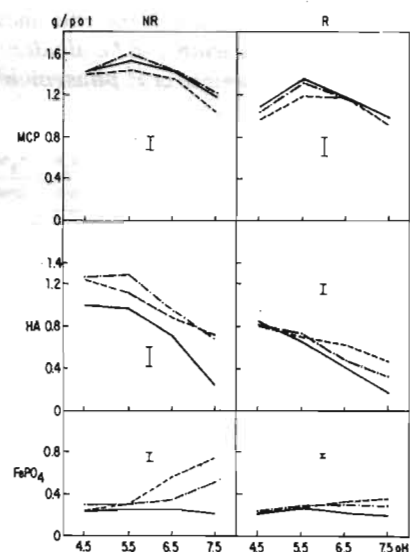


FIG. 1. Shoot dry weight (g/pot) of non-rhizobial (NR) and rhizobial (R) *Pueraria phaseoloides* with three mycorrhizal treatments:

(—) = NM-non-mycorrhizal plants, (---) = M₁-*G. macrocarpus*, (-.-) = M₂-*G. albidum*, three P nutrients and four soil pH levels, I indicates LSD

was reversed, when FePO₄ was applied. The root DM yield (Table 3) was not uniformly affected by mycorrhiza as was shoot DM yield, though the shoot/root ratio invariably increased by mycorrhiza inoculation. The effect of P and soil pH on root growth was perhaps much more than that of VA-mycorrhiza.

P uptake

In general, all the treatments showed similar effects on P uptake as was observed on dry matter yield. R plants absorbed less P than NR plants, and mycorrhiza did not show any efficiency when MCP was applied (Fig. 2). On an average, P uptake of NR plants fertilized with HA was increased 90 per cent by M₁ and 100 per cent by M₂. The highest mycorrhizal efficiency on P uptake was observed at soil pH 7.5. When FePO₄ was applied, P uptake was very low, especially in NM plants.

TABLE 2. Rhizobial effect on the efficiency of *G. macrocarpus* and *G. albidum* on shoot dry weight of *P. phaseoloides*.

Treatment	pH	M ₁ R		M ₂ R	
		M ₁ R	M ₁ NR	M ₂ R	M ₂ NR
MCP	4.5		0.91		0.96
	5.5		0.94		0.94
	6.5		1.05		0.96
	7.5		1.06		0.99
	$\bar{x}$		0.99		0.96
HA	4.5		0.76		0.75
	5.5		0.90		0.82
	6.5		1.21		0.86
	7.5		0.82		0.59
	$\bar{x}$		0.92		0.76
FePO ₄	4.5		1.01		0.90
	5.5		0.83		0.89
	6.5		0.69		1.00
	7.5		0.54		0.61
	$\bar{x}$		0.77		0.85
	$\bar{X}$		0.89		0.86

TABLE 3. Root dry weight (g/pot) of *P. phaseoloides*.

Treatment	pH	NR plants			R plants		
		NM	M ₁	M ₂	NM	M ₁	M ₂
MCP	4.5	0.48	0.46	0.41	0.36	0.31	0.31
	5.5	0.59	0.59	0.51	0.44	0.51	0.49
	6.5	0.71	0.56	0.58	0.53	0.48	0.46
	7.5	0.61	0.62	0.45	0.36	0.39	0.39
	$\bar{x}$	0.60	0.56	0.49	0.42	0.42	0.41
	LSD	0.12			0.10		
HA	4.5	0.44	0.40	0.35	0.30	0.28	0.26
	5.5	0.36	0.46	0.52	0.30	0.27	0.28
	6.5	0.32	0.53	0.38	0.22	0.28	0.28
	7.5	0.11	0.29	0.30	0.12	0.23	0.17
	$\bar{x}$	0.31	0.42	0.39	0.23	0.26	0.25
	LSD	0.10			0.08		
FePO ₄	4.5	0.12	0.14	0.11	0.12	0.12	0.14
	5.5	0.13	0.12	0.12	0.14	0.16	0.17
	6.5	0.14	0.24	0.11	0.13	0.17	0.17
	7.5	0.12	0.47	0.21	0.11	0.18	0.16
	$\bar{x}$	0.13	0.24	0.14	0.13	0.16	0.16
	LSD	0.06			0.04		
	$\bar{X}$	0.35	0.41	0.34	0.26	0.28	0.27

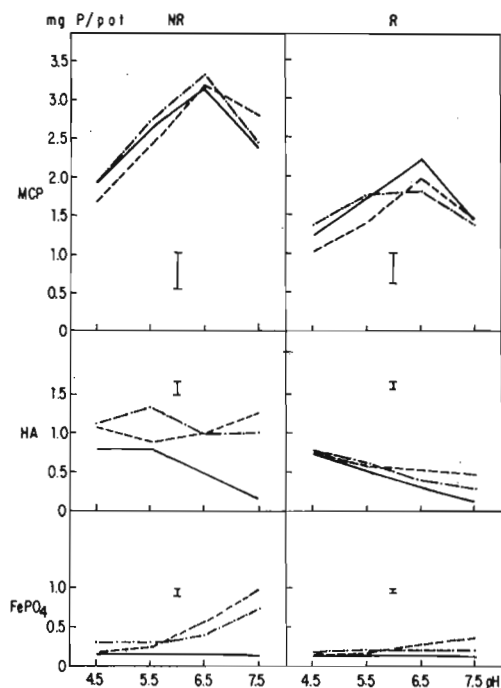


FIG. 2. Phosphate uptake (mg P/pot) of *P. phaseoloides* (—)=MN, (---)=M₁, (-·-·-)=M₂, I=LSD

In some cases the increase in P uptake by mycorrhiza was more than the plants growth, especially at high soil pH level in NR plants. The P concentration sometimes doubled due to beneficial effect of mycorrhizal fungi on P absorption. In R plants the effect of mycorrhiza on P uptake was much lower than that in NR plants.

N uptake

Nitrogen uptake, in general, corresponded to the plant growth (Fig. 3), but mycorrhiza increased the plant growth more than the N uptake, so N concentration decreased in treatments giving high DM yield. Plants growing poorly accumulated N, therefore there was increase in their N concentration. The content of R plants, fixing N₂ with the help of *Rhizobium*, corresponded to their growth conditions, and the N concentration was similar in every treatment.

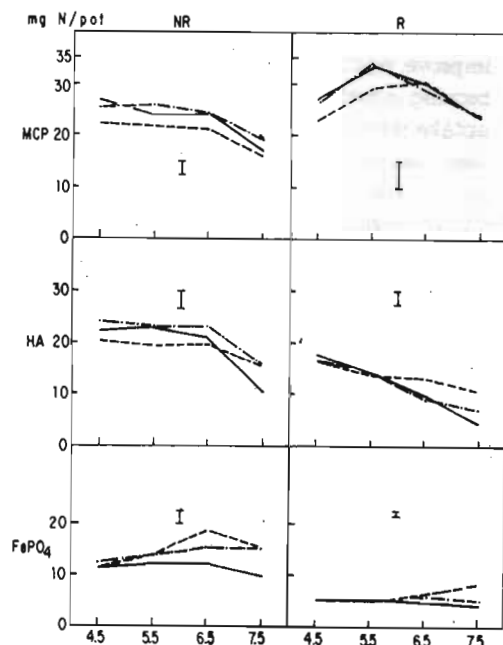


FIG. 3. Nitrogen uptake (mg N/pot) of *P. phaseoloides* (—)=MN, (---)=M₁, (-·-·-)=M₂, I=LSD

Root infection

For quantifying the mycorrhizal infection, stained roots were uniformly spread on a slide and the infection rate (the percentage of infected roots segments) (Table 4)

TABLE 4. Infection rate of roots of *P. phaseoloides* inoculated with *G. macrocarpus* (M₁) and *G. albidum* (M₂) from non-rhizobial (NR) and rhizobial (R) plants (1-10 = 10-100%) infected root segments

Treatment	pH	NR plants		R plants	
		M ₁	M ₂	M ₁	M ₂
MCP	4.5	1	3	1	2
	5.5	2	3	1	1-2
	6.5	3	2	2-3	2-3
	7.5	8	3	4-5	2
	$\bar{x}$	3-4	3	2	2
HA	4.5	2	3	2-3	4
	5.5	3	6	2	5
	6.5	9	9	6-7	4
	7.5	8	10	7-8	8
	$\bar{x}$	5-6	7	4-5	5
FePO ₄	4.5	0-1	2	0-1	5
	5.5	8	2-3	1-2	6
	6.5	10	8	6	3-4
	7.5	10	9	8-9	6-7
	$\bar{x}$	7	5-6	4	5
$\bar{x}$		5-6	5	3-4	4

and the infection intensity (the presence of the different organs of the fungus mycelium, vesicles, arbuscles) (Table 5) were estimated by microscopical examination. Generally R plants showed a lesser mycorrhizal infection rate than NR plants. With increasing soil pH and decreasing solubility of phosphate plant root were better infected. At soil pH of 7.5, all plants except in MCP treatment had an infection rate of 70-100% and a high infection intensity.

TABLE 5. Infection intensity of roots of *P. phaseoloides* inoculated with *G. macrocarpus* (M₁) and *G. albidum* (M₂) from non-rhizobial (NR) and rhizobial (R) plants. Presence of mycelium (M), vesicles (V) and arbuscles (A) are graded as 1 = low, 2 = medium and 3 = high.

Treatment	NR plants						R plants					
	M	V	A	M	V	A	M	V	A	M	V	A
MCP	2	2	1-2	3	1-2	2	1-2	1	1-2	1	1	2
HA	2	2-3	1-2	2	2	2-3	2	2	2-3	1-2	1-2	3
FePO ₄	2-3	2-3	1-2	2	1-2	1	22	2	1-2	2	1-2	3
$\bar{x}$	2	2	1-2	2	2	2	2	1-2	2	1-2	1-2	2-3

TABLE 6. Nodule dry weigh (mg/pot) of *P. phaseoloides*

Treatment	pH	NM	M ₁	M ₂
MCP	4.5	60.4	52.2	62.6
	5.5	75.1	77.6	84.6
	6.5	110.1	105.1	106.0
	7.5	73.1	79.6	74.8
	$\bar{x}$	80.0	78.6	82.0
LSD			19.1	
HA	4.5	36.7	43.6	37.5
	5.5	25.0	29.2	30.4
	6.5	11.7	28.0	16.3
	7.5	2.5	26.5	11.9
	$\bar{x}$	19.0	31.8	24.0
LSD			6.9	
FePO ₄	4.5	1.4	2.7	1.8
	5.5	1.8	3.4	3.5
	6.5	3.7	8.6	3.4
	7.5	2.9	19.6	8.9
	$\bar{x}$	2.5	8.6	4.4
LSD			2.6	
$\bar{x}$		33.8	40.0	36.8

The amount of mycelium and vesicles was generally lower in R plants than in NR plants. Arbuscles showed the opposite effect. M₂ seemed to adapt better at lower soil pH. Although the rhizobial activity was not measured, the dry weight of nodules was recorded Table 6. Their dry weight corresponded to the plant growth and influence by mycorrhiza was not evident. With HA and FePD₅ nutrition however M₁ highly improved nodulation, especially in high pH soil. The effect of M₂ was comparatively less.

DISCUSSION

The objective of the experiment was to determine the effect of interaction between VA mycorrhiza and *Rhizobium* on the growth and nutrient uptake of *Pueraria phaseoloides* and the root infection rate under different nutrient conditions and soil pH levels. Plant roots only inoculated with mycorrhiza (M) showed a slightly higher mycorrhizal infection rate than plants inoculated with mycorrhiza and *Rhizobium* (RM). Similar results have been found by Blum (1981) and Kucey & Paul (1982). High demand of both the symbionts for the assimilates produced by the hostplant, probably caused stress and eventually competition between the symbionts for assimilates. This led to reduced mycorrhizal infection rate in plants with double inoculation. The reduction was lower in plants inoculated with *G. albidum* than in those with *G. macrocarpus*. Plants inoculated with VA mycorrhiza generally had more rhizobial nodules than NM plants. Similar findings are reported in the literature (Darf & El-Giahmi 1974, Graw 1978, Mosse et al. 1976, Sieverding 1980). In treatments with insoluble P the fungi increased P absorption, leading to better plant growth and a higher nodulation. A balanced plant nutrition, however, without mycorrhiza inoculation as was shown in the MCP treatment, caused a higher nodulation. This was in conformity to the findings of Crush (1974). VA mycorrhiza seems to

improve nodulation only indirectly by improving growth conditions, especially the P uptake when the growth medium was deficient in soluble P. The N₂ fixation of R plants is according to their growth conditions, so the N concentration was similar in each treatment. Mycorrhizal infection does not show any effect on the N concentration. NR plants, which were fertilized with N, probably absorbed this element the transpiration stream. This caused with the transpiration N accumulation in plants with a lower Dm yield.

Mostly, R plants had a lower mycorrhizal efficiency on plant growth than NR plants. The same is reported from *Stylosanthes guianensis*, *Centrosema pubescens* (Blum 1981), *Vicia faba* (Kucey & Paul 1982). The decrease of mycorrhizal efficiency in double inoculated plants can not only be caused by lower mycorrhizal infection rate.

Probably the mycorrhizal system is less effective in double inoculated plants because of the lack of assimilates for each of the symbionts. The efficiency of the fungus was found to be affected by P nutrition and soil pH. When MCP was applied, the plants could directly absorb phosphate without the help of mycorrhiza. The fungus in presence of soluble phosphate often even decreased the plant growth in conformity to other findings (Khan 1972, Blum 1978, Bowen 1980, Diederichs 1981). In such cases, mycorrhizal fungus acts like a parasite, which only benefits from the plants without benefiting them. When HA or the nearly insoluble FePO₄ was applied the beneficial effect of VA mycorrhiza to the host plants was much more than its demand of assimilates from them. At low soil pH when P from HA is more available, the efficiency of fungi was low, as the plants could use P without its help, but its efficiency was increased with decrease in P solubility at higher soil pH in conformity to findings of Blum (1978) and Graw (1978). Plant roots alone could not absorb phosphate from FePO₄ at any level, because the equili-

brium concentration of P in the soil solution was very low. At higher pH levels where the equilibrium concentration was a little higher, the external hyphae of mycorrhiza, having a much larger absorption area than the plants root system can absorb it.

It was shown that yield of plants without mycorrhiza fertilized with relatively more soluble phosphate were higher than those of mycorrhizal plants fertilized with less soluble phosphate. But the cost of more soluble phosphate is high. Rock phosphate are cheaper and can be used when plants are inoculated mycorrhiza even though the yields may not be that high as obtained with super phosphate fertilization.

Legumes can have high productivity without being inoculated with *Rhizobium* when they are sufficiently fertilized with nitrogen but this also costs a lot. In comparison the cost of N fertilizer is eliminated with the help of *Rhizobium*, but yields may be lower because of the high energy consumption for N₂ fixation. For small farmers in the tropics it is probably more suitable to take the benefit of *Rhizobium* and mycorrhiza than to spend money on mineral fertilizers. There is need for more research work to develop practices for economic use of mycorrhiza.

REFERENCES

- ASAI, T. Über die Mykorrhizenbildung der Leguminosenpflanzen. *Jap. J. Bot.*, 13:463-84, 1944.
- BLUM, E. Einfluß von VA Mykorrhiza auf Wachstum und P-Aufnahme von *Eupatorium odoratum* und *Sorgum bicolor* bei verschiedenen P-Düngungsformen und pH-Werten. Göttingen, Diplomarbeit, Institut für Tropischen und Subtropischen Pflanzenbau, 1978. 61p. Unpublished.
- BLUM, E. Wechselwirkungen zwischen VA-Mykorrhiza und *Rhizobium* bei tropischen leguminosen. Göttingen, s.ed., 1981. 133p.
- BOWEN, G.D. Mycorrhizal roles in tropical plants and ecosystems. In: MIKOLA, P. ed. Tropical mycorrhizal research. New York, Oxford University, 1980.
- CRUSH, J.R. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. VII. Growth and nodulation of some herbage legumes. *New Phytol.*, 73:743-9, 1974.
- DAFT, M.J. & EL-GIAHMI, A.A. Effect of Endogone mycorrhiza on plant growth. VII. Influence of infection on the growth and nodulation in French bean (*Phaseolus vulgaris*). *New Phytol.*, 73:1139-47, 1974.
- DAFT, M.J. & NICOLSON, T.H. Effect of Endogone mycorrhiza plant growth. IV Quantitative relationship between the growth of the host and the development of the endophyte in tomato and maize. *New Phytol.*, 71:287-95, 1972.
- DIEDERICH, C. Einfluß des Lichtes auf die Wirksamkeit der vesiculär-arbuskulären (VA)-Mykorrhiza bei tropischen und subtropischen Pflanzen. Göttingen, s.ed., 1981. 179p.
- GERDEMANN, J.W. The effect of mycorrhizae on the growth of maize. *Mycologia*, 56:342-9, 1964.
- GRAU, D. Der Einfluß der vesiculär-arbuskulären Mykorrhiza auf das Wachstum tropischer und subtropischer Pflanzen unter Berücksichtigung von Wirtsspezifität und pH-Wert des Bodens. Göttingen, s.ed., 1978. 178p.
- HAYMAN, D.S. & MOSSE, B. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. I. Growth of Endogone-inoculated plants in phosphate-deficient soils. *New Phytol.*, 70:19-27, 1971.
- KHAN, A.G. The effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal associations on growth of cereals. I. Effect on maize growth. *New Phytol.*, 71:613-19, 1972.
- KOCH, H. & MOAWAD, A. Mineralstoffanalyse in Pflanzenmaterial und Mykorrhizalinfectionsprüfung in Wurzeln. Göttingen, Institut für Tropischen und Subtropischen Pflanzenbau, 1977.
- KUCEY, R.M.N. & PAUL, E.A. Carbon flow, photosynthesis, and N₂ fixation in mycorrhizal and nodulated faba beans (*Vicia faba* L.) *Soil Biol. Biochem.*, 14:407-12, 1982.

- MOAWAD, M. Nutzung der vesikulär-arbuskulären Mycorrhiza im tropischem Pflazenbau. *Angew. Botanik.*, 53: 99-109, 1979.
- MOSSE, B.: POWELL, C. L1 & HAYMAN, D.S. Plant growth response to vesicular-arbuscular mycorrhiza. IX. Interactions between VA-Mycorrhiza, rock phosphate and symbiotic nitrogen fixation. *New Phytol.*, 76:331-42, 1976.
- PHILLIPS, J.M. & HAYMANN, D.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158-61.1970.
- SIEVERDIN, E. Einfluß der Bodenfeuchte auf Entwicklung und Effektivität der vesikulär-arbuskulären Mykorrhiza. Göttingen, s.ed., 1982. 184p.

QUANTIFICAÇÃO DE GÊNEROS DE MICORRIZA VESICULAR-ARBUSCULAR NAS CULTURAS DE PIMENTA-DO-REINO, GUARANÁ E DENDÊ NA AMAZÔNIA ORIENTAL

Elizabeth Ying Chu¹

RESUMO: Amostras de solo da rizosfera das culturas da pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.), guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Duck) e dendê (*Elaeis guineensis* L.) foram coletadas nos municípios de Belém, Benevides, Bragança, Capitão Poço e Altamira, visando-se quantificar a ocorrência e a população de fungos micorrízicos V.A., em quatro grandes grupos de solos. Os resultados obtidos indicaram a presença dos gêneros *Acaulospora*, *Glomus* e *Gigaspora*. *Acaulospora* foi predominante na rizosfera das três culturas, o que evidencia a sua disponibilidade nos solos amazônicos. Na pimenta-do-reino, a frequência de ocorrência e o número de esporos encontrados de *Acaulospora* foram superiores aos de *Glomus* e *Gigaspora* nos cinco locais investigados. Parece tal fato indicar que há uma possível especificidade entre *Acaulospora* e a pimenta-do-reino. No guaraná a população de *Acaulospora* foi superior no solo de Altamira, enquanto que a de *Glomus* foi superior no solo de Belém. Na rizosfera do dendezeiro encontrou-se elevada população de esporos de *Acaulospora* nos solos de Capitão Poço, Altamira e Benevides. Já nos solos de Bragança e Belém, a população de *Glomus* foi maior. A presença marcante do gênero *Gigaspora* associado ao dendezeiro parece indicar uma afinidade entre *Gigaspora* e o dendezeiro. A população de esporos de *Gigaspora* recuperada foi bem inferior aos demais gêneros, em todas as amostras investigadas.

Termos para indexação: Região Amazônica, Micorriza, *Acaulospora*, *Glomus*, *Gigaspora*.

QUANTIFYING VESICULAR-ARBUSCULAR MYCORRHIZAE GENERA IN BLACK PEPPER, GUARANA AND OIL PALM IN THE EASTERN AMAZON REGION

ABSTRACT: Rhizosphere soil samples collected in plantation of black pepper (*Piper nigrum* L.), guarana (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Duck) and oil palm (*Elaeis guineensis*) in the counties of Capitão Poço, Bragança, Belém, Benevides and Altamira for quantification of occurrence and population of mycorrhiza VA in different groups of soil. The results showed the presence of genera *Acaulospora*, *Glomus* and *Gigaspora*. *Acaulospora* was predominant in the rhizosphere of all three crops which shows its availability in Amazon soils. In the black pepper plantation the frequency of occurrence and spore number of *Acaulospora* were much higher than those of *Glomus* and *Gigaspora* in all five investigated. This may indicate the existence of a possible specificity between black pepper and *Acaulospora*. In the guarana plantation, the population of *Acaulospora* was higher in Altamira while the population of *Glomus* was higher in Belém. In the rhizosphere of oil palm, higher *Acaulospora* spore population was found in the soil of Capitão Poço, Altamira and Benevides. In Bragança and Belém, the spore population of *Glomus* was higher. The marked presence of genus *Gi-*

¹ Agr. M.Sc. EMBRAPA-CPATU, Caixa Postal 48, CEP 66000, Belém, PA.

gaspora associated with oil palm may indicate certain affinity between this genus and oil palm. The spore population of *Gigaspora* was very much lower than of the other two general all investigated samples.

Index terms: Amazon region, mycorrhiza, *Acaulospora*, *Glomus*, *Gigaspora*.

INTRODUÇÃO

Grande número de espécies de micorriza vesicular-arbuscular (MVA) forma associação com a maioria das plantas (Mosse 1973). A capacidade de micorriza VA em melhorar o crescimento de plantas foi bem documentada (Gerdemann 1968). Este efeito benéfico tem sido atribuído à absorção mais eficiente de nutrientes do solo pelas plantas, principalmente fósforo, em solo de baixa fertilidade (Mosse 1981).

Na Amazônia, devido ao baixo teor de fósforo e alto poder de fixação deste elemento nos seus solos, a absorção deste nutriente pelas plantas é mais difícil. A aplicação constante de fertilizantes fosfatados resulta em alto custo de produção, o que exige a implementação de novas tecnologias visando melhorar o aproveitamento de fósforo disponível nos solos amazônicos. Neste aspecto, a utilização de espécies de micorriza VA pré-selecionadas através de inoculação na fase de mudas de plantas poderá se tornar uma prática econômica para aumentar o seu crescimento sem onerar o custo de produção.

A existência de associação micorrízica com espécies de plantas tropicais tem sido relatada por vários autores (Laycock 1945, Wastie 1965, Ferraz 1979, Lopes et al. 1983), embora pouco se conheça dessa associação com plantas cultivadas da Amazônia, principalmente em condição natural. Este trabalho foi conduzido para quantificar a ocorrência e população de gêneros de micorriza VA em culturas de pimenta-do-reino, guaraná e dendê em diversos locais do Estado do Pará.

MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de culturas de pimenta-do-reino, guaraná e dendê foram coletadas durante os meses de janeiro a maio de 1984,

nas quadras experimentais de monocultivo da EMBRAPA/CPATU, nos Municípios de Capitão Poço, Altamira, Bragança, Belém e na área de produção da DENPASA em Benevides. A idade de plantação varia de sete a 35 anos. As amostras (aproximadamente 2 kg cada) foram coletadas numa profundidade de 10 cm a partir da superfície do solo, embaixo das plantas. Para cada área de 3.750m² foram coletadas dez amostras. Cada amostra se constitui de solo e raízes de duas subamostras coletadas em lados opostos da planta. As amostras foram colocadas em sacos plásticos e acondicionadas em caixas de isopor para o transporte. No laboratório, a quantidade aproximada de 50g de solo de cada amostra foi separada e conservada na geladeira até a extração dos esporos. Uma parte das raízes foi fixada em Formalina Ácido Acético (FÁA) para exame de infecção da raiz. Para isolamento dos fungos, 100g de mistura de solo e raízes contendo diferentes tipos de esporos foi adicionado a um vaso com 2 kg de solo previamente fumigado com brometo de metila e plantado com *Pueraria phaseoloides*, hospedeira usada para multiplicação de micorriza.

A extração de esporos foi feita através do método de peneiragem úmida descrita por Gerdemann & Nicolson (1963), utilizando-se peneiras com abertura de 0,71 mm, 0,250 mm, 0,105 mm e 0,053 mm. A fração retirada de cada peneira foi ajustada para volume de 35 ml e colocada dentro do tubo de 50 ml. Posteriormente, um volume de 10 ml da solução de sacarose a 50% foi adicionado cuidadosamente com seringa no fundo do tubo. Os tubos foram centrifugados a 1.500 rpm durante três minutos. As frações sobrenadantes foram retiradas e lavadas com água em peneira de 0,053 mm para remover a sacarose. Os esporos de cada fração foram observados,

contados através de lupa (40x) e montados em lâminas com lactafenol, para identificação de espécies no futuro. Para contagem de esporos não foram considerados os esporos velhos e vazios.

RESULTADOS

Foram encontrados três gêneros de micorrizas VA: *Acaulospora*, *Glomus* e *Gigaspora* nas três culturas investigadas.

Na cultura de pimenta-do-reino, a ocorrência de *Acaulospora* baseada na pre-

sença de micorriza nas amostras coletadas foi 100% em Capitão Poço, Bragança e Belém, e 95% em Altamira. A ocorrência de *Glomus* foi 73% em Capitão Poço, 70% em Altamira, 55% em Bragança e 50% em Belém. A ocorrência de *Gigaspora* foi 13% em Capitão Poço, 15% em Altamira, 0% em Bragança e 60% em Belém, conforme a Tabela 1. A média de esporos do gênero *Acaulospora* por 50g de solo foi bem maior que de *Glomus* e *Gigaspora* em todos os locais investigados (Tabela 1).

TABELA 1. Ocorrência e número de esporos dos três gêneros de micorriza VA encontrados nos diferentes tipos de solos cultivados com pimenta-do-reino em diversos locais no Estado do Pará, em amostras de 50g de solo.

Local	Grande grupo de solo	Gêneros	Ocorrência de gênero	Nº de esporos/50g de solo	
				Variação	Média
Capitão Poço (15 amostras)	L.A. textura média	<i>Acaulospora</i>	100%	2 - 281	76,1
		<i>Glomus</i>	73%	1 - 285	33,5
		<i>Gigaspora</i>	13%	1 - 4	0,3
Altamira (20 amostras)	T.R.E. eutrófica	<i>Acaulospora</i>	95%	2 - 241	60,2
		<i>Glomus</i>	70%	1 - 24	5,8
		<i>Gigaspora</i>	15%	2 - 3	0,4
Bragança (20 amostras)	Areia quartzosa V.A.	<i>Acaulospora</i>	100%	9 - 331	109,2
		<i>Glomus</i>	55%	1 - 61	8,3
		<i>Gigaspora</i>	-	-	-
Belém (20 amostras)	L.A. textura leve	<i>Acaulospora</i>	100%	3 - 77	22,8
		<i>Glomus</i>	50%	1 - 8	1,2
		<i>Gigaspora</i>	60%	1 - 8	1,5

Na cultura de guaraná (Tabela 2), a ocorrência de *Acaulospora* foi 100% em Capitão Poço, Altamira e 86% em Belém. A ocorrência de *Glomus* foi 70% em Capitão Poço, 80% em Altamira e 86% em Belém. A ocorrência de *Gigaspora* foi 15% em Capitão Poço, 0% em Altamira e 58% em Belém. A média de esporos por 50g de solo variou de acordo com a localidade, sendo encontrados mais esporos de *Glomus* nas amostras de Capitão Poço (26,5) e de Belém (41,2) e mais esporos de

Acaulospora nas amostras de Altamira (36,0). A média dos esporos de *Gigaspora* foi bem inferior (Tabela 2) aos demais gêneros.

Na cultura de dendê (Tabela 3), a ocorrência de *Acaulospora* foi 100% em Capitão Poço, Bragança, Benevides e Belém, e 97% em Altamira. A ocorrência de *Glomus* foi 70% em Capitão Poço, 33% em Altamira, 95% em Bragança, 80% em Benevides e 87% em Belém. A ocorrência de *Gigaspora* foi 50% em Capitão Poço,

TABELA 2. Ocorrência e número de esporos dos três gêneros de micorriza VA encontradas nos diferentes tipos de solos cultivados com guaraná em diversos locais no Estado do Pará, em amostras de 50g de solo.

Local	Grande grupo de solo	Gêneros	Ocorrência de gênero	Nº de esporos/50g de solos	
				Variação	Média
Capitão Poço (20 amostras)	L.A. textura leve	<i>Acaulospora</i>	100%	1 - 113	25,0
		<i>Glomus</i>	70%	1 - 380	26,5
		<i>Gigaspora</i>	15%	1 - 4	0,4
Altamira (10 amostras)	T.R.E. eutrófica	<i>Acaulospora</i>	100%	12 - 60	36,0
		<i>Glomus</i>	80%	2 - 17	5,4
		<i>Gigaspora</i>	-	-	-
Belém (50 amostras)	L.A. textura leve	<i>Acaulospora</i>	86%	1 - 125	17,1
		<i>Glomus</i>	86%	1 - 311	41,2
		<i>Gigaspora</i>	58%	1 - 8	1,5

20% em Altamira, 65% em Bragança, 70% em Benevides e 50% em Belém. A média de esporos de *Acaulospora* por 50g de solo foi maior nas amostras de Capitão Poço (25,6), Altamira (17,2) e Benevides (22,7) enquanto encontraram-se mais esporos de *Glomus* nas amostras de Bragança (31,7) e Belém (26,2). A média dos esporos de *Gigaspora* foi bem menor (Tabela 3) que as dos demais gêneros. O número de esporos dos três gêneros variou consideravelmente entre diferentes locais e dentro da mesma área aparentemente uniforme com a mesma cultura (Fig. 1, 2, 3).

DISCUSSÃO

A predominância do gênero *Acaulospora* na ocorrência de micorriza VA no solo já foi observado por Ferraz (1979) no levantamento em cultura de pimenta-do-reino, guaraná, malva e juta da Amazônia e por Lopes et al. (1983) em plantação de café no centro do Estado de São Paulo e no Estado de Minas Gerais, o que sugere a elevada disponibilidade desse gênero no solo de diferentes regiões. O gênero *Glomus*

que não foi relatado no trabalho do Ferraz (1979) foi encontrado em abundância em várias amostras, especialmente uma espécie de tamanho pequeno e hialina. A alta frequência e o elevado número de esporos do gênero *Acaulospora* encontrados na cultura de pimenta-do-reino pode ser indicação de uma provável associação específica entre *Acaulospora* e pimenta-do-reino. A ocorrência do gênero *Gigaspora* foi maior na cultura de dendê comparando-se com as culturas de pimenta-do-reino e guaraná o que mostra a existência de certa afinidade entre esse gênero e a cultura do dendê. A razão para ocorrência mais elevada do gênero *Gigaspora* nas culturas de pimenta-do-reino (60%) e guaraná (58%) nos solos de Belém ainda é desconhecida. A população de esporos do gênero *Gigaspora* foi bem menor que a de *Acaulospora* e de *Glomus* nas três culturas investigadas. Os números de esporos recuperados neste trabalho foram maiores que na cultura de café no Estado de São Paulo (Lopes et al. 1983).

Schenk & Schroder (1974), Saif (1981) e Siverding (1984) observaram que a tem-

TABELA 3. Ocorrência e número de esporos dos três gêneros de micorriza VA encontrados em diferentes tipos de solos cultivados com dendê em diversos locais no Estado do Pará, em amostras de 50g de solo.

Local	Grande grupo de solo	Gênero	Ocorrência de gênero	Nº de esporos/50g de solo	
				Variação	Média
Capitão Poço (10 amostras)	L.A. textura média	Acaulospora	100%	17 - 63	25,6
		Glomus	70%	1 - 20	5,1
		Gigaspora	50%	1 - 3	0,7
Altamira (30 amostras)	T.R.E. eutrófica	Acaulospora	97%	1 - 97	17,2
		Glomus	33%	1 - 37	2,6
		Gigaspora	20%	1 - 12	0,8
Bragança (20 amostras)	Areia quartzosa	Acaulospora	100%	5 - 51	22,5
		Glomus	95%	1 - 173	31,7
		Gigaspora	65%	1 - 53	6,6
Benevides (40 amostras)	L.A. textura leve	Acaulospora	100%	1 - 69	22,7
		Glomus	80%	1 - 63	99,7
		Gigaspora	70%	1 - 12	3,0
Belém (30 amostras)	L.A. textura leve	Acaulospora	100%	3 - 45	17,7
		Glomus	87%	4 - 96	26,2
		Gigaspora	50%	1 - 5	1,0

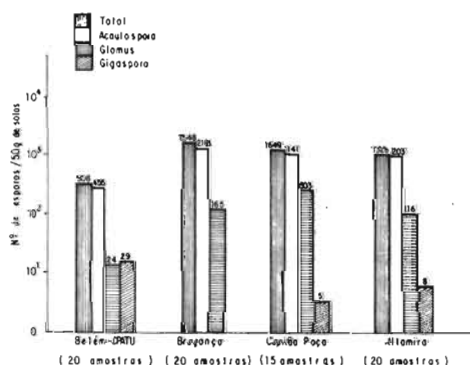


FIG. 1. População de micorriza em solos cultivados com pimenta-do-reino em diversos locais no Estado do Pará.

peratura do solo influencia a germinação e a efetividade da micorriza VA e indicam uma temperatura ótima do solo em torno de 30°C. Na Amazônia, onde a temperatura do solo normalmente oscila entre 25-30°C e é estável durante o ano nas

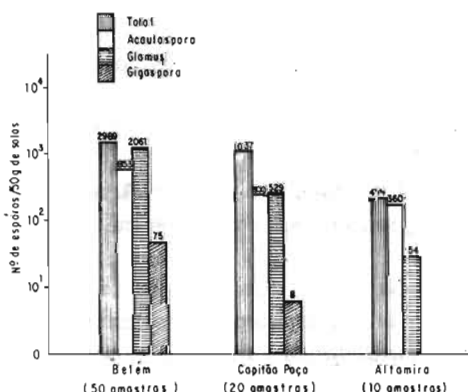


FIG. 2. População de micorriza em solos cultivados com guaraná em diversos locais no Estado do Pará.

áreas vegetadas, pode ter contribuído no potencial das micorrizas VA em se estabelecer nas culturas. Ainda não se sabe a razão para a distribuição desuniforme dos esporos no solo.

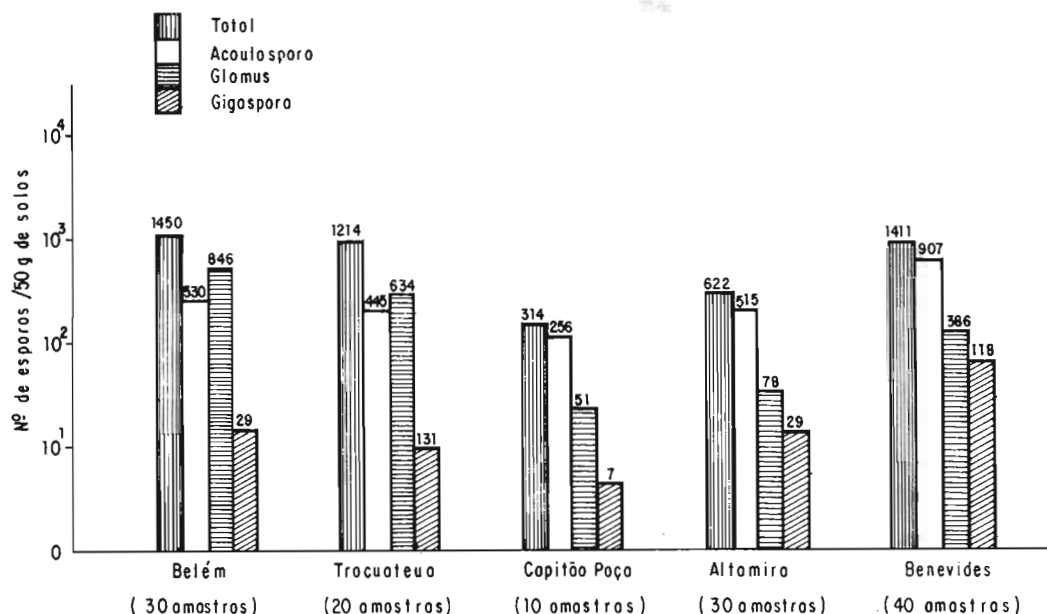


FIG. 3. População de micorriza em solos cultivados com dendê em diversos locais no Estado do Pará.

CONCLUSÕES

— Constatou-se a presença de três gêneros de micorizas VA *Acaulospora*, *Glomus* e *Gigaspora* nas culturas de pimenta-do-reino, guaraná e dendê na Amazônia.

— A ocorrência do gênero *Acaulospora* foi predominante nas três culturas estudadas.

— Na cultura de pimenta-do-reino, a ocorrência e a população do esporos do gênero *Acaulospora* foram bem superiores as dos gêneros *Glomus* e *Gigaspora* nos quatro locais investigados, sugerindo uma possível especificidade entre *Acaulospora* e pimenta-do-reino.

— A população de esporos do gênero *Gigaspora* foi bem inferior as dos demais gêneros nas três culturas investigadas. Porém, a sua ocorrência na cultura de dendê foi mais freqüente que nas culturas de pimenta-do-reino e guaraná.

AGRADECIMENTO

A autora agradece ao auxiliar de laboratório, Ocir Matos de Moraes, pelos trabalhos prestados em extração de esporos e coleta de amostras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FERRAZ, J.M.G. Levantamento de micorriza vesicular-arbuscular em culturas da Amazônia. R. Bras. Ci. do Solo, 3(3):194-6, 1979.
- GERDEMANN, J.W. & NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Trans. Br. Mycol. Soc., 46:235-44, 1963.
- GERDEMANN, J.W. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth. Ann. Rev. Phytopathol., 6:397-418, 1968.

- LAYCOCK, O.M. Preliminary investigations into the function of the endotrophic mycorrhiza of *Theobroma cacao* L. *Trop. Agr.*, 22(4):77-80, 1945.
- LOPES, E.S.; OLIVEIRA, E.; DIAS, Q. & SCHENCK, N. C. Occurrence and distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in central São Paulo State, Brazil. *Turrialba*, 33(4):417-22, 1983.
- MOSSE, B. Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Ann. R. of Phytopathol.*, 11:171-96, 1973.
- MOSSE, B. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza**. University of Hawaii, 1981. (Research of tropical Agriculture and Human Resources. Research Bulletin, 194).
- SAIF, S.R. **The influence of soil oxygen, carbon dioxide and soil temperature on the efficiency and development of vesicular-arbuscular mycorrhizae**. Göttingen, Faculty of Agriculture Georg-August-University, 1981. 147p. Tese Doutorado.
- SCHENCK, N.C. & SCHRODER, V.N. Temperature response of Endogone mycorrhiza on soybean roots. *Mycologia*, 66(4):600-5. 1974.
- SIVERDING, E. **Mycorrhiza project**. Cali, CIAT, 1984.
- WASTIE, R.L. The occurrence of an Endogone type of endotrophic mycorrhiza *Hevea brasiliensis*. *Trans. Brit. Mycol. Soc.*, 48:167-78, 1965.

NUTRIENT CYCLING IN SHIFTING CULTIVATION, PRELIMINARY RESULTS AND EVALUATION OF A COMPARATIVE STUDY UNDER VARIOUS CLIMATIC CONDITIONS

J.P. Andriess¹

ABSTRACT: Detailed studies available on nutrient cycling in shifting cultivation often supply incomparative results because of differences in approach, climate, soil type, methodology of sampling and in analytical procedures. Variability within sites of shifting cultivation requires that information on nutrient cycling mechanisms can only be obtained by experiments carried out under different environmental conditions with emphasis on standardization of methods and statistical reliability. The present paper focuses on one such monitoring experiment, which is in progress since 1980. The experiment is being carried out in Sri Lanka under semi-arid conditions, Malaysia (Sarawak) under wet equatorial conditions and in Thailand under a monsoonal climate. Soils range from Oxisols in Sri Lanka, Ultisols in Sarawak to Alfisols in Thailand. The experiment is composed of a baseline study of nutrients stored in biomass and soil to a depth of 100 cm to be used as a reference base in subsequent monitoring during 5 years. After the baseline study, the vegetation is cut, burned, and a crop is grown for one year after which natural regeneration is allowed to take its normal course. Soil studies show the relatively great importance of the topsoils in Sarawak in nutrient supplying power whereas for Thailand and Sri Lanka subsoils appear to play a greater role. Under the wet equatorial climate of Sarawak, storage of P in the organic form appears to be a very important mechanism in the recycling of phosphorus, and topsoils play an important role in this. Nutrient cycling in all sites takes place along the same general pathways but in different magnitudes. Sometimes short-cuts occur through high litter production and immediate re-use through fast decomposition as is the case in Sarawak. Of importance may be the observation that with low temperatures in the burn, as was the case in Sarawak, apparently much more nitrogen is saved; in this respect, incomplete burns may be better than complete ones. Most pronounced changes were in available phosphorus (100 to over 1000%), Ca (50 to over 600%) and Mg (30 to over 500%).

Index terms: Nutrient cycling, shifting cultivation, biomass assay, influence of burning, Malaysia, Sri Lanka, Thailand.

RECICLAJE DE NUTRIMENTOS EN LA AGRICULTURA DE TUMBA Y QUEMA, RESULTADOS PRELIMINARIOS EN DIFERENTES CONDICIONES CLIMATICAS

RESUMEN: Estudios detallados disponibles sobre el reciclaje e nutrientes en la agricultura de tumba y quema ofrecen a menudo resultados que no se pueden comparar, porque tienen diferencias de enfoque, de clima, de tipo de suelos, de metodología de muestreo o de procedimientos analíticos. Las variaciones en los sitios de tumba y quema requieren que la información sobre el mecanismo de reciclaje, sólo pueda ser obtenida por experimentos. Deben de ser ejecutados en diferentes condiciones climatológicas, dando énfasis al uso de métodos es-

¹ Soil Scientist, Doctor, Royal Tropical Institute. Rural Development Programme. Mauritskade 63. 1092 AD Amsterdam. The Netherlands.

tandarizados y a una confiabilidad estadística. El presente trabajo trata de experimentos monitorizados que se están llevando a cabo desde 1980. Los experimentos han sido ejecutados en Sri Lanka bajo condiciones semi áridas, en Malasia (Sarawak) bajo condiciones ecuatoriales húmedas y en Tailandia bajo clima de monzón. Los suelos varían de Oxisuelos en Sri Lanka, ultisuelos en Sarawak a Alfisuelos en Tailandia. Los trabajos comienzan con un estudio de base sobre los nutrientes acumulados en la biomasa y en el suelo hasta 100 cm. Este servirá como referencia de base para los estudios monitorizados que se ejecutarán durante cinco años. Una vez ejecutado el estudio de base se corta la vegetación, se quema y se planta un cultivo durante un año, después del cual se le permite a la naturaleza de regenerarse a su ritmo normal. Los estudios de suelos indican la gran importancia que la capa arable tiene en Sarawak para proveer nutrientes; mientras que en Tailandia y en Sri Lanka son los sub suelos que juegan un rol más importante. Bajo las condiciones ecuatoriales húmedas de Sarawak el almacenamiento de P en la forma. P org. aparenta ser el mecanismo más importante en el reciclaje de fósforo, y los suelos arables juegan un rol importante en este proceso. Una observación importante puede ser el que las quemaduras a temperaturas bajas, como ocurrió en el caso de Sarawak, ahorra más nitrógeno. A este respecto se puede suponer que quemaduras completas son mejores que quemaduras incompletas. Los cambios más significativos se constataron en la disponibilidad de fosfatos (100 hasta más de 1000%), Ca (50 hasta más de 600%) y Mg (30 hasta más de 500%).

Termos para indexación: Reciclaje de nutrientes, agricultura de tumba y quema, biomasa, influencia de quema, Malasia, Sri Lanka, Tailandia.

INTRODUCTION

There are presently an estimated 200 to 300 million people within the tropical belt dependent for their daily food supply on shifting cultivation. Although shifting cultivation as an agricultural system has hitherto received much attention in anthropological and social studies (Ruthenberg, 1976) little fundamental work has been done to study the agro-ecological aspects, although the system is primarily dependent on the interaction between soil, the biological community and the climate.

Prior to 1960, studies were documented in the excellent review by Nye and Greenland (1960) dealing mainly with African conditions, whereas Conklin (1963) dealt mainly with Latin-American and Pacific conditions in a literature review. In the early 1970, FAO conducted a review study on shifting cultivation in Latin America (Watters, 1971) followed by one in Africa (FAO, 1974).

All of these reviews reveal a lack of carefully executed studies concerning the interaction of soil and vegetation. Furthermore, past studies concentrated more on the description than on the dynamics of the system and conclusions do not go be-

yond a number of generalizations based on scanty data or on information collected from widely different environments, making extraction of general principles extremely difficult and extrapolation of research results impossible. Detailed studies available on nutrient cycling, under shifting cultivation supply often incomparative results because of differences in approach, climate, soil type, methodology of sampling and in analytical procedures.

In an attempt to fill this gap Royal Tropical Institute carried out observational studies in nutrient cycling under shifting cultivation in Malaysia (Andriess, 1977). The studies concluded that indirect approaches through data collection from different sites under various stages of regrowth often leads to anomalous results, even when the same soil series is involved, because of the great variability which exists in chemical soil characteristics and particularly in the availability of nutrients. This variability involves natural decay of vegetation during the bush — fallow period incomplete burning, ash accumulation and leaching during the cropping period.

It is therefore still very difficult, if not impossible, to quantify accurately the pre-

cise action of bush-fallow on soil fertility in terms of universally valid general statements. Past experiences has led to the realization that we might only be able to extract the required information from a series of well-conducted experiments, carried out under different climatological conditions and different soils using the same methodology.

Although it would be of interest to include in such a study as many climatological zones and major soil types as possible, limitations and restrictions in funds and time necessitate a practical ap-

proach, hence careful selection of sites and conditions. The Royal Tropical Institute initiated such a study in 1980.

Although starting off with 5 sites in Sri Lanka, Thailand, Philippines, Malaysia and Indonesia to accomodate semi-arid, monsoonal and wet equatorial regions, the study finally concentrated on three areas: Sri Lanka, Malaysia and Thailand (Table 1). This paper has two objectives: 1) to provide information accumulated from these sites since the start of the project; and 2) to evaluate the procedures adopted to stimulate further studies.

TABLE 1. Characterization of experimental sites.

Location	Climate	Vegetation	Soil	Topography	Crops
Semongok Agr. Research Station, Sarawak	4000 mm rainfall, every month >100 mm	12-15 year old secondary forest	Ultisol Kandic subgroup	10-25 degrees	Hill rice (6 months)
Vanathavillu Agr. Exp. Station Sri Lanka	900-1200 mm rainfall, 3 months wet	25-40 year old secondary forest	Fine loamy siliceous isohyperthermic Rhodic Oxic Paleustalf	2 degrees	Cowpeas
Mae Muang Luang north of Chiang Mai, Thailand	1561 mm rainfall, 6 months wet	10 year old secondary forest	Reddish-brown Latosols	4-25 degrees	Hill rice (6 months)

Note: Some deviations from the selection criteria are due to the impossibility to meet all criteria at one site. (constraint n° 1).

OBJECTIVES OF THE MONITORING STUDY

The aims of the monitoring study are:

1. To gain insight in the natural recycling mechanisms operating between soil, vegetation, litter and soil in land used for shifting cultivation under different climate regions.
2. To quantitatively assess the losses in nutrients in the studied ecosystems due to leaching and erosion.
3. To study the regeneration of natural vegetation after the cropping season.

Criteria for the site selection were as follows:

1. Climate
 - semi-arid
 - monsoonal
 - wet equatorial

2. Soils

- all inherently poor (in the Oxisol/Ultisol range)

- homogenous in characteristics for each site.

3. Topography

- preferably with slopes between 10 and 20° to allow influence of erosion.

4. Vegetation

- secondary forest, semi-mature

5. Location

- near or in experimental stations with good control over land use for at least 5 years
- near rainfall stations
- good accessibility
- no land tenure problems

Securing the participation of local research organizations with scientific standing was of crucial importance, as much of the fieldwork would be carried out by them.

METHODS

The study is confined to an area of approximately 0,5 ha. This area is divided into 3 blocks: on top of the slope (A), in the middle (B), and at the bottom (C), (Fig. 1). Thus lateral movement of nutrients down-slope can be tracked. After a detailed baseline study of the area, in which plant nutrients are measured in existing biomass and soil to a depth of 75 cm, the vegetation is cut, allowed to dry, and burned, after which a crop is planted. Local agricultural practices are followed as much as possible. After about 6 months the crop is harvested and the vegetation is allowed to regenerate naturally.

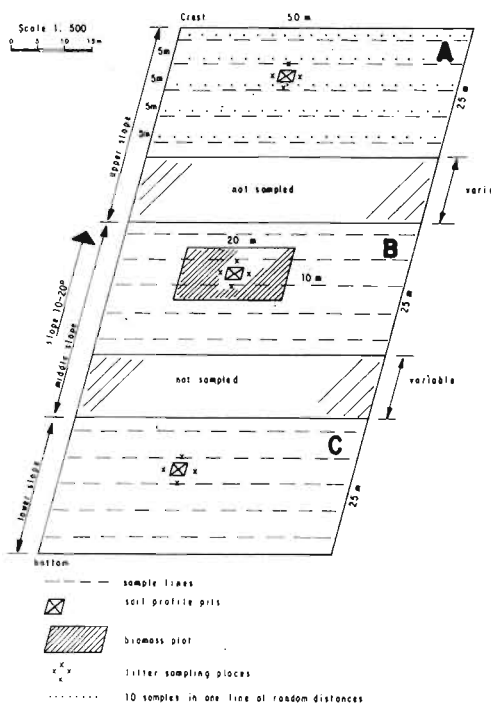


FIG.1. Idealized map of monitoring plots. This sketch reflects the factual situation in Sri Lanka (except for slope).

The biomass study is conducted in a 20 x 10 m area in the middle of block B (Fig. 1), since it is not practical to measure biomass by weighing all components (trunks, branches, twigs and leaves) over the whole area. Weighing is done on the field (wet weight), after which subsamples are taken for determination of moisture content in the laboratory, after drying at 70°C. Crucial in this exercise is the representative value of the 20 x 10 m sample. Prior to the cutting up and weighing of the biomass a botanical survey was done in which a separation was made into leguminous and non-leguminous species.

The soil study in the baseline survey is comprised of description and sampling of 3 profile pits in the blocks for classification purposes, collection of roots and litter for analyses and obtaining undisturbed samples for bulk density measurements. Thereafter random sampling is carried out using fixed lines (5 per block) with 10 random sampling points per line (Fig. 1). Samples are taken by a core sampler at 0-5, 5-10, 10-25, 25-50, 50-75 and 75-100 cm depths. Thus, for each block 5 samples were obtained for 6 depths, and each site delivered 90 samples for analysis.

This first sampling round indicates the fertility status at the start of the monitoring (the reference levels); subsequent sampling is done similarly after burning, after harvest (1 year after clearing) and in each subsequent year using the same sample lines but at randomly chosen points along those lines, since the regeneration of vegetation makes it extremely difficult to obtain a complete randomised sample without disturbing the vegetation.

Temperature recording is done during the burn by placing glass strips coated with temperature-sensitive lacquers at the surface, and at 1, 2 and 5 cm depths (five for each block). As a separate exercise, ash is sampled and analysed. The distribution of the ash after the burn is mapped (Sri Lanka only).

The soil samples are analysed in one laboratory to keep the standard laboratory error constant. In the first year, the analytical programme is comprised of an assay of the biomass components covering N, P, K, Ca and Mg, and for the soils pH (H_2O and KCl), %C, %N, EC, CEC, $exch.Ca$, Mg, K and Na, 10% HCl extractable K, organic P, total P, Pav (Kurz and Bray), Sav. and NH_4Ac -extractable Ca, Mg and K.

Programming a monitoring study is one thing and implementing it another, as is shown by Fig. 2, a map of the area finally selected in Sarawak due to the heterogeneity of the terrain and vegetation. The Sri Lanka and Thailand areas followed the layout as given in Fig. 1. Core sampling density for Sarawak is 925/ha and for Sri Lanka and Thailand 400/ha.

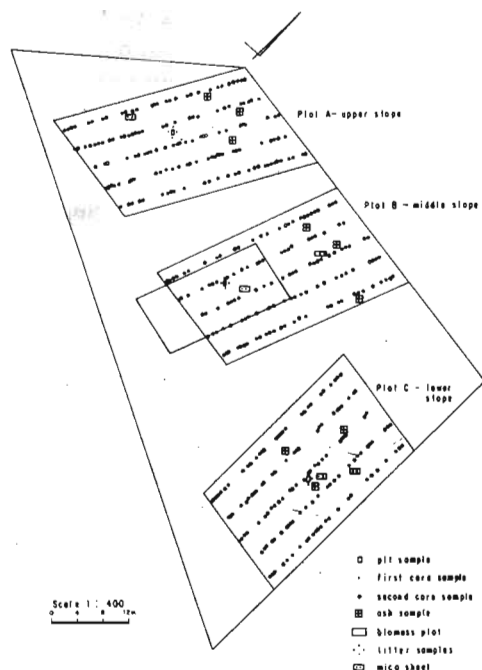


FIG. 2. Sketch of nutrient cycling plots in Sarawak, showing the location of samples taken.

It is calculated that overall error due to sampling and analytical procedures used in the laboratory is 8%. Therefore only changes of over 10% are taken to be significant.

RESULTS AND DISCUSSION

Results obtained and processed to date include:

1. Biomass study - baseline survey.
2. Soil studies - baseline survey.
3. The influence of burning on fertility levels.

Biomass study - baseline survey

Detailed basic data can be found in the progress reports written on the project (Koopmans and Andriesse, 1982; 1983); only information pertinent to this paper is reported here. Distinction is made between aboveground biomass (living vegetation and litter) and roots found below the surface. The living vegetation is subdivided into various components: trunks, small wood, twigs, leaves and fruits.

The highest amount of this form of biomass was found in Sri Lanka (81 t/ha), followed by Thailand (57.6 t/ha) and Sarawak (32 t/ha). Table 2 places our data with those obtained from other sources. It appears difficult to make comparisons because of the diversified nature of forest forms and many other factors which apparently play a role, such as methods of measurement and presentation of results. An important source of error might be conversion of wet into dry weight. For Sarawak 60% moisture was measured, for Thailand 45%. Klinge (1975) adopted a figure of 50% for Amazon forest whereas Sabhasri (1970) recorded 32-44% for plots in North Thailand. Young saplings appear to have a rather higher moisture content as was the case in Sarawak.

The litter collected in 4 lots of 1 square meter situated around the profile pits, in each block was equivalent to 9.8 t/ha in Sarawak, 3.4 t/ha in Sri Lanka and 5.4 t/ha

TABLE 2. Above-ground biomass and its relation to age and number of plant species.

Age Years	Locality	Dry weight kg/ha	Number of plant species	Source
7	Mindanao	42 000	46	Kellman, 1970
7	Mindanao	14 000	26	Kellman, 1970
10	Mae Muang Luang	57 500	24	(this study)
10-15	Sarawak	32 125	17	(this study)
18	Yangambi	140 480		Greenland & Kowal, 1960
18	Ghana	160 000		Greenland & Kowal, 1960
19	Mindanao	68 000	50	Kellman, 1970
25/40	Sri Lanka	81 000	30	(this study)
50	Ghana	370 000		Greenland & Kowal, 1960
Mature tropical	Malaysia	40 000		Wycherly & Templeton 1969
Rain- forest	Malaysia	475 000		Kato et al., 1978

in Thailand. Collecting time undoubtedly influences the results but since all studies were done during the most dry period, when one can expect most litter accumulation, the findings do indicate the relative importance of litter in nutrient cycling at the Sarawak site (wet equatorial climate). Under these climatic conditions, optimum biomass production and apparently also optimum yearly recycling through litter fall can be expected. In the present study, the relative amounts of nutrients stored in the various biomass components at the three locations are of more interest than the absolute amounts. The latter are of significance as a reference base for the subsequent monitoring but in the comparative study, which is the topic of this paper, they are of little meaning and are therefore ignored. The basic data are given in the mentioned progress reports (Koopmans and Andriesse, 1982 and 1983).

Table 3 summarizes information on the relative contribution of each biomass component to the storage and potential recycling of the major nutrients. The relative importance of leaves and small twigs in the recycling process is well illustrated. In almost all cases, leaves are the greatest relative accumulators of nutrients. This once again shows the importance of the yearly

leaf fall or litter, which particularly in Sarawak appears to play a crucial role since the largest amounts of litter was found to accumulate there, whereas biomass in more woody forms recycled at relatively slow rates, as in Thailand.

There also appears to be differences in the amount of accumulated nutrients for each element per location and plant species as is shown in Table 4 for leaves.

It is of considerable interest to find out whether in each locality the same comparative amount of nutrients is stored for each element in the various plant parts. For this purpose Table 5 was computed from available data. From this table we can deduce that large variations do exist. For example, branches and twigs appear to accumulate relatively more N, P, Ca and Mg in Sri Lanka than in Sarawak. Largest differences appear to exist between Sri Lanka and Sarawak; Thailand is intermediate. This is not surprising as Sri Lanka and Sarawak are at the extremes of wet and dry. Climate apparently does play a role in the uptake and storage of nutrients, but most probably this influence is exerted through differentiation of vegetation species typical for each location. The vegetation in both Sri Lanka and Thailand is relatively richer in all nutrients

TABLE 3. Relative amounts (%) of major nutrients in vegetation samples from Sri Lanka, Sarawak and Thailand. Sri Lanka (SL); Sarawak (S); Thailand (T)

Nature of sample	N			P			K			Ca			Mg		
	SL	S	T	SL	S	T	SL	S	T	SL	S	T	SL	S	T
<u>Legume tree</u>															
Stem		0.6	0.7		0.01	0.03		0.2	0.4		0.3	0.8		0.02	0.10
Branches		0.8	0.7		0.01	0.04		0.3	0.4		0.4	0.9		0.06	0.12
Twigs		1.3	0.6		0.03	0.07		0.5	0.4		0.5	1.2		0.10	0.12
Leaves		2.8	3.0		0.10	0.02		0.8	1.6		0.3	0.5		0.13	0.22
<u>Non-legume tree</u>															
Stem	0.3	0.2	0.2	0.01	0.01	0.04	0.2	0.5	0.3	0.5	0.3	0.5	0.1	0.05	0.06
Branches	0.5	0.3	0.3	0.02	0.01	0.04	0.5	0.5	0.4	2.3	0.4	0.9	0.2	0.07	0.13
Twigs	0.9	0.5	0.4	0.04	0.03	0.07	0.8	0.9	0.4	2.2	0.7	0.8	0.3	0.17	0.14
Leaves	1.8	2.1	1.3	0.08	0.11	0.11	2.1	1.7	0.9	0.8	1.0	0.9	0.3	0.27	0.25
<u>Legume shrub</u>															
Stem			0.7			0.07			0.3			1.2			0.12
Twigs			0.8			0.07			0.4			1.4			0.20
Leaves			1.8			0.12			1.0			1.5			0.39
<u>Non-legume shrub</u>															
Stem	0.5		0.3	0.02		0.05	0.4		0.5	1.0		1.0	0.1		0.08
Twigs	0.8		0.4	0.03		0.10	0.5		0.6	1.8		0.8	0.1		0.14
Leaves	1.9		1.2	0.09		0.11	2.2		0.9	2.2		1.2	0.5		0.33
<u>Legume lianas</u>															
Stem		0.5			0.02			0.6			1.1			0.10	
Twigs		0.8			0.02			0.8			1.6			0.11	
Leaves		2.7			0.08			1.2			1.3			0.22	
<u>Non-legume lianas</u>															
Stem		0.5	0.8		0.03	0.08		1.3	0.7		0.9	0.8		0.05	0.12
Twigs		0.5	0.8		0.03	0.10		1.6	0.9		0.4	0.9		0.05	0.25
Leaves		1.7	1.8		0.08	0.12		1.7	1.2		1.0	1.6		0.15	0.37
<u>Herbs</u>	1.5		0.9	0.04		0.11	1.0		2.6	1.6		0.7	0.2		0.25
<u>Grass</u>			0.6			0.08			1.1			0.4			0.17
<u>Ferns/grass</u>		0.7			0.03			1.7			0.3			0.11	

TABLE 4. Macro-nutrient content of leaves in the Sri Lanka, Sarawak and Thailand vegetation as %, of dry weight.

		N	P	K	Ca	Mg
Sri Lanka						
Tre	leaves	1.75	0.08	2.11	0.76	0.26
Bush	leaves	2.06	0.08	1.70	1.81	0.66
Shrub	leaves	1.94	0.09	2.17	2.19	0.52
Sarawak						
Legume tree (<i>Pithecelobium jiringa</i>)	leaves	2.83	0.10	0.77	0.31	0.13
Non-legume tree	leaves	2.12	0.08	1.73	1.03	0.27
Legume liana (<i>Dalbergia</i> sp.)	leaves	2.68	0.08	1.24	1.34	0.22
Non-legume liana	leaves	1.66	0.08	1.67	0.98	0.15
Thailand						
Legume tree	leaves	2.96	0.22	1.57	0.49	0.22
Non-legume tree	leaves	1.33	0.11	0.90	0.87	0.25
Non-legume shrub	leaves	1.17	0.11	0.88	1.23	0.33
Non-legume liana	leaves	1.78	0.12	1.16	1.57	0.37

TABLE 5. Ratios for macro-nutrients in the various plant parts of the biomass in Sri Lanka (SL), Thailand (T) and Sarawak; Sarawak taken as unity.

Ratios	N		P		K		Ca		Mg	
	SL	T	SL	T	SL	T	SL	T	SL	T
Trunks	2.4	2.4	5.4	6.7	0.5	1.1	3.1	3.7	3.4	2.5
Branch	7.1	1.1	8	3.8	4.0	0.8	18.4	2.4	10	1.9
Twigs	11.8	2.4	10.8	6.8	5.3	1.3	21.6	4.5	10.9	2.3
Leaves	2.6	1.0	2.6	1.0	3.7	0.9	4.8	1.4	5.4	1.6
Vegetation	3.9	1.6	4.7	4.0	1.8	0.9	7.9	3.1	5.5	2.0
Litter	0.3	0.3	0.2	1.2	0.5	0.8	0.5	0.4	0.4	0.2
Above Ground Biomass	2.0	0.9	2.9	2.9	1.7	0.9	3.7	1.6	3.2	1.2

except K. Thus burning the same amount of biomass would add relatively less nutrients to the Sarawak soil than is the case in Sri Lanka or Thailand.

Table 5 indicates that in Sarawak litter appears to contain relatively more nutrients than in both Sri Lanka and Thailand. However, the mineralization stage of collected litter may contribute to this. Litterfall in Sarawak is quite constant throughout the year because of the wet climate and there-

fore fresh material may have been collected.

Root studies in Sri Lanka and Sarawak (Table 6) indicate that N, P and K values are higher in Sarawak than in Sri Lanka, whereas the reverse is true for Ca. The nature of roots might be responsible for this: roots in Sarawak are of the fine, feeding root type, found almost exclusively in the top-soil; in Sri Lanka, roots are decidedly more coarse and woody, and they go down to considerable depth.

TABLE 6. Macro-nutrients in roots of sites in Sri Lanka and Sarawak as % of dry weight.

	N	P	K	Ca	Mg
Sri Lanka					
Roots (pit A)	0.68	0.02	0.42	1.03	0.27
Roots (pit B)	0.57	0.01	0.35	0.69	0.13
Roots (pit C)	0.54	0.02	0.22	1.59	0.09
Mean	0.60	0.02	0.33	1.10	0.16
Sarawak					
Roots (pit A)	0.90	0.09	0.89	0.71	0.19
Roots (pit B)	0.64	0.04	0.80	0.54	0.23
Roots (pit C)	0.63	0.03	0.62	0.54	0.18
Mean	0.72	0.05	0.77	0.60	0.20

Soil studies - Baseline survey

Apart from climatic factors, accumulated biomass may be qualitatively and quantitatively directly related to existing soil fertility. In this respect, the absolute amounts of nutrients available in the soils down to maximum rooting depth of about 100 cm (admittedly arbitrarily chosen, but based on general experience) are of importance. Based on information given in the progress report (Koopmans and Andriesse, 1982 and 1983), the following observations are made.

Taking the soil as a separate entity, nutrient quantities in Thailand appear to be significantly larger than in Sri Lanka (except S-av.) and Sarawak (except P-org and S-av.) P-organic is directly related to biomass production, which probable accounts for why this nutrient is greatest in Sarawak; S-av may be a reflection of the original S levels in parent material.

For all distinguished soil depths (0-25, 25-75 and 0-75 cm) C and N are always highest in Sarawak, intermediate in Thailand and lowest in Sri Lanka. This might also be related to differences in biomass production caused by climatic factors.

In general it can be observed that the fertility level increases down the slope: plot A < plot B < plot C. This trend is best

apparent at the Thailand site and least at Sri Lanka, where the slope is less than 2 degrees; in Sarawak the trend is upset by a break in slope between B and C, which may permit relatively more material to accumulate in the B plot. For Thailand this trend persists to a soil depth of 75 cm. Topsoil fertility, however, can show a different trend due to mixed interactions of biomass and erosion.

Again, for present purposes relative values are of more interest than the absolute amounts. For this reason the relative distribution of macro-nutrients over topsoil and subsoil in the three locations was calculated in Table 7. This shows the relative importance of the topsoils in Sarawak in nutrient supplying power, whereas for Thailand and Sri Lanka subsoils appear to play a greater role. The value of P-av. is in all sites highest in the top-soils, but least so in Sri Lanka. Of further significance is that in Sarawak 60 to 70% of the total P appears to be present as P-org, even in the subsoil. A similar trend appears at the Sri Lanka site, whereas for the Thailand site the percentage is much less (30 to 40%). Fixation of P in the organic form and subsequent release appears to be a significant mechanism in the recycling of phosphorus and, as already indicated, topsoils appear to play a very important part in this process.

TABLE 7. Relative distribution of macro-nutrients in topsoil and subsoil in Sri Lanka, Sarawak and Thailand as % of oven-dry weight.

	N	P-av	K	Ca	Mg
Sri Lanka					
Topsoil (0-25 cm)	41	52	29	47	31
Subsoil (25-75 cm)	59	48	71	53	69
Sarawak					
Topsoil (0-25 cm)	48	76	36	69	61
Subsoil (25-75 cm)	52	24	64	31	39
Thailand					
Topsoil (0-25 cm)	51	77	35	48	42
Subsoil (25-75 cm)	49	23	65	52	58

In the recycling processes, the interplay between biomass, litter and soil is decisive. For this reason, a representation was made of the relative size of various stores of plant nutrients in the three ecosystems studied, based on available data. It should be emphasized that this is an approximation of the real situation because of accumulation of errors which accompany studies of this nature. Nevertheless, the resulting diagrams shown as Fig. 3, 4 and 5 illustrate the relatively great influence of litter in recycling under the wet equatorial climate of Sarawak, its relative low influence in the semi-arid climate of Sri Lanka and its intermediate status for the monsoonal climate of Thailand. The diagrams also show clearly the relatively high quantities of reserve nutrients in the Thailand soil and the much lower values in the soils at Sarawak and Sri Lanka.

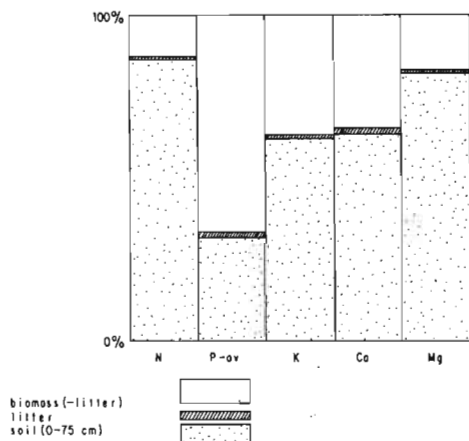


FIG. 3. Idealized representation of the relative size of nutrient pools in the Sri Lanka ecosystem.

Conclusions of baseline studies

The baseline studies carried out at the three sites have shown that nutrient cycling probably takes place along the same pathways but in different magnitudes and sometimes uses shortcuts. For example, there exists a closed, short cycle in Sarawak under the wet equatorial clima-

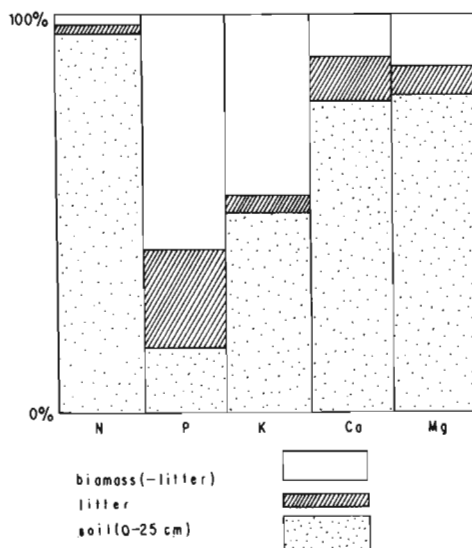


FIG. 4. Idealized representation of the relative size of nutrient pools in the Sarawak ecosystem.

te because of high litter production and immediate recycling through fast decomposition and mineralization in the topsoils; subsoils in Sri Lanka and Thailand apparently play a relatively more important role in recycling. Whether this is only due to climate and its influence on rooting depth is not clear; the relative age of the soils and their fertility are probably also contributing factors. These conclusions are preliminary, as the monitoring phase is only starting to deliver results.

The influence of burning on fertility levels

The temperatures recorded for the burns in the three sites are given by Andriesse & Koopmans (1984), who described investigations on the effects of simulated burning on soil characteristics.

It can be argued that changes in soil fertility under shifting cultivation are caused not only through addition of nutrients to the soil through burning biomass but also through the effect of mere heating. Our study indicated that such changes do oc-

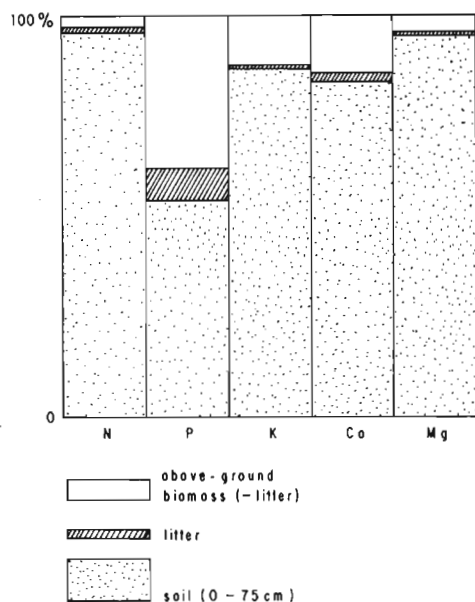


FIG. 5. Idealized representation of the relative size of nutrient pools in the Thailand ecosystem.

cur, but mainly at temperatures above 150°C , which are not reached below a depth of 5 cm under normal burns. Based on this information we have ignored the effect of mere heating on the fertility levels gauged after the burns.

It is very difficult to control the drying of biomass after cutting and the subsequent burning. This is dependent on local climate (rainfall) and its variability. For this reason the burn in Sarawak was very mediocre, as the cut biomass was too wet; in Thailand the burn was good; and in Sri Lanka a second burn was done by piling up the biomass left after the first burn, which appeared to be local custom. Our observations during monitoring indicate that this practice caused excessive ash accumulation, resulting in alkaline conditions and little or no germination of the crop. An attempt was made to map out the areas affected in the Sri Lanka plot and separate monitoring in this location was subsequently started on ash-affected soil and normal soil.

Seven percent of the area appears to have been affected and for calculations of plant-nutrient distribution on a hectare equivalent basis, this factor has been taken into account in averaging available data.

The mass of accumulated data in the study on the burn can not for practical reasons be shown in this presentation. Reference is made to the Second Progress Report on the monitoring project (Schelhaas et al., 1984), from which the principal results are extracted. Table 8 summarizes main effects, taking into account a calculated error of 8% due to sampling and analytical procedures.

In summary, changes due to burning were most profound in the topsoil, but in Sri Lanka, where soil sampling took place three months after burning instead of immediately after the burn, the effect of leaching can be noticed in the values of K, S and Mg. At this location, where a reburn was carried out, it was also noticed that all recorded changes were much more pronounced in the soil sampled below the reburnt piles than in the soil which received the normal amount of ash. Where the burn was successful, such as at Sri Lanka and Thailand, a decrease of 20-25% organic matter was recorded, a decrease in CEC of 5-10% (apparently due to loss of organic matter), and of 1% in organic P. Nitrogen did not change significantly. Apparently the temperatures reached in the burn were such that C from the soil organic matter disappeared but not N. On the other hand, N in the biomass was almost completely lost in the air, as could be deduced from the very low contents found in the ash (Schelhaas et al., 1984). In Sarawak, where the burn was incomplete, an increase of 20% in C and N, of 10% in CEC, and of 4% in organic P was found.

It has been shown by the laboratory studies (Andriess and Koopmans, 1984) that low temperatures preserve the N con-

TABLE 8. Summary of the main effects of burning on values of soil properties.

Sri Lanka site				Sarawak site		Thailand site		Simulated Burning
Normal soil effect depth zone in cm		Below ash heaps effect depth zone in cm		effect depth zone in cm		effect depth zone in cm		0-2 cm layer (Andriesse 1984) effect
pH	+	0-50	++ 0-50	nil		+	0-25	+
EC	+	0-50	+	0-50	+	0-25	+	0-10
C	- 25%	0-75	- 50%	0-75	+25%	0-50	-20%	0-100
N	nil		nil		+25%	0-25	nil	
P-tot.	+ 20%	0-10	+200%	0-5	nil		-20%	0-100
P-org.	- 10%	0-10	- 50%	0-10	+15%	0-25	nil	
P-av.	+ 500%	0-10	+1000%	0-10	+100%	0-100	+100%	0-50
S-av.	+ 50%	25-75	+100%	0-5 and 25-75	+100%	0-10	+50%	0-25
CEC	- 10%	10-75	- 25%	0-75	+10%	0-100	nil	
Ca-exch.	+ 150%	0-10	+600%	0-5	+50%	0-25	+30%	0-10
Mg-exch.	+ 40%	0-10	+100%	0-25	+50%	0-25	+20%	0-10
K-exch.	- 40%	0-10	+100%	0-75	+100%	0-100	+50%	0-10
Ca-extr.	+ 200%	0-10	+5000%	0-5 (?)	+45%	0-25	+75%	0-10
Mg-extr.	+ 50%	0-10	+500%	0-5	+30%	0-25	+70%	0-10
K-extr.	- 35%	0-10	+100%	0-75	+75%	0-10	+50%	0-10
K-res.	- 20%	0-10	+100%	0-75	+100%	0-100	+40%	0-10

+ = increase

- = decrease

rent. That this may also be true under field conditions is indicated by Fig. 6, which gives the relation between burning temperature and N — content found in the ash. These results suggest that incomplete burns may in this respect be better than complete ones. However, if less ash becomes available less nutrients are added to the soil, as can be illustrated by the following increases that were found: S-av (20-60%), Ca (10-100%), Mg (15-45%) and K (6-80%), based on a kg/ha basis at soil depths down to 75cm. If the topsoils are taken into account, the most pronounced changes were found in available phosphate (100 to over 1000%), Ca (50 to over 600%) and Mg (30 to over 500%). Increase in K was particularly significant in Sarawak.

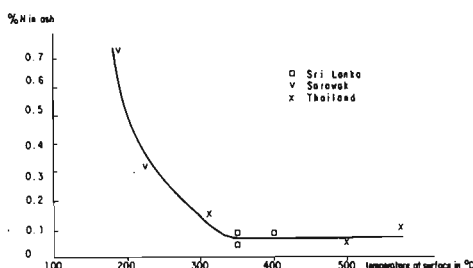


FIG. 6. Relationship between burning temperature and N-content in ash.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

The organization and management of monitoring studies, such as those described in this paper, are complicated. There are many constraints and pitfalls in executing these studies, as well as difficulties in the deduction of conclusions from the accumulated data. In order to learn from these experiences, it is valuable to examine the problems encountered.

1. Site selection

Not all requirements can be found together at one site and it is necessary to make allowances in the standards without

jeopardizing the value of the whole project. There always remains the conflict between what is desirable and what is feasible. Although methodology and statistical reliability were given high priority in the objectives, in comparative studies involving many countries and conditions methodology cannot be completely standardised.

2. Baseline study

Conducting a baseline study along identical lines is very difficult to accomplish in different environments with different people having different standards of work, coupled with the differences which exist in available infrastructure. Sources of error are many: weighing with different apparatuses, selecting samples of biomass for moisture determinations, distinction between litter and dead wood, soil sampling methods, etc.

Even with the most detailed instructions there always remains personal interpretations and sense of detail which creates differences. A small difference in the local determination of bulk density can have a large effect on the calculated values for nutrients in kg/ha in a latter stage of the project. The values can also change during the study as a result of modifications in land use. Furthermore, very little is known concerning the coefficient of variation of soil characteristics in space and time.

Many potential errors could be forestalled by executing the programme by one team. For many reasons this appears extremely difficult if the work is to be accomplished with participation of local institutions.

3. Land use

Not all participants would agree to conduct an experiment which bears little relation to local practice. For example, in Sri Lanka more than one crop is typically used. However, in comparative studies

one should adhere to the same sequence of land use if the aim is to study the effect of climate. If this land use does not bear relation to local practices, changes may be made in the on-going program which upset the general aim and final outcome.

4. The burn

It is impossible to control the quality of the burn. This is dependent on rainfall variability in the period between cutting and drying, particularly in a wet equatorial climate such as in Sarawak. However representative of the local system this uncontrollable factor may be, it makes comparative studies on the effects of burning very difficult.

Apart from the quality of the burn, which is largely responsible for the transfer of nutrients from the biomass to the soil, it also appears that variability in the quantity of the burned material must be accurately measured in the biomass plot sampled during the baseline study. In heterogeneous forest this is very difficult to accomplish: for example, scattered, large trees have, a very local impact on soil fertility and recycling processes. There is only one alternative: to cut and weigh the complete biomass of the site, whereafter it should be spread round again for burning. This appears impossible in practice.

5. Laboratory errors

There are errors in methodology and personal errors. The latter can be corrected by duplication, whereas the first are inherent to the method. If the absolute values of characteristics (such as P-av.) are small and the errors great it is difficult to distinguish unreliable factual information from a real influence of change in land use.

This discussion of difficulties encountered in our studies should not discourage prospective researchers. As long as errors are recognised many can be prevented. These difficulties do, however, cast so-

me doubt over studies of this nature carried out in the past and in which apparently everything was nicely under control.

Despite all the known and unknown errors which might accompany our studies, I may conclude by saying that climate undoubtedly has a crucial influence on the mode in which the recycling of nutrients takes place. Furthermore, in the wet equatorial climate topsoil appears to be crucial in the recycling process, whereas in the drier climates subsoil appears to play a relatively greater role; leaching in the root zone is possible related to this phenomenon. Finally, the regeneration of natural vegetation (which was not discussed in this paper) indicates that the survival of stumps in the plots probably plays a decisive role in taking up leached nutrients through their existing rooting system, allowing fast regrowth. The complete eradication of old vegetation including stumps would result in a great potential loss of nutrients through leaching, since regeneration would then be accomplished exclusively by seedlings with a shallow rooting zone during the first year, in which most leaching can be expected.

ACKNOWLEDGEMENT

The monitoring study on nutrient cycles in soils used for shifting cultivation under various climatic conditions in Tropical Asia was jointly started by the Department of Agriculture in Sri Lanka and Sarawak, the University of Chiang Mai and the Royal Tropical Institute in Amsterdam, the latter being responsible for coordination, data analysis and reporting. Local participants took care of the field programme adhering to an agreed methodology.

The fieldwork in the respective countries was supervised by Dr. Handawela from the Research Branch in Sri Lanka, Mr. Lim Chin Pang from the Soils Division in

Sarawak and Dr. Hiranburana from the Department of Soil Science and Conservation in Thailand. This work is acknowledged with much appreciation. Dr. v.d. Pol and his laboratory personnel carried out a considerable amount of analytical work in the soils laboratories of the Royal Tropical Institute. Finally I owe much thanks to Mr. Koopmans and Mr. Schelhaas for the arduous computation work in processing the mass of data which has become available. The latter was also responsible for reporting the effects of burning, and his assistance in reaching final conclusions is gratefully acknowledged.

The project is now co-financed by the European Economic Community through its Science and Technology Programme for Development, subprogramme Tropical Agriculture, from January 1984 until the end of 1986.

REFERENCES

- ANDRIESSE, J.P. **Nutrient level changes during a 20 year shifting cultivation cycle in Sarawak (Malaysia).** Kuala Lumpur, CLAMATROPS, 1977. p. 479-91.
- ANDRIESSE, J.P. & KOOPMANS, T. Th. **A monitoring study on nutrient cycles in soils used for shifting cultivation under various climatic conditions in Tropical Asia. I. The influence of simulated burning on form and availability of plant nutrients. Agro-ecosystems, 9,** 1984.
- CONKLIN, H.C. **The study of shifting cultivation.** Washington, D.C., Pan American Union, 1963. (Pan American Union. Study and Monographs, 6).
- FAO, Roma, Itália, **Shifting cultivation and soil conservation in Africa.** Rome, 1974. (FAO. Soils Bulletin, 24).
- KOOPMANS, T. Th. & ANDRIESSE, J.P. **Baseline study monitoring project of nutrient cycling in shifting cultivation. Report on Vanathavillu, Sri Lanka, and Senonggok, Sarawak sites.** Amsterdam, Royal Tropical Institute, 1982. (Royal Tropical Institute. Progress Report, 1. Internal Report BO 82-6).
- KOOPMANS, T. Th. & ANDRIESSE, J.P. **Baseline study monitoring project of nutrient cycling in shifting cultivation. Report on Mae Muang Luang site, Thailand.** Amsterdam, Royal Tropical Institute, 1983. (Royal Tropical Institute. Progress Report, 1. Internal Report BO 83-3).
- KLONGA, H. et. al. **Biomass structure in a Central Amazonian Rainforest, Tropical Ecological System.** New York, Springer Verlag, 1975.
- NYE, P.M. & GREENLAND, D.J. **The soil under shifting cultivation.** Harpenden, CAB, 1960. (CAB Technical Communication, 51).
- RUTHENBERG, H. **Farming systems in the Tropics.** 2. ed. Oxford, Clarendon, 1976.
- SCHELHAAS, R.M.; KOOPMANS, T. Th. & ANDRIESSE, J.P. **The effect of burning on soil fertility. Monitoring project of nutrient cycling in shifting cultivation.** Amsterdam, Royal Tropical Institute, 1984. (Royal Tropical Institute. Progress Report, 2. Internal Report AO 109).
- SABHASRI, S. **Effects of forest fallow cultivation in forest production and soil.** In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SHIFTING CULTIVATION AND ECONOMIC DEVELOPMENT IN NORTHERN THAILAND, Bangkok, 1970. **Proceedings...** Bangkok, 1970.
- WATERS, R.F. **Shifting cultivation in Latin America,** Rome, FAO, 1971. 305p. (FAO. Forestry Development. Paper, 17).

LOWLAND AMAZON FORESTS, BIOELEMENTS AND GEOCHEMISTRY

Hans Klinge²

ABSTRACT: Bioelement analyses in foliage and other biomass fractions of Amazon natural lowland forests are carried out, in order to obtain relevant information about the nutrient status of vegetation and soils in the study sites. The analyses also provide, together with hydrochemical analyses, insight into the biogeochemistry of the study areas and, ultimately, of the Amazon region as such. In some cases our analyses form part of specific ecosystem studies carried out in close co-operation partly with INPA/Manaus/Brazil and partly with IVIC/Caracas/Venezuela. For the chemical analyses we apply flame atomic absorption spectrophotometry (AAS), automatic devices and traditional methods. Using foliar data sets for twelve neotropical forest two chemical groups can be established. Their mean concentrations of N, P, K, Ca, Mg, Na and total bioelements differ significantly (62,000 versus 28,000 ppm total bioelements). The group of high concentrations is made up by forests growing on várzea soils and chemically favourable soils. The group with low concentrations is made up by quite different terra firme forest, among them forests growing on bleached quartz sands, and also includes one igapó forest. These groups occupy the extremes of the chemical gradient existing in the humid tropics (Jordan & Herrera 1981) with probably relatively few representatives in intermediate position. Ranges of productivity, biomass and wood volume of natural Amazon Lowland forest are also depicted. They are interpreted in terms of bioelements and geochemistry. The advantage of combining results of chemical and ecological studies in Amazon natural vegetation types with those of hydrochemical studies into a geochemical framework is that the framework provides a quite reliable basis to predict the natural potential of productivity of the plant communities in the region. It should strongly be emphasized that the natural potential of productivity cannot be taken as indicative of a similar potential of the same communities under a management scheme. It can even less be taken as indicative of the productivity level of man-made forests replacing the natural communities. One reason for this is that the natural forests are extremely rich in species which were selected over millenia and which are well adapted to the specific environmental conditions of their habitats. Although the taxonomic knowledge of Amazon forest plants is fairly good and there is some knowledge about the ecology of Amazon forest ecosystems, much additional work in the various areas related to forests and forestry is required. One prerequisite of future studies is that the natural forests including their fauna and wildlife will not be destroyed, but preserved in substantial areas. The high demand of forest related research should be seen by the scientific communities in the countries sharing the Amazon region as an invitation to contribute — individually or jointly — to the progress of sciences and development.

Index terms: Amazon region, terra firme forests, inundation forests, foliar bioelements, biogeochemistry.

¹This study results from co-operation between Max-Planck-Institute for Limnology, Working group "Tropical Ecology", Plön, Federal Republic of Germany, and Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus - Amazonas, Brazil.

²Max-Planck-Institut für Limnologie, Arbeitsgruppe Tropenökologie, Postfach 165, D-2320 Plön/Holstein Federal Republic of Germany.

FLORESTAS AMAZÔNICAS DE TERRAS BAIXAS, BIOELEMENTOS E GEOQUÍMICA

RESUMO: Análises de bioelementos da folhagem e de outras frações da biomassa de florestas nativas da Amazônia foram efetuadas, de modo a serem obtidas relevantes informações acerca do estado dos nutrientes da vegetação e do solo dos locais de estudo. As análises também resultaram, juntamente com as análises hidroquímicas, numa indicação da biogeoquímica das áreas em estudo e, enfim, da região amazônica como tal. Em alguns casos, as análises fazem parte de estudos de ecossistemas específicos em áreas de terra firme ou inundáveis da região amazônica. Os estudos foram conduzidos em estreita cooperação em parte com o INPA/Manaus/Brasil e em parte com o IVIC/Caracas/Venezuela. Para as análises químicas, foram usados o espectrofotômetro de absorção atômica, aparelhos automáticos e métodos tradicionais. Usando conjuntos de dados de folhas de doze florestas neotropicais, dois grupos químicos podem ser estabelecidos. Suas concentrações médias de N, P, K, Ca, Mg, Na e dos bioelementos totais diferem significativamente (62.000 versus 28.000 ppm de bioelementos totais). O grupo de altas concentrações é constituído por florestas de solos de várzea e em solos similares quimicamente favoráveis. O grupo com baixas concentrações é formado por florestas de terra firme bem diferentes, entre estas florestas crescendo sobre areias brancas quartzosas e também inclui uma floresta de igapó. Estes grupos ocupam os extremos do gradiente químico existente no trópico úmido (Jordan & Herrera 1981) com, provavelmente, pouca representatividade na posição intermediária. Amplitudes de produtividade, biomassa e volume de madeira de florestas nativas da Amazônia são também mostradas. São interpretadas em termos de bioelementos e geoquímica. A vantagem de combinar resultados de estudos químicos e ecológicos dos tipos de vegetação nativa da Amazônia com estudos hidroquímicos em uma estrutura geoquímica é que esta estrutura dá uma base provável para predizer o potencial natural de produtividade das comunidades vegetais na região. Deveria ser fortemente enfatizado que o potencial natural de produtividade não pode ser tomado como indicativo de um potencial semelhante das mesmas comunidades sob um determinado esquema de manejo. Pode ser tomado menos ainda como indicativo do nível de produtividade de florestas cultivadas substituindo as florestas nativas. Uma razão para isto é que as florestas nativas são extremamente ricas em espécies que foram selecionadas durante milênios e estão bem adaptadas às condições ambientais específicas de seus "habitats". Apesar do conhecimento taxonômico das espécies florestais amazônicas ser muito bom e existirem alguns conhecimentos sobre a ecologia, muito trabalho adicional em várias áreas relacionadas a florestas e florestamento se faz necessário. Um pré-requisito para estudo futuros é que as florestas naturais, incluindo sua fauna e vida silvestre, não serão destruídas mas preservadas em áreas substanciais. A alta demanda de pesquisa relacionada com floresta poderia ser vista pelas comunidades científicas dos países pertencentes à região amazônica como um convite a contribuir individual ou conjuntamente para o progresso da ciência e do desenvolvimento.

Termos para indexação: Região amazônica, floresta de terra firme, florestas de áreas inundáveis, bioelementos foliares, biogeoquímica.

INTRODUCTION

Here presented data were selected to emphasize certain aspects of forest ecology which are useful in relation to the evaluation of the vegetation and soil resources in Amazonia.

Chemical quality of forest sites

To obtain pertinent information usually the soil is analyzed, foliar analysis is applied, or both.

Foliage chemical data of twelve neotropical forest stands are available. Most data refer to the Amazon region. Two chemically different groups of foliage are recognizable (Table 1). One group is characterized by a mean total concentration of nitrogen (N) + phosphorus (P) + potassium (K) + calcium (Ca) + magnesium (Mg) + sodium (Na) equal to 60,000 ppm, the second group by a much lower one (29,000 ppm). The mean concentration of N, P, K and Mg of the first group are 1.7 to 2.2 ti-

TABLE 1. Average foliar bioelement concentrations of 12 neotropical forest stands classified acc. to the average total bioelement concentration.

Total foliar bioelement concentration		Average concentration in ppm (1 s.d.)					
		N	P	K	Ca	Mg	Na
"High"	59283 (4360)a	25553 (6622)a	1397 (374)a	13078 (3136)a	18294 (3887)a	3839 (917)a	168 (74)a
"Low"	29455 (4068)b ^{xxx}	14291 (3940)b ^x	633 (118)b ^{xx}	6133 (1752)b ^{xxx}	4445 (2030)b ^{xxx}	2271 (328)b ^x	969 (1692)a
Total foliar bioelement concentration		sum (Ca + Mg + K + Na), ppm		Mean percentage (1. s.d.)			
				Ca	Mg	K	Na
"High"			35382 (4941)a	51.9 (6.3)a	11.2 (3.5)a	36.7 (5.6)a	0.4 (0.1)a
"Low"			13575 (1301)b ^{xxx}	31.5 (9.3)b ^{xx}	16.9 (4.4)b ^x	47.0 (12.5)a	6.2 (10.8)a

Statistical significance ("High" versus "Low"):

Figures followed by same letter are not different (t-test, $p > 0.05$), $p < 0.05^x$, $p < 0.01^{xx}$, $p < 0.001^{xxx}$.

mes higher, and the mean concentration of Ca is four times higher than in the other group. The mean concentration of Na of the first group is almost 6 times higher.

Regarding the proportions of alkali- (K, Na) and alkali-earth (Ca, Mg) metals of these sum of elements (Table 1), Ca is the dominant element in the group with high mean total bioelement concentrations, while K is dominant in the group with low mean total bioelement concentrations. The Mg proportion is slightly and the Na proportion is considerably higher in the latter group.

The group with high bioelement concentrations is made up by four forests. Three of them grow in flood plains (várzea or the lower Solimões) (Ducke & Black 1953, Junk 1984a); floodplain of the Caparo river in western Venezuela (Hase & Fölster 1982; Klinge et al., 1983). The fourth example is a forest growing on Vertisols in Panamá (Golley et al., 1975).

The group with low bioelement concentrations comprises eight stands growing on Acrisols, Ferralsols, Fluvisols or Spodosols in Brazil (State of Amazonas, Klinge, 1976; Klinge et al., 1983), Colombia (Magdalena valley, Fölster et al., 1976), Surinam (Ohler, 1980) and Venezuela (Federal Amazon

Territory, Golley et al., 1980b; Herrera 1979).

Foliar bioelement concentrations of neighbored forests growing on contrasting sites exist (Table 2). The igapó forest sensu Prance (1979) of the Manaus area (Revilla, 1981) has a foliage richer in N and K than the mixed terra firme forest sensu Richards (1957) at Manaus (Ducke & Black, 1953; Hueck 1966; Pires 1984), but is much lower in Ca, Mg, and Na. The campina (Lisbôa, 1975), also at Manaus is astonishingly similar to the mixed terra firme forest, except for Na. Compared to all other stands the Na concentrations of both the mixed terra firme forest and the campina at Manaus are surprisingly high. We do not have at present any explanation of this phenomenon.

The mixed terra firme forest at San Carlos de Rio Negro, however, is much lower in foliar K, Ca and Mg than both counter-parts growing on bleached sands (Spodosols).

The similarity of the foliar concentration of campina and mixed terra firme forest at Manaus suggest that regarding the plant's bioelement supply there is no major difference between the Arenosols of the

TABLE 2. Comparative mean foliar bioelement concentrations of vegetation on contrasting sites, at two localities in the Amazon region.

	N	P	K	Ca	Mg	Na
<u>Manaus/Brasil</u>						
Mixed terra firme forest ¹⁾	18400	538 (148)a	4991 (2301)ac	4262 (3482)ac	2899 (1396)ac	1146 (827)ae
Campina	11093 (4376)a	479 (216)a	6581 (3386)ab	3697 (2184)ab	2641 (774)ab	4309 (4436)b ^{xxx} c
Igapó ²⁾	17305 (4041)b ^{xxx}	618 (256)a	6325 (2617)bc ^x	2506 (2041)bc ^{xxx}	1218 (584)b ^{xxx} d	249 (441)d ^{xxx} f ^{xxx}
<u>San Carlos de Rio Negro/Venezuela</u>						
Tall Caatinga ³⁾	10820	560	5830	5280	3560	n.d.
Mixed terra firme forest ⁴⁾	17830	570 (132)	3799 (1316)	1060 (681)	1054 (419)	32 (19)
Bana	10417	783	6307	6906	2352	34

1) Klinge 1976, Golley et al. 1980a; 2) Klinge et al. 1983; 3) Herrera 1979; 4) Golley et al. 1980b; Statistical significance: In each column, figures followed by same letter are not different (t-test, $P > 0.05$), $p < 0.05^x$, $p < 0.01^{xx}$, $p < 0.001^{xxx}$.

campina and the heavier textured soil of the mixed terra firme forest. This conclusion, however, might be misleading, since we ignore the species cost of building the leaf matter. Regarding the San Carlos de Rio Negro data they show that bana and Tall Caatinga (Klinge & Herrera, 1983) both growing on sandy soils may take up in the end more bioelements than the mixed terra firme forest on heavier textured soils. An adequate conclusion from the data in Table 2 would be that the species associations as a whole are so well adapted to their respective substrates that in particular cases there is no difference between species associations growing on quite different substrates.

Site quality and geochemistry

For some study sites hydrochemical data of nearby rivers exist (Table 3). These data confirm the findings of geochemical research in Amazonia (Furch 1976; 1984a; 1984b; Furch & Klinge 1978; Junk & Furch

1980; Furch et al., 1982). Acc. to these authors only the Amazonian 'white-water' rivers (Sioli 1950) like the Solimões may be considered as relatively rich chemically, while the great majority of Amazon rivers is strikingly poor in the chemical sense.

The chemical poverty of the majority of Amazonian waters is reflected by the chemical quality of the forest foliage of those stands included in the group of low total bioelement concentrations (Table 1). The non-Amazonian examples in the group of high foliar bioelement concentrations (Table 1) represent regions with geochemical conditions different from those in the Amazon region (Panama: geochemically rich volcanic region; western Venezuela: relatively rich geochemical region of the footzone of the Venezuela Andes). They contrast to the Amazon region which is composed by geochemically provinces with most soils on chemically poor sedimentary parent material or on similiary poor rocks of the Shields of Guiana and Brazil (Fittkau 1971; 1974, Putzer 1984; Sombroek, 1984).

Hydrochemical studies of Amazon rivers crossed by some of the long new roads demonstrate over large distances very clearly the interplay between the patterns of chemical rock composition and hydrochemistry (Junk & Furch, 1980; Furch 1984b).

A comparison of the absolute and relative contributions of alkali — and alkali-earth metals to the sum these elements shows that in the first examples (Table 3 and 4) the total concentration of these elements in the river water is close to or above the "world average freshwater", and the respective total foliar concentrations are high. These characteristics correspond to the quality of the soils classified as Vertisols (Panama) or Eutric Fluvisols (Table 3 and 4). In both examples Ca is dominant in river water as well as in foliage. In the remaining examples the soils are classified as Spodosols (Venezuela), Latosol amarelo, tex-

tura muito pesada (Table 3 and 4, Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte 1969) or Dystric Fluvisols (Table 3 and 4). The total alkali- and alkali-earth metal concentration in the river water of the latter examples is far below the "world average freshwater" and the respective total concentration of the foliage is also low. K is dominant in the foliage, while Na is dominant in the river water.

Forest productivity and bioelements

Forest productivity is predictable from forest litter fall. Pertinent world literature has been reviewed by various authors (Medina & Klinge, 1983), most recently by Proctor.

Selecting from the above-mentioned twelve forests three Amazonian ones for which also leaf fall data exist and which,

TABLE 3. Hydrochemical and foliar chemical data (Ca, Mg, K and Na) in selected neotropical areas

Forest area	sum (Ca + Mg + K + Na)	Concentration in ppm			
		Ca	Mg	K	Na
<u>Panama</u>					
<u>Terra firme forest/Vertisols</u>					
Savanna river 1)	103.86	65.6	10.02	4.5	23.74
Foliage 1)	41000	22900	2575	15300	225
<u>Brazil 1</u>					
<u>Várzea forest/Eutric Fluvisols</u>					
Solimões river 2)	11.5	7.2	1.1	0.9	2.3
Várzea foliage 3)	25865	19141	3982	13183	195
<u>Venezuela</u>					
<u>Tall Caatinga/Spodosols</u>					
Forest river 4)	0.592	0.079	0.02	0.244	0.249
Foliage 5)	14670	5280	3560	5830	n.d.
<u>Brazil 2</u>					
<u>Terra firme forest/Latosol Amarelo</u>					
Forest rivers 2)	0.441	0.038	0.037	0.150	0.216
Foliage 6)	13298	4262	2899	4991	1146
<u>Brazil 3</u>					
<u>Igapó forest/Dystric Fluvisols</u>					
Rio Negro 2)	1.03	0.21	0.11	0.33	0.38
Foliage 3)	10298	2506	1218	6325	249
<u>World average freshwater</u> 7)					
	27.7	15.0	4.1	2.3	6.3

Sources: Golley et al. 1975; 2) Furch 1984a; 3) Klinge et al. 1983; 4) Paolini, pers. comm. 1982; 5) (Herrera 1979; 6) Golley et al. 1980a; 7) Livingstone 1963.

in addition, differ with respect to the total foliar bioelement concentrations ("low", "moderately low", "high") a close correspondance between bioelement levels in the green foliage and the amount of leaf fall is evident (Table 5). The highest leaf fall occurs in the Manaus várzea forest sensu Prance (1979) whose foliage presents a total bioelement concentration equal to 6.2%. The lo-

west leaf fall occurs in the mixed terra firme forest at San Carlos de Rio Negro/Venezuela with a total foliar bioelement concentration of 2.4% or less than half the total concentration of the várzea foliage.

Converting the leaf fall amount to productivity ($= 3 \times \text{leaf fall, t/ha/yr.}$, Murphy 1975) the forest at San Carlos with the lo-

TABLE 4. Hydrochemical and foliar chemical data (Ca %, Mg%, K%, Na %) in selected neotropical areas

Forest	sum (Ca+Mg+K+Na), ppm	%			
		Ca	Mg	K	Na
<u>Panama</u>					
<u>Terra firme forest/Vertisols</u>					
River water 1)	103.86	63.1	9.7	4.3	22.9
Foliage 1)	41000	55.9	6.3	37.3	0.5
<u>Brazil 1</u>					
<u>Várzea forest/Eutric Fluvisols</u>					
River water 2)	11.5	52.4	10.9	36.1	0.5
Foliage 3)	36501	62.6	9.6	7.8	20.0
<u>Venezuela</u>					
<u>Tall Caatinga/Spodosols</u>					
River water 4)	0.592	13.3	3.4	41.2	42.1
Foliage 5)	14670	36.0	24.3	39.7	-
<u>Brazil 2</u>					
<u>Terra firme forest/Latosol</u>					
River water 2)	0.441	8.6	8.4	34.0	49.0
Foliage 6)	13298	32.0	21.8	37.5	8.6
<u>Brazil 3</u>					
<u>Igapó forest/Dystric Fluvisols</u>					
River water 2)	1.03	20.4	10.7	32.0	36.9
Foliage 3)	10298	24.3	11.8	61.4	2.4
<u>World average freshwater 7)</u>	27.7	54.2	14.8	8.3	22.7

Sources see Table 3

TABLE 5. Bioelement concentration in the green foliage of selected Amazon forest, in relation to leaf fall and productivity.

Forest	Foliar bioelement concentration		Dry leaf fall t/ha/yr.	Productivity = 3 x leaf fall t/ha/yr.
	Total %	P+K+Ca+Mg+Na ppm		
Mixed terra firme forest, San Carlos de Rio Negro ¹⁾	2.43	6515	5.8	17.4
Mixed terra firme forest, Manaus ²⁾	3.22	13836	6.0 ⁵	18.0
Mixed várzea forest, Lower Solimões ³⁾	6.41	38256	11.0	33.0

1) Golley et al. 1980b; 2) Klinge 1976, Golley et al. 1980a; 3) Klinge et al. 1983; 4) Franken et al. 1980. Statistical significance see Table 2.

west total foliar bioelement concentration is characterized by an annual production equal to 53% of the production of the Brazilian várzea forest with the highest total foliar bioelement concentration. It is interesting to note that the Manaus mixed terra firme forest with a rather low total foliar bioelement concentration (3.2%) presents an annual production equal to 55% of the várzea forest, i.e., the productivity of both mixed terra firme forest is very similar. The productivity of both Manaus forests is not indicative of mixed terra firme forests and várzea forest in general. The productivity of mixed terra firme forest near Belém was 24 t/ha/yr. and in an immediately neighbored várzea forest productivity was 1.5 t/ha/yr. less (Klinge, 1977). Silva & Lobo (1982) obtained for the same forest types an about 20% lower leaf fall, in a different

year. The Igapó forest sensu Prance (1979) of the lower Rio Negro has a productivity rather similar to the productivity of the mixed terra firme forests at Manaus and San Carlos (Adis et al., 1979; Imler 1982).

A positive correlation between the bioelement content of the leaf fall of neotropical forests and their leaf fall amounts was already reported by Franken et al. (1980).

Biomass, bole volume and bioelements in the biomass

For several of the before-mentioned forests also biomass data exist (Cannell, 1982). They are, together with available data for basal area and bole volume, tabulated in Table 6.

TABLE 6. Biomass, basal area, bole volume and bioelements immobilized in biomass of neotropical forest

Locality		Dry above ground biomass, t/ha	Dry root biomass, % above ground biomass	Basal area, m ² /ha	Bole volume, cm dbh	m ³ /ha	Bioelements immobilized in above ground biomass, %
<u>Terra firme forests</u>							
Guyane	1)	590	n.d.	n.d.		n.d.	n.d.
Kabo/Surinam	2)	415	15.7	42.8		n.d.	1.4
Manaus/Brazil	3)	406	16.5	30.7	≥ 15	385	1.1
San Carlos/Venezuela							
Mixed forest	4)	335	16.4	34.3		n.d.	0.7
Panama	5)	316	3.5	45.3		n.d.	2.3
San Carlos/Venezuela							
Tall Caatinga	6)	277	48.7	36.9	≥ 10	269 + 651	0.4
Tocantins valley/Brazil		407	n.d.	60.8	≥ 9.5	761	n.d.
"		139	n.d.	23.5	≥ 9.5	229	n.d.
"		134	n.d.	25.3	≥ 9.5	253	n.d.
"		87	n.d.	19.8	≥ 9.5	194	n.d.
San Carlos/Venezuela							
Low Bana		38	193.2	15.5	≥ 5	11	0.02
<u>Forest on geochemically rich floodplain</u>							
Caparo/Venezuela	7)	402	3.6 - 4.6	28		n.d.	1.9
Marchantaria 1/Brazil		258	n.d.	95.2	≥ 10	1036	2.0
Marchantaria 2/Brazil		98	n.d.	36.8	≥ 10	180	2.1

Sources: 1) Lescure et al. 1983; 2) Ohler 1980; 3) Klinge et al. 1975; 4) Jordan & Uhl 1978; 5) Golley et al. 1975; 6) Klinge & Herrera 1983; 7) Hase & Förster 1982.

A high variability of the data is observed. It is partly due to differences in the methods applied to estimating roots, basal area and bole volume.

Because of the incompleteness of data in Table 6 (just above ground biomass values exist for all localities), an exhaustive discussion of the relationships between biomass, bole volume, basal area, and nutrient content of the biomass cannot be attempted. Some general remarks, however, may be made.

The ratio of 4:1 of the biomass studies in terra firme and inundation areas is representative of the strong neglect of Amazon inundation forests in the past (Klinge, 1983a, 1983b, for várzea in general see Junk 1989a; 1980b; 1982; 1983).

That biomass as such is not indicative of site quality nor productivity (Medina & Klinge, 1983) is demonstrated by the examples from Panama (316 t/ha biomass, $3 \times 10.5 = 31.5$ t/ha/yr. productivity, Golley et al., 1975) and Manaus (90 t/ha more biomass, but 13.5 t/ha/yr. less productivity, Franken et al., 1980).

The high variability of above ground biomass in terra firme forests (286 t/ha. $\pm 59.1\%$ corresponding to a basal area of $33.5 \text{ m}^2/\text{ha} \pm 40.6\%$) and in forests on geochemically rich flood plains inclusively várzea forests (253 t/ha $\pm 60.1\%$ biomass, $53.3 \text{ m}^2/\text{ha} \pm 68.5\%$ basal area) sheds light on the problem of precisely predicting the biomass content of forests in the Amazon basin.

Species composition, stand height, and plot size — among others — are also involved in the variability of above ground biomass. The low biomass values of 40 t/ha (bana) and 98 t/ha (Marchantaria 2) represent vegetation of low stature. The Marchantaria 2 forest is, in addition, dominated by imbaúba (*Cecropia latiloba*) in the main canopy, while in the lower canopy catoré (*Crataeva benthamii*) is dominant. The near average biomass of the Tall Caatinga is represented by a medium tall stand dominated by cunuri (*Micrandra sprucea-*

na) and yaguácana (*Eperua leucantha*) (Klinge & Herrera 1983). The data of the mixed terra firme forest in the Tocantins valley were derived from destructive sampling in 625 m^2 plots located on top of low hills. They demonstrate that over a relative short distance the biomass structure of the forest may vary by 470%. A short distance variability of the biomass structure was also observed in the Tall Caatinga. The percentage standard deviation of above ground biomass was there 61% and the one of root biomass was 59% ($n = 13$, Klinge & Herrera 1983).

The root weight percentage seems to vary little (15-17%) in mixed terra firme forests (Kabo/Surinam, Manaus, San Carlos de Rio Negro). The much lower values of the forests in Panama and Venezuela (Caparo) are most probably due to imperfect root sampling. The extraordinarily high root percentage of the vegetation on Spodosols at San Carlos de Rio Negro (Tall Caatinga, bana) is interpreted as indicative of the low nutrient status of the soils. Waterlogging alternating with drought are also involved. Whether the root percentage of inundation forests is generally different from terra firme forest remains to be studied.

The amount of bioelements in the biomass, expressed as weight percent, varies from 1.1 to 1.9% for biomass amounts around 400 t/ha. It is 0.4 to 2.3% for biomass amounts of 300 t/ha and 0.02 to 2.1% for biomass amounts below 100 t/ha. The bioelement percentage seems to be higher ($> 1.9\%$) in forests growing in geochemically rich areas (floodplains, volcanic Centralamerican lowlands), is 1.0 to 1.5% in mixed terra firme forests (Kabo, Manaus), and is below 1% in the San Carlos de Rio Negro area.

Corrêa & Corrêa (1979) reported an average standing bole volume of Amazon terra firme forests equal to $178 \text{ m}^3/\text{ha}$ and for várzea forests an amount of $90 \text{ m}^3/\text{ha}$. The percentage of commercial wood (dbh > 45 cm) was estimated by them as $60 \text{ m}^3/\text{ha}$ in terra firme forests and as $30 \text{ m}^3/\text{ha}$ in várzea forests. The respective ave-

range of the data in Table 6 plus additional values for the Jari terra firme forest (356 m³/ha, Pires 1978) and for a forest of the Guamá várzea (236 m³/ha, 88% > 30 cm dbh, Pires & Khoury 1959) are 307 ± 166 m³/ha for the terra firme and 485 ± 480 m³/ha for the várzea forest. For the terra firme forest of the vicinity of Manaus exist five different bole volume values (Table 7). Their average is 266 ± 157 m³/ha. The mean of all terra firme forests in Tables 6 and 7 is 308.2 ± 184.1 m³/ha. It contrasts strongly to the Corrêa & Corrêa estimate of 180 m³/ha. The reason (s) of this big difference is obscure.

The estimate of the mean bole volume of várzea forests by these authors equals exactly the bole volume of the Marchantaria 2 forest in Table 6. As mentioned before, that stand was composed by imbaúba and catoré and is not representative for the várzea forest area of the lower Solimões. The study of a 2 km long line transect through the Marchantaria forest confirms that the Marchantaria 2 stand by no means is representative of the várzea forest of the lower Solimões. Therefore, the average bole volume of the várzea forest given by Corrêa & Corrêa is considered to be an underestimate.

TABLE 7. Bole volume of the Manaus terra firme forest

Bole volume, m ³ /ha	Plot size, ha	Tree density (n/ha) and bole volume fraction (m ³ /ha)			Source
		dbh, cm	n/ha	y/ha	
<u>Manaus terra firme forest</u>					
468.7	1	< 28	653	158.4	Lechtaler 1956
		28 - 56	80	206.3	
		> 58	12	104.0	
385.3	0.2	> 15	400	385.3	Klinge et al. 1975
		> 28		78.9	
230.0	1	5 - 25	216	60.6	Prance et al. 1976
		25 - 44	104	81.7	
		> 44	34	87.7	
142.3	9	> 15	250	142.3	Soares et al. cited by Aubreville 1961
	36	> 25	118	76.2	
102.3	27	25 - 44	83	no	Rodrigues 1967
		> 44	20	data	

CONCLUSIONS

Foliar analysis is not only a tool of plant studies, but is also widely applied for the evaluation of the chemical soil quality (Medina 1984). Regarding the Amazon várzea soils the observed high foliar concentrations of várzea trees qualify the várzea soils as rich chemically. This opinion is supported by relatively high percentages of P (0.75%),

K (7.49%) and Ca (11.92%) in the wood-ashes of species from Guamá várzea (Lima 1956). These percentages agree rather well with the percentages we obtained for woody species from the lower Solimões várzea (0.58% P, 16.22% K, 14.43% Ca, 2.84% Mg, 0.68% Na). Acc. to Lima the percentages given by him correspond to a fertilizer application of 1.8 t/ha K as KCl, 2.0 t/ha Ca as CaCO₃ and 0.2 t/ha as triple superphosphate.

The conclusion of good chemical soil quality of the várzea occupying 0.9% of the entire Amazon region (Pires, 1973) is based on few facts. Just two stands were analyzed and their species number represents not more than 16% of the estimated total woody flora of the lower Solimões (Revilla, pers. comm. 1984). Because of the assumed good chemical quality of várzea soils they should be qualified for agricultural utilization. Large scale conversion of várzea forest to crop land, however, would have severe implications for both the fish fauna of the várzea and the people of the region, for which fish protein is an important part of the diet (Junk, 1984b). The implication for the fish fauna consists in that large scale destruction of várzea forest will deprive those fish species feeding on fruits of the forest trees (Gottsberger, 1978; Goulding 1980) of their food basis, and fishes in general of their shelter.

The contrast of high foliar bioelement concentrations of várzea woody species and much lower concentrations of foliar bioelements among woody species of both terra-firme and igapó forests finds its parallel in the chemical qualities of Amazonian freshwaters. The majority of freshwaters is poor chemically. Chemically rich freshwaters are infrequent and are represented by whitewater rivers like the Madeira and the Solimões/Amazonas. Chemically rich foliage and freshwaters at one hand and chemically poor foliage and freshwaters at the other hand occupy the extremes of a geochemical gradient. This gradient is also represented by different nutrient cycling strategies (Jordan & Herrera, 1981).

As far as the biomass structure of Amazon forests is concerned the geochemical gradient is represented by ecosystems of different productivity. High productivity seems to be coupled to elevated bioelement levels of the biomass (várzea forest) and low productivity to low bioelement levels (igapó forest). An intermediate position of the geochemical gra-

dient is occupied by the terra firme forests. This hydrologically defined diverse group of tropical rainforests embraces communities growing on extremely nutrient-poor soils classified as Arenosols and Spodosols as well as communities growing on mostly nutrient-poor, heavier textured soils. While the latter communities are characterized by a relatively high productivity, the former ones are low productive. Regarding both the diversity of Amazon forests and the area covered by them the number of chemical forest studies is very limited. Accordingly, the given characterization of Amazon forests based on bioelements should be considered as tentative.

Recommendations for future research

It is required, if not to say urgently needed, to intensify research about Amazon forests. Undoubtedly a prerequisite of this is the preservation of large tracts of representative forest with the many, many thousands of plant and animal species. The preservation of the forest is not only required for research about the forest as an ecological system, but also for the study of the genetic resources it contains.

Another subject of future research is the evaluation of the immense species richness for the usefulness of particular species for technical, medicinal and another specific purposes.

Deforestation in the tropics is alarming (National Academy of Sciences 1980a, 1980b), partly because of the equally alarming rapid growth of human populations in tropical countries. Conversion of tropical forest land to farm land, and to a series of other purposes will probably continue. But if destruction of forest in a particular area cannot be avoided, the planners of conversion should include in time-tables and budgets the possibility of inventories of biomass structure, bioelements and fauna. The informations these inventories may generate are so much needed to increase the knowledge

about the forests, their structures and their functions. Regarding specifically forest biomass inventories they will yield the information required to improve available estimates of forest biomass in Amazonia and elsewhere in the tropics (Brow & Lugo, 1984). The inventories, however, not solely should be carried out, the results should also be made available to the scientific community. In addition, I advocate the publication of any forest-related informations that might exist in files of institutions and individuals alike.

About 30 years after Transley coined the term ecosystem, ecosystem research has become a reality. Relevant studies, however, are few. In the tropical world, some were carried out under the auspices of the IBP, others under those of MAB. Regarding tropical South American forests, the ecosystem approach has been applied to forests at San Carlos de Rio Negro/Venezuela and at Manaus/Brazil. One of the major achievements of the San Carlos project is the establishment of nutrient conserving mechanisms (Herrera et al., 1984). These mechanisms are much helpful in understanding how the forest may exist with much less tight bounds to the soil than elsewhere. The diversity of tropical Southamerican forests, however, is much greater. To mention just some forest ecosystem wich merit a comprehensive study reference is made to the dry forests, the deciduos forests, the montane forests, the inundation forests, and the lowland forests on geochemically richer parent material than at San Carlos de Rio Negro and at Manaus.

Concerning eco-physiological and biological research needs related to forest, a team of highly qualified experts (National Academy of Sciences 1980b) has described much better than I can, an array of research priorities. From my personal point of view bioelement uptake by forest plants and bioelement utilization for growth, reproduction and cycling (Golley 1981) is a research area of top priority. In-

formation of this kind does not only serve a better academic understanding of plant performance, but also a proper forest management. Another area of top priority is the search for specific adaptations to particular environments. Concerning the Amazon inundations forests specific adaptations of inundation forest plant species to flooding were recently described by Fur (1984) and Worbes (1984).

Final remarks

Recognizing that at best we are in an initial stage of the study of Amazon Forest ecology, particularly as far as bioelements are concerned, and recognizing that much is left to be explored in the future, nevertheless a view of the ecological structure of Amazon forest is emerging. Individual scientists and research teams have contributed. This emerging view also sheds some light on the ecological structures of the Amazon region as megaecosystem. This is documented by Harald Sioli's recently edited book "The Amazon" (Sioli, 1984).

Acknowledgements

I am very grateful to Dr. K. Furch (Max-Planck-Institute, Plön) for valuable suggestions and discussions. I am very grateful also to my colleagues in South America, specifically in Brazil and Venezuela, for their friendship and hospitality and co-operation. The skilled technical assistance of B. Albrecht, J. Dieterich, E. Harms and D. Lemcke (Max-Planck-Institute, Plön) and of numerous field assistants in South America is hereby acknowledged.

REFERENCES

- ADIS, J.; FURCH, K. & IRMLER, U. Litter production of a Central-Amazonian black-water inundation forest. *Trop. Ecol.* 20:236-45, 1979.

- AUBREVILLE, A. *Étude écologique des principales formations végétales du Brésil et contribution à la connaissance des forêts de l'Amazonie brésilienne*. Nogent-sur-Marne, Centre Technique Forestier, 1961.
- BROWN, S. & LUGO, A.E. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes. *Science*, 223:1290-3, 1984.
- CANNELL, M.G.R. *World forest biomass and primary production data*. London, Academic, 1982.
- CORRÊA, A. de A. & CORRÊA, C.M. Floresta — utilização de produtos de madeira. *Acta Amaz.*, 9:155-64, 1979, Suplemento.
- DUCKE, A. & BLACK, G.A. Phytogeographical notes on the Brazilian Amazon. *An. Acad. bras. ciências*, 25:1-46, 1953.
- FITTKAU, E.J. Ökologische Gliederung des Amazonas-Gebietes auf geochemischer Grundlage. *Münster. Forsch. Geol. Palaöntol.*, 20/21:35-50, 1971.
- FITTKAU, E.J. Zur ökologischen Gliederung Amazonies. I. *Amazoniana*, 5:77-134, 1974.
- FÖLSTER, H.; SALAS, LAS G. & KHANNA, P. A tropical evergreen forest site with perched water table, Magdalena Valley, Colombia. *Oecol. Plant.*, 11:297-320, 1976.
- FRANKEN, M.; IRMLER, U. & KLINGE, H. Litter fall in inundation, riverine and terra firme forests of Central Amazonia, Brazil. *Trop. Ecol.* 20:225-35, 1980.
- FURCH, B. Investigations concerning the inundation tolerance of trees in the várzea and the igapó. *Biogeographica*, 19:77-83, 1984.
- FURCH, K. Haupt- und Spurenmetallgehalte zentralamazonischer Gewässertypen. *Biogeographica*, 7:27-43, 1976.
- FURCH, K. Water chemistry of the Amazon basin: The distribution of chemical elements among freshwaters. In: SIOLI, H. ed. *The Amazon*, s.l/s.ed, 1984a. p.167-99 (Monographiae biol. 56).
- FURCH, K. *Hydrogeochemie amazonischer Fließgewässer (Transamazônica)*. Geowiss. Lateinamerika-Kolloquium, Marburg, 1984b.
- FURCH, K.; JUNK, W.J. & KLINGE, H. Unusual chemistry of natural waters from the Amazon region. *Acta cient. venez.* 33:269-73, 1982.
- FURCH, K. & KLINGE, H. Towards a regional characterization of the biogeochemistry of alkali and alkali-earth metals in Northern South America. *Acta cient. venez.*, 29:434-44, 1978.
- GOLLEY, F.B. Ten years of MAB: establishing the balance sheet. *Nature & Resources*, 17:3-6, 1981.
- GOLLEY, F.B.; YANTKO, J.; RICHARDSON, Th. & KLINGE, H. Biogeochemistry of tropical forests. 1. *Trop. Ecol.* 21:59-70, 1980a.
- GOLLEY, F.B.; MCGINNIS, J.T.; CLEMENTS, R.G.; CHILD, G.I. & DUEVER, N.J. *Mineral cycling in a Tropical Moist Forest ecosystems*. Athens, Univ. of Georgia, 1975.
- GOLLEY, F.B.; YANTKO, J. & JORDAN, C. Biogeochemistry of tropical forest. 2. *Trop. Ecol.*, 21:71-80, 1980b.
- GOTTSBERGER, G. Seed dispersal by fish in the inundated regions of Humaitá, Amazonia. *Biotropica*, 10:170-83, 1978.
- GOULDING, M. *The fishes and the forest: explorations in Amazonian Natural History*. Berkeley, University of Berkeley, 1980.
- HASE, H. & FÖLSTER, H. Bioelement inventory of a tropical (semi-) evergreen seasonal forest on eutrophic alluvial soils, Western Llanos, Venezuela. *Acta oecol. Oecol. Plant.*, 3:331-46, 1982.
- HERRERA, R. *Nutrient distribution and cycling in Amazon Caatinga forest on Spodosols in southern Venezuela*. Reading, University, 1979.
- HERRERA, R.; MEDINA, E.; KLINGE, H.; JORDAN, C. F. & UHL, C. Nutrient retention mechanisms in tropical forests: the Amazon Caatinga, San Carlos Pilot Project, Venezuela. In: DI CASTRI, F.; BAKER, F. W; G. & HADLEY, M. eds. *Ecology in practice*. I. Dublin/Paris, Tycooly Int/Unesco, 1984.
- HUECK, K. *Die Wälder Südamerikas*. Stuttgart, Fischer, 1966.
- *INSTITUTO DE PESQUISAS E EXPERIMENTAÇÃO AGROPECUÁRIAS DO NORTE, Belém, PA. *Os solos da área Manaus-Itacoatiara*, Belém, Secretaria de Produção do Amazonas, 1969. 117p.

- IRMLER, U. Litterfall and nitrogen turnover in an Amazonian blackwater inundation forest. **Plant & Soil**, 67:355-8, 1982.
- JORDAN, C.F. & HERRERA, R. Tropical rain forests: are nutrients really critical? **Nature & Resources**, 17:7-13, 1981.
- JORDAN, C.F. & UHL, C. Biomass of a "terra firme" forest of the Amazon basin. **Oecol. Plant.** 12:387-400, 1978.
- JUNK, W.J. Areas inundáveis — um desafio para limnologia. **Acta Amaz.**, 10:775-95, 1980a.
- JUNK, W.J. Die Bedeutung der Wasserstandsschwankungen für die Ökologie von Überschwemmungs gebieten, dargestellt an der Várzea des mittleren Amazonas. **Amazoniana**, 7:19-29, 1980b.
- JUNK, W.J. Amazonian floodplains: Their ecology, present and potential use. **R. Hydrobiol. Trop.**, 15:285-301, 1982.
- JUNK, W.J. Ecology of swamps on the Middle Amazon. In: GORE, A.J.P. ed. **Mires: Swamp, Bog, Fen and Moor. Ecosystems of the world**, Amsterdam, Elsevier, 1983. p. 269-94.
- JUNK, W.J. Ecology of the várzea, floodplain of Amazon white water rivers. In: SIOLLI, H. ed. **The Amazon**, s.l., s.ed., 1984a. p.215-43.
- JUNK, W.J. Ecology of the várzea, floodplain of Amazon white water rivers. In: SIOLLI, H. ed. **The Amazon**. s.l., s.ed., 1984a. p.215-43.
- JUNK, W.J. Ecology, fisheries and fish culture in Amazonia. In: SIOLLI, H. ed. **The Amazon**. s.l./s.ed/1984b. p.443-76.
- JUNK, W.J. & FURCH, K. Química da água e macrófitas aquáticas de rios e igarapés na Bacia Amazônica e nas áreas adjacentes. **Acta Amazon.**, 10:611-33, 1980.
- KLINGE, H. Bilanzierung von Hauptnährstoffen im Ökosystem tropischer Regewald (Manaus) — vorläufige Daten. **Biogeographica**, 7:59-77, 1976.
- KLINGE, H. Fine litter production and nutrients return to the soil in three natural forest stands of eastern Amazonia. **Geo-Eco-Trop**, 1:159-67, 1977.
- KLINGE, H. Wälder und Waldökosysteme Amazoniens. **Spixiana**, P.87-101, 1983a, Supplement, 9.
- KLINGE, H. Forest structures in Amazonia. **The environmentalist**, 3:13-23, 1983b, Supplement 5.
- KLINGE, H.; FURCH, K.; HARMS, E. & REVILLA, J. Foliar nutrient levels of native tree species from Central Amazonia. 1. **Amazoniana**, 8:19-45, 1983.
- KLINGE, H. & HERRERA, R. Phytomass structure of natural plant communities on spodosols in southern Venezuela. 1. **Amazoniana**, 8:19-45, 1983.
- KLINGE, H. RODRIGUES, W.A.; BRONIG, E. & FITTKAU, E.J. Biomass and structure in a Central Amazonian rain forest. In: GOLLEY, F.B. & MEDINA, E., eds. **Tropical ecological systems**. New York, Springer, 1975. p.115-22.
- LECHTHALER, E. Inventário das árvores de um hectare de terra firme perto da zona Reserva Florestal Ducke, Município de Manaus. Rio de Janeiro, CNPq, 1956.
- LESCURE, J.P.; PUIG, H.; RIEREA, B.; LEClerc, D.; BEEKMAN, A. & BENATAU, A. La phytomassa épigée d'une forêt dense en Guyane française. **Acta Oecol. Oecol. Gerner.**, 4:237-51, 1983.
- LISBOA, P.L. Estudos sobre a vegetação das campinas amazônicas. **Acta Amaz.**, 5:211-23, 1975.
- LIMA, R.R. A agricultura nas várzeas do estuário do Amazonas. Belém, IAN, 1956. 164p. (IAN. Boletim Técnico, 33).
- LEVINGSTONE, D.A. In: FLEISCHER, M. Data of geochemistry. **U.S.Geol. Surv. Prof. Pap.** 440 G:1-64, 1963.
- MEDINA, E. Nutrient balance and physiological processes at the leaf level. In: MEDINA, E.; MOONEY, H.A. & VASQUEZ-YANES, C. eds. **Physiological ecology of plants of the wet tropics**. The Hague, Junk, 1984.
- MEDINA, E. & KLINGE, H. Productivity of tropical forests and tropical woodlands. In: LANGE, O.L.; NOBEL, P.S.; OSMOND, C.B. & ZIEGLER, H. eds. **Encyclopedia of plant physiology**, N.S., 12 D:281-303, 1983.
- MURPHY, P.G. Primary Productivity in tropical terrestrial ecosystems. In: LIETH, H. & WHITTAKER, R.H. eds. **Primary Productivity of the biosphere**. s.l., s.ed., 1975. p.217-31. (Ecological Studies, 14).

- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, Washington, EUA. **Conversion of Tropical Moist forest.** Washington, 1980a.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, Washington, EUA. **Research priorities in tropical biology.** Washington, 1980b.
- OHLE, F.M.J. Phytomass and mineral content in untouched forest. **CELOS rapportem**, 132:1-43, 1980.
- PIRES, J.M. **Tipos de vegetação da Amazônia.** Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi, 1973. (Museu Paraense Emílio Goeldi. Publicação Avulsa, 20).
- PIRES, J.M. The forest ecosystems of the Brazilian Amazon: description, functioning and research needs. In: UNESCO, Paris, França. **Tropical forest ecosystems.** Paris, UNEP/FAO, 1978. p.607-27.
- PIRES, J.M. The Amazonian forest. In: SIOLI, H. ed. **The Amazon.** s.l., s.ed., 1984. p.581-602. (Monographiae Biol. 56).
- PIRES, J.M. & KOURY, H.M. **Estudo de um trecho de mata de várzea próximo a Belém.** Belém, IAN, 1959. p.3-44. (IAN. Boletim Técnico 36).
- PRANCE, G.T. Notes on the vegetation of Amazonia. III. **Brittonia**, 31:26-38, 1979.
- PRANCE, G.T.; RODRIGUES, W.A. & SILVA, M.F. da Inventário florestal de um hectare de mata de terra firme km 30 da estrada Manaus-Itacoatiara. **Acta Amaz.**, 5:9-35, 1976.
- PUTZER, H. The geological evolution of the Amazon basin and its mineral resources. In: SIOLI, H. ed. **The Amazon.** s.l., s.ed., 1984. p.15-46. (Monographiae Biol., 56).
- REVILLA, J.D. **Aspectos florísticos e fitosociológicos da floresta inundável (igapó) Praia Grande, Rio Negro, Amazonas, Brazil.** Manaus, INPA, 1981. Tese.
- RICHARDS, P.W. **The tropical rain forest - an ecological study.** Cambridge, University of Cambridge, 1957.
- RODRIGUES, W.A. Inventário florestal piloto ao longo da Estrada Manaus-Itacoatiara, Estado do Amazonas: dados preliminares. In: SIMPÓSIO SOBRE A BIOTA AMAZÔNICA. Belém, 1966. **Atas...** Rio de Janeiro, CNPq, 1967, v.7., p.257-67.
- SILVA, M.F.F. da & LOBO, da G.A. **Nota sobre deposição de matéria orgânica em floresta de terra firme, várzea e igapó.** Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi, 1982. 13p. (Museu Paraense Emílio Goeldi. Boletim. Botânica. Nova Série, 56).
- SIOLI, H. Das Wasser im Amazonasgebiet. **Forschungen & Fortschritte**, 21/22:274-80, 1950.
- SIOLI, H. ed. **The Amazon. Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin.** Dordrecht, Junk, 1984, (Monographie Biol., 56).
- SOMBROEK, W.G. Soils of the Amazon region. In: SIOLI, H. ed. **The Amazon.** Dordrecht, Junk, 1984. p.521-32. (Monographiae Biol., 56).
- WORBES, M. Periodische Zuwachszonen an Bäumen zentralamazonischer Überschwemmungswälder. **Naturwissenschaften**, 71:157, 1984.

MODELOS DE LOS ELEMENTOS NUTRITIVOS EN SISTEMAS DE PRODUCCION AGROFORESTALES DEL TRÓPICO HÚMEDO

H. W. Fassbender¹, J. Heuveldop², G. Enriquez²
L. Alpizar³ y H. Fölster³

RESUMEN: El modelaje de sistemas de producción agrícolas se basa en la aplicación del análisis de sistemas. Para ello es necesario definir los componentes y sus límites, fuentes de ganancias y pérdidas y analizar las interacciones. En sistemas agroforestales definidos como sistemas de producción en base a árboles asociados con cultivos y/o pasto, los aspectos son múltiples por la diversidad de posibilidades. Se dan ejemplos de especies encontradas en sistemas agroforestales del trópico húmedo, especialmente en América Latina. Los resultados obtenidos en asociaciones de cacao con árboles de sombra y maderables en Costa Rica, Venezuela y Brasil son la base de modelos de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio. Los modelos presentados en forma gráfica se discuten ampliamente.

Termos para indexación: Sistemas de producción, trópico húmedo, cacao, café, cultivos permanentes, árboles de sombra, materia orgánica, humus, nitrógeno, fósforo, potasio, ciclos, modelos.

MODELS FOR NUTRIENTS IN AGROFORESTRY SYSTEMS OF THE HUMID TROPICS

ABSTRACT: Modelling organic matter and nutrients in agroforestry systems can be approached with system analysis. Therefore, it is necessary to define the components of the system, their limits, their inputs and outputs as well their interactions. This task is complicated due to the complexity of agroforestry systems, considered as combinations of trees with agricultural crops and/or pastures. Some of the agroforestry systems analysed in the humid tropics, specially in Latin America, are described considering their advantages and disadvantages. Models for organic matter and nutrients are presented for association of cacao with shade and maderable trees based on results of research in Costa Rica, Venezuela and Brazil. The distribution of organic matter and nutrients was determined for leaves, branches, stems and roots of each species. Similar analysis was made for the litter layer and mineral soil. As transport processes are considered tree growth, production of natural litter, production of pruning materials, decomposition of litter as well as input with rainfall and fertilization and N fixation and outputs with harvest. Models for organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium are graphically presented and discussed.

Index terms: Production systems, humid tropics, cacao, coffee, permanent crops, shade trees, organic matter, humus, nitrogen, phosphorus, potassium, cycles, models.

¹Facultad Técnica Forestal. Gotinga. Rep. Federal de Alemania.

²Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica.

³Facultad de Ciencias Forestales. Gotinga, Rep. Federal de Alemania.

EL MODELAJE DE SISTEMAS DE PRODUCCION

Las técnicas de modelado constituyen una valiosa herramienta en la investigación de sistemas, dado que permiten formular las relaciones entre los componentes de un modo inequívoco, tal como fue interpretado por el investigador; destacan los aspectos sobresalientes, y permiten identificar aquellos que son suficientemente conocidos, separándolos de otros con conocimientos insuficientes.

La técnica de modelación tiene una secuencia de etapas precisas, que comienza con la "identificación del sistema", en esta se establecen claramente los componentes y procesos involucrados y cuya importancia amerita su inclusión en el modelo. Sobre esta base se "formulará el modelo", el cual podrá adoptar la forma de diagrama de flujo. La tercera etapa consiste en la toma de mediciones de cada componente, lo cual permitirá elaborar un modelo cuantitativo y posteriormente uno matemático. La última etapa de "validación del modelo", consiste en comparar los valores del sistema real, con los predichos por el modelo matemático y realizar, si fuese necesario, los ajustes e las ecuaciones propuestas (Hart 1980, Odum 1983, Fassbender 1984).

Existen diversos tipos de modelos. La forma más elemental es el denominado "modelo verbal" y consiste en una descripción con palabras del sistema en estudio en el que se deben establecer los componentes, el tipo de interacciones, los límites del sistema, sus entradas y sus salidas. Una descripción mediante bloques que representan los componentes del sistema y flechas que indican el sentido de las interacciones, da lugar al modelo de comportamientos llamado "diagrama de flujos". El "modelo matemático" es aquel en que los flujos están representados por ecuaciones que permiten predecir la magnitud de los componentes en un tiempo dado.

Los ecosistemas y los sistemas de producción son la base unitaria de estructura y funcionamiento de la naturaleza y en el-

los se reconocen los siguientes elementos característicos a considerarse en los modelos (Hart 1980, Odum 1983, Fassbender 1984):

A. Componentes: son bióticos y abióticos, incluyendo los primeros a todos los organismos vivos y los segundos al resto de componentes del ecosistema. Entre los componentes bióticos hay que considerar las especies autótrofas (plantas productoras) y heterótrofas (animales y plantas consumidoras y descomponedoras).

Entre los componentes abióticos se reconocen los climáticos, fisiográficos, geológicos y edafológicos. Los componentes climáticos son la energía solar (luminica y térmica), el agua (lluvia y humedad relativa), el aire (viento, intercambio de gases). Los componentes fisiográficos (topografía relieve, elevación, exposición pendiente) están ligados a los climáticos.

Los componentes edafológicos y geológicos definen las características físicas del suelo (su granulometría y retención de agua), las químicas (pH, materia orgánica, minerales primarios y secundarios) y los biológicos (riqueza biótica).

B. Entradas: son los aportes físicos, químicos o biológicos que contribuyen a la estructura y funcionamiento del ecosistema. La luz, la precipitación los animales migratorios o el agua de inundaciones pueden considerarse como entradas a los ecosistemas.

C. Salidas: son los productos, desechos o partes del ecosistema que lo abandonan por cualquier vía. La energía térmica que se desprende de los cuerpos calientes, las aves que migran a nuevos sitios, el agua que se pierde por escorrentía o infiltración profunda, el suelo que se pierde por erosión, las cosechas son algunas de las salidas del ecosistema.

D. Límites: en los ecosistemas naturales usualmente son difíciles de establecer a no ser que haya un rasgo ambiental muy definido (un río, un peñasco, etc), sin embargo en el modelo del ecosistema sí pueden aparecer, según sean los intereses del investigador.

E. Interrelaciones: la interdependencia entre los componentes del ecosistema determina sus características. El flujo de energía, el ciclaje de materiales, la descomposición, la sucesión y los mecanismos homeostáticos aparecen entre los más importantes procesos en los ecosistemas.

Estos conceptos son aplicables a todos los ecosistemas y sistemas de producción agrícola, pecuario, forestal o agroforestal. En la Fig. 1 se representa un sistema agroforestal de cacao, con poró como árbol de sombra que aporta nitrógeno y con plátano,

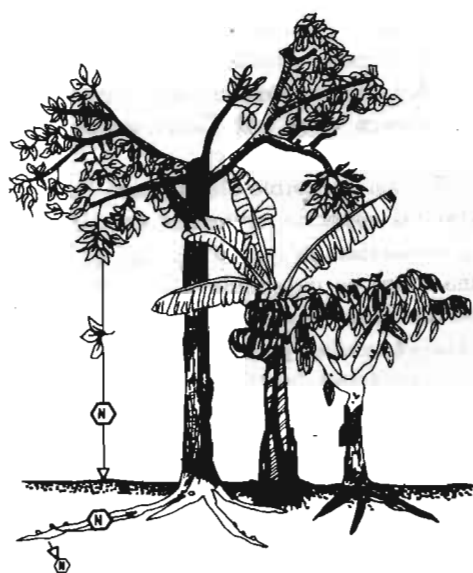
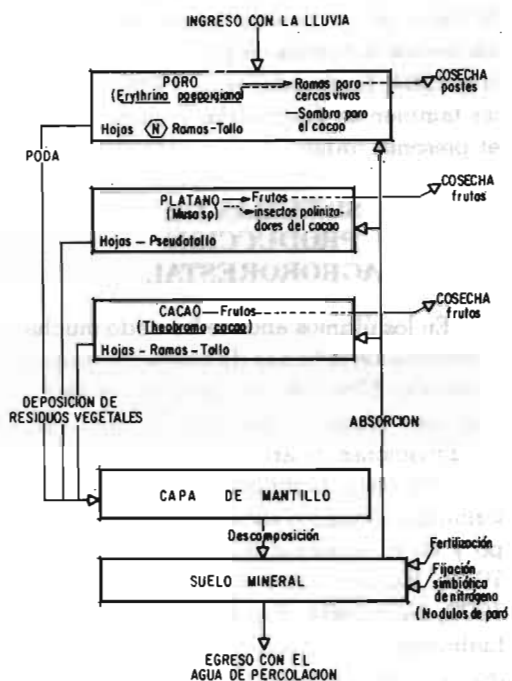


FIG. 1. Sistema de producción agroforestal Cacao-plátano-poró y sumodelo

FIG. 1. Sistema de producción agroforestal Cacao-plátano-poró y sumodelo

Las fuentes de ingreso consideradas son la lluvia con los elementos químicos que ingresan al sistema con el agua. Como fuentes de egreso del sistema se consideran el agua de drenaje con la cual pasan elementos nutritivos a la capa freática del suelo y las cosechas del sistema como frutas y leña. Como fuentes de ingreso se consideran también la fertilización con diferentes elementos nutritivos y la fijación

no, que mantiene poblaciones de insectos útiles, en la polinización del cacao; el modelo muestra los procesos involucrados en el ciclaje de la materia. Los componentes del sistema se agrupan en abióticos como el suelo mineral (con sus diferentes horizontes) y la capa de mantillo (con los restos vegetales en descomposición y los bióticos como las especies involucradas en la producción del sistema (con sus compartimentos: hojas, ramas, tallos, raíces, flores y frutos). A fines de simplificación no se han considerado los componentes bióticos faunísticos.



simbiótica del nitrógeno. Las interacciones que se producen entre los componentes del sistema se expresan con los fenómenos dinámicos de transformación de la materia en el sistema por medio de la deposición de residuos vegetales naturalmente producidos y por el manejo del sistema podando los árboles de sombra. Por medio de la humificación y mineralización pasan componentes orgánicos y minerales la ca-

pa del mantillo al suelo mineral, del cual absorben todos los componentes bióticos las cantidades necesarias de elementos nutritivos.

Modelos de este tipo no han sido por ahora aplicados a sistemas de producción agroforestales. Existen estudios parciales relacionados a la asociación de café con árboles de sombra leguminosos (Aranguren et al. 1982, Goldberg y Jimenez-Ávila 1982) y también para el cacao (Aranguren et al. 1982, Santana y Cabala 1982, 1984, Boyer 1973). En base a estudios completos de sistemas de producción agroforestales en Turrialba, Costa Rica, se han preparado modelos de la materia orgánica y de los elementos nutritivos (Alpizar et al. 1983a, b, c, 1984, Fassbender et al. 1984), los cuales también se describirán y discutirán en el presente trabajo.

SISTEMAS DE PRODUCCION AGROFORESTAL

En los últimos años se ha dado mucha atención a los sistemas de producción agroforestales. Ellos son un conjunto de técnicas de manejo de los suelos con combinaciones de árboles con cultivos, con animales o una combinación de ambos, en forma simultánea o escalonada en el tiempo y en el espacio (Combe & Budowski 1979, Huxley 1983, Mongy & Huxley 1979, Nair 1984, Fassbender 1984). Actualmente se realizan inventarios regionales y continentales de los sistemas agroforestales tradicionales: su distribución depende de las condiciones ecológicas, edáficas y de las costumbres regionales (Taller Sistemas... 1979, FAO 1984). Combe & Budowski (1979) han discutido ampliamente las definiciones y la clasificación de los sistemas de producción de acuerdo a su función y según su distribución en el tiempo y en el espacio. Considerando sus funciones, ellos proponen la siguiente distribución:

- Sistemas silvoagrícolas (agroforestales):
- 1. Agrosilvicultura, 2. Árboles de valor en

los cultivos, 3. Árboles frutales en los cultivos, 4. Árboles productores de sombra en los cultivos, 5. Piscicultura en los bosques de manglar, 6. Cercos vivos. 7. Cortavientos y 8. Árboles sobre bordes de estanques piscícolas.

- Sistemas agrosilvopastoriles:

1. Cultivos y ganadería simultánea en las plantaciones, 2. Árboles asociados a los cultivos y ganadería, 3. Cercos vivos alrededor de comunidades rurales.

- Sistemas silvopastoriles:

1. Pastoreo en plantaciones forestales, 2. Pastoreo en bosques secundarios, 3. Árboles de valor en pastizales, 4. Árboles de aserío en los pastizales, 5. Árboles de sombra en los pastizales, 6. Árboles productores de forraje, 7. Árboles frutales en los pastizales, 8. Cercos vivos y 9. Cortavientos.

Es casi imposible obtener una lista de todas las especies utilizadas en sistemas agroforestales, ya que el número de combinaciones es indefinido. Nair (1980) ha presentado un resumen de las especies agrícolas potenciales y tradicionales en los sistemas agroforestales. Así por ejemplo, en las regiones del trópico húmedo (altura hasta 500 m.s.n.m.) se han encontrado los siguientes cultivos:

ananas (*Ananas comosus*), árbol del pan (*Artocarpus altilis*), cacao (*Theobroma cacao*), caucho (*Hevea brasiliensis*), clavo de olor (*Syzygium aromaticum*), coco (*Cocos nucifera*), curcuma (*Curcuma longa*), jengibre (*Zingiber officinale*), ñame (*Dioscorea spp*), papaya (*Carica papaya*), palma aceitera (*Elaeis guineensis*), palma catecu (*Areca catechu*), pimienta (*Piper nigrum*), taro (*Colocasia spp*) yuquilla (*Maranta arundinacea*).

De acuerdo a la compilación de datos de Combe & Budowski (1979), Peck (1982), Hecht (1982), en el trópico húmedo de América Latina se encuentran además de las especies antes indicadas,

sistemas agroforestales en combinaciones en base a:

arroz (*Oriza sativa*), algodón (*Gossipium* spp), ají (*Capsicum* spp), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), melones (*Cucurbita* spp), ricino (*Ricinus* spp).

Alvim (1982) indica que dentro de los cultivos permanentes para el trópico húmedo - en parte en asociaciones agroforestales - se deben considerar: café (*Coffea* spp), cacao (*Theobroma cacao*) caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), caucho (*Hevea brasiliensis*), palma aceitera (*Elaeis guineensis*), papaya (*Carica papaya*), pimienta (*Piper nigrum*) y otros cultivos nuevos potenciales como: achioté (*Bixa orellana*), buriti (*Mauritia flexuosa*), guaraná (*Paullinia cupana*), nuez de Brasil (*Bertholetia excelsa*) palmito (*Euterpe oleracea*), palo de aceite (*Copaifera* spp), pejívalle (*Guillemia gasipaes*), piquia (*Cariocarpus villosus*), seje (*Jessenia* spp) y sorva (*Couma* spp).

Entre los árboles de sombra de los cultivos y/o mejoradores de la fertilidad de los suelos se encuentran (Combe & Budowski 1979, FAO 1984, Hecht 1982, Peck 1982): *Albizia* spp, *Cajanus cajan*, *Cassia* spp, *Desmatus virgatus*, *Enterolobium schomerkii*, *Erythrina* spp, *Gliricidia* spp, *Inga* spp, *Leucaena* spp, *Parkia* spp, *Pithecolobium saman*, *Prosopis* spp, *Sesbania grandiflora*.

Las especies maderables más frecuentemente citadas (Peck 1982, Hecht 1982, Valencia 1982, Combe & Budowski 1979, FAO 1984) son:

Alnus spp, *Brossium* spp, *Carapa* spp, *Cedrella* spp, *Cordia alliodora*, *Eucalyptus* spp, *Genipa* spp, *Grevilea* spp, *Jacaranda* spp, *Juglans* spp, *Pinus* spp, *Swietenia* spp, *Terminalia* spp, *Virola* spp.

La distribución de las especies de cultivos y arbóreas en una región es muy específica; las especies arbóreas en sistemas agroforestales de Acosta y Puriscal en Costa Rica es múltiple (Heuvelodop & Espinoza

1983). Sólo en raras ocasiones cumplen las especies arbóreas con la sola función de generar sombra, generalmente se observa un uso múltiple de las especies de sombra. Dos de las funciones más importantes de los árboles de sombra son la producción de fruta y leña. Aquí se encuentran en primer lugar los cítricos (*C. sinensis*, *C. aurantifolia*, *C. grandis*, etc.), *Mangifera indica*, *Persea americana* y *Spondias purpurea*.

Los diferentes tipos de *Inga* spp son un caso especial, ya que aquí el énfasis está puesto en su función de producir sombra; sin embargo, constituyen una de las fuentes más importantes de leña para el pequeño agricultor. No en último lugar se encuentra su función de fijar nitrógeno, la cual es desconocida por muchos agricultores. *Erythrina* spp es quizás la única especie que no genera productos adicionales (aún cuando algunos agricultores la usan ocasionalmente como leña en los trapiches) y que cumple básicamente la función de generar sombra y mejorar el suelo, por su capacidad para integrar nitrógeno y el efecto de abono mulch que sus hojas generan sobre éste.

En la mayoría de los cafetales hay cercos vivos constituidos por árboles que suelen cumplir también las funciones enumeradas y otras (frutos, leña, producción de nuevas estacas, sombra y cortavientos), entre ellos se destacan *Gliricidia sepium* (madero negro), *Diphysa robinoides* (guachipelín), *Bursera simaruba* (indio desnudo o jinocuabe); *Tabebuia rosea* (roble de sabana) y *Miconia argentea* (Santa María). Una función importante la cumplen las cortinas cortavientos (*Cupressus lusitanica*, *Cassuarina* spp) en la región de Acosta, donde los cafetales se ven fuertemente afectados por los vientos de verano.

La producción de madera valiosa está representada en los cafetales básicamente por *Cedrela odorata*, que se encuentra siempre presente en ambas regiones. Su frecuencia oscila entre 10 a 50 árboles/ha, con diámetros que van de 20 a 80 cm y

alturas comerciales de 6m o más, a menudo con buena forma de fuste. *Gliricidia sepium* y *Diphysa robinoides* son también dos de las especies más representadas y su madera es utilizada para bases de casas y postes de cerco por su gran resistencia a la intemperie.

Los arreglos espaciales y en el tiempo de los sistemas agroforestales son múltiples. En los primeros años del sistema, entre las hileras de los componentes arbóreos, los cultivos anuales y bianuales tienen gran importancia económica. Con el desarrollo de las especies arbóreas y la disminución de la luz se establecen los sistemas agroforestales típicos, como asociaciones de cultivo y árboles permanentes.

Los sistemas agroforestales presentan una gran cantidad de ventajas y desventajas, tanto desde el punto de vista biológico como económico y social (Budowski 1980, De Las Salas & Fassbender 1981). Entre los aspectos biológicos positivos se tienen:

- Regulación de la radiación entre los diferentes estratos vegetales del sistema
- Desarrollo de una gradiente de temperatura tanto en los componentes vegetales como en el suelo
- Regulación de la humedad relativa del aire
- Disminución del efecto erosivo de las gotas de lluvia y disminución de la erosión
- Limitación del efecto dañino del viento, regulación de la polinización y distribución de semillas
- Disminución de la evaporación del agua del suelo
- Mayor incremento de la productividad (biomasa, materia orgánica)
- Utilización adecuada del espacio vertical y del tiempo e imitación de patrones ecológicos naturales
- Recirculación eficiente de los elementos nutritivos, especialmente por su extracción de los horizontes profundos del suelo
- Mejoramiento de la capacidad de absorción del agua en el suelo por medio de cambios en la estructura del mismo
- Los árboles leguminosos fijan cantidades importantes de nitrógeno

- En algunas especies se desarrollan micorizas para la mejor utilización de nitrógeno y fósforo

- Desarrollo de una capa de mantillo ("mulch", cobertura muerta del suelo)

- Efectos benéficos debido a simbiosis, alopatría, depredación, parasitismo y mutualismo

Desde luego se tienen desventajas, entre las que se encuentran:

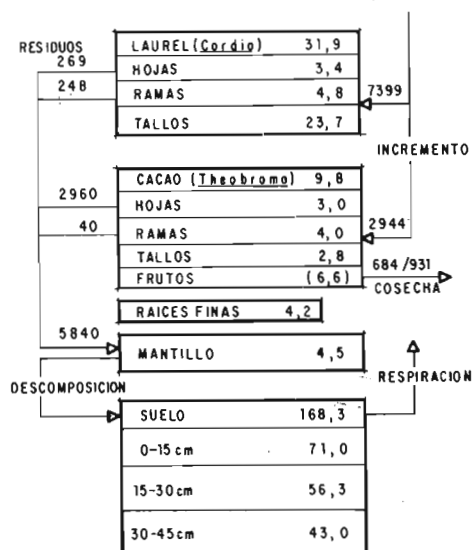
- Competencia de los árboles por luz
- Competencia de los árboles por nutrientes
- Competencia de los árboles por agua
- Influencias alelopáticas
- La explotación de los árboles puede causar daño
- No hay período de descanso (con formación de barbechos)
- No hay, o se dificulta, la mecanización
- La mayor humedad del aire puede favorecer enfermedades (especialmente hongos)
- Se puede favorecer una proliferación de animales dañinos
- Puede haber una excesiva exportación de nutrientes

CICLO DE LA MATERIA ORGÁNICA

Para desarrollar un modelo de la materia orgánica es necesario conocer las reservas en el sistema (especies, mantillo y suelo mineral) y las transferencias entre los compartimentos (producción y descomposición de residuos, incrementos, cosechas). A manera de ejemplo se consideran en esta publicación los modelos obtenidos en el Experimento Central del CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) en Turrialba, Costa Rica (Alpizar et. al. 1983a, b,c, 1984, Fassbender 1984). Entre los tratamientos en estudio se han considerado sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*, híbrido Caatongo x Pound) con sombra leguminosa de poró (*Erythrina poeppigiana*) y sombra maderable de laurel (*Cordia alliodora*). Las especies referidas se sembraron en

agosto de 1977 a distancias de 3m x 3 m para cacao (1.111 árboles por hectárea) y 6m x 6m para los árboles de sombra (278 árboles por hectárea). En las publicaciones antes mencionadas se pueden encontrar todos los detalles experimentales.

La región de Turrialba se caracteriza por una temperatura promedio de 22.3° C (máximas y mínimas promedias 27.0° y 17.7° C). La precipitación anual es de 2.647mm, la humedad relativa del 87.6%.



El suelo experimental es de origen fluvio-lacustre, franco arcilloso y pertenece al grupo typic dystropept.

En la Fig. 2 se presentan los modelos de la materia orgánica para sistemas de cacao asociados con laurel (*Cordia alliodora*) y poró (*Erythrina poeppigiana*) correspondientes. Los datos de las reservas orgánicas corresponden a la edad de 4,5 años, los datos de transferencia al quinto año de la plantación.

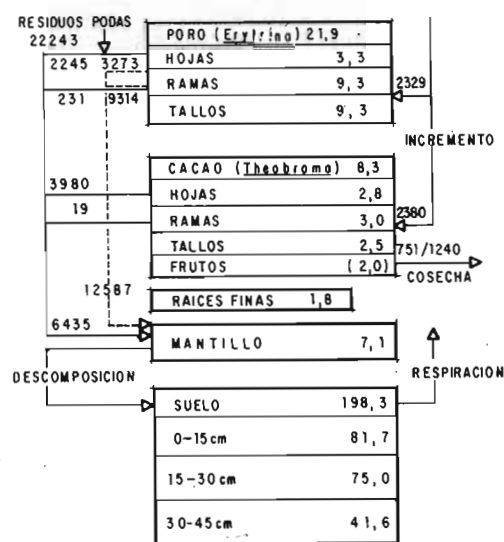


FIG. 2. Modelos de la materia orgánica en los sistemas agroforestales cacao con laurel y cacao con poró, Turrialba, Costa Rica (Reservas t/ha, transferencias t/ha y año).

Las dos asociaciones de cultivos estudiados presentan características muy diferentes en su ciclo de la materia orgánica. La acumulación de materia orgánica en los 4,5 años del cultivo sobre el suelo ha alcanzado 50,2 t/ha en el caso del cacao con poró. La diferencia en la formación de reservas orgánicas se localiza especialmente en el tallo de los árboles de sombra (laurel 23,7 t/ha, poró 9,3 t/ha), pero se nota también en las raíces; en el caso del cacao se tienen valores comparables de biomasa. En base a los datos descritos se puede estimar la producción neta primaria del sistema de producción; aquí es necesario indicar que el cultivar está aún en su época de creci-

miento y las reservas acumuladas en los primeros años difieren entre ellos; sin embargo, la producción neta primaria corresponde a 11,2 t/ha y año para el cacao con laurel y 8,7 t/ha y año para el cacao con poró como promedio de los años de crecimiento del sistema.

La producción de cacao presenta un comportamiento diferente; en los 4 años la producción alcanzó 3.625 kg/ha para el cacao con laurel y 4.418 kg/ha para el cacao con poró.

La dinámica del sistema de cacao con poró, expresada en la transferencia de residuos vegetales naturales a la capa de

mantillo con un total de 7.673 kg/ha y año, es más acelerada que la del cacao con laurel (6.869 kg/ha y año). Si se considera la deposición de residuos a partir del material de poda y de cosechas se tiene en total para el cacao con poró 20.260 kg/ha y año de material de descomposición en la capa de mantillo.

Aranguren et al. (1982) también han estudiado la producción de residuos vegetales en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) asociado a sombra de leguminosas (*Castilloa elastica*, *Erythrina* spp y *Artocarpus altalis*) de 30 años de edad en Ocumare, Venezuela. El sitio experimental a 12 m.s.n.m. tiene una temperatura promedio de 25°C y una precipitación anual de 740 mm. El suelo es de origen aluvial reciente y pertenece al grupo de los psamments. El total de residuos vegetales producidos alcanzó 20.850 kg/ha y año.

Santana & Cabala (1984) han estudiado por los años la producción de hojarasca en un sistema agroforestal de cacao (distanciamiento 3mx3m) bajo sombra de *Erythrina fusca* (distanciamiento 24mx24m) de 17 años de edad en Itabuna, Brasil. La región tiene una temperatura promedio de 26.5°C y recibe 1.554 mm de lluvia al año. El suelo experimental es aluvial y pertenece al grupo typic Tropuolalf. Para el primer y segundo año experimental se registraron 8.146 y 5.994 kg de residuos por hectárea.

De acuerdo a Santana & Cabala (1984) la descomposición es una función logarítmica del tiempo de exposición tanto para los residuos de cacao como de *Erythrina*. Ellos encontraron las siguientes funciones de descomposición:

Cacao	Erythrina
Hajas y = 98,40 - 22,15 ln T y = 98,24 - 26,97 ln T	
Ramas y = 100,75 - 23,03 ln T y = 95,22 - 22,15 ln T	
Cáscaras y = 96,03 - 22,80 ln T	

Según Aranguren et al. (1982) la descomposición de hojas de cacao es más rá-

pida que la de hojas de árboles leguminosos de sombra, así a los 4 meses desaparecen los restos de hojas de cacao mientras que las de árbol de sombra necesitan 9 meses. A partir de esta tasa de descomposición se tiene a través del proceso de mineralización la liberación de elementos nutritivos que pasan a la solución del suelo y a través del proceso de humificación el paso de sustancias húmicas que pasarán al suelo mineral.

Las diferencias entre las cantidades de materia orgánica encontradas en los suelos experimentales de las parcelas en Turrialba (Fig. 2, 198,4 y 168,1 t/ ha para cacao con poró y cacao con laurel) son el resultado de acumulaciones de material húmico en el manejo y formación del suelo antes del inicio del experimento

CICLO DEL NITRÓGENO

Para calcular las cantidades de nitrógeno acumulados en los diferentes compartimientos del sistema de producción, sólo es necesario conocer las reservas de materia orgánica y el contenido de nitrógeno correspondiente. Los detalles de las reservas de N en los sistemas de cacao con laurel y con poró en Turrialba, Costa Rica, se pueden tomar de la Fig. 3; los valores en Ocumare, Venezuela se presentan también en detalle en la Fig. 4.

En el caso de los sistemas de cacao en Turrialba se consideran como fuentes de ganancia (input) las lluvias (5 kg/ha y año), la fertilización (120 kg/ha y año) y la fijación simbiótica de N, la cual hasta ahora no ha sido estudiada. Como fuentes de pérdida (output) se considera la cosecha de semillas de cacao (13,3 y 16,2 kg/ha y año para las asociaciones con laurel Y poró) y la percolación de nitrógeno con el agua freática, la cual aún está en estudio. Los otros procesos de transferencia se pueden considerar como internos y las acumulaciones en la biomasa muestran el crecimiento y almacenaje de N en el sistema. En los cinco años se han acumulado en la biomasa

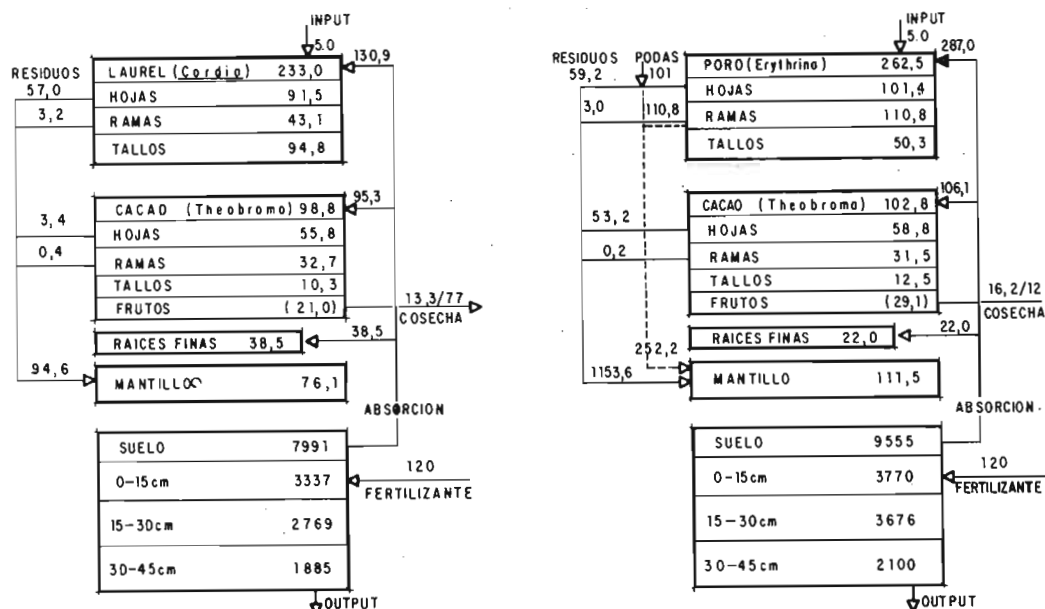


FIG. 3. Modelos del nitrógeno en los sistemas agroforestales cacao con laurel y cacao con poró, Turrialba, Costa Rica (Reservas kg/ha, transferencias kg/ha y año).

y en el mantillo en total 408 y 476 kg N/ha en cacao con laurel y cacao con poró respectivamente; sin embargo, las reservas en las hojas, raíces finas y frutos y en parte de las ramas circulan en el sistema a través de los procesos de formación de hojarasca. Sumando la producción de residuos que se descomponen en el transcurso de un año y la fertilización se tiene de manera general que los cultivos en estudio reciben cantidades altas de N y así seguramente se produce una absorción de flujo o una pérdida muy notable por lixiviación.

La dinámica acelerada del nitrógeno en los sistemas en estudio se pueden certificar al comparar las cantidades de residuos producidos y compararlos con las reservas acumuladas. Así, en las asociaciones cacao con poró circulan 340,6 kg N/ha y año en comparación con los 365 kg/ha acumulados en la biomasa. Por su lado, en la asociación cacao con laurel circulan 102,3 kg N/ha y año en comparación con los 332 kg N/ha acumulados en la biomasa. Aquí se debe hacer hincapié en las ventajas de las leguminosas como árboles de

sombra, a través de la fijación simbiótica de N en las raíces - proceso aún poco conocido - y de producción de material de co-

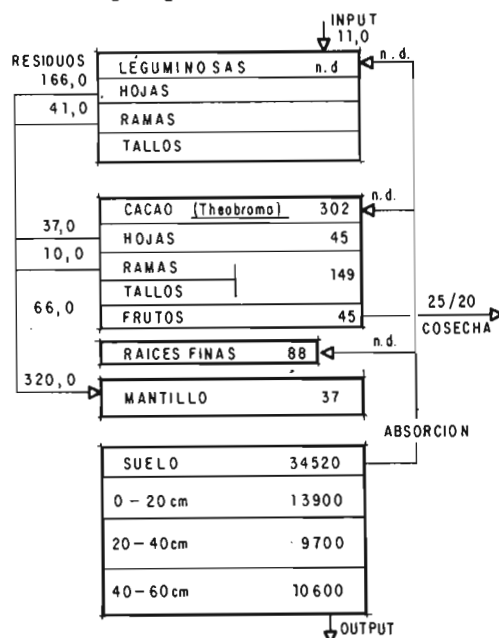


FIG. 4. Modelos del nitrógeno en el sistema cacao con leguminosas en Ocumare, Venezuela (Reservas kg/ha, transferencias kg/ha y año).

bertura aceleran la dinámica del nitrógeno.

En el caso de los sistemas agroforestales de cacao con sombra de leguminosas en Ocumare, Venezuela (Aranguren et al. 1982.), se tiene un sistema sin fertilización y así sus procesos de acumulación y transferencia de N representan en forma más indicativa las interacciones entre los componentes del sistema. Como fuente de ganancia se considera la lluvia (11 kg N/ha y año) y la fijación simbiótica aún no estudiada. Como fuentes de pérdida se consideran la cosecha (25 kg N/ha y año como semillas) y la lixiviación, que tampoco es conocida. Las reservas de N en el suelo son elevadas (34.520 kg/ha) y a largo plazo (30 años) han definido una acumulación también elevada en el cacao (302 kg/ha) y en las leguminosas, cuya biomasa se desconoce pero presentan valores altos de concentraciones de N en ramas y hojas. Fig. 4.

En los sistemas de Camerún descritos por Boyer (1973), se observa que también las cantidades de N en los residuos (52,5 kg/ha y año) sobrepasan las necesidades de cosecha (24,0 kg/ha y año). Los estudios de Santana & Cabala (1984) en Itabuna, Brasil en sistemas de 17 años bajo *Erythrina fusca*, arrojaron para los residuos en dos años sucesivos valores de 143,0 y 81,0 kg N/ha y año.

Los valores sobre el contenido de elementos nutritivos en las semillas y cáscaras de cacao a nivel mundial se observa un valor promedio de 21,6 kg N/t de semillas de cacao; el rango de variación es bastante pequeño, los valores oscilan entre 20,0 y 24,0 kg/t (Fassbender et al. 1984). Considerando un rendimiento promedio alto de 1.000 kg de semillas de cacao por año, se tiene así una necesidad de N de 21,6 kg/ha y año. Las producciones promedio nacionales alcanzan valores más bajos (kg semilla ha y año, promedio 1978/79): Brasil 645; Colombia 478; República Dominicana 384; Ecuador 382; Venezuela 258.

En base a los valores encontrados sobre la dinámica de los cultivos arriba mencionados, se tiene generalmente una

disponibilidad de N adecuada en los sistemas de producción. Sin embargo, debe hacerse hincapié en la necesidad de planificación de los cultivos de cacao en suelos adecuados, establecimiento de las asociaciones convenientes y del manejo apropiado del sistema. También es necesario indicar la necesidad de estudios integrales de los sistemas de producción como los aquí descritos.

MODELO DEL CICLO DEL FÓSFORO

En forma de ejemplo se presenta en la Fig. 5 el modelo del ciclo de fósforo para la asociación cacao con poró en Turrialba, Costa Rica.

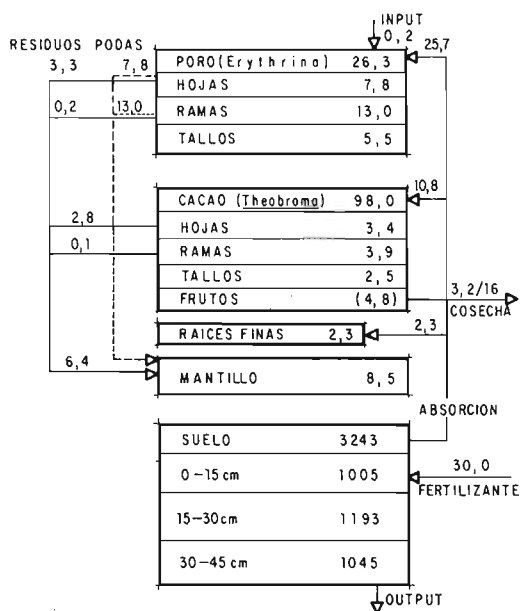


FIG. 5. Modelo del fósforo en el sistema cacao con poró en Turrialba, Costa Rica (Reservas kg/ha, transferencias kg/ha y año).

Como fuente de ganancia se considera el agua de lluvia (0,20 kg P/ha y año) y la fertilización (30,5 kg P/ha y año). Como fuentes de egreso se consideran la cosecha de semillas y la lixiviación, la cual no ha sido determinada. Los demás procesos son de carácter interno. La producción de residuos vegetales en forma natural y

con las podas alcanzan 27,4 kg P/ha y año y suponiendo que su descomposición no dura más de un año aquí se tiene una fuente de P adecuada. El fertilizante aplicado aporta seguramente cantidades de P importantes, pero seguramente será objeto de su "fijación" en el suelo. En un estudio sobre la fijación de P en suelos de la región de Turrialba, se constató que la fijación es elevada (Fassbender 1975). En un estudio sobre la transformación de fertilizantes fosfatados conducido en la Estación Experimental de La Lola en Costa Rica encontró este autor que de 1.660 kg P_2O_5 aplicados a cacaotales bajo sol y sombra durante 9 años, sólo el 4 y 5% respectivamente estaba en forma soluble, el resto había sido transformado a formas menos solubles, especialmente aluminicas (Fassbender 1970).

Los valores promedio del contenido de P en semillas de cacao es de 3,55 kg/t. Los valores presentan un rango amplio, entre 1,6 y 6,1 kg por tonelada (Fassbender 1984). En base a una producción de 1.000 kg cacao por hectárea se tiene así una necesidad absoluta de 3,55 kg P/ha y año. Observando los datos de producción de residuos y el contenido en la capa de mantillo se puede suponer que la circulación de P en la asociación cacao con poró es adecuada y efectiva.

MODELO DEL CICLO DE POTASIO

A manera de ejemplo se presenta en la Fig. 6 un modelo para el potasio en el cultivar de cacao asociado con poró en Turrialba, Costa Rica.

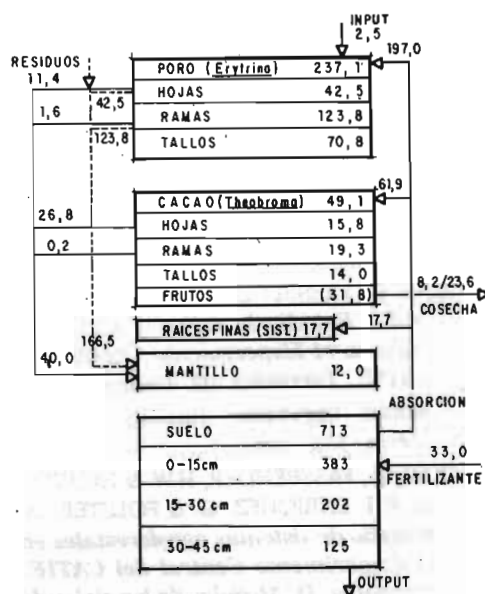
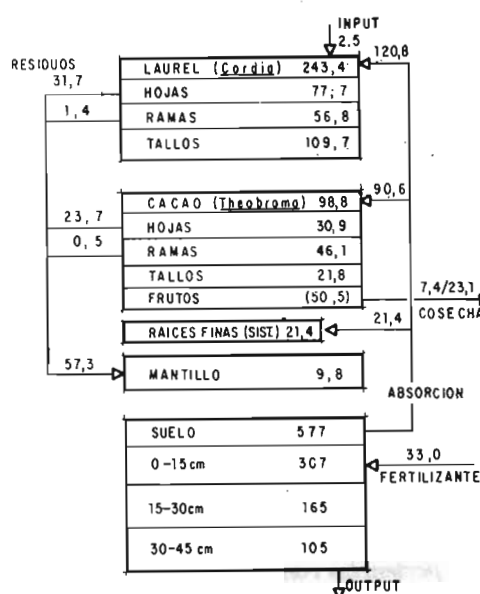


FIG. 6. Modelos del potasio en los sistemas agroforestales cacao con laurel y cacao con poró, Turrialba, Costa Rica (Reservas kg/ha, transferencias kg/ha y año).

En los 4,5 años de la plantación se han acumulado en la vegetación 315,5 kg K/ha. Comparando este valor con las reservas cambiables que presentaba el suelo al inicio del experimento (439 kg K/ha), se tie-

ne una absorción muy notoria en las reservas del suelo. Seguramente este elemento nutritivo se encuentra en mínimo.

La circulación de K dentro del sistema es sin embargo muy activa: dentro del año

en estudio se depositaron en total sobre el suelo 229,8 kg/ha y año; suponiendo una descomposición en un ciclo anual se tiene una liberación que es prácticamente 7 veces mayor que la extracción.

De acuerdo al promedio mundial del contenido de K en las semillas y cáscaras de cacao (Fassbender et al. 1984), se puede constatar que las necesidades de K por tonelada de cosecha sólo alcanza 11 kg/ha y año. Los resultados implican una reintegración de las cáscaras en los terrenos de cultivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALPIZAR, L.; ENRIQUEZ, G., FASSBENDER, H.W. & HEUVELDOP, J. *Estudio de sistemas agroforestales en el Experimento Central del CATIE, Turrialba, II. Producción agrícola y maderable*. Turrialba, CATIE, 1983b, 26p. mimeo.
- ALPIZAR, L.; FASSBENDER, H. W. & HEUVELDOP, J. *Estudio de sistemas agroforestales en el Departamento Central del CATIE, Turrialba, I. Determinación de biomasa y acumulación de reservas nutritivas*. Turrialba, CATIE, 1983a, 28p. mimeo.
- ALPIZAR, L.; FASSBENDER, H.W. & HEUVELDOP, J. *Estudio de sistemas agroforestales en el Experimento Central del CATIE, Turrialba. III. Producción residuos vegetales*. Turrialba, CATIE, 1983c, 14p. mimeo.
- ALPIZAR, L.; FASSBENDER, H.W. & HEUVELDOP, J. ENRIQUEZ, G. & FOLSTER, H. *Estudio de sistemas agroforestales en el Experimento Central del CATIE, Turrialba. IV Modelos de los ciclos de la materia orgánica y elementos nutritivos en los sistemas café con laurel y con poró gigante*. Turrialba, CATIE, 1984, 41p. mimeo.
- ALVIN, P. de T. Una evaluación en perspectiva de los cultivos perennes en la Cuenca Amazónica. In: HECHT, S. eds. *Amazonia, investigación sobre agricultura y uso de tierras*. Cali, CIAT, 1982. p. 325-44.
- ARANGUREN, J.; ESCALANTE, G. & HERRERA, R. Ciclo del nitrógeno en cultivos tropicales bajo árboles de sombra. I Café, II Cacao. *Plant and Soil*, 67:247-58, 259-69, 1982.
- BOYER, J. Cycles de matière organique et des éléments minéraux dans une cacaoyère camerounaise. *Café, Cacao The*, 17:2-23, 1973.
- BUDOWSKI, G. Compilación de ventajas y desventajas de sistemas agroforestales en comparación con monocultivos. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1980, mimeo, 2p.
- COMBE, J. & BUDOWSKI, G. Clasificación de las técnicas agroforestales: una revisión de la literatura. In CATIE, TALLER SISTEMAS AGROFORESTALES EN AMÉRICA LATINA, Turrialba, 1979. *Actas*. Turrialba, CATIE, 1979, p. 17-48.
- DE LAS SALAS, G. & FASSBENDER, H.W. The soil science basis of agroforestry production systems. In: HEUVELDOP, J. & LAGEMANN, J. *Agroforestry*. Proceedings of a seminar held in CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1981. p.; 27-33.
- FAO, Roma, Italia. *Sistemas agroforestales en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile. 1984.
- FASSBENDER, H.W. *Bases ecológicas de los sistemas de producción agroforestales*. Turrialba, CATIE, 1984. (CATIE. Serie de materiales de enseñanza 21). 181p.
- FASSBENDER, H.W. Forms of phosphate after nine years of superphosphate fertilization of cacao. *Agrochimica*, 13:39-43, 1970.
- FASSBENDER, H.W. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. San José, IICA. Programa de libros y textos, 1975. 398p.
- FASSBENDER, H.W. et. al. *Ciclos de la materia orgánica y elementos nutritivos en cultivos tropicales permanentes, experiencias con cacao*. Seminar Nutrient recycling and low inputs agriculture for the tropics. Itabuna, CEPLAC, 1984. en impresión.
- GOLDBERG, A.D. & JIMENEZ-AVILA, E. *Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero. IV Distribución de la biomasa aérea en diferentes estratos del cafetal*. Veracruz, INIREB, 1982.
- HART, R.D. *Agroecosistemas, conceptos básicos*. Turrialba, CATIE, 1980. 211p.

- (CATIE. Serie de materiales de enseñanza 1).
- HECHT, S. ed. *Amazonia. Investigación sobre agricultura y uso de tierras*. Cali, CIAT, 1982. 448p.
- HEUVELDOP, J. & ESPINOZA, L. *El componente arbóreo en Acosta y Puriscal. Turrialba, CATIE, 1983. 122p.*
- HUXLEY, P. *Plant research and agroforestry*. Nairobi, ICRAF, 1983. 617.
- MONGI, H. O. & HUXLEY, P. *Soils research in agroforestry*. Nairobi, ICRAF, 1979.
- NAIR, P.K.R. *Agroforestry species*. A crop sheets manual. Nairobi, ICRAF, 1980. 336p.
- NAIR, P.K.R. *Soils aspects of agroforestry*. Nairobi, ICRAF, 1984. 583p.
- ODUM, H.T. *Systems ecology: an introduction*. New York, J. Willey 1983, 644p.
- PECK, R.B. Actividades de investigación en bosques e importancia de los sistemas de multiestratos en la Cuenca Amazónica. In: HECHT, S. ed. *Amazonia, investigación sobre agricultura y uso de las tierras*. Cali, CIAT, 1982. p. 391-406.
- SANTANA, M.B.M. & CABALA, P. Dynamics in a shaded cacao plantation. *Plant and Soil*, 67:271-81, 1982.
- SANTANA, M.B.M. & CABALA, P. *Reciclagem de nutrientes em uma plantacao de cacau sombreada com Erythrina*. Conferencia Internacional de Cacao. Togo, 1984. en impresión.
- TALLER SISTEMAS AGROFORESTALES EN AMÉRICA LATINA, Turrialba, 1979. *Actas. Turrialba, 1979. 226p.*
- VALENCIA, J.E. *Investigaciones silviculturales y agroforestales avanzadas por CONIF*. In: HECHT, S. ed. *Amazonia, investigación sobre agricultura y uso de tierras*. Cali, CIAT, 1982. p. 407-22.

SOIL AND VEGETATION DYNAMICS IN SHIFTING CULTIVATION FALLOW¹

Lawrence T. Szott² and Cheryl Ann Palm³

ABSTRACT: Crop yields obtained from shifting cultivation reportedly depend on the restoration of soil properties during the fallow phase. Despite the importance of fallows, there have been few long-term studies on the changes in vegetation and soils during this recovery phase. Therefore, it is difficult to make any conclusive statements as to how soil properties are restored. The objectives of this paper were to review studies that have measured vegetation and soil dynamics during fallow. Any conclusions drawn must be viewed with caution because the data base consists primarily of simultaneous comparisons of spatially separated plots of known, but different ages rather than of temporal comparisons on single plots. In general, regrowth of fallow vegetation was found to be affected by burning, cultivation, weeding, and size of clearing. These factors tend to make recovery of vegetation slower than in successions not preceded by cultivation. Vegetational composition in early stages was dominated by species with short reproductive cycles, fire resistant seeds, or wind-, bat-, and bird-dispersed seeds. Grass and forbs usually predominate and tend to persist. Soil physical properties such as infiltration rate, water holding capacity, bulk density, and temperature improve with age of the fallow. These improvements are a function of a moderated microclimate, additions of organic matter, and penetration of soil by plant roots. Some soil chemical properties improve with the age of the fallow but others do not, this may depend on the soil type. Soil organic matter decreases during early succession, increasing thereafter. The decrease may be a result of increased rates of decomposition coupled with decreased inputs of litter; the increase is a result of increased organic matter inputs, slower rates of decomposition caused by lower soil temperatures and changes in litter quality. Soil N and available P dynamics are similar to those of organic C due to the importance of organic N and P pools in the soil. Exchangeable Ca and Mg in the topsoil may increase early in succession as these elements are released by decomposition of tree trunks and roots and are retained by soil colloids. Succeeding changes in soil Ca and Mg contents are due to the balance between organic inputs and losses by leaching and plant uptake. There is no clear trend in soil K dynamics. Potassium may be depleted from the soil early in succession because it is taken up by the predominantly grassy vegetation. Subsequent changes depend on plant uptake and leaching losses. The current data on fallows do not provide sufficient information on the interaction of vegetation and soils to understand the role of fallows in soil restoration. Such information would be provided by long-term studies which include characterization of the climate, vegetation, and soils. Perhaps then more effectively managed fallow systems can be developed.

Index terms: Fallows, tropical secondary succession, vegetation structure, biomass, plant density, plant diversity, soil chemical and physical properties.

¹Contribution of the Tropical Soils Program in collaboration with the Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria of Peru.

²M.Sc. Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria Yurimaguas, Loreto, Peru.

³Graduate Research Assistant, Soil Science Department, North Carolina State University.

DINÁMICA DEL SUELO Y LA VEGETACIÓN ALTERNANDO CULTIVOS Y PERIODOS DE DESCANSO

RESUMEN: Los rendimientos de cultivos bajo el sistema de "agricultura migratoria" se reportan continuamente como dependiente de la restauración de las propiedades del suelo durante la etapa de barbecho (o etapa de descanso). A pesar de la importancia de barbechos, ha habido pocos estudios a largo plazo sobre los cambios de vegetación y suelos durante esta etapa de restauración. Por consiguiente, es difícil hacer señalamientos conclusivos sobre cómo las propiedades del suelo son restauradas. Los objetivos de esta publicación son los de revisar trabajos que hayan medido vegetación y dinámica de suelos durante el barbecho. Cualquier conclusión a que se llegue debe verse con precaución porque los datos soporte consisten principalmente de comparaciones simultáneas de parcelas experimentales espacialmente separadas y de edades diferentes (aunque conocidas), en lugar de comparaciones temporales de parcelas individuales. En general se encontró que la quema, la siembra de cultivos, el deshierbo y el tamaño del aclareo afectan el rebrote de la vegetación de barbecho. Estos factores tienden a retardar la recuperación de la vegetación en comparación con sucesiones no precidada por la siembra de cultivo. La composición de la vegetación al inicio es dominada por especies de ciclo reproductivo corto, semillas resistentes al fuego, o al viento y los murcielagos, y semillas dispersadas por los pájaros. Gramíneas y malvas usualmente predominan y tiende a persistir. Propiedades físicas del suelo tales como velocidad de infiltración, capacidad de retención de agua, densidad aparente y temperatura mejoran con la edad del barbecho. Estas mejoras son función de un microclima mejorado, adición de materia orgánica y penetración del suelos por las raíces. Algunas propiedades químicas del suelo, pero no otras, mejoran con la edad del barbecho lo que puede depender del tipo de suelo. La materia orgánica del suelo disminuye durante el inicio de la sucesión, pero aumenta después. La disminución puede ser el resultado de un aumento de la tasa de descomposición concurrente con una disminución de la entrada de hojarascas, el aumento es el resultado de la deposición de materia orgánica y más baja tasa de descomposición causada por más baja temperatura del suelo cambios en la calidad de hojarascas. La dinámica del N y P disponible es similar a la de C orgánico debido a la importancia de los fuentes de N y P orgánico en suelo. El Ca y Mg intercambiable en la capa superior del suelo puede aumentar al inicio de la sucesión puesto que estos elementos son liberados por descomposición de los troncos de arboles y raíces y son retenidos por los coloides del suelo. Los cambios que siguen en los contenidos de Ca y Mg del suelo son debido al balance entre deposición de material orgánico y pérdidas por lixiviación y extracción de la planta. No hay tendencia clara en la dinámica del potasio. El potasio puede ser consumido al inicio de la sucesión porque es extraído por la vegetación típicamente gramínea. Los cambios subsiguientes dependen de la extracción por las plantas y pérdidas por lixiviación. Los datos actuales acerca de barbecho no proveen suficiente información sobre la interacción de vegetación y suelos que permita entender el papel de barbecho en la restauración del suelo. Tales informaciones serían provistas por estudios a largo plazo los cuales incluyen caracterización del clima, vegetación y suelo. Quizás entonces puedan desarrollarse sistemas más efectivos para el manejo de barbechos.

Termos para indexación: Barbecho, sucesión secundaria, estructura de vegetación, biomasa, densidad de vegetación, diversidad de vegetación, propiedades químicas y físicas del suelo.

INTRODUCTION

Shifting cultivation is the predominant agricultural system in tropical America. It is practiced on over 700 million ha (Sanchez & Cochrane 1980) and is the major cause of deforestation in the region, accounting for approximately 35% of the reduc-

tion in the area tropical forests (Lanly 1982).

The basic elements of shifting cultivation are: 1) forest felling and burning, 2) one to four years of cultivation, 3) gradual or abrupt abandonment as the land reverts to secondary forest (the fallow period), and 4) the initiation of another felling-burning-

cultivation cycle in three to 20 years (Nye & Greenland 1960, Watters, 1971).

Shifting cultivation is ecologically stable when human population density is low and land use is extensive. However, as populations and land use intensity increase, the fallow period is shortened, soil restoration is reduced, and subsequent crop yields decline. Traditional shifting cultivation represents a stable situation typical of zones that are not readily accessible, while shifting cultivation in disequilibrium represents a serious problem as the agricultural frontier of Latin America advances towards the Amazon and other humid tropical areas (Sanchez, 1982). Shifting cultivation in disequilibrium must be brought into equilibrium or, where appropriate, replaced with spatially and temporally more efficient agricultural systems.

In its role as the soil restoring component of shifting cultivation, the fallow period needs to be better understood. In this paper, we focus on the changes in vegetation, and in soil physical and chemical properties that occur during the fallow phase. We identify: 1) the differences that distinguish a shifting cultivation fallow from other types of secondary succession, 2) specific changes that occur in soil properties and vegetation structure and composition, and 3) how vegetation and soils interact through time.

Three types of studies were considered in this review. The first type consists of long-term observations of individual plots in the shifting cultivation cycle. While these studies are the most reliable in the sense that they contain few confounding variables, their usefulness is limited by their limited numbers. The second type of study compares different sites, each representing a different stage of vegetation regrowth based on observations collected at one time. Such studies are more numerous, but conclusions drawn from them may be suspect due to temporal and spatial variability among sites (Andriess 1977, Lundgren 1978). It is well known, for example, that soil clay con-

tents and organic matter are often positively correlated. Differences in soil organic matter content between sites of different aged fallows may be interpreted as being due to the effect of vegetation when, in fact, they may be due to differences in soil texture (Sanchez et al. 1985). In many cases, we had no recourse but to rely on data of this sort. The conclusions derived from this analysis therefore, should be treated with caution. Finally, we cite a number of studies of tropical secondary succession, whether or not they deal strictly with fallows.

CHANGES IN VEGETATION WITH TIME

Effects of Shifting Cultivation on Early Succession

Plant succession during fallow differs from secondary succession originating in gaps caused by isolated tree falls, forest felling, or even felling and burning (Uhl 1982). The differences are due to intrinsic characteristics of shifting agriculture: the use of fire, periodic weeding, and the relatively large size of gaps created.

Burning. Fire greatly affects secondary succession, not only by releasing nutrients immobilized in vegetation, but also by influencing the type of surviving vegetation and the rate at which it recolonizes a site. A high proportion of plant propagules present after forest felling, roots, sprouts, and buried seed, may be eliminated by fire. Uhl et al. (1981) showed that fire reduced stump sprout density from 6.37 to 0.05/m². Four months afterwards, sprout density had increased to only 0.60/m². Presumably, temperatures were high enough (76°–124°C) to kill or damage sprout tissue, because there was little relationship between sprout survival and temperature. Hare (1961), Brinkman & Vieira (1971), and Ewel et al. (1981) also report data on soil and aboveground temperatures resulting from burning.

The viable seed pool is also reduced by burning (Guevara & Gomez-Pompa 1972, Symington, 1933, Chin & On 1973). Uhl et al. (1981) reported a 79% decrease in seed viability after burnings; Ewel et al. (1981) reported a 62% decline. The effects of fire on the actual number of plants germinating may vary with the size of seed pool, depth of seed burial, seed characteristics, soil texture, soil moisture content, and the frequency, intensity, and duration of burning (Gómez-Pompa 1974, Ewel et al. 1981). Reports of postburning germination vary widely. Uhl et al. (1981) reported 157 seedlings/m² while Ewel et al. (1981) reported approximately 3000/m². Whereas the seeds of many plants are destroyed, germination of some plants (e. g., *Ochroma lagopus*) may be stimulated by high temperatures (Vásquez-Yanes 1974).

In addition to the direct effects of temperature on germination, fires also create considerable heterogeneity in the chemical and physical properties of the soil surface which can affect seed germination and seedling survival. These differences are apparently related to differences in soil surface temperature, water content, distribution and amount of ash and soil-seed contact (Kopper 1927, Harper & Benton 1966, Webb et

al. 1972, Uhl et al. 1981). On an Ultisol in southern Venezuela, Uhl et al. (1981) report that germination of early successional plants (except for *Panicum laxum*), is reduced on bare, exposed soil and is best on covered surfaces.

Weeding. Post-burning plant populations can be further affected by weeding. Weeding is a density-independent regulation mechanism which tends to discriminate in favor of plants with short life cycles (Kellman 1980). In cases where the time between weedings is relatively long, grasses and forbs can usually set seed prior to weeding but successional woody plants may be destroyed before reproducing (Uhl et al. 1982). As a result, herbaceous vegetation has a proportionately greater representation in the plant community (Table 1). In a study in Northeastern Thailand, Zinke et al. (1978) noted the persistence of an herbaceous species throughout cultivation and early stage of fallow despite continuous weeding. The effect of weeding then, is to change plant community composition. The effect on overall plant density is less clear. Changes in density reflect a balance between competitive interactions and environmental factors affecting plant establishment and growth.

TABLE 1. Changes in mean plant density and biomass due to weeding.

Time of weeding (months)	Forbs and grasses		Woody plants		Total Individuals	
	Density	Biomass	Density	Biomass	Density	Biomass
	indiv./m ²	g/m ²	indiv./m ²	g/m ²	indiv./m ²	g/m ²
10	4.0	4.7	8.5	11.1	12.5	15.8
16	6.5	36.8	1.5	5.7	7.9	42.5
21	48.4	27.8	2.3	2.3	50.7	30.1
26	18.8	16.1	1.5	3.3	20.3	19.5
31	35.4	18.3	1.2	2.1	36.6	20.5

Uhl et al. (1982).

Gap size. With the elimination of a large part of the potential colonizers by fire and weeding, plant dispersal assumes greater importance in the revegetation of fallows than in other types of secondary succession. Immigration into an area can be greatly affected by the size of the clearing (Gómez-Pompa et al. 1972, Bazzaz & Pickett 1980). Uhl et al. (1981) and Swaine & Hall (1983) have shown that plants with wind, bat, or bird-dispersed seeds tend to predominate in large clearings. Gap size influences distance from seed source and abundance of animals that disperse seed, all of which affect rates of successional change (Gómez-Pompa et al. 1972, Bazzaz & Pickett 1980, Harcombe 1977, Kellman 1980). Continued survival following seedling establishment is also related to gap size (Whitmore 1975). Soil and air temperatures, incident radiation, and rainfall reaching the soil surface may increase while relative humidity decreases as gaps become larger and more open (Schulz 1960, Longman & Jenik 1974). Under these conditions, some species may die from high radiation loads while others may grow rapidly (Meijer 1970, Whitmore 1975).

In summary, fallow establishment and growth following shifting cultivation may be different from other types of secondary succession in that: 1) The burn kills most tree sprouts and reduces seed pools. As a result, mechanisms for rapid vegetation regrowth and nutrient conservation are reduced (Herrera et al. 1981, Uhl et al. 1981). 2) Plants with seeds resistant to high temperature are favored (e.g., *Ochroma*). 3) Burning indirectly affects germination through the creation of a variety of microhabitats, many of which are unsuitable for seedling establishment. 4) Weeding tends to select against vegetation having a long development period. Conversely, it favors species whose reproductive cycle is shorter than weeding intervals. In general, grasses and forbs may be favored. 5) Dispersal of plants into the field from surrounding areas becomes an important means of revegetation. The lar-

ge size of the field may favor species having long-distance dispersal mechanisms and those physiologically capable of surviving in more extreme environments. 6) The rate of regeneration of vegetation may, therefore, be reduced and changes in life form composition may occur.

Changes in Species Composition and Diversity

During the first year of succession, within-site reproduction and dispersal of early colonizers contributes to rapid weed population increases. For the most part, plants with short life cycles and rapid reproduction—grasses, sedges, forbs and early successional woody species—predominate (Harcombe 1977, Uhl et al. 1982). The grass and forb stage may last from less than one to five or more years. However, during this time early successional woody plants (e.g., *Cecropia*, *Ochroma*) usually increase in dominance and eventually shade out the grasses and forbs.

Total plant density is high during the first few years of succession, but declines rapidly as forb and grass populations decrease due to shading or from senescence following reproduction (Harcombe 1977, Kellman, 1980, Uhl et al. 1982). On the other hand, woody plant density is initially low, increases rapidly within the first few years, and eventually approaches an equilibrium level in about 10 to 15 years (Aweto 1981).

The total number of species present, i.e., diversity, tends to increase rapidly at first and more slowly thereafter and may be affected by continued cultivation (Uhl et al. 1981, 1982). Grass and forb diversity declines with time, paralleling density. Woody plant diversity follows woody plant density, increasing rapidly in early succession, then more slowly or even decreasing as it approaches an equilibrium level. Hence, most species appear to be present early in succession (Kellman 1980, Swaine & Hall 1983).

The viable seed pool is also reduced by burning (Guevara & Gomez-Pompa 1972, Symington, 1933, Chin & On 1973). Uhl et al. (1981) reported a 79% decrease in seed viability after burnings; Ewel et al. (1981) reported a 62% decline. The effects of fire on the actual number of plants germinating may vary with the size of seed pool, depth of seed burial, seed characteristics, soil texture, soil moisture content, and the frequency, intensity, and duration of burning (Gómez-Pompa 1974, Ewel et al. 1981). Reports of postburning germination vary widely. Uhl et al. (1981) reported 157 seedlings/m² while Ewel et al. (1981) reported approximately 3000/m². Whereas the seeds of many plants are destroyed, germination of some plants (e. g., *Ochroma lagopus*) may be stimulated by high temperatures (Vásquez-Yanes 1974).

In addition to the direct effects of temperature on germination, fires also create considerable heterogeneity in the chemical and physical properties of the soil surface which can affect seed germination and seedling survival. These differences are apparently related to differences in soil surface temperature, water content, distribution and amount of ash and soil-seed contact (Kooper 1927, Harper & Benton 1966, Webb et

al. 1972, Uhl et al. 1981). On an Ultisol in southern Venezuela, Uhl et al. (1981) report that germination of early successional plants (except for *Panicum laxum*), is reduced on bare, exposed soil and is best on covered surfaces.

Weeding. Post-burning plant populations can be further affected by weeding. Weeding is a density-independent regulation mechanism which tends to discriminate in favor of plants with short life cycles (Kellman 1980). In cases where the time between weedings is relatively long, grasses and forbs can usually set seed prior to weeding but successional woody plants may be destroyed before reproducing (Uhl et al. 1982). As a result, herbaceous vegetation has a proportionately greater representation in the plant community (Table 1). In a study in Northeastern Thailand, Zinke et al. (1978) noted the persistence of an herbaceous species throughout cultivation and early stage of fallow despite continuous weeding. The effect of weeding then, is to change plant community composition. The effect on overall plant density is less clear. Changes in density reflect a balance between competitive interactions and environmental factors affecting plant establishment and growth.

TABLE 1. Changes in mean plant density and biomass due to weeding.

Time of weeding (months)	Forbs and grasses		Woody plants		Total Individuals	
	Density	Biomass	Density	Biomass	Density	Biomass
	indiv./m ²	g/m ²	indiv./m ²	g/m ²	indiv./m ²	g/m ²
10	4.0	4.7	8.5	11.1	12.5	15.8
16	6.5	36.8	1.5	5.7	7.9	42.5
21	48.4	27.8	2.3	2.3	50.7	30.1
26	18.8	16.1	1.5	3.3	20.3	19.5
31	35.4	18.3	1.2	2.1	36.6	20.5

Uhl et al. (1982).

Gap size. With the elimination of a large part of the potential colonizers by fire and weeding, plant dispersal assumes greater importance in the revegetation of fallows than in other types of secondary succession. Immigration into an area can be greatly affected by the size of the clearing (Gómez-Pompa et al. 1972, Bazzaz & Pickett 1980). Uhl et al. (1981) and Swaine & Hall (1983) have shown that plants with wind, bat, or bird-dispersed seeds tend to predominate in large clearings. Gap size influences distance from seed source and abundance of animals that disperse seed, all of which affect rates of successional change (Gómez-Pompa et al. 1972, Bazzaz & Pickett 1980, Harcombe 1977, Kellman 1980). Continued survival following seedling establishment is also related to gap size (Whitmore 1975). Soil and air temperatures, incident radiation, and rainfall reaching the soil surface may increase while relative humidity decreases as gaps become larger and more open (Schulz 1960, Longman & Jenik 1974). Under these conditions, some species may die from high radiation loads while others may grow rapidly (Meijer 1970, Whitmore 1975).

In summary, fallow establishment and growth following shifting cultivation may be different from other types of secondary succession in that: 1) The burn kills most tree sprouts and reduces seed pools. As a result, mechanisms for rapid vegetation regrowth and nutrient conservation are reduced (Herrera et al. 1981, Uhl et al. 1981). 2) Plants with seeds resistant to high temperature are favored (e.g., *Ochroma*). 3) Burning indirectly affects germination through the creation of a variety of microhabitats, many of which are unsuitable for seedling establishment. 4) Weeding tends to select against vegetation having a long development period. Conversely, it favors species whose reproductive cycle is shorter than weeding intervals. In general, grasses and forbs may be favored. 5) Dispersal of plants into the field from surrounding areas becomes an important means of revegetation. The lar-

ge size of the field may favor species having long-distance dispersal mechanisms and those physiologically capable of surviving in more extreme environments. 6) The rate of regeneration of vegetation may, therefore, be reduced and changes in life form composition may occur.

Changes in Species Composition and Diversity

During the first year of succession, within-site reproduction and dispersal of early colonizers contributes to rapid weed population increases. For the most part, plants with short life cycles and rapid reproduction—grasses, sedges, forbs and early successional woody species—predominate (Harcombe 1977, Uhl et al. 1982). The grass and forb stage may last from less than one to five or more years. However, during this time early successional woody plants (e.g., *Cecropia*, *Ochroma*) usually increase in dominance and eventually shade out the grasses and forbs.

Total plant density is high during the first few years of succession, but declines rapidly as forb and grass populations decrease due to shading or from senescence following reproduction (Harcombe 1977, Kellman, 1980, Uhl et al. 1982). On the other hand, woody plant density is initially low, increases rapidly within the first few years, and eventually approaches an equilibrium level in about 10 to 15 years (Aweto 1981).

The total number of species present, i.e., diversity, tends to increase rapidly at first and more slowly thereafter and may be affected by continued cultivation (Uhl et al. 1981, 1982). Grass and forb diversity declines with time, paralleling density. Woody plant diversity follows woody plant density, increasing rapidly in early succession, then more slowly or even decreasing as it approaches an equilibrium level. Hence, most species appear to be present early in succession (Kellman 1980, Swaine & Hall 1983).

Dominance of certain species may increase with time (Harcombe 1977, Kellman 1980). Uhl et al. (1982) showed that in a southern Venezuela clearing 16 months after burning *Vismia lauriformis*, and *Vismia japorensis* together accounted for 80% of all individuals taller than 2 meters, while an additional 9% were *Cecropia ficifolia*. If species diversity increases, then most species must be represented by one or a few individuals. These diversity measurements however, must be interpreted with caution since they are strongly dependent on the num-

ber and size of plots, especially as density decreases (Whittaker 1968).

Biomass Accumulation

The accumulation of living biomass following the abandonment of cultivated fields is shown in Fig. 1. For the first two years, there is little difference in dry matter accumulation between sites, averaging approximately 8 t/ha/yr. Total biomass accumulation during the first 10 years, however, can be quite different, ranging between sites from approximately 48 to 160 t/ha.

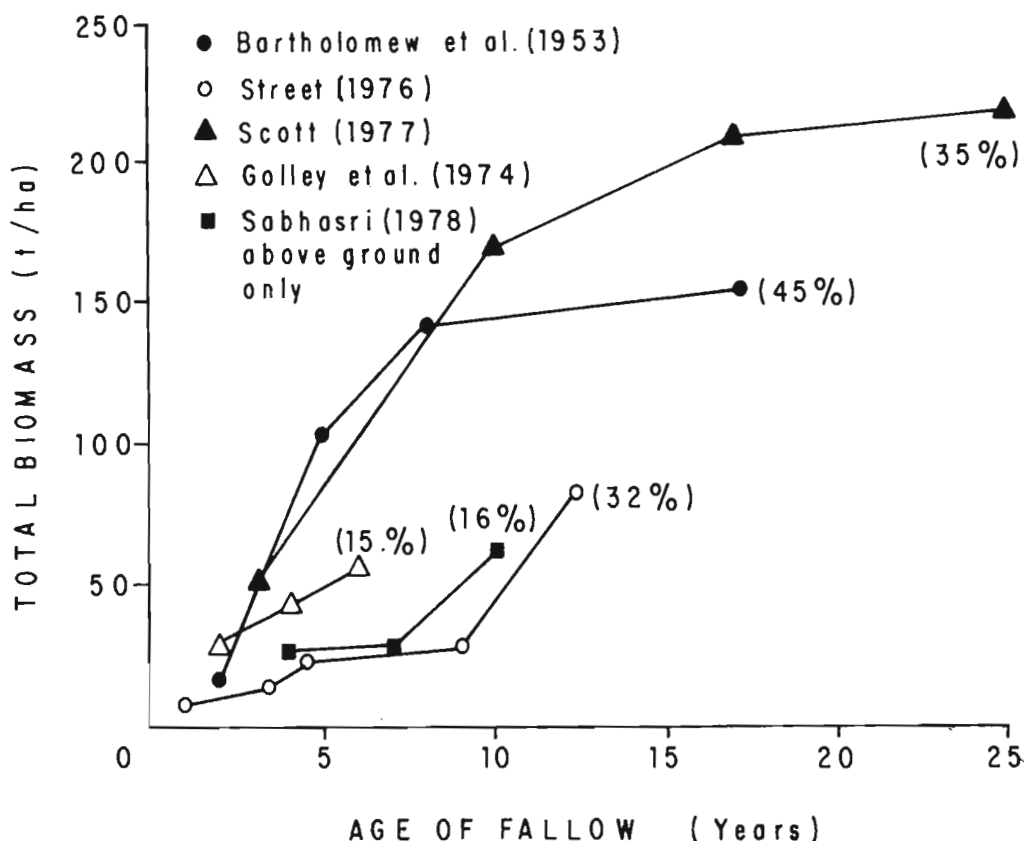


FIG. 1 Biomass accumulation during fallow regrowth. Numbers in parentheses are the percentage of biomass of the primary forest.

After 10 years of regrowth, fallow vegetation contained between 16 and 44% of the biomass of primary forest. Unfortunately it is not clear from the data why there is such a large range in biomass

accumulation. Forest type, frequency and intensity of disturbance, and soils may all affect the rate of recovery. The role of succession-delaying disturbances may be particularly important when such relative

vely short time periods are considered. Furthermore, variability in biomass for plots of the same forest type and age can be as great as that between different forest types (Snedaker 1970, Kellman 1970, Tergas & Popenoe 1971).

Increases in height and diameter for secondary successional trees can be large. Shoot growth is often continuous with little branching (Ashton, 1978, Oldemann 1978). Increments in height of up to 5 m per year and in diameter of 2-3 cm/yr have been measured (Bazzaz & Pickett 1980). However, height increases of 1-2 m/yr are more common (Ross 1954, Ewel 1976). As a result of rapid growth, wood density is usually low (Ashton, 1978, Ewel 1980). For example, *Manilkara*, which is found in mature forest, has 2-8 times the specific gravity of *Cecropia*, a plant of secondary vegetation (Jordan & Farnworth 1980).

Rapid growth and biomass accumulation is made possible by the rapid establishment of photosynthetic material (Ewel 1971, Uhl & Murphy 1981). Ewel (1977) recorded a leaf area index (LAI) of almost 5 within six months. Some 1-year-old clumps had LAIs of 16 (Ewel 1980). Golley et al. (1975) recorded LAIs of 7, 11.6, and 16.5, respectively in 2-, 4-, and 6-year old fallows. Leaves, in general, are comparatively large and thin, and are arranged in flat canopies to maximize light interception (Ashton 1978). As compared with primary forest leaves, those from secondary forests have high compensation points and high maximum rates of photosynthesis. Transpiration rates are also higher than that of primary forest species (Odum et al. 1970, Bazzaz & Pickett 1980). Presumably these characteristics allow pioneer species to make quick use of available resources, compete effectively, and disperse to new sites (Bazzaz & Pickett 1980).

As biomass increases, the relative size of various biomass compartments also changes. Except for the first year at two of succes-

sion, biomass storage follows the pattern: stems roots leaves (Bartholomew et al. 1953, Golley et al. 1975, Scott 1977). Leaf biomass increases quickly, as already noted, approaching that of mature forest in approximately five years (Bartholomew et al. 1953; Ewel 1971, 1976). With subsequent biomass accumulation, the proportion of total biomass allocated to stems increases in early succession, then decreases as biomass becomes allocated to roots.

Nutrient Accumulation

Nutrient immobilization accompanies biomass accumulation, hence, total nutrient immobilization in vegetation increases with fallow age (Table 2). In general, the concentrations of all macronutrients (N, P, K, Ca, Mg) are higher in leaves than in stems or roots, while roots generally have higher concentrations than stems (Bartholomew et al. 1953, Nye & Hutton 1957, Nye & Greenland 1960, Golley et al. 1975). The relative importance of particular vegetation compartments as nutrient sinks varies with biomass accumulation. Leaves and branches are important nutrient sinks in young trees because leaves and branches represent a large proportion of total plant biomass at that stage, and also have high concentrations of macronutrients. As fallow vegetation ages, stems become more important for nutrient storage due to the large quantity of biomass accumulated even though stem nutrient concentrations are low. Similarly, as a consequence of their reduced biomass accumulation, fallow vegetation stores lesser quantities of nutrients than vegetation of the mature forest (Golley et al. 1975, Kyuma & Pairintra 1983).

Comparisons of nutrient concentrations of fallows and mature forests present no clear pattern. One might expect that macronutrient concentrations, viewed at the forest level, may be higher in fallows, presumably due to greater proportion of

TABLE 2. Nutrient immobilization and concentrations in living biomass during fallow regrowth.

Fallow Age (yr)	Biomass* t/ha	Nutrients Immobilized (kg/ha)					Nutrient Concentration (%)				
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Yangambi, Zaire. Tropical Moist Forest, Ultisol (Bartholomew <u>et al.</u> 1953)											
2	17.9	174	22	182		139	.97	.12	1.00		.18
5	102.4	485	29	435		345	.47	.03	.42		.34
8	144.4	481	31	758		558	.33	.02	.52		.39
17-18	152.3	590	104	585		720	.39	.07	.38		.47
Darién Province, Panama. Tropical Moist Forest, Ultisol (Golley <u>et al.</u> 1975)											
2	15.6	250	31	303	219	42	1.6	.20	1.94	1.40	.27
2	28.5	455	48	404	393	74	1.6	.17	1.42	1.38	.26
4	42.5	-	89	821	562	98	-	.21	1.93	1.32	.23
6	56.5	851	91	846	817	131	1.4	.16	1.49	1.44	.23
mature forest	-	-	-	-	-	-	1.4	.12	1.10	1.78	.20
Gran Pajonal, Peru. Tropical Montane Evergreen Forest, Ultisol (Scott 1977)											
3	39.7	-	-	435	165	34	-	-	1.1	.42	.09
10	75.0	-	-	1126	195	88	-	-	1.5	.26	.12
20-25	204.0	-	-	2386	492	246	-	-	1.2	.24	.12

*Above - and belowground biomass.

nutrient-enriched compartments (i.e., leaves, bark, and small branches). However, while total nutrients increase during succession, no consistent increases or decreases of either overall or particular nutrient concentrations in biomass are observed (Nye & Greenland 1960, Golley et al. 1975, Snedaker 1980). Fallow biomass nutrient concentrations, at the stand level, vary with site. Furthermore, significant site-vegetation compartment interactions may be present (Golley et al. 1978, Stark 1970). The reasons for these differences may be many and varied and are beyond the scope of this review. (Golley et al. 1975, Golley & Richardson, 1977, Tanner 1977, Harcombe 1980, Snedaker 1980, Golley 1983, Vitousek 1984).

Some fallow species appear to be nutrient accumulators (Snedaker & Gamble

1969, Stark 1970, Tergas & Popenoe 1971, Cherney & Sporne 1976, Juo & Lal 1977, Ramakrishnan & Toky 1981). Grasses, for example, are well known to accumulate K, as compared with legumes; *Heliconia* and *Gynierium* appear to accumulate P (Tergas & Popenoe 1971) and *Acioa barteri* accumulates Ca+Mg (Nye & Stephens 1962). It is not known whether these species are true accumulators, what the mechanisms involved are, and what is the importance of these and similar species in soil and vegetation regeneration.

CHANGES IN SOIL PROPERTIES WITH TIME

Soil Physical Properties

The decline and subsequent restoration of soil physical properties under crop-

ping and fallow may be particularly important to the restoration of soil productivity. There is, indeed, general evidence of certain deterioration in physical properties during the clearing and cultivation stages of shifting cultivation. Soil temperatures increase, vary more widely, and extend deeper into the profile in partial openings than under forest due to increased insolation (Schulz 1960, Hill 1966). As compared to mature forest, Lal & Cummings (1979) found soil temperatures of cleared plots to be twice as great at 1 cm depth, 22° C as compared to 44° C. A difference of 8° C was detected at 10 cm. Light intensity in clearings is greater and contains a reduced proportion of red/far red wavelengths (Schulz 1960). Humidity is decreased and water storage deficits are greater in exposed sites (Schulz 1960, Longman & Jenik 1974). Exposed soil also is generally higher in bulk density and has a lower porosity and infiltration rate than soil covered by vegetation and litter (Cunningham 1963, Wood 1977, Silva 1978). In cases where such deterioration in soil structure is marked, increased runoff and erosion can be observed. The latter may be 1 to 2 orders of magnitude greater on cropped land vs. forest (Okigbo & Lal 1979). As Sanchez (1979) suggests, and Kyuma & Pairintra (1983) show, most (75%) of the erosion may occur in the crucial one to two months following burning, before vegetation reestablishment.

The extent and rate of changes in physical properties during cultivation will vary with texture, aggregation, and organic matter content of the soil, as well as with the intensity and type of disturbance (Sanchez 1976, Kyuma & Pairintra 1983). In many tropical soils (e.g., Oxisols or cric subgroups of Ultisols and Dystropepts), physical properties are good due to the stable microaggregation of oxide-coated clays and in these soils the physical deterioration associated with a reduction in organic matter can be expected to be less than in less well-structured soils (Ahn 1979).

The fact that soil physical properties deteriorate under shifting cultivation raises the question of how these properties are restored by fallows. Table 3 summarizes the few studies that address this question. Only the study by Lal et al. (1979) followed the same plots with time; the other data were obtained from fallows of different ages located at different sites. Interstudy comparisons show relatively large differences for all parameters monitored, probably due to differences in measurement techniques, soil properties, and the rate of vegetation regrowth. For all measurements shown, physical properties appear to improve with time beginning early in succession. Bulk density decreases with time, while total porosity, soil moisture retention at approximately 0.1 bar, and infiltration rate increase during the measurement periods. Soil moisture retention at 0 and 0.1 bars suction increased during the first two years of fallow. Lal et al. (1979) attribute this to increased soil organic matter content and increased percentage of macropores.

A number of factors may be involved in the maintenance or improvement of soil physical properties by fallows. The rapid development of a leaf canopy results in light interception, altering insolation intensity and quality, and as a result, reduces soil temperature. Uhl (1982) reported that at a southern Venezuela site, 22 months after burning, light at 2 m above the ground was reduced to 26% of full sunlight. Ross (1954) found that microclimatological conditions at ground level in a 14-year old secondary forest closely resembled those in primary forest, the principal difference being a lower minimum relative humidity in the former (69 vs. 78%). The establishment of a vegetation cover also protects the soil from rainfall impactation. Root growth physically disturbs the soil and root exudates and turnover may increase soil organic matter, although the trend of soil organic matter with time is not totally consistent (see next section). In general then, a moderated

TABLE 3. Changes in soil physical properties during fallow growth.

Fallow Age (yr)	Bulk Density (g/cm ³)	Total Porosity (%)	Soil Moisture Retention, ~ .1 bar (%)
S.W. Nigeria, Alfisol (Aweto 1981a)			
1	1.19	54.4	36.4
3	1.09	59.1	34.5
7	1.07	59.6	48.4
10	0.98	63.0	46.5
mature forest	0.98	63.2	56.3
Polochic River, Guatemala, Alfisol (Popenoe 1957)			
cleared land	0.71	73.0	
2	0.70	73.0	
cleared land	0.74	72.0	
5	0.70	73.0	

B.

S.W. Nigeria, Alfisol (Lal *et al.*, 1979)

Fallow Age	Infiltrate rate (cm/h)*	Soil Moisture Retention (%)							
		Tension, bars							
		0	0.1	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	15.0
0	9 ± 4	30.6	15.3	15.2	13.9	13.1	11.7	10.3	8.6
2	13 ± 8	37.6	15.7	14.5	12.9	11.4	10.9	8.9	8.9

* Rate at three hours.

soil microclimate, less rainfall impaction, increased root growth, and organic matter additions to the soil by growing vegetation may all play a role in improving soil physical properties. This area merits further research.

Soil Chemical Properties

Soil nutrient dynamics reflect the balance of nutrient gains and losses. Sources

of nutrient additions include: rain and dust, mineral weathering, litterfall, upward movement from greater soil depths, leaching from vegetation, and, in the case of nitrogen, N₂ fixation. Losses of nutrients from the soil can occur by leaching, runoff, erosion, volatilization by burning, uptake by vegetation, and denitrification. Fig. 2 presents the changes in soil organic matter content, total N, available P, and exchangeable ca-

tions that occurred during the fallow period as measured in plots of various ages from three different studies (Zinke et al. 1978, Aweto 1981a, b, Ramakrishnan & Toky 1981). Data are presented as percent change in nutrient level relative to that at or near

abandonment. These studies included data on most of the macronutrients and seemed to present reliable plot comparisons. Other studies have presented information on some of the changes and these will also be discussed.

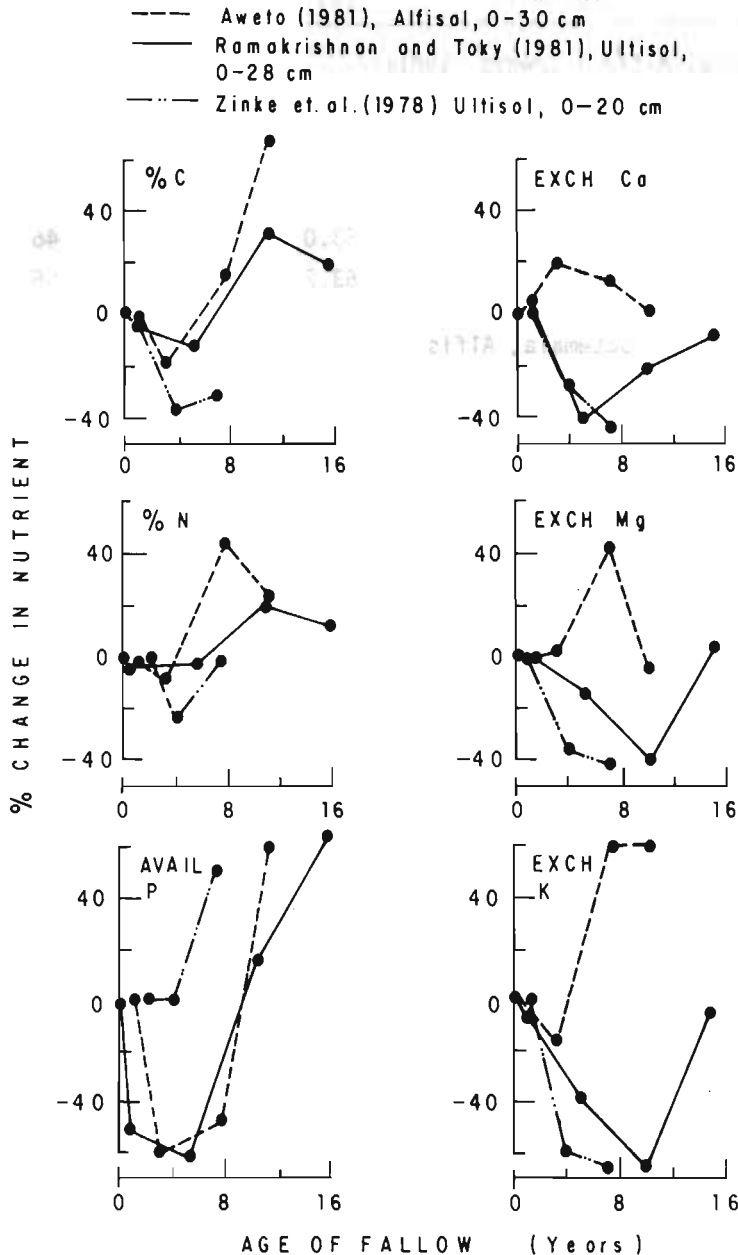


FIG. 2. Changes in topsoil nutrients during fallow regrowth, relative to levels at or near abandonment.

It is important to stress, at this point, that a small number of studies was compared and that plots of different ages were compared. Making a comparison with the limited data may provide some useful direction for future research, but any conclusions drawn should not be interpreted as indicative of general trends.

Organic matter. Organic matter is often implicated in maintaining or improving soil physical properties; forming complexes with Al, thereby reducing Al in solution; and contributing a major portion of the cation exchange capacity in Oxisols and Ultisols (Sanchez 1976). Clearly, it is important to know how soil organic matter changes during fallows.

Unfortunately, interpretation of the data base is limited because soil organic matter or carbon is reported as a percentage, in many cases bulk density is not measured, and samples are not taken from a uniform depth. The necessity of bulk density measurements is shown in the following example. Soils with organic matter percentages of 3.25 and 3.91 have equal amounts of organic matter for equal volumes of soil if the bulk density is 0.90 g/cm³ in the former and 0.75 g/cm³ in the latter. Data showing a decrease or increase in percent organic matter or carbon do not necessarily mean a decrease or increase in organic matter if the bulk densities have also changed. It is necessary to consider bulk density when interpreting organic matter data.

Organic matter dynamics depend on the balance between additions and decomposition and hence, are closely tied to microclimatic conditions and vegetation. Considering the limitations of the data stated above, general trends of soil organic carbon during fallow are: 1) Organic carbon increases after clearing and burning and before cultivation (Nye & Greenland 1960, Zinke et al. 1978, Lal & Cummings 1979). The increase may be due to inclusion of roots and debris from the cut vegetation or changes in bulk density. Other studies show a decrease immediately after

clearing (Popenoe 1957, Ramakrishnan & Toky 1981, Street 1980). Decreases may be due to greater carbon volatilization losses during high temperature burns, losses in erosion or runoff, differences in clay content between sites (soils with higher clay percentages would tend to have higher C levels), and neglecting to account for changes in bulk density. 2) There is a continual decrease in soil carbon during cropping and the early stages of fallow, presumably due to a combination of decreased litter input and greater decomposition rates resulting from increased soil temperatures and aeration (Popenoe 1957, Zinke et al. 1978, Street 1980, Ramakrishnan & Toky 1981, Aweto 1981a, b (Fig. 3). 3) Soil carbon in the top 10 to 25 cm usually reaches a minimum level of 50% to 75% that of the mature forest in three to five years then increases in another five to ten years to above the levels measured at abandonment, but generally below those found under mature forest (Zinke et al. 1978; Aweto 1981).

A probable explanation of the observed changes in organic matter is as follows. Grasses and forbs present in the first three to five years of succession produce small amounts of litter; at the same time, soils may still be slightly exposed (Ramakrishnan & Toky 1981). As leaf biomass reaches a maximum, canopy extension occurs, and root turnover and litterfall increase. Lower rates of decomposition from the moderated soil microclimate and greater organic matter additions result in higher soil organic matter levels. With time, more decomposition resistant litter may also be produced (Anderson & Swift 1983), contributing to soil organic matter accumulation. Ramakrishnan & Toky (1981) observed a decline in soil organic matter between 10 and 15 years. This may reflect a change in the vegetation and litter input or may only be due to soil differences among sites. One further point deserves mention: the magnitude and rates of change of organic matter appear to be greater in the sandier textured soils than loamy and clayey soils (Aweto 1981a,b, Ramakrishnan & Toky 1981).

Nitrogen. Changes in total N contents of the topsoil, shown in Fig. 2, are qualitatively similar to the changes in soil organic carbon (Popenoe 1957, Nye & Greenland 1960, Juo & Lal 1977, Zinke et al. 1978, Aweto 1981a,b). This is to be expected because most of the soil N is in organic form (Sanchez 1976). The magnitude of changes in total N is, however, less than that of C. Little change in total soil N is seen early in succession, when losses by erosion, runoff, and leaching are likely to be greater than during other periods (Jordan, 1980, Jordan et al. 1983). Jordan (1980) suggests that N additions from decomposing wood and roots, rain, dust, and N₂ fixation must nearly balance losses. Subsequent increases in soil N may be due to the same factors influencing soil carbon. In addition, the development of more extensive root systems and better infiltration characteristics of the soil might be expected to decrease losses through soil erosion and runoff, leaching of NO₃, and through denitrification. Legumes, often numerous in early succession, may also contribute to enhanced soil N status (Gutschick 1981). Finally, as in the case of soil carbon, these differences may only be apparent; the same caveats apply.

Topsoil C/N ratio decreases during the first three to seven years of fallow (Popenoe 1957, Nye & Greenland 1960, Juo & Lal 1977, Zinke et al., 1978, Aweto 1981a,b). Afterwards, C/N ratios increase to levels above measured at abandonment (Aweto 1981a,b, Ramakrishnan & Toky 1981). These trends are consistent with the differential losses or gains of C and N reported above. During the initial decline in soil organic matter, the more readily decomposed nonhumic material, having a lower N content, is lost leaving a higher proportion of N-enriched humic substances and organic matter with a lower C/N ratio. Moreover, the surrounding soil may become enriched in N because of the slow decomposition of refractory materials left from clearing. This enrichment would lower the C/N ratio. The subsequent increase in the C/N ratio of the

soil follows the buildup of soil organic matter, particularly the nonhumic fractions, due to the slower rates of decomposition resulting from lower soil temperatures, changes in litter quality, and increased litter input.

Phosphorus. Organic phosphorus makes up the majority of total soil P, especially in weathered tropical soils, and may be the main source of available P along with P in the ash (Sanchez 1976). Large decreases in available P occur early in succession, concurrent with losses of soil organic matter (Fig. 2). Similarly, available P increases with soil organic matter levels but at a much slower rate. After 10 to 15 years available P levels, while above those measured at time of clearing, are much less than those found under mature forest (Lal et al. 1979, Aweto 1981a,b, Ramakrishnan & Toky, 1981). Soil organic levels, however, are generally similar to that of mature forest by this time. This would suggest that available P in the soil accumulates much more slowly than carbon. Possible explanations may be that available P taken up from the soil is stored in live biomass with little being transferred to the soil by litterfall (Golley et al. 1974, Sanchez 1976, Zinke et al. 1978, Kyuma & Pairintra 1983). An alternative, but not necessarily exclusive explanation is that although available P levels are decreased rather quickly by fixation in the soil and crop removal, a long time period may be required to restore the chemical equilibrium between available and unavailable P. Finally, if the "pumping" of P by vegetation from greater depths of the soil occurs, as some studies suggest (Nye & Foster 1961, Harcombe 1977, Fried & Mistry, 1979), a lag would be expected before the P appeared in the topsoil.

With regard to measurements of total soil P with time, Golley et al. (1974) observed a slight decrease in a two-to six-year old fallow sequence that is probably due to a transfer of P from the soil to growing vegetation.

Exchangeable cations. Fewer studies have reported changes in exchangeable ca-

tions than changes in organic matter, N and P. It is difficult to explain exchangeable cation dynamics because the level and recovery of exchangeable cations in a soil will depend on the soil type, especially the % base saturation of exchange sites, and % weatherable minerals; the species composition of the vegetation; and also on the quantity and quality of litter. Most studies do not provide this information, making interpretations tentative.

Calcium and magnesium changes follow similar patterns: an initial increase for two to eight years followed by a decrease which may (Zinke et al. 1978) or may not (Aweto 1981a,b) fall below the level found at time of abandonment. This initial increase is best explained by the continued decomposition of roots, stumps, and tree trunks from the forest felling and burning. Calcium in particular, being rather immobile, is released with decomposition of plant material (Swift et al. 1981, Kyuma & Pairintra 1983). The longer period of increase found in the study by Aweto (1981a,b) could be due to slower rates of decomposition in a drier environment, or the "pumping" of Ca and Mg from the Alfisol subsoil. The subsequent decline in Ca or Mg, if it exists, reflects the transfer of these nutrients from the soil to the increasing biomass. In the studies by Ramakrishnan & Toky (1981) and Zinke et al. (1978) the level of exchangeable Ca and Mg is lower in soils of mature forest than in the soil at abandonment. This supports the idea that biomass sequesters Ca and perhaps Mg at least for nutrient poor Ultisols. In contrast, the Alfisol in the study by Aweto (1981a,b) has a higher Ca and Mg content in the forest than at abandonment, perhaps reflecting the transfer of nutrients from the more fertile subsoil.

Potassium dynamics differ from those of Ca and Mg, showing an initial decrease from the level at abandonment (Zinke et al. 1978, Aweto 1981a,b, and Ramakrishnan & Toky 1981). The absence of a flush of K in the soil from decomposition or leaching of trunks and roots could be due to

two factors; uptake by vegetation and leaching to the subsoil. The soils studied have low CECs and hence, are only slightly able to retain K against leaching, especially when K is also competing for exchange sites with the large quantities of Ca and Mg simultaneously released by decomposition. Moreover, the soils investigated by Aweto (1981a,b) and Ramakrishnan & Toky (1981) have a sandy texture which would also facilitate leaching losses. Leaching losses of K are found soon after abandonment before root systems become established (Jordan 1980).

Early successional vegetation, chiefly grasses and forbs, take up significant amounts of K and may contribute to the decline in soil K observed. As the grass community senesces, one might expect soil K to rise. There is a suggestion that this occurs in the study by Aweto (1981a,b) and particularly that of Ramakrishnan & Toky (1981). They found soil K levels were low for the first 10 years when bamboo was the dominant vegetation. The soil levels increased as the bamboo was replaced. Aweto (1981a,b) and Ramakrishnan & Toky (1981) found K levels in the forests were higher than that at abandonment but Zinke et al. (1978) found lower levels.

Soil Acidity (pH). Soil acidity status relative to that observed at abandonment or under mature forest will depend on many factors; the amount of nutrients and organic acids released by organic matter decomposition, the quantity of nutrient uptake by plants, the type of vegetation, the degree of leaching, quantity and type of organic matter produced, and clay mineralogy and buffering capacity. No consistent pattern in pH value changes emerges from the studies. In some cases, pH values decrease throughout the fallow phase (Popenoe 1957, Zinke et al. 1978), but in others, pH values increased during the first to third year of succession (Aweto 1981a,b), Ramakrishnan & Toky 1981) and subsequently declined. These patterns are consistent with the chan-

ges observed in the levels of Ca and Mg in the topsoil. Some studies showed no trend (Cowgill 1962).

Cation exchange capacity (CEC).

In general, CEC drops for the first few years of succession and then increases (Popenoe 1957, Zinke et al. 1978, Aweto 1981a,b). Changes in CEC will be affected by differences in clay mineralogy, amount of organic matter, and the relative importance of variable charge soil components. One might expect to observe substantial changes in CEC with changes in soil organic matter content in soils high in 1:1 clay minerals or hydrous oxides; CEC in these soils would also increase with decreasing acidity. Aweto (1981a) observed an increase in CEC which was highly correlated with soil organic matter in an Alfisol. Popenoe (1957) reported a similar relationship in an Alfisol in Guatemala, as did Zinke et al. (1978) in an Ultisol in Thailand.

DISCUSSION

The question of whether soil chemical properties are improved by fallows deserves consideration. Generally, the nutrients most dependent on organic matter maintenance, N and P, decrease with organic matter decomposition during early succession. On the other hand, nutrients tied up in litter, such as Ca and Mg, tend to be released during early succession, enriching the soil. Potassium may be an exception, the soil may not be enriched if leaching losses and/or vegetation uptake is rapid. As the fallows age and soil organic matter is restored, soil N and P increase. Exchangeable Ca and Mg appear to decrease mainly due to their being immobilized in biomass. As before, the K pattern is a bit unclear. Hence, later in succession, the soil may, in fact be depleted of these nutrients as stocks are shifted to biomass. Further research is necessary to elucidate the changes that occur and to relate these changes to soil type, vegetation, and climate.

One may also ask whether the enrichment or depletion of the soil-biomass system is real or only apparent, being based on transfer between soil and biomass compartments. Losses to these systems by leaching, erosion, runoff, and harvest removal are real—these elements are no longer available to support plant growth. Gains or inputs, on the other hand, hardly seem sufficient to sustain these losses. True inputs include those from atmospheric deposition, mineral weathering, nitrogen fixation, and nutrient "pumping" from the subsoil. Atmospheric inputs are small, but over a 20-year period may be enough to support one crop (Jordan et al. 1980). Mineral weathering, at least in Ultisols, Oxisols, and some sandy Entisols, probably makes negligible contributions.

The importance of nutrient "pumping" has been mentioned, but the paucity of data precludes arriving at any firm conclusions. Some studies have shown that more than 30% of plant P requirements are supplied from depths greater than 30 cm (Nye & Foster 1961, Harcombe 1977, Fried & Mistry 1979). Other studies show that the majority of fine roots active in nutrient uptake are present in the topsoil (Stark & Spratt 1977). It should also be noted that the high nutrient demand and transpiration rates of early secondary forest species may establish large nutrient concentration and moisture gradients which may also help bring up nutrients from greater soil depths. Clearly, more work needs to be done before these questions can be satisfactorily answered.

Physical properties generally improve with fallow age due to organic matter inputs, a moderated soil microenvironment, reduced rainfall impact, and greater root growth and decomposition. All are a consequence of vegetation reestablishment. The relative importance of these factors, however, remains unknown. Furthermore, we have been unable to answer a number of significant questions: What role does degradation of soil physical properties play in af-

fecting crop yield subsequent fallow regrowth? Conversely, what degree of improvement in these properties is needed in order to restore site productivity? Answers to these questions are needed since it has been suggested that soil physical properties may be the most limiting factors in agricultural productivity, at least on relatively fertile sites (Ahn 1979, Scott 1977). If so, the time needed for adequate restoration of soil physical properties might thus be important in determining the length of the fallow period.

Any trends noted in this review on the recovery of vegetation or soils should be viewed critically and with caution but can perhaps serve as a framework with which to formulate and test hypotheses. Future studies on the dynamics of shifting cultivation fallows must focus more on the interaction of the vegetation and soils, the transfer of nutrients between the two compartments, and how these processes differ under different climates, vegetation, and soil types. Effective design and management of fallows are contingent on this type of information.

REFERENCES

- AHN, P.M. The optimum length of planned fallows. In: MONGI, H.O. & HUXLEY, P.A. eds. *Soils research in agroforestry*. Nairobi, Kenya, ICRAF, 1979. p.15-40.
- ANDERSON, J.M. & SWIFT, M.J. Decomposition in tropical forests. In: SUTTON, S.L., WITHMORE, T.C. & CHADWICK, A.C. eds. *Tropical rainforest; ecology and management*. Bangor, Blackwell Scientific Publications, 1983. p. 287-309. (British Ecological Society. Special Publication, 2).
- ANDRESSE, J.P. *Nutrient level changes during a 20-year shifting cultivation cycle in Sarawak*. Amsterdam, Royal Tropical Institute, 1977.
- ASHTON, P.A. Crown characteristic of tropical trees. In: TOMLINSON, P.B. & ZIMMERMAN, M.H. eds. *Tropical trees as living systems*. Cambridge, Cambridge University, 1978. p.591-615.
- AWETO, A.O. Organic matter build-up in fallow soil in a part of southwestern Nigeria and its effects on soils properties. *J. Biogeogr.*, 8:67-74, 1981a.
- AWETO, A.O. Secondary succession and soil fertility restoration in southwestern Nigeria. I. Succession. II. Soil fertility restoration. *J. Ecol.*, 69:601-14, 1981b.
- BARTHOLOMEW, W.J., MEYER, J. & LADELOUT, H. *Mineral nutrient immobilization under forest and grass fallow in the Yangambi (Belgian Congo) region*. Congo Belge, Inst. Natn Etude Agron, 1953. 27p. (Série Scientifique, 57).
- BAZZAZ, F.A. & PICKETT, S.T.A. Physiological ecology of tropical succession: A comparative review. *Ann. R. Ecol. & Syst.* 11:287-310, 1980.
- BRIKMAN, W.L.F. & VIEIRA, A.N. The effect of burning on germination of seeds at different soil depths of various tropical tree species. *Turrialba*, 21:72-82, 1971.
- CHERNEY, E.M. & SPORNE, K.R. A note on the evolutionary status of aluminium accumulators among dicotyledons. *New Phytol.*, 76:551-4, 1976.
- CHIN, L.T. & ON, W.F. Density, recruitment, and growth of dipterocarp seedlings in virgin and logged-over forest in Sabah. *Malay.For.*, 36:3-15, 1973.
- COWGILL, U.M. An agricultural study of the Southern Maya Lowlands. *Amer. Anthrop.* 64:273-87, 1962.
- CUNNINGHAM, R.K. The effect of clearing of tropical forest. *J. Soil Sci.*, 14: 334-45, 1963.
- EWEL, J.J. Biomass changes in early tropical succession. *Turrialba*, 21:110-2, 1971.
- EWEL, J.J. Litterfall and leaf decomposition in a tropical forest succession in eastern Guatemala. *J. Ecology*, 64:293-308, 1976.
- EWEL, J.J. Differences between wet and dry successional tropical ecosystems. *Geo-Eco-Trop.*, 1:103-17, 1977.
- EWEL, J.J. Tropical succession: Manifold routes to maturity. *Biotropica, Trop. Succession Suppl.*, p.2-7, 1980.
- EWEL, J., BERISH, C., BROWN, B., PRICE, N. & RAICH, J. Slash and burn impacts on a Costa Rican wet forest site. *Ecology*, 62(3):816-29, 1981.

- FRIED, M. & MISTRY, K.B. Application of isotope techniques in research into the chemistry and availability of plant nutrients. In: MONGI, H.O. & HUXLEY, P.A. eds. *Soils research in agroforestry*. Nairobi, Kenya, ICRAF, 1979. p.471-522.
- GOLLEY, F.B. Nutrient cycling and nutrient conservation. In: GOLLEY, F.B. ed. **Tropical rainforest ecosystems** (Ecosystems of the World 14 A). New York, Elsevier Scientific, 1983.
- GOLLEY, F.B.; MCGINNIS, J.T.; CLEMENTS, R.G.; CHILD, G.I. & DUEVER, M.J. **Mineral cycling in a tropical moist forest ecosystem**. Athens, University of Georgia, 1974.
- GOLLEY, F.B. & RICHARDSON, T. Chemical relationships in tropical forests. **Geo-Eco-Trop.**, 1(1):35-44, 1977.
- GOLLEY, F.B.; RICHARDSON, T. & CLEMENTS, R.G. Elemental concentrations in tropical forests and soils of northwestern Colombia. **Biotropica**, 10(2):144-51, 1978.
- GÓMEZ-POMPA, A. Recovery of tropical ecosystems. In: FARNSWORTH, E.A. & GOLLEY, F.B. eds. **Fragile ecosystems**. New York, Springer Verlag, 1974. Chapter 4.
- GÓMEZ-POMPA, A.; VÁSQUEZ-YÁÑES, C. & GUEVARA, S. The tropical rainforest: A nonrenewable resource. **Science**, 177:762-5, 1972.
- GUEVARA, S. & GÓMEZ-POMPA, A. Seeds from surface soils in a tropical region of Veracruz, México. **J. Arnold Arboretum**, 53:312-35, 1972.
- GUTSCHICK, V.P. Evolved strategies in nitrogen acquisition by plants. **Amer. Nat.**, 118:607-37, 1981.
- HARCOMBE, P.A. Soil nutrient loss as a factor in early tropical secondary succession in a humid tropical forest. **Ecology**, 58:1375-83, 1977.
- HARCOMBE, P.A. Soil nutrient loss as a factor in early tropical secondary succession. **Biotropica, Trop. Succession Suppl.**, p.8-15, 1980.
- HARE, R.C. **Heat effects on living plants**. Washington, USDA Forest Service, 1961. (U.S. Forest Service Occasional Paper, 183).
- HARPER, J.L. & BENTON, R.A. The behavior of seeds in soil. II. The germination of seeds on the surface of a water supplying substrate. **J. Ecol.**, 54:151-66, 1966.
- HERRERA, R.; JORDAN, C.F.; MEDINA, E. & KLINGE, W. How human activities disturb the nutrient cycles of a tropical rainforest in Amazonia. **Ambio**, 10:109-14, 1981.
- HILL, R.D. Microclimate observations at Bukit Timah Forest Reserve, Singapore. **Malay. Forest**, 24:78-86, 1966.
- JAIYEBO, E.O. & MOORE, A.W. Soil fertility and nutrient storage in different soil-vegetation systems in a tropical rainforest environment. **Trop. Agric.**, St. Augustine, 41:129-39, 1964.
- JORDAN, C.F. & FARNWORTH, E.G. A rainforest chronicle: Perpetuation of a myth. **Biotropica**, 12:233-4, 1980.
- JORDAN, C.F. Nutrient leaching from agroecosystems in the Amazon basin, and implications for recovery of the forest. In: FURTADO, J.I. ed. **Tropical ecology and development, proceedings of the fifth international symposium of tropical ecology**. Kuala Lumpur, s.ed. 1980, p.553-9.
- JORDAN, C.; GOLLEY, F.; HALL, J. & HALL, J. Nutrient scavenging of rainfall by the canopy of an Amazonian rainforest. **Biotropica**, 12(1):61-6, 1980.
- JORDAN, C.F.; CASKEY, W.; ESCALANTE, G.; HERRERA, R.; MONTAGNINI, F.; TODD, R. & UHL, C. Nitrogen dynamics during conversion of primary Amazonian rainforest to and burn agriculture. **Oikos**, 40:131-9, 1982.
- JUO, A.S.R. & LAL, R. The effect of fallow and continuous cultivation on the chemical and physical properties of an Alfisol in western Nigeria. **Plant and Soil**, 47:567-84, 1977.
- KELLMAN, M.C. **Secondary plant succession in tropical montane Mindanao**. Canberra, Australian National University, 1970. (Publication BG/2).
- KELLMAN, M. Geographic patterning in tropical weed communities and early secondary successions. **Biotropica, Trop. Succes. Suppl.**, p.34-9, 1980.
- KÖOPER, W.J.C. **Sociological and ecological studies on the tropical weed vegetation of Pasuran (the island of**

- Java). Amsterdam, J.H. de Bussy, 1927. 155p.
- KYUMA, K. PAIRINTRA, C. eds. Shifting cultivation. An experiment at Nam Phrom, Northeast Thailand and its implications for upland farming in the monsoon tropics, s.l., 1983. 219p.
- LAL, R. & CUMMINGS, J.D. Changes in soil and micro-climate after clearing a tropical forest. **Field Crops Res.** 2:91-107, 1979.
- LAL, R.; WILSON, G.F. & OKIGBO, B.N.. Changes in properties of an Alfisol produced by various crop covers. **Soil Sci.**, 127(6):377-82, 1979.
- LANLY, J.P. **Tropical forest resources**. Rome, FAO, 1982. (FAO. Forestry Paper, 30).
- LONGMAN, K.A. & JENIK, T. **Tropical forest and its environment**. London, Longman. 1974. 196p.
- LUNDGREN, B. **Soil conditions and nutrient cycling under natural and plantation forests in Tanzania highlands**. Uppsala, Dept. Forest Soils, Swedish University of Agricultural Science, 1978. (Reports in Forest Ecology and Forest and Soils, 31).
- MEIJER, W. Regeneration of tropical lowland forest in Sabah, Malaysia forty years after logging. **Malay Forester**, 33:204-28, 1970.
- MONGI, H.O.; KEYA, S.O. & AHN, P.M. Standardization in soil research methodologies and strategy in agroforestry. In: MONGI, H.O. & HUXLEY, P.A. eds. **Soils research in agroforestry**. Nairobi, Kenya, ICRAF, 1979. p.539-68.
- NYE, P.H. & STEPHENS, D. Soil fertility. In: WILLS, J.B. eds. **Agriculture and land use in Ghana**, 1962. p.127-43.
- NYE, P.J. & FOREST, W.N.M. The relative uptake of phosphorus by crops and natural fallow from different parts of their root zone. **J. Agric. Sci.**, 56:299-306, 1962.
- NYE, P.H. & GREENLAND, D.J. **The soil under shifting cultivation**. Harpenden, England Commonwealth Bureau of Soils, 1960. 156p. (Technical Communication 51).
- NYE, P.H. HUTTON, R.G. Some preliminary analyses of fallows and cover crops at the West African Institute for Oil Palm Research, Benin. **J. West Afr. Inst. Oil Palm Res.**, 2:237-43, 1957.
- ODUM, H.T.; LUGO, A.; CINTRON, G. & JORDAN, C.F. Metabolism and evapotranspiration of some rainforest plants and soil. In: ODUM, H.T. & PIGEON, R.F. eds. **A tropical rainforest**. Oak Ridge, Tennessee, U.S. Atomic Energy Commission, 1970.
- OKIGBO, B.N. & LAL, R. Soil fertility maintenance and conservation for improved agroforestry systems in the lowland humid tropics. In: MONGI, H.O. & HUXLEY, P.A. eds. **Soils research in agroforestry**. Nairobi, Kenya, ICRAF, 1979. p.41-79.
- OLDEMANN, R.A.A. Architecture and energy exchange. In: TOMLINSON, P.B. & ZIMMERMAN, M.H. eds. **Tropical trees as living systems**. Cambridge, Cambridge University, 1978. p.535-60.
- POPENOE, H. The influence of the shifting cultivation cycle on soil properties in Central America. In: PACIFIC SCIENCE CONGRESS, 9, 1957. **Proceedings**. s.l. s.ed. 1957. p.72-7.
- RAMAKRISHNAN, P.S. & TOKY, O.P. Soil nutrient status of hill agroecosystems and recovery pattern after slash and burn agriculture (jhum) in Northeastern India. **Plant and Soil**, 60:41-64, 1981.
- ROSS, R. Ecological studies on the rainforest of southern Nigeria. III. Secondary succession in the Sas ha forest reserve. **J. Ecology**, 42:259-82, 1954.
- SANCHEZ, P.A. **Properties and management of soils in the tropics**. New York, Wiley, 1976.
- SANCHEZ, P.A. Soil fertility and conservation considerations for agroforestry systems in the humid tropics of Latin America. In: MONGI, H.O. & HUXLEY, P.A. eds. **Soils research in agroforestry**. Nairobi, ICRAF, 1979. p.79-124.
- SANCHEZ, P.A. Nitrogen in shifting cultivation systems of Latin America. **Plant and Soil**, 67:91-103, 1982.
- SANCHEZ, P.A. & COCHRANE, T.T. Soil constraints in relation to major farming systems in tropical America. In **PRIORITIES for alleviating soil-related constraints to food production in the tropics**, Los Banos, IRRI, 1980. p.107-39.

- SANCHEZ, P.A.; PALM, C.A.; SZOTT, L.T. & DAVEY, C.B. Trees as soil improvers in the humid tropics? In: CANNELL, M.G. ed. **Trees as crop plants**. Midlothian, Institute of Terrestrial Ecology, 1985.
- SCHULZ, J.P. **Ecological studies on rainforest in northern Surinam**. Amsterdam, s.ed., 1960. 267p.
- SCOTT, G. The importance of old-field succession biomass increments to shifting cultivation. **Great Plains-Rocky Mount. Geogr. J.**, 6:318-27, 1977.
- SILVA, L.F. **Influência do manejo de um ecossistema nas propriedades edáficas dos Oxisoles de "Tabuleiro"**. Itabuna, CEPLAC, 1978.
- SNEDAKER, S. **Ecological studies on tropical moist forest succession in eastern lowland Guatemala**. Gainesville, University of Florida, 1970. Tese doutorado.
- SNEDAKER, S.C. Successional immobilization of nutrients and biologically mediated recycling in tropical forests. **Biotrop. Trop. Suces. Suppl.**, p.16-22, 1980.
- SNEDAKER, S.C. & GAMBLE, J.F. Compositional analysis of selected second growth species from lowland Guatemala and Panama. **Bioscience**, 19:536-8, 1969.
- STARK, N. The nutrient contents of plants and soils from Brazil and Surinam. **Biotropica**, 2:51-60, 1970.
- STARK, N. & SPRATT, M. Root biomass and nutrient storage in rainforest Oxisols near San Carlos de Rio Negro. **Trop. Ecol.**, 18:1-9, 1977.
- STREET, I.M. Changes in carbon inventories in live biomass and detritus as a result of the practice of shifting agriculture and the conversion of forest to pasture: Case studies in Peru, New Guinea; and Hawaii. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON GEOGRAPHY AND THIRD WORLD, Kuala Lumpur, May, 1980. s.n.t.
- SWAINE, M.D. & HALL, J.B. Early succession on cleared forest land in Ghana. **J. Ecol.**, 71:601-27, 1983.
- SWIFT, M.J.; RUSSELL-SMITH, A. & PERFECT, T.J. Decomposition and mineral-nutrient dynamics of plant litter in a regenerating bush-fallow in subhumid tropical Nigeria. **J. Ecol.**, 69:981-95, 1981.
- SYMINGTON, C.F. The study of secondary growth on rainforest sites. **Malay, Forester**, 2:107-17, 1933.
- TANNER, E.V.J. Four montane rainforests of Jamaica: a quantitative characterization of the floristics, the soils, and the foliar mineral levels, and a discussion of the interrelations. **J. Ecol.**, 65:883-918, 1977.
- TERGAS, L.E. & POPENOE, H.L. Young secondary vegetation and soil interactions in Izabel, Guatemala. **Plant and Soil**, 34:675-90, 1971.
- UHL, C. Recovery following disturbance of different intensities in the Amazon rainforest of Venezuela. **Interciencia**, 7(1):19-24, 1982.
- UHL, C.; CLARK, H. & CLARK, K. Successional patterns associated with slash-and-burn agriculture in the upper Rio Negro region of the Amazon basin. **Biotropica**, 14:(4):249-54, 1982.
- UHL, C.; CLARK, K.; CLARK, H. & MURPHY, P. Early plant succession after cutting and burning in the upper Rio Negro of the Amazon basin. **J. Ecol.**, 69:631-49, 1981.
- UHL, C. & MURPHY, P.A. Comparison of productivities and energy values between slash and burn agriculture and secondary succession in the upper Rio Negro region of the Amazon basin. **Agro-Ecosystems**, 7:63-83, 1981.
- VÁSQUES-YÄNES, C. Studies on the germination of seeds: *Ochroma lagopus* Swartz. **Turrialba**, 24(2):176-9, 1974.
- VITOUSEK, P.M. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forest. **Ecology**, 65(1):285-98, 1984.
- WATERS, R. F.; **Shifting cultivation in Latin America**. Rome, FAO, 1971. (FAO Forestry Development Paper, 16).
- WEBB, L.J.; TRACEY, J.G. & WILLIAMS, W.T. Regeneration and pattern in subtropical rainforest. **J. Ecology**, 60:675-95, 1972.
- WHITMORE, T.C. **Tropical rainforest of the Far East**. Oxford, Clarendon, 1975. 282p.

- WHITTAKER, R.H. **Communities and ecosystems**. New York, MacMillan, 1968. 158p.
- WOOD, H.B. Hydrological differences between selected forested and agricultural soils in Hawaii. **Soil Soc. Amer. J.**, 41:(1):132-6, 1977.
- ZINKE, P.J., SABHASRI, S. KUNDSTADTER, P. Soil fertility aspects of the Lua Forest fallow system of shifting cultivation. In: KUNSTADTER, P.; CHAPMAN, E.C. & SABHASRI, S. eds. **Farmers in the forest: economic development and marginal agriculture in northern Thailand**. Honolulu, East-West Population Institute University of Hawaii, 1978, p. 134-59.

LAND CLEARING AND SOIL MANAGEMENT IN THE LOWLAND HUMID TROPICS

N.R. Hulugalle¹ and R. Lal¹

ABSTRACT: The rapid population increases in the humid tropics, have intensified land use, and have resulted in an increased rate of soil degradation. Soil degradation, a process initiated by inappropriate land clearing, should be curtailed by adopting suitable methods of soil management including methods of land clearing and post clearing soil management. Manual clearing is ecologically the most compatible method. If mechanized clearing is inevitable, use those methods that do not disturb the soil, and leave roots and stumps intact. Alleviating soil compaction by a legume / grass cover seeded immediately after clearing is recommended. Where compaction is slight, arable cropping with the no-till system may be followed, using appropriate crop sequences and combinations, with other inputs and technologies such as alley cropping. Management of soils with specific features such as soils with compacted gravel layers (stonelines), acid, acid sulphate and hydromorphic soils is also discussed.

Index terms: Soil degradation, land clearing, cover crops, no-till farming, gravel layer, acid soils, liming, hydromorphic soils, organic matter, waterlogging, acid sulphate soils.

PREPARO DE ÁREA E MANEJO DO SOLO NAS PLANÍCIES DO TRÓPICO ÚMIDO

RESUMO: O aumento rápido da população nos trópicos úmidos tem intensificado o uso da terra e resultado numa taxa elevada de degradação do solo. A degradação do solo, um processo iniciado por um desbravamento mal feito seria diminuída adotando-se métodos adequados de manejo de solos, incluindo métodos de manejo de solo durante e após o desbravamento. O desbravamento manual é ecologicamente o método mais compatível. Se o desbravamento mecanizado for inevitável, deveriam ser usados aqueles métodos que não perturbam o solo e deixam raízes e troncos intactos. A redução da compactação do solo com uma cobertura de gramíneas e leguminosas plantadas imediatamente após o preparo da área é recomendada. Onde a compactação é leve, o plantio com sistemas sem cultivo pode ser indicado, usando-se combinações e seqüências adequadas de culturas, com outras tecnologias tais como cultivos intercalares. É discutido também o manejo de solos com características específicas, tais como solos com camadas de cascalho compactadas (stonelines), solos ácidos, solos ácidos com materiais de sulfato e solos hidromórficos.

Termos para indexação: Degradação de solo, preparo de área, culturas de cobertura, plantio sem cultivo, camada de cascalho, solos ácidos, calcáreo, solos hidromórficos, matéria orgânica, encharcamento, solos ácidos de sulfatos.

¹ Soil Scientists. IITA. PMB 5320. Oyo Road, Ibadan, Nigeria.

INTRODUCTION

The risks of a rapid increase in the world population during the past 30 years are widely speculated (Brown 1979, 1981, Peterson 1984, Harrison 1984a, 1984b, 1984c). World population of 2.50 billion in 1950 increased to 3.97 billion by 1975 and is expected to be 6.29 billion by 2000 (Brown 1981). By 1980, 75% of total world population lived in the less developed countries, many of which are in the humid tropics. This figure is expected to increase to

95% by the year 2000 (Peterson 1984). The result has been intensified pressure on existing arable lands, some of which are marginal for crop production (Brown 1979, 1981, Harrison 1984b, 1984c), and a greatly accelerated rate of deforestation (Brown 1979, Harrison 1984c, O'Keefe & Kristoferson 1984, Table 1). Associated with this has been a significant loss of productive agricultural land to urbanization, to meet energy requirements, and to facilitate transport (Brown 1979, 1981, Harrison 1984a, 1984b, 1984c).

TABLE 1. Actual area under forest and estimated deforestation rate of tropical forests, average annual rate 1980-85 in M ha (O'Keefe and Kristofersen, 1964).

Forest category	Tropical America	Tropical Africa	Tropical Asia	Total
Closed forest	4339 (0.64%)	1331 (0.62)	1826 (0.60%)	7496 (0.62%)
Open forest	1272 (0.59%)	2345 (0.48%)	190 (0.61%)	3807 (0.52%)
All forest	5611 (0.63%)	3676 (0.52%)	2016 (0.60%)	1303 (0.58%)

1. Numbers in parantheses indicate deforestation rates as a percentage of the remaining forest area. Figures refer to the sample group of 76 countries.

Such intensified use of land and deforestation, coupled in many instances with inappropriate or inadequate technology, has resulted in an accelerated rate of soil degradation, primarily through erosion, compaction, acidification and rapid decline in soil organic matter (Brown 1979, 1981, Dregne 1982, Harrison 1984b, 1984c, Duda 1980). This is thought to be on the order of 5-7 million ha of land per year (Harrison 1984c).

Systems of soil management which either halt or reverse accelerated soil degradation are therefore of paramount interest in increasing food production in the humid tropics. This paper will bring together current knowledge on management of the soils of the humid tropics.

THE ENVIRONMENT

Climate

The tropical zone is located between 23.5° North and South of the equator. Within this zone those lands which lie below an altitude of 500 metres above sea level, have rainfall in excess of 800 mm, and where the mean annual temperature of the coolest month exceeds 18°C are termed the lowland humid tropics (Nieuwolt 1977, Trewartha & Horn 1980). The total area covered by the lowland humid tropics is about 26000 million ha, or 53% of the tropics (Engelstad & Russell 1975).

Radiation and temperature in the humid tropics vary little among seasons;

400-500 cal cm⁻² d⁻¹ and 25-30° are the usual range in radiation and temperature, respectively (Trewartha & Horn 1980, Nieuwolt 1977, Cooper 1970). Rainfall however is variable, both annually and in seasonal distribution. Climatic types within the lowland humid tropics are therefore classified on the basis of seasonal distribution of precipitation. Trewartha and Horn (1980) noted the occurrence of two major classes; tropical wet (A_T), where the mean precipitation of the driest month ≥ 60 mm, and tropical wet-and-dry, where at least 1 month of the year has a mean precipitation of less than 60 mm. The dry season in A_T range from 0 to 2 months whereas in A_w it is greater than 2 months and exhibits a marked seasonality (Trewartha & Horn 1980). Köppen recognizes a third class of climatic zone within the lowland humid tropics; A_m, tropical monsoonal which is intermediate in character between A_T and A_w. Natural vegetation in the A_T climatic zone is dense, broadleaf evergreen forest whereas in A_w it is lighter deciduous forest, thorn forest or tall grasses (Trewartha & Horn 1980, Nieuwolt 1977).

Soils

Major soil orders of the tropics and their distribution are shown in Table 2. Among these the major soil orders of the lowland humid tropics are Alfisols, Entisols, Inceptisols, Oxisols and Ultisols, and are described briefly as follows (Estados Unidos 1975):

- Alfisols - possess a combination of ochric or an umbric epipedon, an argillic horizon and a medium to high base status.
- Entisols - are characterized by the dominance of mineral soil materials and absence of distinct pedogenic horizons.
- Inceptisols - consist of one or more pedogenic horizons of alteration or concentration with accumulations of translocated materials other than carbonates or amorphous silica.
- Oxisols - have extreme weathering of most minerals (other than quartz) to kaolin and free oxides, and very low activity of the clay fraction.
- Ultisols - are highly weathered soils which have argillic horizons and a low supply of bases.

TABLE 2. Land area of different soil orders in millions of hectares (Buringh 1979).

Soil order	World land area		Land area in tropics	
	(x10 ⁶ ha)	(%)	(x10 ⁶ ha)	(%)
Alfisols	1730	13.1	800	16.2
Aridisols	2480	18.8	900	18.4
Entisols	1090	8.2	400	8.2
Histosols	120	0.9	-	-
Inceptisols	1170	8.9	400	8.3
Mollisols	1130	8.6	50	1.0
Oxisols	1120	8.5	1100	22.5
Spodosols	560	4.3	-	-
Ultisols	730	5.6	550	11.2
Vertisols	230	1.8	100	2.0
Mountains	2810	21.3	600	12.2
Total	13170	100.0	4900	100.0

Amongst these the two major groups frequently developed for arable land use are the Alfisols and acid soils, specifically Oxisols and Ultisols. In addition to predominantly chemical constraints to crop production in acid soils, physical properties also influence yields. Soil chemical constraints include low pH, deficiencies of major nutrients and Al and Mn toxicity (Dudal 1980, Sanchez 1981, Sanchez & Cochrane 1980, Sanchez & Salinas 1981, Sanchez et al. 1982, Kamprath 1980). The main physical constraints are low available water holding capacity, erosion and compaction hazard (Wolf 1975, Sanchez & Cochrane 1980, Sanchez & Salinas 1981). In contrast the main soil constraints of Alfisols are physical and include low water holding capacity, erosion and compaction hazards (Dudal 1980, Moorman & Greenland 1980, Lal et al. 1975, Lal 1983). Nitrogen deficiency is also a major problem on Alfisols (Lal et al. 1975). Nonetheless the effects of soil physical factors on crop production in Oxisols and Ultisols and that of chemical factors on Alfisols are very important. When nutrient imbalance is corrected soil physical limitations to crop production retard crop growth and yield on Ultisols and Oxisols (Seubert et al. 1977, Sanchez 1981, Maurya & Lal 1979a, Wade & Sanchez 1983). Similarly chemical constraints retard yield on Alfisols when soil physical constraints are alleviated (Moorman & Greenland 1980, Lal et al. 1975). It is clear from the above that both soil physical and chemical constraints in major soil groups can seriously limit crop production in Alfisols, Ultisols and Oxisols. This review will therefore address the subject of soil management in the lowland humid tropics in the context of alleviating or preventing such constraints.

Maintenance of Fertility on 'New' Land

Land clearing

Improper land management can rapidly degrade soil quality with consequent

loss of production. The use of improper methods is identified as a major cause of soil degradation in the tropics (de Wild 1967, Moorman & Greenland 1980, Harrison 1984c). It is therefore of primary importance that appropriate techniques of land management be used from the outset, i.e. from land clearing onwards.

Clearing of a tropical forest results in many significant changes occurring in the soil and climatic environment through changes in the hydrologic cycle, energy balance, soil physical and chemical properties, and flora and fauna activities (FIG. 1). Briefly these may be such that are increases in soil and air temperature, soil compaction, runoff and seepage and decreases in soil organic matter and nutrients, and in activity of beneficial soil fauna (Lal 1981a, 1983). The magnitude of the changes involved however is dependent on the method of land clearing used (Seubert et al. 1977, Lal & Cummings 1979, Opara-Nadi & Lal 1982, Hulugalle et al. 1984a, Kang & Lal 1981, Kang & Juo 1982). Some frequently used methods of land clearing are briefly summarized below:

1. Manual clearing (Dibbitts 1976, Seubert et al. 1977, Caterpillar Tractor Co. 1975, Lal & Cummings 1979, Couper et al. 1981, Ball 1981, Hulugalle et al. 1984b, Martin 1982, Ross 1982).
2. Shearblade front: mounted on a crawler tractor (Dibbitts 1976, Caterpillar Tractor Co. 1975, Ball 1981, Couper et al. 1981, Martin 1982, Ross 1982, Hulugalle et al. 1984a).
3. Treepusher front-mounted on a crawler tractor (Caterpillar Tractor Co. 1975, Ball 1981, Couper et al. 1981, Hulugalle et al. 1984a).
4. Method (3) in combination with a root rake or root plow mounted on a crawler tractor (Caterpillar Tractor Co. 1975, Ball 1981, Couper et al. 1981, Hulugalle et al. 1984a).
5. Knockdown with a crawler tractor (Dibbitts 1976, Seubert et al. 1977, Caterpillar Tractor Co. 1975, Martin 1982, Lal &

Cummings 1979).

6. Anchor chain attached to 2 tractors (Dibbits 1976, Caterpillar Tractor Co. 1975, Ball 1981, Martin 1982).

7. Chemical clearing with 2, 4, 5-T, 2, 4, 5-D or sodium arsenate (Carter 1974, Ca-

terpillar Tractor co. 1975, Liefing 1965, Bovey & Young 1980).

Combination of chemical control with any of the other methods described may be adopted to hasten land clearing.

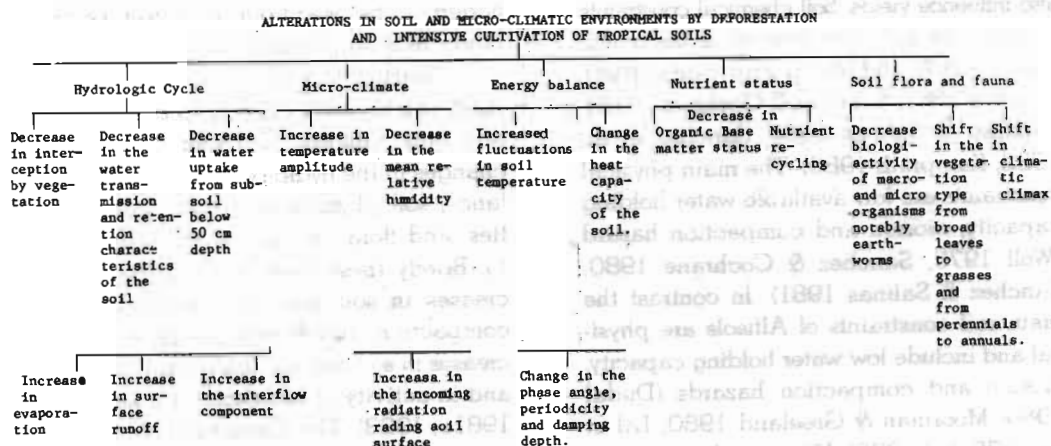


FIG. 1. Effects of deforestation on ecological parameters (Lal, 1981a)

Quantitative data on the effect of clearing method on soil properties is available as yet only for a few methods and locations. Work in Nigeria on Alfisols have considered the effects of manual clearing, and mechanical clearing with shearblade, the pusher and treepusher/root rake on soil properties. Compaction was found to be greater under all mechanical systems of land clearing, and was characterized by increases in bulk density, penetrometer resistance and the proportion of medium sized pores (radius of 2-14.3 μm), and decreases in infiltration, hydraulic conductivity, water retention, and the proportion of large pores (radius $> 14.3 \mu\text{m}$) (Lal & Cummings 1979, Opara-Nadi & Lal 1982, Hulugalle et al. 1984a). Runoff and nutrient loss was also increased (Kang & Lal 1981, Lal 1981b). In a study conducted on a 44-ha watershed, clearing with a shearblade front-mounted on a crawler tractor resulted in less soil compaction than with a treepusher/root rake combination. Following Knockdown the trees were burned in windrows (Couper-

et al. 1981, Opara-Nadi & Lal 1982). Later work by Hulugalle et al. (1984a) however indicated that clearing with a treepusher and burning of trees in-situ results in less compaction than clearing with either a shearblade or with a treepusher/root rake combination. Trees were burned in windrows in the latter treatments. The greater compaction with the shearblade in the latter study was attributed to the inexperience of the operator which led to a greater degree of soil disturbance (Hulugalle et al. 1984a). Windrowing too may have exacerbated compaction. With careful management soil transported into windrows was found to be of the order of 154 T ha^{-1} , although values many times in excess of this have been estimated for other studies (Morris et al. 1963). Other work by Seubert et al. (1977) in Peru on an Ultisol, and Mambani (1982) on an Oxisol in Zaire has also indicated the desirability of manual clearing methods. The comparative effects of different mechanical systems of land clearing on soil properties were not considered in these studies.

It is clear therefore that manual clearing of land is the most appropriate method by which soil degradation can be minimized. Cost factors may however dictate against manual clearing. In Nigeria (Annual Report 1984, Couper et al. 1981, Dibbitts 1976) manual clearing was found to be the least cost efficient method of land clearing, whereas in Peru (Seubert et al. 1977) the converse was true. Where mechanical land clearing cannot be avoided, clearing with either a treepusher or shearblade may, therefore be the best option. With the later method operator efficiency is a key factor (Couper et al. 1981, Hulugalle et al. 1984a). Elimination of windrowing can further reduce compaction. Land clearing with any appliance which disturbs the sub-soil, such as a root rake or root plow should be avoided.

Information on the effects of other methods of land clearing on soil properties is scarce. Soil disturbance is thought to be low with Knockdown of trees by the anchor chain method (Dibbitts 1976). Soil disturbance would be even less likely with chemical land clearing methods. The potential hazardous effects of the chemical used (i.e. 2, 4, 5-T and 2, 4, 5-D) on human, animal plant life (Bovey & Young 1980) may however discourage wide usage of this method.

Post-clearing Land Management

Rapid deterioration in soil properties, and consequently crop growth and yield following land clearing particularly mechanical clearing has been frequently reported (Weert 1974, Seubert et al. 1977, Lal & Cummings 1979, Hulugalle et al. 1984a). Further degradation depends to a large extent on the method of land management which follows land clearing, rather than the method of land clearing used (Lal 1981c).

Forest clearing as noted earlier results in deleterious changes to the soil and climatic environments (Fig. 1). Any method of land management which minimizes these changes by simulating the protective effects of the forest canopy is therefore desirable. Growing of a cover crop imme-

diately after land clearing and prior to arable cropping has been suggested as one such method (Okigbo & Lal 1976, Lal et al. 1979, Lal 1981a). The beneficial effects of cover crops on the physical and chemical properties of tropical soils have been reported from East Africa (Pereira et al. 1954, 1967), West Africa (Wilkinson 1975, Lal et al. 1979, Okigbo & Lal 1976, Wilson et al. 1982, Hulugalle et al. 1984b), South America (Sanchez 1981, Sanchez et al. 1982, Kemper & Derpsch 1981), and Northern Australia (Bridge et al. 1983). Appropriate covers were found to increase macroporosity, infiltration rate, soil water retention and saturated hydraulic conductivity, and decrease bulk density (Pereira et al. 1954, 1967, Wilkinson 1975, Okigbo & Lal 1976, Lal et al. 1979, Wilson et al. 1982, Bridge et al. 1983, Hulugalle et al. 1984b). Organic C, total N, pH, CEC and exchangeable bases (Ca, Mg, K) were also increased (Lal et al. 1979).

Significant differences have been found among the ameliorative abilities of different cover crop species, with deep rooted legumes generally being superior to grasses (Okigbo & Lal 1976, Lal et al. 1979, Wilson et al. 1982); Bridge et al. 1983 found that soils on which pastures of *Stylosanthes hamata* var. *verano* or *Alysicarpus vaginalis* were grown had greater macroporosity and infiltration rates than those containing *S. humilis*. Comparing a range of leguminous species Lal et al. (1979) found that soil structure was improved most by *Psophocarpus palustris*.

The ability of the cover crop to interfere with the growth of the arable crop following cover cropping is also important. Hulugalle et al. 1984b (Table 3) found that although soil physical properties were greatly improved following mucuna cover, extensive regrowth of the mucuna during the following season resulted in greatly reduced yields of maize. Similarly, Wilson et al. (1982) observed that in spite of improving soil structure grass covers such as *Brachiaria ruziziensis*, *Paspalum notatum* and *Cynodon nlemfuensis* competed serious

TABLE 3. Bulk density of 0-100 mm depth interval, January 1984 (Hulugalle and Lal, unpublished data).

Clearing method	Cropping treatment 1983	Bulk density ¹ g cm ⁻³
Manual	Mucuna cover	1.08 f
Manual	Cropped	1.18 bc
Treepusher	Mucuna cover	1.09 ef
Treepusher	Cropped	1.13 de
Shearblade	Mucuna cover	1.15 cd
Shearblade	Cropped	1.22 ba
Treepusher/root rake	Mucuna cover	1.24 a
Treepusher/root rake	Cropped	1.26 a

1. Values within the same column followed by different letters differ significantly at the 5% level of probability (Duncan's multiple range test)

with the following maize crop.

The choice of an appropriate cover crop is therefore of some importance. The desired characteristics can be summarized as follows: (1) ease of establishment; (2) vigorous growth and rapid establishment of surface cover; (3) deep rooted; (4) dies back during dry season; (5) does not interfere with crops in following season. Work on identifying such species of cover crops is proceeding (Annual Report, 1979-83).

A major disadvantage of growing a cover crop is the loss of income from the land under cover. Inclusion of stock into this farming system could however be a solution. Arable cropping using the no-till system, immediately after land clearing is another viable alternative (Lal 1981a, Lal 1983). Soil cover is provided by the residues of the crops and weeds.

No-tillage is a system of soil management that eliminates all preplanting seed-bed preparation except for the opening of a narrow (2-3 cm wide) strip or hole in the ground for seed placement to ensure seed/soil contact. The entire soil surface is covered by crop residue mulch or killed sod

(Lal 1983). The benefits of no-till farming in relation to conventional tillage practices have been discussed extensively (Lal 1976a, 1981a, 1983). Improved soil and water conservation, improved hydrothermal regimes, reduced soil compaction, improved nutrition, increased activity of beneficial soil fauna, maintenance in continuity of soil pores and saving in labour and fuel are the major beneficial effects of no-till farming (Lal 1983).

Data on responses of crops to no-till farming immediately after land clearing as opposed to cover cropping however scarce. Hulugalle et al. (1984b) found that where mechanized no-till farming and cover cropping are practiced soil improvement was greater following cover cropping (Table 3). Yields were however greatly depressed by the regrowth of the cover crop. Among the treatments which were cropped, yields were significantly influenced by the degree of compaction which occurred during clearing; maize yield of manually and treepusher cleared treatments outyielding those of the shearblade and treepusher/root rake cleared treatments (Hulugalle et al. 1984a,

Table 4). Similarly Couper et al (1981) reported that crop yield was adversely affected by the compaction which occurred at land clearing; the highest yield being obtained in the plots where clearing with a

shearblade was followed by no-tillage. Lal (1981c) however found that after 2 years of cropping soil properties were influenced more by tillage system than clearing method.

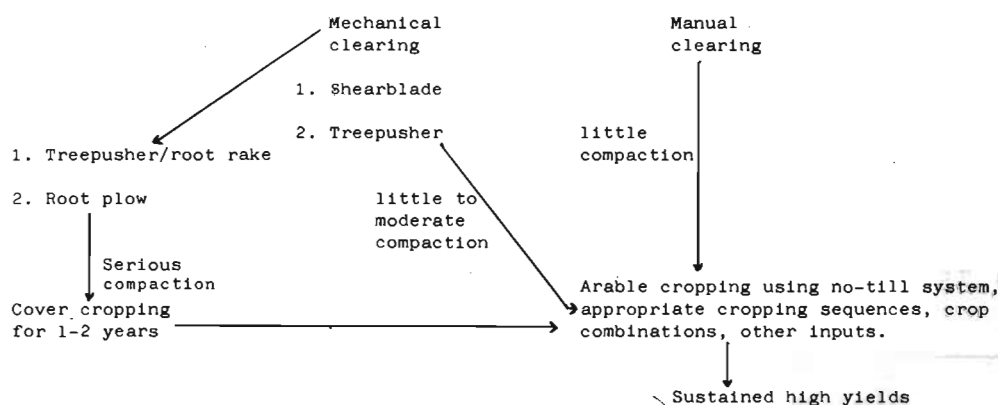
TABLE 4. Effect of clearing method on grain yield of maize (14% moisture content) Hulugalle et al., 1984a)

Clearing method	Grain yield (T ha ⁻¹)
Manual	4.44
Treepusher	4.09
Treepusher/root rake	4.01
Shearblade	4.17
LSD (0.05)	0.22

Arable cropping using the no-till system is therefore a viable proposition for the lowland humid tropics of the world. Where land clearing has resulted in soil compaction however, cover cropping for a period of 1–2 years prior to arable cropping is suggested. The inclusion of other te-

chnologies such as alley cropping and live mulch were appropriate is also suggested (Annual Report 1979-80, Akobundu and Okigbo 1974, Kang et al. 1981, Kang & Juo 1982). The discussion so far can be summarized as shown in Fig 2.

FIG. 2. Land Clearing for Development



Management of Soils with Specific Constraints

Soil with gravel layers (stonelines)

A common feature of many tropical soils, especially those developed on Basement Complex rocks, is the existence of a subsurface gravel layer, which is variable in magnitude and percentage of coarse elements (Moorman 1981; Table 5). The presence of such a gravel layer has been found to affect many of the physical characteristics of these soils. Babalola & Lal (1977a) reported that increasing subsoil gravel concentrations affected pore size distribution and total porosity, increased overall bulk density and decreased the water holding capacity of these soils. In addition the presence of such a gravel layer impedes root growth and elongation of most annual crops into the deeper regions of the profile (Lal et al. 1975, Maurya & Lal 1979b, Babalo-

la & Lal 1977a, 1977b, Fig. 3), resulting in water and nutrients present at depth becoming unavailable to the crop. The mechanism of root growth inhibition is thought to be through confinement of the soil between gravel particles, thereby hindering expansion of the soil pores, which is essential for root elongation (Vine et al. 1981). The eventual outcome is a shallow-rooted crop which suffers from drought during rain-free periods of the growing season and nutrient stress. Successful crop production is therefore dependent upon the root systems penetrating the subsoil gravel layer. Increasing the proportion of root-sized pores in the gravel layer such as old root channels and earthworm channels has been suggested as one approach by which this might be achieved (Hardy 1974, Elkins et al. 1977, Vine et al. 1981, Williams & Elkins 1982, Williams et al. 1982).

TABLE 5. Lateral variation of gravel content (weight percent of total soil) (Two series) Izu toposequence profile. Distance between sampling locations is 6.5 m (Moorman 1981).

Sampling depth (m)	Sampling location			
	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>
0 - 0.10	1	4	5	4
0.10 - 0.25	16	3	15	4
0.25 - 0.50	52	58	40	26
0.50 - 0.75	34	37	37	25
0.75 - 1.00	18	13	14	15

Although root growth of annual crop is inhibited by the gravel layer, this is not so with many perennial crops. Pigeonpea (*Ca-*

janus cajan) for instance was observed to penetrate the gravel layer and to a depth of 1.15 m, 6 months after planting (Hulu-

galle & Lal, unpublished data). Roots of *Leucaena leucocephala* and other shrub species used in alley cropping systems have been observed at depths greater than 1.0 m (Annual Report 1983). The greater root

penetration ability of perennial species is thought to be due to the longer time period which is available to the perennials for exploration of the soil profile (Weert 1974, Hardy 1974).

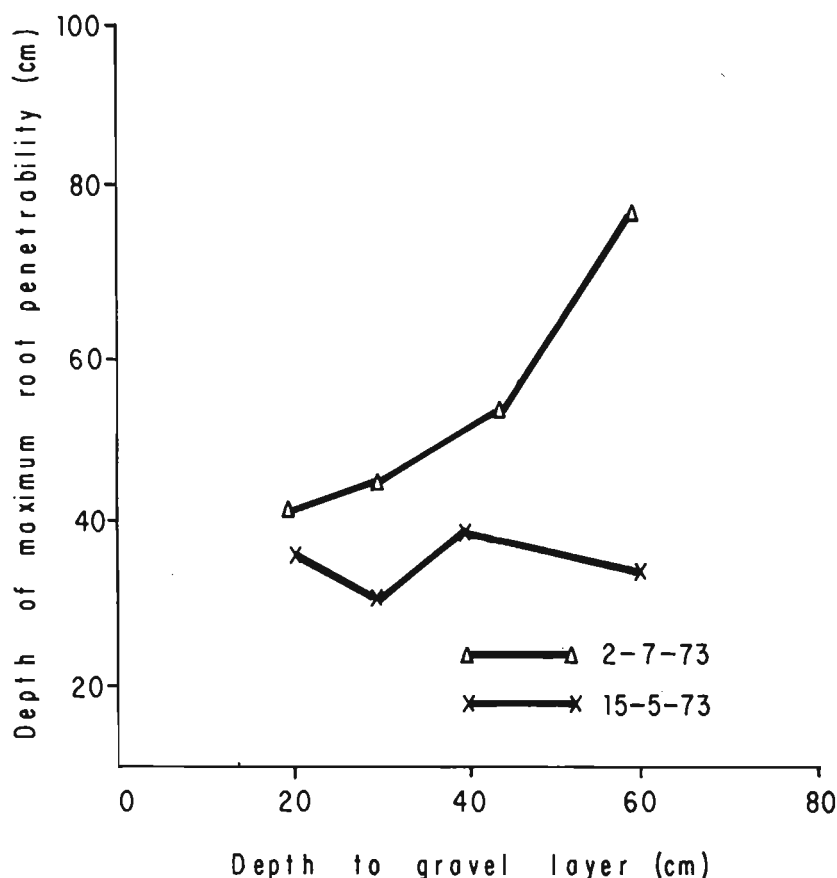


FIG. 3 Effect of depth of gravel layer on maize root development (Lal et al. 1975).

The greater root penetration ability of perennials and the occurrence of root penetration and elongation along existing root channels in the soil profile suggest that if a rooting crop of high root penetrating ability was to be followed by a crop species with low root penetrating ability, the root channels created by the earlier crop might result in a deeper rooting habit by the later crop. Work done in the Southern United States indicated that porosity of compacted layers in the subsoil was increased by

growing various cultivars of bahia grass (*Paspalum notatum* Flügg and tall fescue (*Festuca arundinaceae* Schreb). The following cotton crop was able to utilize the increased porosity to show a deeper rooting habit and consequently greater yield (Elkins et al. 1977, Williams & Elkins 1982, Williams et al. 1982). The mechanism of root penetration is thought to be associated with root diameter. Cultivars with large root diameter or those that expanded their root diameter on encountering the compacted

layer were found to penetrate compacted layers (Elkins et al. 1977, Williams et al. 1982). Experiments on root penetration of maize following pigeonpea are presently being conducted (Annual report 1983). Finally, it is not only important that creation of pores be possible, but also required is their continuity. This is possible only with a system of soil management which leaves the soil undisturbed such as with no-till farming.

Deep penetration of roots may also be facilitated by mechanical methods. Chiseling up to about 0.50 m in the row zone with a mole attached to the chisel plow to avoid resettling of the loosened soil (Lal 1983) or by subsoiling with suitable attachments (Swain 1975) are two alternatives. Vertical mulching can further reduce the above resettling (Saxton et al. 1981). Results from tropical regions do not however show any long term benefits from mechanical manipulations of the soil (Ahmed & Paul 1978).

Biological methods of facilitating root extension such as appropriate cropping sequence, crop combinations and no-tillage seem therefore to hold more promise for the long term management of soils with stone-lines. Mechanical methods have not proven to be successful in the long term. Increased cost and soil compaction are further disadvantages of the latter (Lal 1983).

Acid Soils

The acid soils of the tropics are characterized by low pH, low CEC and high levels of exchangeable Al and Mn (Sanchez 1981, Sanchez & Cochrane 1980, Sanchez & Salinas 1981, Sanchez et al. 1982, Buringh 1979, Moorman & Greenland 1980, Kamprath 1980). As a consequence crop root growth in the subsoil is retarded, thereby preventing use of nutrients and water which are available at depth. Addition of

lime to raise pH and reduce levels of exchangeable Al and Mn by substituting Ca and Mg in the exchangeable complex is one approach to solving the above constancy may however induce P availability (Pearson 1980, Sanchez 1981, Sanchez & Salinas 1981, Sanchez et al. 1982). Liming to neutrality may however induce B, Zn, and Mn deficiencies and reduce P availability (Pearson 1975, Kamprath 1980). High cost and low availability in many tropical regions is a further constraint to high application rates of lime (Sanchez & Salinas 1981). Lime application in tropical acid soils is therefore carried out with the twin objectives of reducing Al and Mn levels below that of toxic levels and to supply Ca and Mg to the soil, rather than to decrease pH *per se* (Annual Report 1980-83, Sanchez & Salinas 1981, Sanchez et al. 1982, Kamprath 1980, Pearson 1975).

Liming studies on Ultisols have shown that surface application of lime combined with zero tillage resulted in decreases of total acidity and increases in Ca and Mg only in the surface 0.10 m of the soil profile, primarily due to the low rate of lime movement into the subsoil. Incorporation of lime with ploughing however resulted in the above changes occurring to the 0.20 m depth (Table 6; Maurya & Lal 1979a, Rodriguez & Lal 1979). The need for incorporation of lime must be weighed against the erosion and compaction hazards present in some Ultisols and Oxisols (Sanchez 1981, Sanchez & Cochrane 1980, Sanchez & Salinas 1981, Sanchez et al. 1982, Maurya & Lal 1979a), which would be exacerbated by tillage. Incorporation of lime in the plough layer by disc-ploughing at the end of the rainy season every 4-5 years, followed no-till farming has therefore been suggested as management technique whereby maximal benefits of liming may be had (Rodriguez & Lal 1979). More frequent tillage may however be more feasible in soils which are less prone to erosion and compaction hazards (Sanchez et al. 1982, Wade & Sanchez 1983).

TABLE 6. — Effect of tillage sistem and liming on Soil properties (Rodriguez and Lal, 1979).

Tillage system	Sampling	Depth (cm)	pH 1:1	Total acidity (Al + H)	meq/100g	
					Exchangeable Ca	Exchangeable Mg
Zero-tillage	Before liming	0-10	4.2	1.75	1.65	0.24
		10-20	4.4	2.30	0.82	0.14
	54 days after liming	0-10	4.6	0.51	2.25	0.77
		10-20	4.8	2.10	0.64	0.14
Conventional tillage	Before liming	0-10	4.4	1.77	1.16	0.10
		10-20	4.4	1.88	1.05	0.10
	54 days after liming	0-10	4.6	0.45	2.36	0.88
		10-20	4.3	0.74	2.40	0.44

Properties of acid soils are also known to be improved by the addition of organic matter (Kamprath 1980, Sanchez 1981, Sanchez & Salinas 1981, Sanchez et al. 1982, Wade & Sanchez 1983). South American work has shown that incorporation of plant matter results in greater improvement of soil properties and crop growth than surface application (Sanchez 1981, Sanchez et al. 1982, Wade & Sanchez 1983). Soil physical properties such as bulk density and penetrometer resistance in the subsoil decreased and uptake of Ca, K, N and P increased. The release of Ca and Mg not only provided a supply of these nutrients for crop growth but also displaced Al from the exchange sites, thereby reducing soil acidity. Surface mulching on the other hand was found to decrease soil temperature and crusting (Wade & Sanchez 1983). Furthermore legume mulches were noted to perform better than grass mulches (Wade & Sanchez 1983, Sanches et al 1982). Work in eastern Nigeria on sandy Ultisols have however indicated that where shallow-rooted crops such as cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) are grown, surface application, particularly concentration of mulch within

the seedling zone results in a greater level of crop growth. Plant height at 16 weeks after planting for instance was 20 to 25% greater in ther latter treatments (Hulugalle & Lal, unpublished data).

The disadvantage with using large amounts of organic matter is the energy cost involved in transporting it onto the field and the non-availability of the material because of its need for alternate uses (Kamprath 1980, Wade & Sanchez 1983). Growing of in-situ mulches (Annual Report 1979-1983, Ako-bundu & Okigbo 1974), fallowing with an appropriate cover crop (Sanchez et al. 1982, Annual Report 1979-83), alley cropping (Annual Report 1979-83, Kang et al. 1981) may overcome this problem. The erosion and compaction hazards present in some tropical acid soils (Sanchez & Cochrane 1980, Sanchez & Salinas 1981, Sanchez et al. 1982) must be borne in mind when considering incorporation of organic matter. Incorporation at the beginning of the dry eseaason, followed by no-till farming in the next growing season is therefore suggested. Where shallow-rooted crops are to be grown continuous no-till farming would be more appropriate.

Productivity of acid soils may also be increased by growing species and varieties of crops which are tolerant of low pH and high levels of Al and Mn (Sanchez & Salinas 1981, Sanchez et al. 1982, Kamprath 1980). Some food crops which are reputed

to tolerate acid soil conditions are listed in Table 7. Detailed lists of tree, pasture and food crop species which are thought to be acid tolerant have been published by Sanchez & Salinas (1981) and Duke (1978).

TABLE 7. Food crops considered to be generally tolerant to acid soil conditions in the tropics (Sánchez and Salinas, 1981).

Generally tolerant species	Generally susceptible species with acid-tolerant cultivars
Cassava (<i>Manihot esculenta</i>)	Common bean (<i>Phaseolus vulgaris</i>)
Copea (<i>Vigna unguiculata</i>)	Corn (<i>Zea mays</i>)
Peanut (<i>Arachis hypogaea</i>)	Sorghum (<i>Sorghum biocolor</i>)
Pigeonpea (<i>Caianus cajan</i>)	Soybean (<i>Glycine max</i>)
Plantain (<i>Musa paradisiaca</i>)	Sweet potato (<i>Ipomea batatas</i>)
Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Wheat (<i>Triticum aestivum</i>)
Rice (<i>Oryza sativa</i>)	

Management of acid soils of the tropics would therefore seem to involve the incorporation of organic matter and lime (if available) at the start of the dry season, followed by no-till farming in combination with other fertilizers and acid-tolerant crop species and cultivars. The frequency of incorporation would depend on the levels of exchangeable Al and Mn in the soil. Sources of organic matter which contain high levels of Ca and Mg should be selected in this context. Where shallow-rooted crops are to be grown surface application of organic matter with continuous no-till farming would seem to be more appropriate.

Hydromorphic soils

Hydromorphic soils are soils which show characteristics associated with permanent or periodic excess water, e.g. gleying

(Moorman & Breemen 1978). These soils are usually located in valley bottoms and flood plains of rivers (Moorman & Breemen 1978, Hekstra et al. 1983). Hydromorphic processes include the mobilization and reduction of iron in the soil. This causes the characteristic neutral grey colours under conditions of continuous saturation or mottling, and the formation of iron concretion under alternating wet and dry periods (Brinkman 1970, Breemen & Moorman 1978, Hekstra et al. 1938). The presence of high water tables and waterlogging and consequently excess iron (and manganese), and low pH are therefore characteristic of these soils. High water tables also preclude mechanized farm operations and land clearing. Health risks too would be greater in this environment. Constraints to production on hydromorphic soils can therefore be grouped into two classes: physical, due to poor accessibility, low

productivity and poor water control, and social due to the high health risk.

Crop production on hydromorphic soils can be increased in two ways; by increasing production during the rainy season, and by extending the cropping season into the dry season. Crop production during the wet season may be increased by liming, drainage, interception of interflow by construction of interception ditches, and by using crop species tolerant to waterlogging (Dimantha 1977, Breemen & Moorman 1978). The addition of ashed rice straw is thought to combine the effects of liming and supplying additional nutrients (Breemen & Moorman 1978, Dimantha 1977), particularly N, Si, and K (Amarasiri & Wickramasinghe 1977). Among crop species adapted to waterlogged conditions rice (*Oryza sativa*) is a favoured crop in Asia and Africa (Breeman & Moorman 1978, Okali et al. 1979, Hekstra et al. 1983). Other crops frequently grown in these soils are cocoyam (*Colocasia esculenta*, *Xanthosoma sagittifolium*), giant swamp taro (*Cytosperma chamissonis*, *C. merkusii*), apé (*Alocasia* spp.) and sago palm (*Metaxylon macrorhiza*, *M. rumpii*) (Plucknett 1978). Information on the growth of cultivars and species tolerant of waterlogging under hydromorphic conditions is scarce. Further work is needed therefore to identify and evaluate species and cultivars which can be grown successfully on hydromorphic soils during the wet season. Research is also needed to develop simple and effective methods of water control.

Extension of the cropping season into the dry season by using the water table as a source of water is another way whereby the productivity of hydromorphic soils may be increased (Annual Report 1972, 1973, 1974, Moorman et al. 1977, Mambani & Lal 1983a, 1983b, 1983c). With proper correlation of crop variety, hydrology and season intensive cropping systems which yield 3 crops a year are possible. Early maize, rice, soybeans or a vegetable crop have pro-

ven to be a successful combination (Lal et al. 1975). Among other crops tested growth of pigeonpea was poor on hydromorphic soils, whereas cowpea yields were depressed if depth to the water table varied greatly from 0.60 m (Annual Report 1972, 1973, 1974).

Productivity of hydromorphic soils may therefore be improved by increasing crop production during the wet season, and extending the cropping season into the dry season. The former may be achieved by liming, drainage interception of interflow and using crop varieties tolerant of waterlogged conditions, and the latter through proper correlation of crop variety, season and hydrology, the water table may be used as source of water. More work is required however to identify crop varieties which can be used in cropping sequences of this nature (e.g. Moorman et al. 1977, Mambani & Lal 1983a, 1983b, 1983c).

Acid Sulphate Soils

Acid sulphate soils are soils which are usually submerged, but on draining have a pH < 4.0, and contain sulphur in the form of sulphates. When submerged, however, they are near neutral or slightly acidic, and sulphur is in the form of sulphide (Bloomfield & Coulter 1973, Moorman & Breemen 1978, Breemen 1980). Constraints in these soils are mainly chemical, i.e. high Al, Low pH and in some soils, high Fe. Excessive salinity is frequently associated with acid sulphate soils (Bloomfield & Coulter 1973, Moorman & Breemen 1978, Breemen 1980).

Management practices such as leaching, liming, application of fertilizer and organic matter, and growing of crops tolerant to waterlogging such as rice, cocoyam, giant swamp taro and sago palm are usually recommended for acid sulphate soils (Bloomfield & Coulter 1973, Dimantha 1977, Breemen 1980).

Conclusions

1. Land clearing should ideally be done by manual methods. If mechanized land clearing techniques are unavoidable, those methods which do not disturb the soil should be used. Soil disturbance can be minimized by not dragging trees to long distances, leaving roots and stumps intact, and by avoiding the use of root rake or root plow. Where compaction has been severe land should be sown to an appropriate cover crop for 1 to 2 years.
2. Seasonal crops should be grown with the no-till system of land management.
3. In soils where gravel layers (stonelines) are a major limiting factor to root growth, and consequently crop yield, use of appropriate cropping sequences with no-till farming is suggested. The cropping sequences used should be those where a crop which can penetrate the gravel layer is followed by a crop which cannot. It is thought that the latter crop can utilize the root pores created by the former to reach water and nutrients present at depth. Mechanical methods of root facilitation have not had any long term benefits in the tropics.
4. Incorporation of organic matter and lime (if available) at the start of the dry season at appropriate intervals, followed by no-till farming, in combination with acid-tolerant crops is suggested as a suitable system of soil management for acid soils. Where shallow rooted crops are to be grown incorporation does not seem to be warranted.
5. Productivity of hydromorphic soils can be improved by increasing crop production during the wet season and by extending the cropping season into the dry season. Crop production during the wet season can be improved by liming, drainage, interception of interflow by construction of diversion ditches, and by growing crop species and cultivars tolerant of waterlogged conditions. Extension of the cropping season into the dry season may be

done by utilizing the table as a source of water.

6. Management of acid sulphate soils includes practices such as liming, leaching, application of organic matter and growing crops tolerant of waterlogged conditions.

REFERENCES

- AHMED, N. & PAUL, C.L. Effects of subsoiling on soil physical conditions and sugarcane root distribution in a Trinidad clay soil. In: EMERSON, W.W.; BOND, R.D. & DEXTER, A.R. eds. **Modification of soil structure**. Chichester, Wiley, 1978, p.419-29.
- AKOBUNDU, I.O. & OKIGBO, B.N. Preliminary evaluation of ground covers for use as live mulch in maize production. **Field Crops Res.**, 8:177-86, 1974.
- AMARASIRI, S.L. & WICKRAMASINGHE, K. Use of rice straw as fertilizer material. **Trop. Agriculturist**, Colombo, 133:39-49, 1977.
- ANNUAL REPORT. INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE. Ibadan, 1972
- ANNUAL REPORT. INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE. Ibadan, 1973
- ANNUAL REPORT. INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE. Ibadan, 1974
- ANNUAL REPORT. INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE. Ibadan, 1979
- ANNUAL REPORT. INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE. Ibadan, 1980
- ANNUAL REPORT. INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE. Ibadan, 1981
- ANNUAL REPORT. INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE. Ibadan, 1983.
- BABALOLA, O.A.A. & LAL, R. Subsoil gravel horizon and maize root growth I. Gravel concentrations and bulk density effects. **Plant and soil**, 46:337-46, 1977a.
- BABALOLA, O.A.A. & LAL, R. Subsoil gravel horizon and maize root growth II. Effects of gravel size, intergravel texture and natural gravel horizons. **Plant and Soil**, 46:347-57, 1977b.

- BALL, J.B. An evaluation of land-clearing methods for forest plantation in Nigeria. In: LAL, R. & RUSSEL, E.W. eds. **Tropical agricultural hydrology**. London, Wiley, 1981. p. 111-7.
- BLOOMFIELD, C. & COUTER, J.K. Genesis and management of acid sulphate soils. **Adv. Agron.**, 25:265-326, 1973.
- BOVEY, R.W. & YOUNG, A.L. **The science of 2, 4, 5-T and associated phenoxy herbicides**. New York, Wiley, 1980.
- BREEMEN, N. van. Acidity of wetland, soils including histosols, as constraint to food production. In: **PRIORITIES for alleviating soil-related constraints to food production in the tropics**. Philippines, IRRI, 1980. p.189-202.
- BREEMAN, N. van & MOORMAN, F.R. Iron-toxic soils. In: PONNAMPERUMA, F.N. ed. **Soils and rice**. Los Banos, IRRI, 1978. p. 781-800.
- BRIDGE, B.T.; MOTT, J.J.; WINTER, W.H. & HARTIGAN, R.J. Improvement in soil structure resulting from sown pastures on degraded areas in the dry savannah woodlands of Northern Australia. **Aust. J. Soil Res.**, 21:83-90, 1983.
- BRINGH, P. **Introduction to the study of soils in tropical and subtropical regions**. Wageningen, Holand, PUDOC, 1979.
- BRIKMAN, R. Ferrololysis, a hydromorphic soil forming process. **Geoderma**, 3:199-206, 1970.
- BROWN, L.L. **The twenty-ninth day**. New York, Norton, 1979.
- BROWN, L.R. The world wide loss of cropland. In: WOODS, R.G. ed. **Future dimension of world and population**. Boulder, Westview, 1981. p.57-96.
- CATERPILLAR TRACTOR COMPANY. **The clearing of land for development**. s.l., 1975.
- COOPER, J.P. Potential production and energy conversion in temperate and tropical grasses. **Herb. Abst.**, 40:1-15, 1970.
- COUPER, D.C.; LAL, R. & CLAASEN, S. Land clearing and developement for agricultural purposes in Western Nigeria. In: LAL, R. & RUSSELL, E.W. eds. **Tropical agricultural hydrology**. Chichester, Wiley, 1981. p.119-30.
- DE WILD, J.C. **Experiences with agricultural development in tropical Africa**. Baltimore, John kopkins, 1967. 2v.
- DIBBITS, H.J. **Trials on methods of land clearing in a tropical rain forest at IITA**. Ibadan, Nigeria, IITA, 1976.
- DIMANTHA, S. Soils of the low lying areas of west and southwest Sri Lanka, their properties and management. **Trop. Agriculturist**, Colombo, 133:13-27, 1977.
- DREGNE, H.E. **Impact of land degradation on future world food production**. s.l., USDA Econ. Res. Ser., 1982. (USDA. Econ. Res. Serv. Publication, 677).
- DUDAL, R. Soil-related constraints to agricultural development in the tropics. In: **PRIORITIES for alleviating soil-related constraint to food production in the tropics**. Los Banos, Philipines, IRRI, 1980. p.23-37.
- DUKE, J.A. The quest for a tolerant germplasm. In: JUNG, G.A. ed. **Crop tolerance to suboptimal land conditions**. Madison, American Society of Agronomy, 1978. p.1-61. (Special-Publication, 32).
- ENGELSTAD, O.P. & RUSSEL, D.A. Fertilizer for use under tropical conditions. **Adv. Agron.**, 27:175-104, 1975.
- ELKINS, C.B.; HAALAND, R.L. & HOVELAND, C.S. Grass roots as a tool for penetrating soil hard pans and increasing crop yields. SOUTHERN Pasture and Forage Crop Improvement Conf., 34, Auburn, 1977. **Proceedings...** Alabama, University of Auburn, 1977. p.21-6.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil survey**. Washington, DC, 1975. (USDA. Agriculture Handbook, 436).
- HARDY, F. Root room. **Trop. Agric.**, Trinidad, 51:272-8, 1974.
- HARRISON, P.H. A new framework for the food security equation. **Ceres**, 17(2):25-32, 1984a.
- HARRISON, P.H. Achieving a valance constructively. **Ceres**, 17(2):33—6, 1984b.
- HARRISON, P.H. Population, climate and future food supply. **Ambio**, 13:161-7, 1984c.
- HEKSTRA, P.; ANDRIESSE, W.; DE VRIES, C.A. & BUS, G. **Wetland research project, phase I: The Inventory**. Wageningen, Int. Inst. Land Reclam. Improv., 1983.
- HULUGALLE, N.R.; LAL, R. & TER KUILE, C.H.H. Soil physical changes and crop root growth following different methods of

- land clearing in western Nigeria. **Soil Sci.**, 138. In Press.
- HULUGALLE, N.R.; LAL, R. & TER KUHE, C.H.H. **Amelioration of soil physical properties by mucuna following mechanized land clearing of a tropical rain forest.** s.l., s.ed., 1984b.
- KAMPRATH, E. Soil acidity in well-drained soils of the tropics as a constraint to food production. In: **PRIORITIES for alleviating soil-related constraints to food production in the tropics.** Los Banos, IRRI, 1980. p.171-87.
- KANG, B.T. & JUO, A.S.R. **Effect of forest clearing and soil chemical properties and crop performance.** s.n.t. Paper presented at Int. Symp. on Land Clearing and Development in Relation to Environmental Protection in the Humid and Sub-humid Tropics, Ibadan, Nigeria, Nov. 22 - 26, 1982.
- KANG, B.T. & LAL, R. Nutrient losses in water runoff from agricultural catchments. In: LAL, R. & RUSSELL, E.W. eds. **Tropical agricultural hydrology.** Chichester, Wiley, 1981. p.153-61.
- KANG, B.T.; WILSON, G.F. & SIPKENS, L. Alley cropping maize (*Zea mays*) and *Leucaena leucocephala* L. in southern Nigeria. **Plant and Soil**, 63:165-79, 1981.
- KEMPER, B. & DERPSCH, R. Results of studies made in 1978 and 1979 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Parana, Brazil. **Soil Tillage Res.**, 1:253-67, 1981.
- LAL, R. No-tillage effects on soil properties under different crops in western Nigeria. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 40:762-8, 1976a.
- LAL, R. Soil erosion problems on an Alfisol in western Nigeria and their control. s.l., IITA, 1976b. 208p. (IITA. Monography, 1).
- LAL, R. Management of soils continuous production: controlling erosion and maintaining physical condition. In: GREENLAND, D.J. **Characterization of soils of the tropics: classification and management.** Oxford, University of Oxford, 1981a. p.188-201.
- LAL, R. Deforestation of tropical rainforest and hydrological problems. In: & RUSSELL, E.W. eds. **Tropical agricultural hydrology.** Chichester, Wiley, 1981b. p.313-40.
- LAL, R. Clearing a tropical forest II. Effects on crop performance. **Field Crops Res.**, 4:345-54, 1981c.
- LAL, R. **No-till farming: Soil and water conservation and management in the humid and sub-humid tropics.** s.l., IITA, 1983. 64p. (IITA. Monography, 2).
- LAL, R. & CUMMING, D.J. Clearing a tropical forest I. Effects on soil and microclimate. **Field Crops Res.**, 2:91-107, 1979.
- LAL, R.; KANG, B.T.; MOORMAN, F.R.; JUO, A.S.R. & MOOMAW, J.C. Soil management problems and possible solutions in western Nigeria. In: BORNEMISZA, E. & ALVARADO, A. eds. **Soil management in tropical America.** Raleigh, North Carolina St. Univ., Dep. Soil Sci., 1975: p.372-408.
- LAL, R.; WILSON, G.F. & OKIGBO, B.N. Changes in properties of an Alfisol produced by various crop covers. **Soil Sci.**, 127:377-82, 1979.
- LIEFTINGH, G. Chemical clearing a possibility. **Ghana Farmer**, 9:8-14, 1965.
- MAMBANI, B. **Effect of land clearing by slash burning on soil properties of an Oxisols in the Zairean basin.** s.n.t. Paper presented at Int. Symp. on Land Clearing and Development in Relation to Environmental Protection in the Humid and Submid Tropics, Ibadan, Nigeria, 1982.
- MAMBANI, B. & LAL, R. Response of upland drought varieties to drought stress I. Relation between root system development and leaf water potential. **Plant and Soil**, 73:59-72, 1983a.
- MAMBANI, B. & LAL, R. Response of upland rice varieties to drought stress II. Screening rice varieties by means of variable moisture regimes along a toposequence. **Plant and Soil**, 73:73-94, 1983b.
- MAMBANI, B. & LAL, R. Response of upland rice varieties to drought stress III. Estimating root system configuration from soil moisture data. **Plant and Soil**, 73:95-104, 1983c.
- MARTIN, G. **Clearing and preparation of land for industrial oil palm cultivation.** s.n.t. Paper presented at Int. Symp. on Land Clearing and Development in Relation to Environmental Protection in the Humid and Subhumid Tropics, Ibadan, Nigeria, 1982.

- MAURYA, P.R. & LAL, R. No-tillage system for crop production on an Ultisol in eastern Nigeria. In: LAL, R. ed. **Soil tillage and crop production**. Ibadan, IITA, 1979a. p.207-19.
- MAURYA, P.R. & LAL, R. Effects of no-tillage and conventional plowing on root development and configuration on maize and leguminous crops. In: LAL, R. ed. **Soil tillage and crop production**. Ibadan, IITA, 1979b: p.171-82.
- MOORMAN, F.R. Representative toposequence of soils in southern Nigeria, and their pedology. In: GREENLAND, D.J. ed. **Characterization of soils classification and management**. Oxford, Clarendon, 1981, p.10-29.
- MOORMAN, F.R. & GREENLAND, D.J. Major production systems related to soil properties in humid tropical Africa. In: PRIORITIES for alleviating soil-related constraints to food production in the Tropics. Philippines, IRRI, 1980. p.55-77.
- MOORMAN, F.R. & BREEMAN, N. van. **Rice, soil, water, land**. Los Banos, IRRI, 1978.
- MOORMAN, F.R.; VELDKAMP, W.J. & BALLAUX, J.C. The growth of rice on a toposequence a methodology. **Plant and Soil**, 48:565-80, 1977.
- MORRIS, L., PRITCHETT, W.L. & SWINDEL, B.F. Displacement of nutrients into windrows during site preparation of a flatwood forest. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 47:591-A, 1963.
- NIEUWOLDT, S. **Tropical climatology: and introduction to the climate of the low latitudes**. London, Wiley, 1977.
- OKALI, C.; OBEN, D. & OJO-ATERE, T. The management and use of hydromorphic toposequences in the Ogun River Basin: The case of traditional farmers in the Ofada area of Ogun State. Ibadan, IITA, 1979. (IITA. Agri. Econ. Discuss. Paper 5/80).
- O'KEEFE, P. & KRISTORFERSON, L. The uncertain energy path-energy and third world development. **Ambio**, 13:168-70, 1984.
- OKIGBO, B.N. & LAL, R. **Role of cover crops in soil and water conservation**. s.n.t. Paper presented at Soil and Water Conservation Workshop. Ibadan, 1976.
- OPARA-NADI, O.A. & LAL, R. **Effects of land clearing methods on soil physical and hydrological properties in southwestern Nigeria**. s.n.t. Paper presented at Int. Symp. on Land Clearing and Development in Relation to Environmental Protection in the Humid and Subhumid Tropics. Ibadan, 1982.
- PEARSON, R.W. **Soil acidity and liming in the humid tropics**. Ithaca, Cornell University, 1975. (Cornell University. In. **Agric. Bulletin**, 30).
- PEREIRA, H.C.; CHENERY, G.M. & MILLS, W.R. The transient effects of grasses on the structure of tropical soils. **Emp. J. Exp. Agric.**, 22:148-460, 1954.
- PEREIRA, H.C.; HOSEGOOD, P.H. & DAGG, M. Effects of tied ridges, terraces and grass leys on a lateritic soil in Kenya. **Exp. Agric.**, 3:89-98, 1967.
- PETERSON, J. Global population projection through the 21st century: A scenario for this issue. **Ambio**, 13:134-41, 1984.
- PLUCKNETT, D. Tolerance of some root crops and starch-producing tree crops to suboptimal land conditions. In: JUNG, G.A. ed. **Crop tolerance to suboptimal land conditions**. Madison, American Society Agronomy, 1978: p.125-44. (ASA. Special Publication, 32).
- ROSS, M.S. **The development and current status of land clearing for transmigration in Indonesia**. s.n.t. Paper presented at Int. Symp. on Land Clearing and Development in Relation to Environmental Protection in the Humid and Subhumid Tropics. Ibadan, 1982.
- RODRIGUEZ, M. & LAL, R. Comparison of zero and conventional tillage systems in an acidic soil. In: LAL, R. ed. **Soil tillage and crop production**. Ibadan, IITA, 1979, p.184-95.
- SANCHEZ, P.A. Soil management in the Oxisol savannahs and Ultisol jungles of Tropical South America. In: GREENLAND, D.J. ed. **Characterization of soil: classification and management**. Oxford, University of Oxford, 1981. p.214-53.
- SANCHEZ, P.A. & COCHRANE, T.T. Soil constraints in relation of major farming systems in tropical America. In: PRIORITIES for alleviating soil-related constraints to food production in the Tropics. Los Banos, IRRI, 1980. p.107-39.
- SANCHEZ, P.A. & SALINAS, J.G. Low-input technology for managing Oxisols and Ultisol

- in tropical America. *Adv. Agron.*, **34**:279-406, 1981.
- SANCHEZ, P.A.; BANDY, D.A.; VILLACHIA, J.H. & NICHOLAIDES, J.J. Production. *Science*, **216**:821-7, 1982.
- SAXTON, K.I. MCCOOL, D.K. & PAPENDICK, R.I. Slot mulch for runoff and erosion control. *J. Soil Water Cons.*, **36**:44-7, 1981.
- SEUBERT, C.E.; SANCHEZ, P.A. & VALVERDE, C. Effects of land clearing methods on soil properties of an Ultisol and crop performance in the Amazon jungle of Peru. *Trop. Agric.*, Trinidad, **54**:307-21, 1977.
- SWAIN, R.W. Subsoiling. In: INGLATERRA. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Soil physical conditions and crop production. London, 1975, p. 182-204. (Inglaterra. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Technical Bulletin, 29).
- TREWARTHA, G.T. & HORN, L.H. An Introduction to climate. New York, McGraw-Hill, 1980.
- VINE, P.N.; LAL, R. & PAYNE, D. The influence of sands and gravels on root growth of maize seedlings. *Soil Sci.*, **131**:124-9, 1981.
- WEERT, R. van der. The influence of mechanical forest clearing on soil conditions and resulting effects on root growth. *Trop. Agric.* Trinidad, **51**:325-31, 1974.
- WADE, M.K. & SANCHEZ, P.A. Mulching and green manure applications for continuous crop production in the Amazon basin. *Agron. J.*, **75**:39-45, 1983.
- WILKINSON, G.E. Effect of grass fallow rotations on the infiltration of water into a savannah zone soil of northern Nigeria. *Trop. Agric.* Trinidad, **53**:97-103, 1975.
- WILLIAMS, C.B. & ELKINS C.B. Root size of tall fescue affects yield, stand persistence. Alabama, Auburn University, Agricultural Experiment Station, 1982 (Auburn University, Agricultural Experiment Station. Highlights of Agricultural Research n. 29, n.3).
- WILLIAMS, C.B.; ELKINS, C.B.; HAALAND, R.L.; HOVELAND, C.S. & RODRIGUEZ-KABANA, R. Effects of root diameter, nematodes, and soil compaction on forage yield of two tall fescue genotypes. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 14, Boulder, 1982. Proceedings... Boulder, Westview, 1982. p.121-4.
- WILSON, G.F.; LAL, R. & OKIGBO, B.N. Effects of cover crops on soil structure and on yield of subsequent arable crops grown under strip tillage on an eroded Alfisol. *Soil Tillage res.*, **2**:233-50, 1982.
- WOLF, J.M. Soil water relations in Oxisols from Puerto Rico and Brazil. In: BORNEMISZA, F. & ALVARADO, A. eds. *Soil management in Tropical America*. Raleigh, North Carolina State University-Soil Science Department, 1975. p. 145-54.

OPCIONES TECNOLÓGICAS PARA EL MANEJO RACIONAL DE SUELOS EN LA SELVA PERUANA¹

Pedro A. Sanchez² e José R. Benites³

RESUMEN: Investigaciones sistemáticas por más de 12 años en la Selva Peruana indican buenas posibilidades tecnológicas para manejar sus diversos suelos en forma agronómicamente correcta, económicamente estable y ecológicamente viable. El 50% de la Selva consiste de Ultisoles en pendientes suaves; el 31% de suelos sumamente escarpados no aptos para explotación agropecuaria, el 41% de suelos mal drenados y el 5% (4.1 millones de hectáreas) de suelos de moderada a alta fertilidad, bien drenados y ubicados en topografías suaves. Los factores limitantes son principalmente de orden químico, no físico. Después de clasificar los suelos de acuerdo con su fertilidad y efectuar sistemas de desmonte que no dañen al suelo los sistemas más promisorios son: 1) arroz bajo riego en suelos fértiles; 2) rotación de cultivos continuos con cal y fertilizantes en Ultisoles en áreas con buena infratestructura; 3) insumos en zonas de difícil acceso; 4) pasturas mejoradas a base de leguminosas tolerantes a la acidez en ultisoles de pendiente plana a moderada; 5) cultivos perennes y sistemas agroforestales en Ultisoles de pendiente plana a moderada; 6) cultivos sin insumos en barriales y 7) producción en búfalos en bajiales. La Selva Peruana posee la mitad de los suelos del Perú aptos para cultivos en limpio y la vasta mayoría de suelos aptos para cultivos perennes y producción forestal. Aunque generalmente considerada como un ecosistema frágil, el índice de fragilidad de la Selva (25%) es muy inferior a los de la Costa (74%) y Sierra (64%). Las inundaciones en la Costa y sequía en la Sierra en este año confirman esta triste verdad. Investigaciones efectuadas en la Amazonía destruyen varios mitos. La Amazonía no es el pulmón del mundo; los suelos no se convierten en laterita; los suelos no se degradan siempre y cuando se use buena tecnología. Sin tecnología el desarrollo de Selva fracasará en términos agronómicos, económicos y ecológicos; sin embargo, con tecnología e infraestructura, el desarrollo agropecuario de la Selva es factible, puede contribuir significativamente al autoabastecimiento alimentario y al mantenimiento de la mayoría de la Selva en su estado natural, ya que por cada hectárea que se use eficientemente, habrá menos necesidad de talar más bosques para producir la cantidad necesaria de alimentos y productos forestales.

Termos para indexación: Manejo de suelos, tecnología apropiada, suelos tropicales, posiciones topográficas, Amazonia, tropico húmedo.

¹ Contribución del Programa de Suelos Tropicales del Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria (INIPA) y la Universidad Estatal de Carolina del Norte, apoyado por el Proyecto de Administración de Suelos Tropicales (PL480), Proyecto de Investigación, Extensión y Educación (IEE) y el Proyecto TROPISOILS, financiados por la Agencia Internacional para el Desarrollo.

² Jefe Técnico Asociado del INIPA. Programa de Suelos Tropicales NCSU. Apartado 248, Lima 100, Perú.

³ Jefe del Programa de Suelos Tropicales INIPA-NCSU. Estación Experimental de Yurimaguas, Yurimaguas, Loreto - Perú.

TROPICAL OPTIONS FOR RATIONAL SOIL MANAGEMENT IN THE PERUVIAN AMAZON

ABSTRACT: More than 12 years of systematic research in the Peruvian Amazon indicate good technological possibilities for the management of the region's diverse soils in an agriculturally correct, economically stable, and ecologically viable manner. 50% of the Amazon consists of ultisols on gentle inclines; 31% of soils in rough relief which are unsuited for agriculture; 41% of poorly-drained soils; and 5% (4.1 million hectares) of soils of moderate to high fertility, good drainage and gentle topography. The limiting factors are principally chemical and not physical. After classifying the soils according to fertility and using mining practices which are protective of the soils, the most promising systems are: (1) up-land rice on fertile soils, (2) rotation of continuous crops with lime and fertilizers on ultisols in areas at good infra-structure, (3) low input crops in areas of difficult access, (4) pastures improved with acid-tolerant legumes on ultisols in flat to moderately inclined landscapes, (5) perennial crops and agro-forestry in ultisols of flat to moderate inclinations, (6) crops without fertilizers on floodplains, and (7) buffalo raising in poorly-drained areas. The Peruvian Amazon holds half of the country's soils which are suited for field crops, and the vast majority of soils suited for perennial crops and forestry. Although generally considered a fragile ecosystem, the index of fragility of the Amazon (25%) is much inferior to that of the coastal region (74%) or Andean region (64%). Flooding along the coast and drought in the mountains this year confirm this sad fact. Research undertaken in the Amazon has dispelled various myths. The Amazon is not the "lung" of the world; its soils are not turning into laterite; its soils are not always degraded when appropriate technology is applied to farming. Without technology, the development of the Amazon will lead to failure, in agricultural, economic and ecological terms. On the other hand, with appropriate technology and infra-structure the agricultural development of the Peruvian Amazon is possible and can contribute significantly to food production and to the maintenance of the tropical forest, since for each hectare which is efficiently used, there will be less need for deforesting to produce the needed quantities of foods and forest products.

Index terms: Soil management, appropriate technology, tropical soils, topography, Amazon, humid tropics.

INTRODUCCION

Investigaciones a largo plazo realizadas en la Selva Peruana por varias instituciones han llegado al punto de proporcionar una base científica sobre las características y limitaciones de la región así como desarrollar tecnologías promisorias de como manejar los suelos en forma agrónomicamente viable, económicamente rentable y ecológicamente estable. Desde el punto de vista de investigación agroecológica no se puede considerar la Amazonía como una tierra incógnita ya que se ha avanzado bastante en los conocimientos sobre su ecología (Schubart & Salati 1982), suelos (Cochrane & Sánchez 1982), cultivos de ciclo corto (Valverde Bandy 1982), cultivos perennes (Alvim 1982), pasturas y ganadería (Toledo & Serrao 1982), produc-

ción forestal (Romero & Romero 1983) y sistemas agroforestales (Peck 1982, Hecht 1982, Valencia 1982, Bishop 1982, Devanan et al. 1983).

Sin embargo, se observa que muchos de estos conceptos no han llegado al conocimiento del público en general, ya que la prensa continúa divulgando mitos tales como "la Selva es el pulmón del mundo", "los suelos se convierten en laterita al desmontar el bosque", "la producción agropecuaria es imposible en suelos tan frágiles de la Selva", etc. En propósito de este trabajo es resumir los conocimientos de la investigación en manejo de suelos en la Selva Peruana y ponerlos en perspectiva con las creencias antes mencionadas.

LA SELVA PERUANA

De un total de 128 millones de hectáreas que comprende el Perú, el 11% del ter-

itorio nacional se clasifica como Costa, el 30% como Sierra y el 59% como Selva (Tabla 1). La Selva se divide en dos grandes zonas ecológicas, con marcadas diferencias

en fisiografía, clima, suelos y características de los ríos: Selva Alta y Selva Baja. La Fig. 1 muestra la ubicación de ambas así como los puntos más importantes.

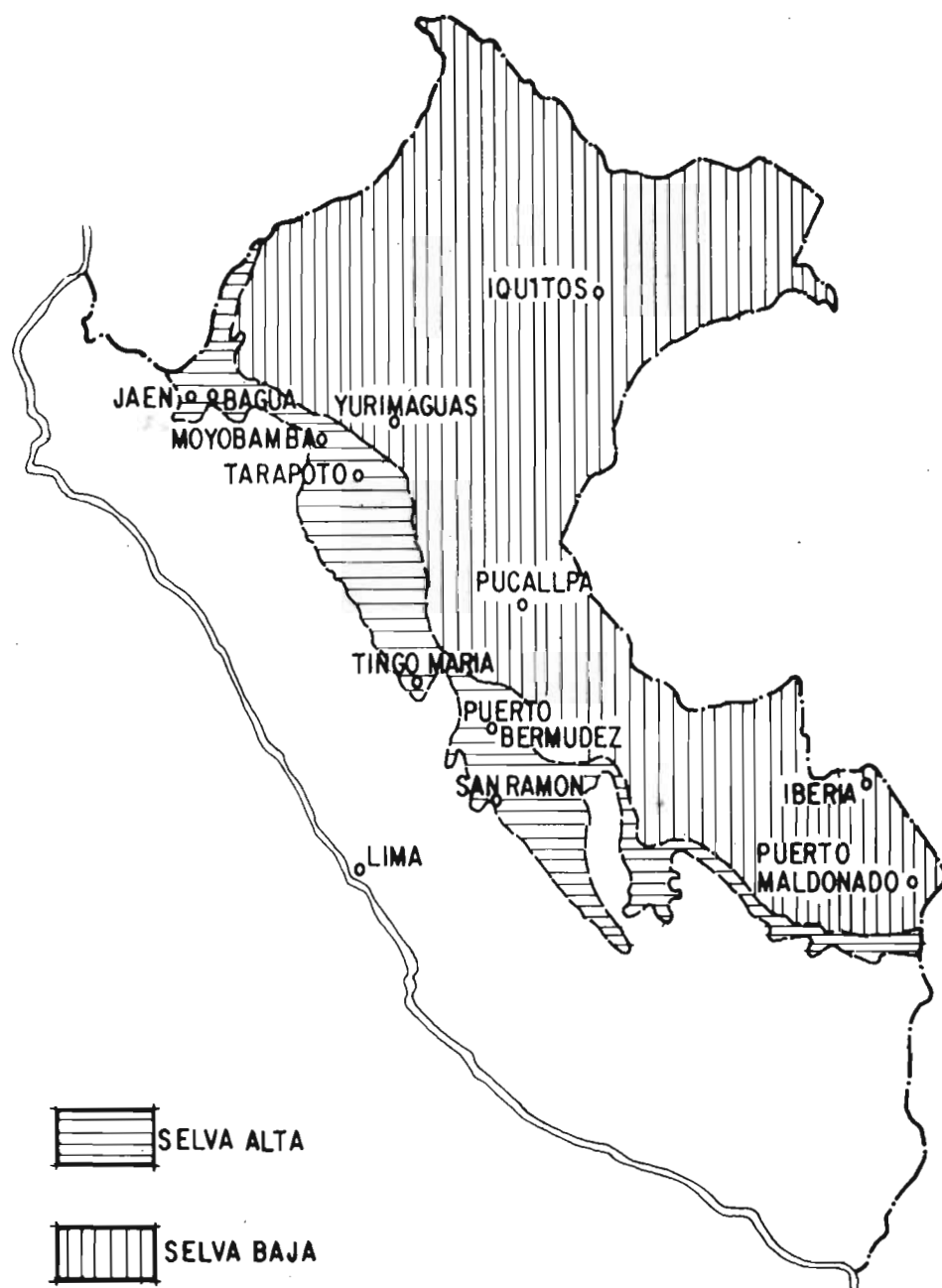


FIG. 1 Ubicación de la Selva Alta y Selva Baja del Perú y sus localidades más importantes.

La Selva Alta, Ceja de Selva o Ceja de Montaña comprende los últimos valles interandinos con vegetación boscosa tropical, ubicadas entre 2,500 y 500 metros sobre el nivel del mar. La Selva Alta comprende varios valles hasta con cuatro niveles de terrazas, algunos anchos y otros sumamente angostos. La geología es compleja, causando gran variabilidad edáfica dentro de cortas distancias. El régimen de lluvias es también sumamente variable debido a las barreras físicas que la última cordillera

oriental presenta al aire húmedo proveniente del Atlántico. La precipitación anual varía desde 600 mm en la zona de bosque espinoso tropical de Jaén-Bagua, hasta más de 8,000 mm en pequeñas áreas encajonadas o pongos. La extensión total de la Selva Alta es de aproximadamente 19 millones de hectáreas (Tabla 1). Esta cifra representa el 15% de la extensión territorial del Perú, lo que es algo más que la extensión total de la Costa, 14 millones de hectáreas.

TABLA 1. Extensión de las grandes regiones del Perú

Región	Millones de hectáreas	%
Costa	13.7	11
Sierra	39.2	30
Selva Alta	19.4	15
Selva Baja	56.2	44
TOTAL	128.5	100

Calculado de: Zamora (1975), Gazzo (1980), Calderón (1982)

La Selva Baja o Llano Amazónico comienza al este de las últimas estribaciones andinas. La elevación es menor de 300 m y está en su mayoría cubierta por espesos bosques y grandes ríos con amplios meandros. Aunque aparentemente uniforme, la Selva Baja presenta importantes diferencias topográficas y edáficas, aunque en menor grado que la Selva Alta. Existen principalmente dos regímenes de lluvias (con o sin una estación seca bien marcada). La Selva Baja ocupa aproximadamente 56.2 millones de hectáreas, o sea el 44% del Perú (Tabla 1).

Clima

Algunas características de las localidades más importantes de la Selva peruana

se describen en la Tabla 2. Desde el punto de vista de ecosistemas amazónicos, la Selva Peruana posee tres importantes ecosistemas, cuya característica más importante es la distribución de las lluvias: el Bosque Pluvial, el Bosque Estacional Semi-siempreverde y el Bosque Espinoso (Cochrane & Sánchez 1982). Su distribución aparece en la Tabla 3 y los regímenes de humedad en la Fig. 2.

El Bosque Pluvial se caracteriza por una estación seca de no más de 3 meses consecutivos. La vegetación natural es típico bosque húmedo tropical. Aproximadamente el 70% de la Selva posee este ecosistema, principalmente el Departamento de Loreto, el Alto Mayo, el Alto Huallaga, Pichis-Palcazu, Satipo-Chanchamayo y

TABLA 2. Características de algunas localidades importantes de la Selva Peruana

Localidad	Latitud (° S)	Altura (m)	Temperatura media anual (° C)	Precipitación		Régimen de humedad	Ecosistema*	Fisiografía principal	Suelos principales
				Anual (mm)	Meses con < 100 mm.				
SELVA ALTA:									
Bagua	5:40	602	27.2	602	12	Árido	BE	Terrazas	Ent./Vert.
Moyobamba	6:02	860	22.5	1601	3	Údico	BP	Valles	Incept./Ult.
Tarapoto	6:32	426	26.5	1158	7	Ústico	BES	Terrazas	Incept./Ult.
Juanjuf	7:13	350	26.5	1475	4	Ústico	BES	Terrazas	Inceptisoles
Tingo María	9:08	685	22.5	3411	0	Údico	BP	Valles	Incept./Ult.
Pto. Bermúdez	10:18	300	22.5	3312	0	Údico	BP	Terrazas	Ult./Incept.
San Ramón	11:06	800	22.5		2	Údico	BP	Colinas	Alf./Ult.
SELVA BAJA:									
Iquitos	3:45	117	26.0	2727	0	Údico	BP	Plana	Ult./Ent.
Yurimaguas	5:54	182	26.4	2135	3	Údico	BP	Ondulada	Ultisoles
Pucallpa	8:00	148	26.9	1708	3	Ústico	BES	Ondulada	Ultisoles
Pto. Maldonado	12:36	200	26.5	1925	4	Ústico	BES	Plana	Ultisoles

Fuentes: Hancock et al. (1979), Sánchez (1969), Oficina Nacional de Evaluación... (1977, 1981)

* BE: Bosque Espinoso; BP: Bosque Pluvial; BES: Bosque Estacional Semisiempreverde.

TABLA 3. Subregiones climáticas de la Selva Peruana (estimados preliminares).

Ecosistemas	Meses secos (< 100 mm) Consecutivos	Precipitación anual (mm)	Régimen de humedad principal	Millones de has.	% de Selva
Bosque Pluvial	0 - 3	2000 +	Údico	52.7	70
Bosque Estacional Semisiempre verde	3 - 4	1000 - 1900	Ústico	21.7	29
Bosque Espinoso	9 - 12	600 - 800	Árido	1.5	1

Calculado en base de datos en Tabla 2, Gazzo (1982) Cochrane & Sánchez (1982).

La Convención. Un buen indicador de este ecosistema es la producción errática de mangos, cultivo que requiere una estación seca bien definida.

El Bosque Estacional Semisiempreverde se caracteriza por una pronunciada época seca, pero no mayor de 4 meses consecutivos (Cochrane & Sánchez 1982). Ocupa aproximadamente 22 millones de hectáreas o el 29% de la Selva, principalmente en los Departamentos de Ucayali y

Madre de Dios en La Selva Baja, y el ámbito del Proyecto Especial Huallaga Central y Bajo Mayo en el Departamento de San Martín en la Selva Alta. La vegetación natural es de bosque seco tropical en la Selva Alta, pero en la Selva Baja el bosque natural es parecido al bosque húmedo tropical excepto por el mayor tamaño de algunos árboles.

Em Bosque Espinoso está limitado a la zona de Jaén y Bagua y pequeñas áreas en

el Huallaga Central. Este es un ecosistema árido que solo se considera como "Selva" debido a su ubicación geográfica en el

país. En otros países se consideraría como trópico semiarido y en el nordeste de Brasil se le denomina "caatinga".

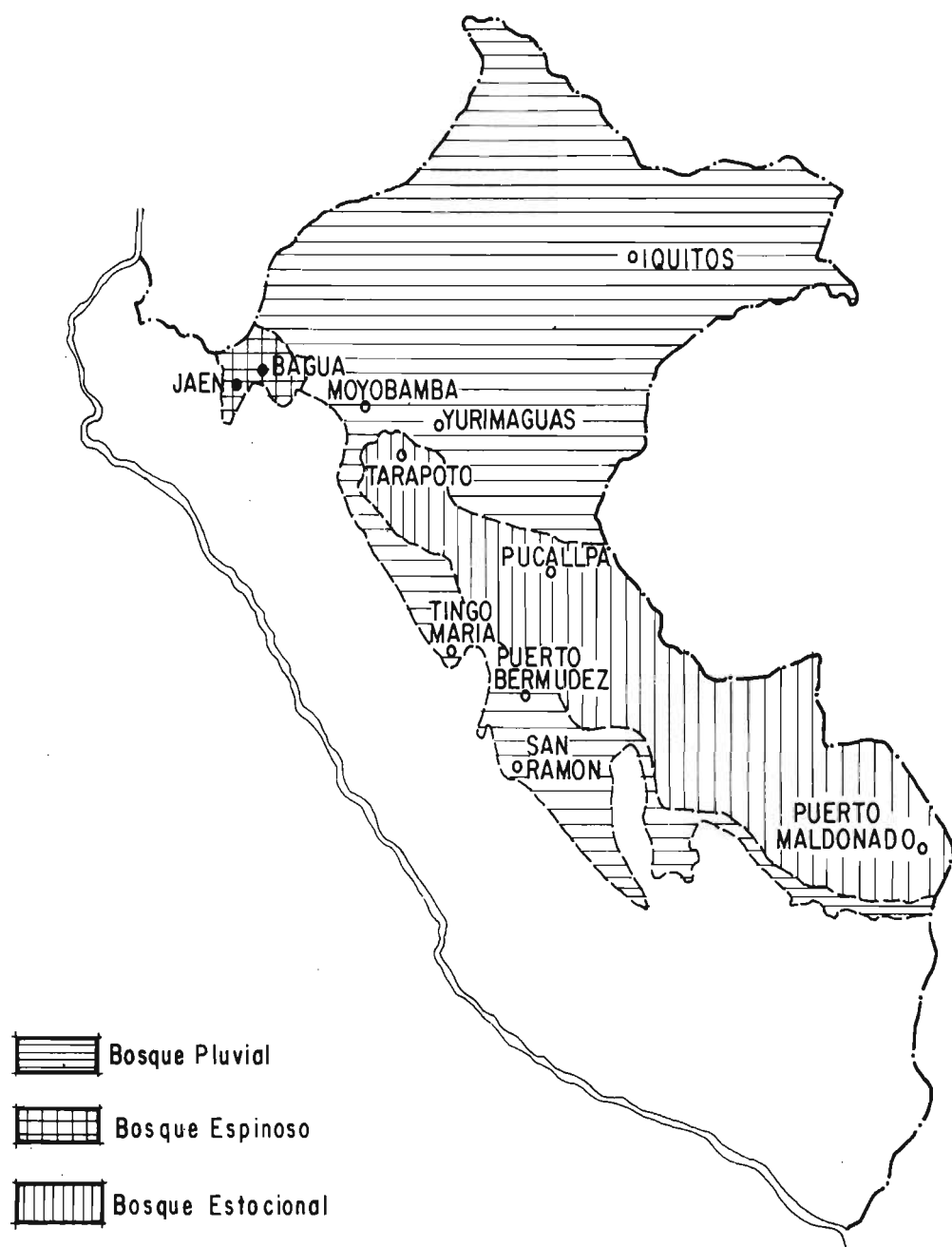


FIG. 2. Ubicación de los tres principales ecosistemas amazónicos en el Perú.

Suelos

La Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) tiene la responsabilidad del levantamiento de suelos del país y ha dedicado gran parte de su actividad a la caracterización de suelos de

la Selva. La Fig. 3 indica la ubicación de reconocimientos de suelos en Selva los cuales ya abarcan alrededor de 20 millones de hectáreas, más de una cuarta parte de la Selva. Estudios de imágenes de satélites han permitido extrapolar la información al resto de la Selva, el cual ha sido reciente-

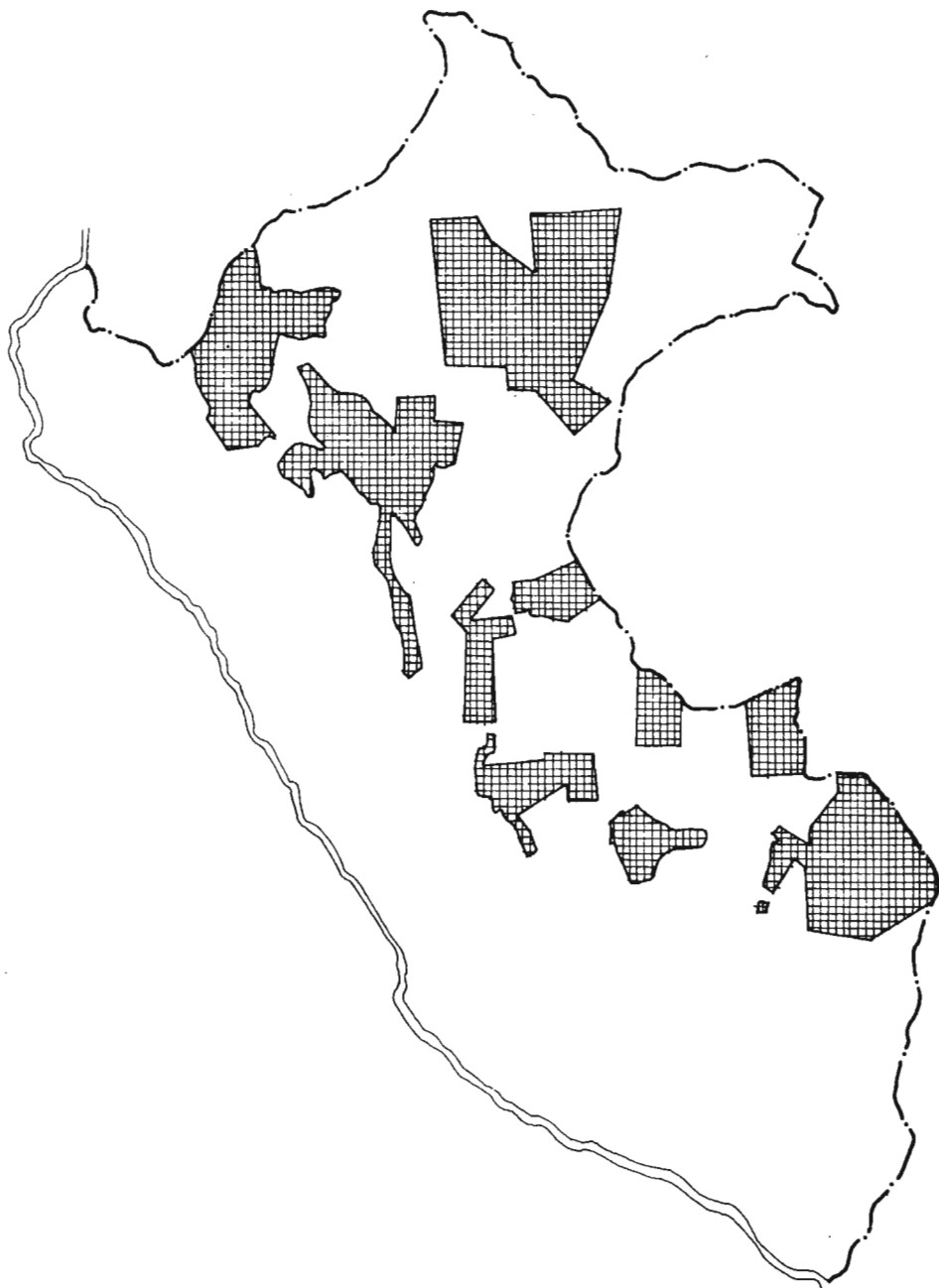


FIG. 3 Cobertura de estudio de suelos de la ONERN en la selva (ONERN, 1982)

Suelos

La Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) tiene la responsabilidad del levantamiento de suelos del país y ha dedicado gran parte de su actividad a la caracterización de suelos de

la Selva. La Fig. 3 indica la ubicación de reconocimientos de suelos en Selva los cuales ya abarcan alrededor de 20 millones de hectáreas, más de una cuarta parte de la Selva. Estudios de imágenes de satélites han permitido extrapolar la información al resto de la Selva, el cual ha sido reciente-

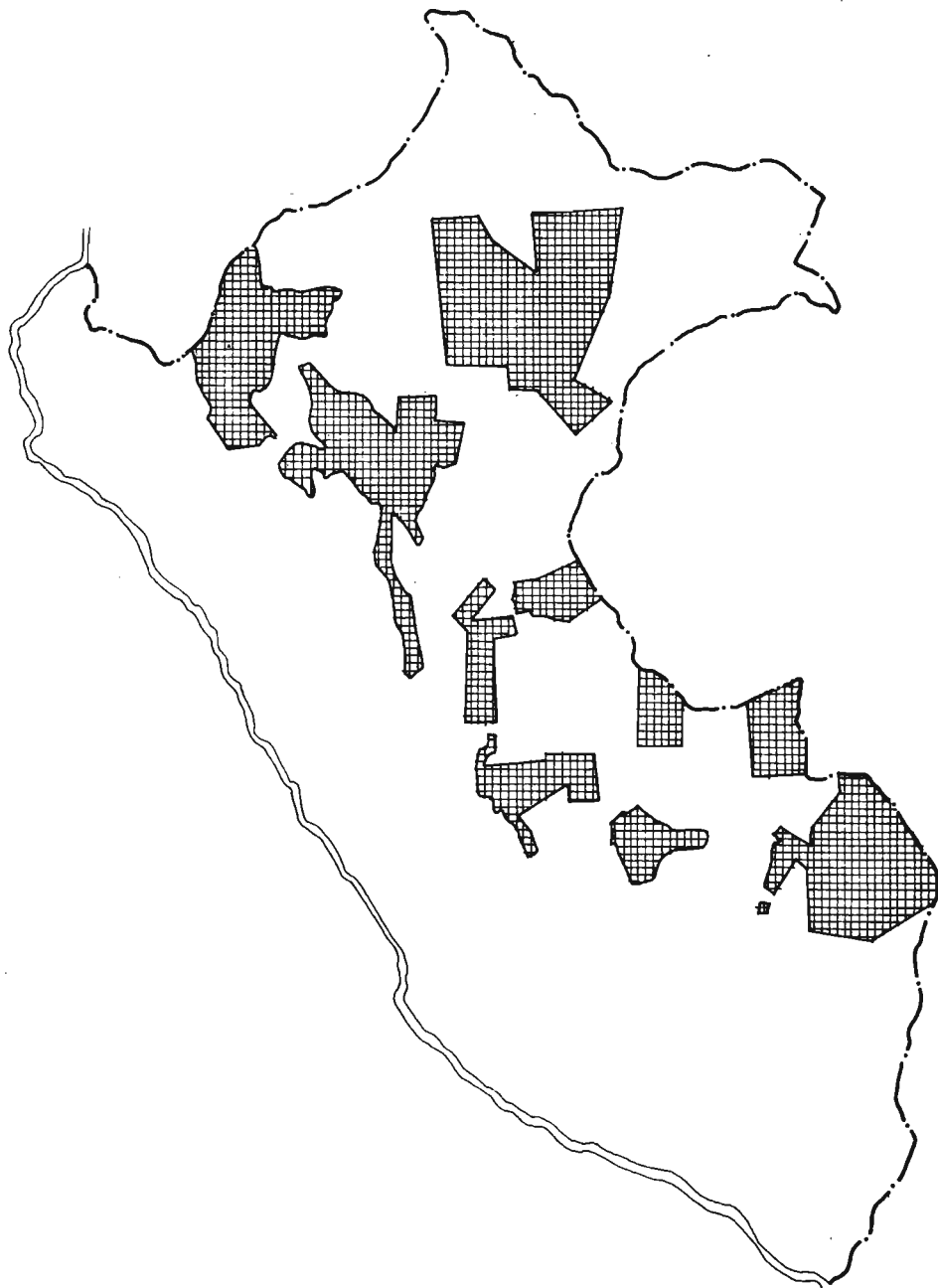


FIG. 3 Cobertura de estudio de suelos de la ONERN en la selva (ONERN, 1982)

mente publicado por la Oficina (1982). Al nivel sudamericano la información ha sido compilada por Cochrane et al. (1979) en CIAT. La siguiente discusión se basa principalmente en estos dos estudios más ge-

neralizados, compilados y modificados por los autores de este trabajo.

Clasificación. De los 10 órdenes de suelos, la Selva Peruana posee 7, cuya extensión se aprecia en la Tabla 4.

TABLA 4. Distribución preliminar de suelos en la Selva Peruana¹

Suelos dominantes	Posiciones topográficas			Total	
	Plano, mal drenado	Plano a ondulado ^{2/}	Lomoso a escarpado ^{3/}	Area	%
Millones de hectáreas					
Ultisoles	3.8	38.0	7.4	49.2	65
Entisoles	3.3	1.5	8.0	12.8	17
Inceptisoles	2.9	0.8	6.8	10.5	14
Alfisoles	0.0	1.3	1.0	2.3	3
Vertisoles	0.0	0.4	0.0	0.4	1
Molisoles	0.0	0.1	0.2	0.3	-
Espodosoles	0.1	0.0	0.0	0.1	-
TOTAL	10.1	42.1	23.4	75.6	100
%	13	56	30	100	100

1 Fuentes: FAO (1971), Cochrane et al. (1981), Oficina Nacional... (1982) y modificaciones de los autores.

2 Topografías bien drenadas, pendientes principales de 0 a 8%.

3 Topografías bien drenadas con pendientes generalmente mayores de 8%.

Los **Ultisoles**, suelos rojos y amarillos de baja fertilidad natural, ocupan aproximadamente las dos terceras partes de la Selva. Estos suelos ocurren principalmente en los terrenos de altura de la Selva Baja, así como en terrazas antiguas y laderas en la Selva Alta. Estos suelos también se denominan como "Acrisoles" y "Podzólicos Rojo Amarillos" en otros sistemas de clasificación.

La siguen en importancia los suelos jóvenes con muy poca diferenciación en el perfil, denominados **Entisoles**, los cuales ocupan el 17% de la región. Se incluyen en este grupo suelos aluviales mal drena-

dos (**Aquepts**) principalmente en las orillas de los ríos; suelos aluviales no inundables (**Fluvents**), así también como suelos muy jóvenes y poco profundos ubicados en pendientes fuertes (**Orthents**).

Los **Inceptisoles**, suelos jóvenes que muestran una diferenciación de horizontes A, B y C, ocupan el 14% de la Selva. Gran parte están ubicadas en aguajales o zonas mal drenadas (**Aquepts**) y también en zonas escarpadas. Sin embargo, muchos Inceptisoles bien drenados fértiles y ubicados en topografías favorables (**Eytropepts**) tienen un gran potencial agrícola. Dichos suelos son comunes en los valles de la Selva

Alta, especialmente en la Huallaga Central y el Alto Huallaga, los cuales representan un magnífico recurso edáfico. Inceptisoles ácidos bien drenados (*Dystropepts*) también son comunes en la Selva Alta y representan un gradiente intermedio de fertilidad entre los *Eutropepts* y los *Ultisoles*.

Los suelos **Alfisol**es se asemejan a los *Ultisoles* pero tienen un menor grado de acidez y son de fertilidad superior. La Selva Peruana posee alrededor de 2.3 millones de hectáreas de estos suelos, ocurren en mezclas con *Ultisoles* en la margen derecha del Río Ucayali desde Contamana (Ucayali) hasta Iberia en Madre de Dios. También ocurren en parte de la Selva Alta, tales como en Chanchamayo y Satipo. Algunos estudios sugieren que la proporción de **Alfisol**es es más grande en la Selva Peruana de lo que aquí se indica, pero los trabajos de la ONERN en los Departamentos de Ucayali y Madre de Dios (Oficina, 1972, 1977c, 1978, 1980) indican que dichos suelos no dominan el paisaje.

Los **Vertisoles** son suelos arcillosos pesados que se agrietan cuando se secan y se hinchan cuando se humedecen. Su fertilidad natural es mediana, pero superior a los *Ultisoles*. Las áreas más importantes de **Vertisoles** son las más secas de la Selva Alta: el Huallaga Central y Jaén-Bagua. El total de 400,000 hectáreas de **Vertisoles** en la Selva representa un recurso edáfico considerable.

Los **Molisol**es son suelos negros originarios de rocas calcáreas que ocurren en algunas zonas de la Selva Alta. Son importantes en Jaén-Bagua y en laderas empinadas en el Alto Huallaga, pero su extensión total se limita a 100,000 ha en topografía plana.

Finalmente, los **Espodosoles** o *Podzoles* son suelos sumamente arenosos, ácidos y con tan baja fertilidad natural que no son capaces de soportar un bosque húmedo tropical. Se encuentran principalmente en pequeñas manchas en la Selva Baja, notablemente cerca de Iquitos. Su potencial productivo es sumamente bajo y no se recomienda su uso.

En relación a los tres órdenes restantes, existen en la Selva pequeñas áreas de **Histosoles** o suelos orgánicos. Hasta el momento no se han clasificado **Oxisoles** en la Selva Peruana tal vez debido a que carece de materiales originarios muy antiguos, tales como los del Escudo de Guayana y el Escudo Brasileiro más al este. Debido a condiciones climáticas, no se encuentran **Aridisoles** en la Selva peruana.

Limitaciones. La discusión anterior da someras indicaciones acerca del potencial agropecuario de los suelos de la Selva Peruana. Interpretando dicha información de acuerdo con el sistema de clasificar suelos según su fertilidad, (FCC), elaborado por Buol y colaboradores (Buol et al 1975, Sánchez et al. 1982) las limitaciones edáficas pueden resumirse tal como lo indica la Tabla 5.

Puede apreciarse que los factores edáficos más limitaciones son de orden químico que físico, siendo los más abundantes la deficiencia de nitrógeno (94%), fósforo (66%), toxicidad de aluminio (65%) y bajas reservas de potasio, magnesio y otros nutrientes (64%). A estos limitantes le sigue otros de orden físico: alta erodibilidad, debido principalmente a pendientes escarpadas (31%), sequía por más de 3 meses consecutivos (27%), mal drenaje y peligro de inundación (13%), y poca profundidad hasta la roca madre (11%).

Dos importantes limitaciones químicas típicas de los trópicos se manifiestan en una proporción relativamente baja: solo el 30% del área sufre de una baja capacidad de intercambio catiónico, lo cual favorece la lixiviación de los elementos; solo el 25% de la Selva peruana posee una capacidad relativamente alta de fijar fertilizantes fosfatados en forma poco disponible. De todas maneras ambas limitaciones ocurren en más de 20 millones de hectáreas en la Selva Peruana.

Las limitaciones indicadas en la Tabla 5 son bastante groseras. Es importante delimitarlas en forma más precisa en zonas de

TABLA 5. Factores limitantes de los suelos de la Selva Peruana bajo vegetación natural. Estimados preliminares basados en la Tabla anterior y el Sistema FCC (Buol) et al. 1975; Sánchez et al. 1982 b)

Factor limitante*	Millones de hectáreas	% de la selva
Deficiencia de nitrógeno	70.7	94
Deficiencia de fósforo	49.7	66
Toxicidad de aluminio	49.2	65
Bajas reservas de K, Mg y otros nutrientes	46.4	61
Alta erodibilidad	23.4	31
Baja capacidad de intercambio catiónico	23.0	30
Sequía por mas de 3 meses consecutivos	20.2	27
Fijación de fósforo	18.9	25
Mal drenaje y peligro de inundación	10.1	13
Poca profundidad (< 50 cm)	8.0	11
Agrietamiento	0.4	-

* Además ocurren deficiencias de azufre y micronutrientes las cuales son posibles de cuatificar.

alta prioridad que dispongan de levantamientos detallados de suelos.

La Tabla 6 agrupa la información edáfica en términos interpretativos considerando suelos y topografía. La mitad de la Selva consiste de suelos ácidos, bien drenados, de baja fertilidad natural ubicados en topografías que varían de planas a onduladas. Los Ultisoles son los suelos predominantes. No se incluye en este grupo Ultisoles mal drenados o aquellos que ocurren en topografías escarpadas.

El segundo grupo de suelos consiste en aquellos ubicados en fuertes pendientes, las

cuales limita el uso racional agropecuario. Este grupo ocupa el 31% de la Selva. Los suelos en sí varían de baja a alta fertilidad natural (Entisoles, Inceptisoles, Ultisoles y Alfisoles), siendo la pendiente el factor más importante. La mayoría de estos suelos deben de permanecer en su estado natural.

El tercer grupo de suelos forman los suelos mal drenados, ubicados a lo largo de los ríos o en aguajales. Comprenden un total de 10 millones de hectáreas o el 14% de la Selva. Muchos de ellos se dedican a cultivos de barrial y otros tienen potencial para cultivo de arroz en pozas.

TABLA 6. Distribución general de suelos de la Selva Peruana (basado en la Tabla 4).

Agrupaciones de suelos	Millones de hectáreas	% de la selva
Suelos ácidos de baja fertilidad natural, bien drenados, topografía plana a suavemente ondulada (Ultisoles, Distropeats):	38.0	50
Suelos en topografías escarpadas, fuertemente disectados (Entisoles, Inceptisoles, Ultisoles, Alfisoles):	23.4	31
Suelos mal drenados, aluviales, agua-jales (Aquepts, Aquents):	10.1	14
Suelos de moderada a alta fertilidad natural con topografía plana a levemente ondulada (Alfisoles, Vertisoles, Inceptisoles, Entisoles):	4.1	5
	75.6	100

El cuarto grupo consiste en suelos bien drenados, en topografías planas a suavemente onduladas de mediana a alta fertilidad natural, clasificados como Alfisoles, Vertisoles y algunos Inceptisoles y Entisoles. Aunque solo ocupan el 5% de la Selva, estas 4.1 millones de hectáreas que combinan buena fertilidad natural con buena topografía representa la primera prioridad en el desarrollo agropecuario. Dichos suelos se encuentran principalmente en la parte plana de algunos valles de la Selva Alta.

Capacidad de Uso de Tierras

La Selva constituye el reservorio más importantes de la ampliación de la frontera agrícola del país. Según el sistema de

"Capacidad de Uso Mayor de Tierras" de la Oficina (1982), la Selva posee 2.4 millones de hectáreas aptas para cultivos anuales en limpio, 2.2 millones de hectáreas aptas para cultivos perennes y 5.7 millones de hectáreas aptas para pastos (Tabla 7). Estas cifras reflejan que la Selva posee el 49% del área para cultivos anuales del Perú, el 81% de los suelos aptos para cultivos perennes y el 32% del potencial de pastos del Perú. Según la ONERN, por lo tanto, existe un total de 10.3 millones de hectáreas de potencial agropecuario en la Selva, en un país que actualmente trabaja solo 2.5 millones de hectáreas en cultivos anuales y perennes y 17.1 millones de hectáreas en pastoreo. Además la Selva incluye el 95% de los bosques aptos para producción forestal en el Perú y solamente el 35% de las áreas de protección ecológica, las cuales no se consideran aptas para agricultura, ganadería o producción forestal.

TABLA 7. Capacidad de uso de tierras en Perú.

Capacidad de Uso	Costa	Sierra	Selva	Perú	% de selva
— — — — Millones de ha — — — —					
Cultivos en limpio	1.1	1.3	2.4	4.9	49
Cultivos perennes	0.5	-	2.2	2.7	81
Pastos	1.6	10.6	5.7	17.9	32
Bosques de producción	0.2	2.1	46.4	48.7	95
Áreas de protección	10.2	25.1	18.9	54.3	35
Total	13.7	39.2	75.6	128.5	59

Fuente: Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (1982)

El Cuadro 8 resume el hectareaje por capacidad de uso en las principales regiones de la Selva Alta y Baja. Existe algunas discrepancias entre los totales de este cuadro y el anterior debido al uso de diferentes fuentes de información. El Cuadro 8 indica los potenciales para cultivos en limpio (800,000 hectáreas en Selva Alta y 1,565,000 hectáreas en Selva Baja); cultivos perennes (466,000 has. en Selva Alta y 1,497,000 hectáreas en Selva Baja) y pasturas (1.7 millones de hectáreas en Selva y 4.8 millones de hectáreas en Selva Baja). Aunque más del 90% de tierras aptas para bosques de producción está en la Selva Baja, es interesante notar que el área necesaria para protección ecológica es mayor en la Selva Alta (9.8 millones de hectáreas) que en la Selva Baja (6.5 millones de hectáreas).

El sistema de capacidad de uso de la ONERN se basa en varios conceptos claves: cultivos anuales involucran arado; el nivel de insumos se basa en técnicas accesibles a los agricultores del lugar, los suelos ácidos no se consideran aptos para cultivos; los cultivos perennes exigen mejores suelos que los pastos, etc. Dichos con-

ceptos podrían perfeccionarse en coordinación con nueva tecnología de manejo de suelos de Selva, tales como labranza mínima, uso de variedades tolerantes a la acidez de suelos, nuevas especies de pastos, asimismo con la mejor infraestructura y comercialización proveniente de Proyectos Especiales, los cuales facilitarán la accesibilidad de insumos y la salida de los productos. Sin embargo, la información indicada en las Tablas 7 y 8 demuestran la existencia de grandes cantidades de tierras que pueden incrementar varias veces el área agrícola en el país.

Fragilidad del Ecosistema

El porcentaje del área clasificada por la ONERN como "área de protección" en una región dada, puede considerarse como un índice de su fragilidad. Los datos en Tabla 9 proveen los siguientes índices de fragilidad: Costa, 74%; Sierra, 64%; y Selva, 25%. El porcentaje más alto de áreas de protección en la Costa y Sierra se debe a la ausencia de una cubierta vegetal capaz de proteger al suelo contra la erosividad de las lluvias, así como a la alta

TABLA 8. Capacidad de uso de tierras en varias zonas de Selva según el sistema de Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (1982).

Departamento o región	Cultivos en límpio	Cultivos perennes	Pastos	Bosques de producción	Áreas de protección	Total
SELVA ALTA:						
	miles de ha					
Jaén-Bagua*	194	33	434	1,302	2,537	4,500
San Martín	200	155	335	1,870	2,670	5,320
Alto Huallaga	194	59	418	737	1,966	3,374
Pichis-Palcazu**	126	78	149	59	231	643
Perené - Ene - Tambo	87	141	332	233	2,413	3,206
Sub-Total	801	466	1,668	4,201	9,817	17,043
%	5	3	10	25	57	100
SELVA BAJA:						
Loreto	540	607	2,229	27,615	3,465	34,456
Ucayali	600	450	1,390	8,957	1,905	13,302
Madre de Dios	425	440	1,140	4,690	1,145	7,840
Sub-Total	1,565	1,497	4,759	41,262	6,515	55,598
%	3	3	8	74	12	100
	2,366	1,963	6,447	45,463	16,332	72,641
%	3	3	9	63	22	100

Fontes: Oficina Nacional... (1982) y Del Aguila (1983) para Pichis-Palcazu-Pachiaeta.

* Incluye cuencas de los ríos Santiago, Nieva, Cenepa, Imaza, Chinchipe, Utcubamba y Chamaya.

** Incluye cuencas de ríos Pichis, Palcazu, Pachiaeta y el Bosque Von Humboldt.

erodibilidad de sus suelos debido a la pendiente y la estructura débil del suelo. Los suelos áridos y semiáridos que predominan tanto en Costa como en Sierra, tienen generalmente baja estabilidad de sus agregados debido a un bajo contenido de materiales que cementan las partículas de arcilla tales como materia orgánica e hidróxido de hierro y aluminio.

El índice de fragilidad así definido es más elevado en la Selva Alta (57%) que en la Selva Baja (12%) según los datos de la Tabla 8. Esto se debe principalmente a las pendientes más fuertes que ocurren en la Selva Alta.

Producción Agropecuaria

La producción agraria actual en la Selva es baja debido principalmente a la falta de infraestructura y a la falta de una tecnología adecuada. La mayoría del área se cultiva bajo el sistema de rozo-tumba-quema en la que el agricultor usa el terreno por 1 o 2 años y después lo convierte en purma (bosque secundario e barbecho) lo cual permite la recuperación del suelo y el control de malezas. Debido a los fuertes aumentos demográficos en las principales ciudades, existe una presión por tierra en proporción inversa a distancia de dichas

TABLA 9. Fragilidad de las grandes regiones del Perú*.

Región	Area de Protección	Area Total	% de Fragilidad
	Millones Ha		
Costa	10.2	13.7	74
Sierra	25.1	39.2	64
Selva	18.9	75.6	25

* Basado en datos de Oficina Nacional de Evaluación... Tabla 7.

localidades, lo cual impide el descanso de pumas por un suficiente período (12-20 años), llevando a la degeneración del sistema de agricultura migratoria (Sánchez 1976). Los principales cultivos producto de la agricultura migratoria son: arroz de secano, maíz, yuca, plátano y leguminosas de grano. Cultivos perennes se limitan principalmente a huertos familiares excepto plantaciones comerciales de palma africana en Tananta y fincas cafetaleras, crítricas y de papayas en Chanchamayo. El hectareaje en pastos es relativamente bajo (300,000 ha) y la gran mayoría consta de pastos degradados dominados por la asociación llamada "torourco" (*Paspallum conjugatum* y *Axonopus compressus*). El sistema de cultivos en barriales, (depósitos aluviales limosos producto de la bajada de los grandes ríos de la Selva Baja) continúa abasteciendo a ciudades como Iquitos y Pucallpa de considerables cantidades de arroz, maní y frijoles. Este sistema es altamente riesgoso debido a que subidas rápidas de los ríos se lleva el barrial de la noche a la mañana.

Presión Demográfica

En desarrollo de la Carretera Marginal y el hambre por nuevas tierras ha resultado en una gran migración de colonos hacia la Selva. Dichas migraciones y el apoyo de Proyectos Especiales en áreas favorecidas han resultado en un aumento sig-

nificativo de producción de alimentos con la introducción del cultivo de arroz bajo riego en la Selva Norte, aumento de áreas maiceras, y desarrollo de agroindustrias capaces de impulsar la producción de otros cultivos, tales como algodón y tabaco. La mayoría de los nuevos colonos tratan de extirpar sus experiencias de Costa o Sierra al nuevo medio, a veces con resultados muy positivos, pero en muchos casos revirtiendo al sistema de agricultura migratoria.

La Tabla 10 resume el uso de tierra en el Perú con los datos disponibles más recientes; es interesante compararlos con la capacidad de uso de la ONERN. Asumiendo que los totales no han variado significativamente, podemos observar comparando los Cuadros 7 y 10 que, de una área de 4.6 millones de hectáreas con capacidad para cultivos en limpio y perennes, en Selva solo se utilizan 0.5 millones de hectáreas. En pastos, solo están en producción 0.3 millones, o el 6%. Finalmente, de 46.4 millones de hectáreas aptas para bosques en producción solo se utilizan 1.3 millones, o sea el 3% (Tabla 11).

En comparación, la Sierra tiene una tasa de utilización de 108% en cultivos anuales y perennes, y 135% en pastos, lo cual ha causado que se exceda la capacidad del uso con un posible deterioro del ecosistema. En la Costa, el Cuadro 11 indica un porcentaje de capacidad de 39% para cultivos y 31% para pastos, debido a la necesidad de aumentar la cobertura de sistemas de riego a un alto costo. No queda duda, por lo tanto, acerca de la necesidad de utilizar la Selva para aumentar la producción agropecuaria y forestal del país.

ESTRATEGIA

Los factores limitantes para el desarrollo racional agrario de la Selva pueden resumirse en los siguientes puntos: 1) Insuficiente conocimiento de tecnologías de manejo de suelos y sistemas de producción para los diferentes ecosistemas selváticos. 2) Insuficiente transferencia de la tecnolo-

TABLA 10. Uso actual de la tierra en el Perú (1972)

Uso mayor	Costa	Sierra	Selva	Total
	Millones de ha			
Cultivos anuales y perennes	0.6	1.4	0.5	2.5
Pastos	0.5	14.3	0.3	15.1
Forestales	0.4	1.4	1.3	3.1
Total	1.5	17.1	2.1	20.7

Fuente: Instituto Nacional de Investigación Agraria (1979)

TABLA 11. Proporción de la tierra actualmente usada en el Perú en relación a la capacidad de uso de ONERN.

Uso	Costa	Sierra	Selva	Perú
	% de utilización			
Cultivos anuales y perennes	39	108	11	33
Pastos	31	135	6	85
Bosques en producción	183	67	3	6

Caulculado de las Tablas 7 y 10.

gía ya disponible a los productores en forma masiva. 3) Limitada infraestructura vial, crediticia, de insumos y de comercialización y políticas que apoyen en desarrollo tecnológico y 4) Necesidad de estrechar la comunicación y la colaboración entre las entidades de investigación y promoción agraria tanto a nivel nacional como al nivel amazónico. Es importante recalcar la pobreza en que viven la mayoría de los agricultores en la Selva y los altos costos de transporte hacia los mercados urbanos.

El Gobierno Peruano esta invirtiendo recursos muy considerables (US\$ 500 mil-

lones en 5 años) en el desarrollo de zonas claves de la Selva mediante Proyectos Especiales de caracter integral los cuales incluyen infraestructura vial, créditos, desarrollo de mercados, agroindustria y otros servicios. Ejemplos de dichos proyectos han sido descritos por Del Águila (1983) y Cornejo (1983). El Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agraria (INIPA), la entidad responsable de la investigación y extensión agropecuaria en el país, ejecuta el desarrollo y transferencia de tecnología en colaboración con los Proyectos Especiales y otras entidades.

POSICIONES TOPOGRAFICAS Y OPCIONES TECNOLOGICAS

El INIPA en colaboración con la Universidad Estatal de Carolina del Norte lleva ejecutando un Proyecto de Suelos Tropicales con sede en Yurimaguas desde 1972. Los resultados de esta investigación, así como de una red de ensayos de validación de tecnología en otras localidades de la Selva Peruana, y en ecosistemas similares en otros países tales como Brasil y Indonesia han sido reportados periódicamente (Sánchez et al. 1974, Sánchez 1977, Sánchez et al. 1982, Valverde & Bandy 1982, Bandy & Sánchez 1982, Nicholaides et al. 1983, Benites et al. 1983). Los trabajos indican que no existe una, sino varias alternativas promisorias de manejo de suelos a la actual práctica de agricultura migratoria en desequilibrio. El uso de cada opción depende del tipo de suelo, pendiente, infraestructura vial y crediticia.

La Fig. 4 ilustra diez diferentes posibilidades tecnológicas y su ubicación dentro de un modelo generalizado de suelos y posiciones topográficas en la Selva. Aunque no todos los componentes que aparecen en este modelo existen en todos los paisajes de la Selva, este modelo incluye los paisajes más importantes. Un punto importante no indicado en el modelo es el nivel de infraestructura presente. Algunas posibilidades tecnológicas son solo factibles si se cuenta con vías de comunicación y sistema de mercadeo. A continuación se describen las posibilidades tecnológicas para cada combinación de suelo y posición topográfica, comenzando desde el río.

La Fig. 4 incluye tres tipos de terrazas aluviales o planicies de inundación: bajiales, restingas y barriales. Estas unidades fisiográficas son muy importantes debido a que poseen suelos generalmente de alta fertilidad natural y muchos asentamientos rurales. El factor limitante más importante es el peligro de inundación debido a la cre-

cida de los ríos, lo cual puede ocurrir sorpresivamente. En otros países se conoce a los bajiales como "várzeas bajas" o "vegas bajas" y a las restingas como "várzeas altas" o "vegas".

Bajiales

En la orilla de erosión, la primera terraza se denomina "bajial" y consiste de un dique seguido de una hondonada. Los bajiales normalmente están inundados durante parte del año y son inmediatamente afectados por crecidas de los ríos. Aunque los suelos son generalmente fértiles, no se presentan buenas posibilidades tecnológicas. Se recomienda su protección ecológica, con énfasis en la reforestación de los primeros 50 metros de la orilla o la protección de la vegetación arbórea actual para amortizar la acción erosiva del río. Esta estrategia está siendo implementada con éxito en las márgenes del río Pichis por el Proyecto Especial Pichis-Palcazu (Del Aguila 1983).

En bajiales donde las épocas de inundación son predecibles se pueden sembrar cultivos de ciclo corto sin uso de insumos, ya que no es conveniente hacer inversiones de capital en terrazas inundables. Otra opción es la crianza de búfalos en bajiales, sembrándolos de gramíneas tolerantes a la inundación como el gramalote o pasto pará (*Brachiaria mutica*) y otras especies. Es importante recalcar que los búfalos deben de ser trasladados a topografías más altas cuando los bajiales se inundan, ya sea a restingas o terrenos de altura en donde debe tenerse pasturas listas para su consumo.

Barriales

Los barriales son depósitos que aparecen en las playas de los grandes ríos de la Selva Baja (Amazonas, Bajo Ucayali, Bajo Marañón y Bajo Huallaga) durante la época de estiaje. Son los suelos más jóvenes del mundo, ya que se forman cada año.

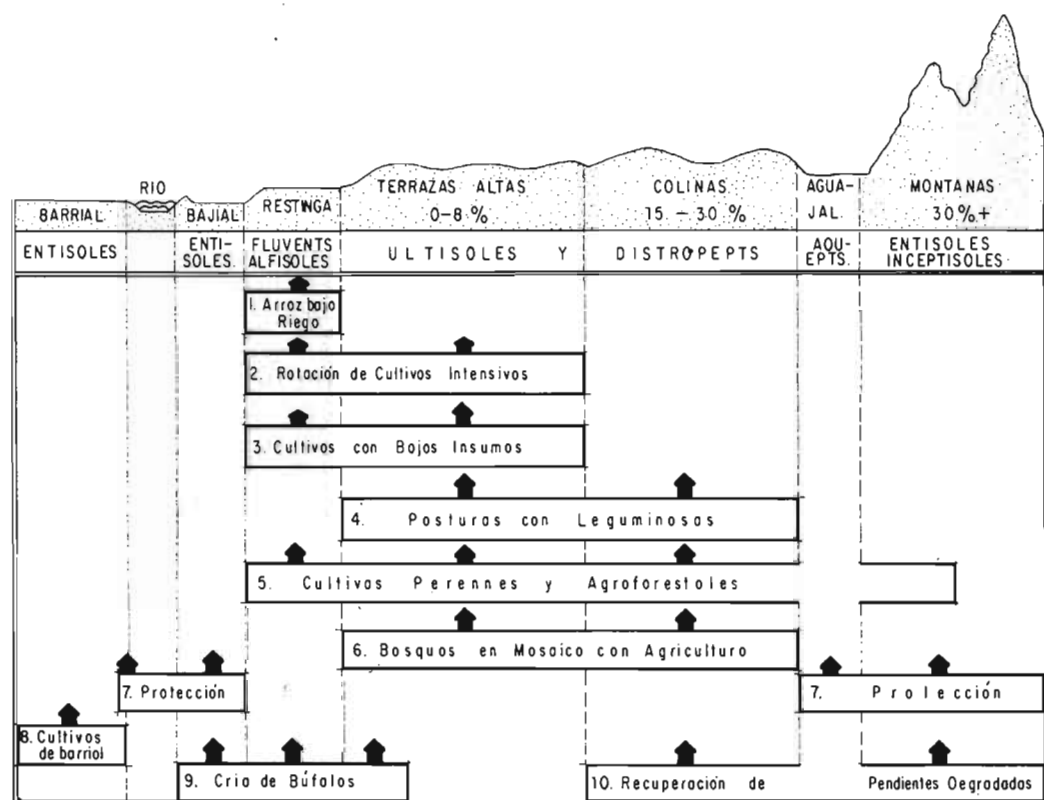


FIG. 4. Posibilidades tecnológicas de manejo de suelos en la Selva del Perú según suelo y posición topográfica.

Su textura varía de arenosa a limosa, prefiriéndose las anteriores para cultivos como maní y las más pesadas para arroz de secano. Los barriales son suelos de alta fertilidad natural y carecen de semillas de malezas. El problema principal es el alto riesgo de perder las cosechas por una subida del río. Debido a que el sistema de barrial no ha sido estudiado sistemáticamente, se recomienda la continuación del sistema tradicional sin insumos monetarios, haciendo énfasis en variedades muy precoces para facilitar el escape a las inundaciones. Debido a que la mayoría de estos suelos presentan condiciones pantanosas, la ganadería no es factible.

Restingas

Esta posición topográfica comprende terrazas aluviales suficientemente altas para

que no sean inundadas por lo menos 9 de cada 10 años. Las restingas generalmente son terrazas aluviales anchas en valles de la Selva Alta como en el Sisa presentan mayor número de posibilidades tecnológicas, tal como lo ilustra la Figura 3. La más promisoría es el cultivo de arroz inundado en pozas con riego suplementario. También es factible la rotación de cultivos anuales con alta tecnología. En lugares con infraestructura se pueden practicar cultivos con bajos insumos ya que existen en esos casos grandes dificultades de mercadeo. Las restingas altas también son aptas para cultivos perennes y agroforestales, especialmente aquellos que son susceptibles a la acidez del suelo, como el cacao. La producción forestal y las pasturas son factibles, pero las otras posibilidades tecnológicas tales como arroz bajo riego, ro-

tación de cultivos intensivos y cultivos perennes tienen la ventaja comparativa. Debido a que estos son los mejores suelos, deben de ser explotados al máximo. Su hectareaje total es de 4.1 millones de hectáreas.

Terrazas Altas

Este término incluye el dominio de suelos ácidos, principalmente Ultisoles y Distropepts, ya sea en terrazas altas, con pendientes de plana hasta un 8% y colinas bajas con pendientes menores de un 30%. Los suelos ácidos con baja fertilidad natural, bien drenados y con pendientes de 0 - 8% ocupan 38 millones de hectáreas (Tabla 6). Las posibilidades tecnológicas incluyen la rotación de cultivos intensivos; cultivos con bajos insumos, pasturas con leguminosas, cultivos perennes, agroforestales, y bosques en mosaicos con agricultura. La opción de rotación de cultivos manejados intensamente con aplicaciones considerables de fertilizantes y cal se limita a aquellas zonas con buena infraestructura vial y accesibilidad a insumos y mercados para la compra de los productos. La opción de producción de cultivos con bajos insumos es para el caso opuesto: donde la infraestructura está limitada.

Colinas

Una alta proporción de la Selva Baja consiste en topografía de colinas. Gran parte de las áreas con pendientes menor de 8% ocurren dentro de este paisaje. Por lo tanto es necesario separar estas pendientes de las más fuertes. Para pendientes de 15 a 30% la opción de cultivos anuales no es recomendable a menos que se use una alta tecnología de conservación de suelos. Las mejores opciones son el uso forestal, las pasturas a base de leguminosas y cultivos perennes o agroforestales. Debido a que muchas de estas pendientes están actualmente trabajadas para cultivos anuales por agricultores migratorios, un trabajo adicional

es la recuperación de laderas ya erosionadas, ya sea por agricultura migratoria en desequilibrio, por el sobrepastoreo o por el cultivo de la coca en el Alto Huallaga.

La Figura 4 indica la conveniencia de mantener bosques en forma de mosaicos o matriz dentro del cual se desmontan terrenos para agricultura o ganadería permanente. Este sistema de mosaico es preferible al desmonte total de grandes áreas lo cual puede llevar a cambios en la cantidad de vapor de agua en la atmósfera (Schubart & Salati 1982). Además, la eliminación casi total de bosques en zonas selváticas de países vecinos resulta en problemas de mantenimiento de producción en escala muy grande. Para la Selva Peruana es más deseable utilizar el modelo del Sureste de Los Estados Unidos en donde el 70% del área se mantiene en bosque (principalmente secundario) y dentro de lo cual agricultores y ganaderos cultivan terrenos individuales de un tamaño que varía de 5 a 100 hectáreas. El hecho que este sistema funciona bien en suelos Ultisoles en el Sureste norteamericano, sugiere una factibilidad similar en un ecosistema con suelos similares y vegetación boscosa natural, donde se practicó la agricultura migratoria hasta hace pocas décadas (Sánchez & Buol 1975).

Aguajales

Los aguajales son pantanos naturales cubiertos principalmente de un tupido bosque de la palmera aguaje (*Mauritia flexuosa*). Aunque el potencial productivo de esta palma es promisorio (Oficina 1977b), el desmonte de aguajales para agricultura no es recomendable ya que no se tiene suficiente conocimiento sobre su manejo. Además los aguajales son ricos depositarios de fauna amazónica, especialmente boas y peces. Por lo tanto la opción para este paisaje es su protección.

Montañas y Áreas Escarpadas

En esta unidad se incluyen pendientes mayores de 30%, con una gama varia-

ble de suelos. Con excepción a cultivos perennes de café y cacao siempre protegidos por sombras de plátano o árboles leguminosos, no se recomienda otro uso. Sin embargo existe una actividad agrícola considerable en pendientes de este tipo, principalmente en los flancos occidentales de la Selva Alta. Esto se debe al ser estos puntos los primeros con quienes nuevos migrantes de la Sierra encuentran posibilidades de asentamiento, ya que las topografías mas planas normalmente estan ocupadas. Además la expansión del cultivo de la coca ocurre en estos suelos ya que aparentemente este cultivo prospera en climas frescos, con pendientes muy pronunciadas.

Cultivos en limpio en tales pendientes sin métodos de conservación de suelos, invariablemente resultan a la erosión de la capa arable. Las posibilidades tecnológicas se concentran en regenerar estas pendientes degradadas. Una opción es construir terrazas en curvas de nivel, tal como es común en ecosistemas similares en Asia. El Proyecto Especial Alto Huallaga, en colaboración con el INIPA, la Universidad Agraria de la Selva y el Proyecto de Suelos Tropicales esti estudiando esta opción en un Ultisol de pendiente mayor de 100% el cual fue fuertemente degradado por el cultivo de coca y abandonado. Otra opción de menor costo es la regeneración del suelo sembrando leguminosas forrajeras, las cuales cubren el suelo rápidamente. Después de lograr cubrir el suelo con una capa vegetal protectora, se procede a sembrar árboles que producen con un alto valor unitario de su producto (Benites, 1983).

TECNOLOGIAS DISPONIBLES

Sistemas de Demonte

En desmonte manual, (rozo, tumba, picacheo y quema) es superior al desmonte con bulldozer en Ultisoles debido a que 1) la quema proporciona una cantidad importante de nutrientes, 2) que el bulldozer

equipado con lâmina común compacta al suelo y al subsuelo y 3) que el bulldozer acarrea grandes cantidades de la capa arable y las deposita fuera del terreno (Seubert et al. 1977, Alegre et al. 1982). No solamente el desmonte con bulldozer común daña al suelo, sino tambien causa una misma de rendimientos considerables. En Yurimaguas, los rendimientos de arroz de secano, maíz, yuca y otros cultivos sufrieron una reducción promedio de 50% en relación a los obtenidos con el sistema tradicional de rozo, tumba y quema (Seubert et al. 1977). Además se ha comprobado que la comparación en el subsuelo causado por el bulldozer se mantiene por más de 7 años después del desmonte (Alegre et al. 1982).

La compactación causada por este tipo de desmonte mecanizado es sin embargo favorable para el cultivo de arroz bajo riego, ya que reducirá pérdidas de agua. Sin embargo, el posible acarreo de la capa arable puede bajar la productividad del suelo aún para arroz inundado.

En algunos casos el desmonte manual no es factible debido a la falta de mano de obra o a la urgencia del proyecto. En estos casos, estudios en Yurimaguas y en Africa demuestran que el uso de bulldozer con lâmina flotante tipo "KG" minimiza la compactación y el acarreo de tierra ya que esta lâmina corta dos árboles e ras del suelo. La comparación de los diferentes sistemas de desmonte indica aún la superioridad del desmonte anual, pero se nota que el desmonte con lâmina KG se aproxima a este cuando es seguido de quema y una pasada de arado de discos pesado (Tabla 12). Existen también otros métodos de desmonte mecanizado (Toledo & Serrão 1982, Lal 1982) pero ninguno de ellos se acerca al desmonte manual o al mecanizado con la lâmina KG. Otra opción descartada por la investigación es el desmonte parcial del bosque, manteniendo áreas de sombra intercaladas con área de sol. Estudios en Brasil demuestran que la inoperación de esta alternativa ya sea por cultivos, pasturas o plantaciones forestales.

TABLA 12. Efectos de métodos de desmontar una purma de 25 años y manejo posterior en los rendimientos de 5 cultivos alimenticios continuos en suelo Ultisol de Yurimaguas.

Método de desmonte*	Sin fertili- zación	Con fertiliza- ción
	% de rendimientos máximos	
Rozo, tumba y quema (manual)	27	93
Bulldozer con lámina común	7	47
Bulldozer con lámina KG	14	65
Bulldozer con lámina KG + quema + arado de disco	28	89

* Todas las parcelas desmontadas con bulldozer fueron aradas con un tractor de 14 HP con rototiller.

** Rendimientos máximos de 5 cultivos consecutivos en t/ha: Arroz de secano: 4.0; soya: 2.3; maíz: 5.2; arroz de secano: 2.5; maíz: 3.3.

Fuente: Alegre et al. (1982)

Después de desmontar correctamente el terreno escogido, se pueden proceder a las diferentes opciones para la combinación correcta de suelo, posición topográfica y desarrollo de infraestructura. A continuación se resumen las bases técnicas de las diferentes opciones.

Arroz bajo Riego en Restingas

La opción mas atractiva actual es el cultivo de arroz bajo riego en restingas u otras zonas con suelos de moderada a alta fertilidad pero no inundables. Existe alrededor de 13.000 ha actualmente en el Alto Mayo, Huallaga Central, Yurimaguas y el Alto Huallaga, con capacidad de producir dos cosechas al año con un promedio de 5 t/ha cada una al nivel de agricultor. Aumentar el hectareaje de esta opción a 100,000 ha en 5 años es la primera prioridad del Programa Nacional de Arroz del INIPA (Instituto... 1983). Este aumento asegurará el autoabastecimiento estable de arroz en el Perú, y como se ha

mencionado anteriormente, existen alrededor de 4 millones de hectares de suelos fértiles y planos para la expansión del arroz bajo riego en Selva. Expansiones de áreas superiores a las 100,000 hectareas permitirán el traspaso gradual de la mayoría de la producción de arroz de la Costa a la Selva, y por lo tanto, permitir el uso de otros cultivos más eficientes en utilizar el factor limitante principal de la Costa: el agua de riego.

Existen importantes diferencias en el manejo de arroz bajo riego entre la Costa y la Selva. Las variedades son totalmente diferentes, aunque se mantiene el tipo de planta baja es necesario combinarlo con una tolerancia al quemado causando por *Pyricularia oryzae*. Dentro de miles de líneas probadas por el Programa Nacional de Arroz en el Alto Mayo, son muy pocas las que reúnen un buen tipo de planta, capacidad de alto rendimiento, calidad de grano con tolerancia al quemado. Las mejores en el momento son CICA-8 y PNA 221 (Huarangopampa).

Además de variedades, existen importantes diferencias agrónomicas, relacionadas a la escasez de mano de obra en la Selva. Durante el primer año después de tumbiar el bosque y trazar las pozas, em batido y el trasplante se recomienda para poder obtener un buen asentamiento de las piezas y una buena nivelación. Después es mas rentable volear semilla pregerminada con una simple sembradora tipo "ciclón", desyerbar con herbicidas granulares e líquidos aplicados directamente al suelo sin equipo especial, mecanizar lo más posible la cosecha, trilla y transporte usando maquinaria diseñada en Asia para pequeños arroceros (Bruzonne et al. 1983, Pulver 1983).

La Tabla 13 ilustra las alternativas de preparación de suelo y método de siembra

en una restinga en Yurimaguas. Puede observarse que el sistema de trasplante fue netamente superior a varias alternativas de siembra directa para la primera siembra de arroz después de tumbiar un bosque virgen e instalar las pozas. Con el tiempo existe menos diferencia, ya que el suelo esta asentado y con menos problemas de nivelación. Aunque el trasplante sigue produciendo rendimientos superiores, la diferencia tal vez no se justifique económicamente debido al costo de mano de obra. Las labores de siembra hasta la cosecha en el sistema de trasplante incluyendo almacigos requiere un promedio de 30 jornales/ha., mientras que la siembra directa al voleo requiere 3 jornales/ha (Pulver 1983). La mecanización de la cosecha, trilla y transporte reduciría los jornales por hectárea de 20 a 2.

TABLA 13. Producción de arroz bajo riego en pozas en una restinga de Yurimaguas (suelo Tropa-quept arcilloso) durante los primeros dos años de uso. Variedad IR 4-2.

Tipo de preparación de tierra	Método de siembra	Cosechas						
		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	Σ	$\bar{x}$
		t / ha						
mojado	Trasplante	7.9	5.2	7.1	6.0	6.8	33	6.6
	Voleo*	3.2	4.9	6.4	4.8	6.7	26	5.2
seco	Trasplante	8.3	6.7	6.2	5.6	6.3	33	6.6
	Voleo*	6.3	5.6	4.9	4.6	6.0	27	5.5

* Con semilla pre-germinada

Fuentes: Bandy et al. (1982), Arévalo et al. (1983), Arévalo, datos no publicados.

Es común pensar que las lluvias en la Selva pueden proporcionar todos los requerimientos de agua del cultivo de arroz en pozas. La Tabla 14 indica que aún en una zona con 2100 mm de precipitación anual, el riego suplementario bombeado del río, aumentan los rendimientos en un promedio de 40% en Yurimaguas, y los mantiene mu-

cho más estables. Estas diferencias pueden ser mayores en zonas menos lluviosas, especialmente durante la estación seca en el ecosistema de Bosque Estacionario Semi-siempreverde (Fig. 2) en donde se puede aprovechar la mas alta radiación solar durante la época seca.

TABLA 14. Respuesta a la irrigación cada dos semanas (por bombeo del río) en los rendimientos de la variedad IR 4-2 en pozas en una restinga de Yurimaguas.

Manejo de agua	Cosechas			Promedio
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	
	t/ha			
Solamente lluvia	4.1	5.1	4.0	4.4
Riego suplementario	5.8	6.7	6.0	6.2

Fuente: Arévalo et. al. (1983)

Otra diferencia importante entre Costa y Selva es el menor requerimiento de nitrógeno en la Selva debido a que los suelos de restinga tienen mayor capacidad de suministrar nitrógeno que los suelos de la Costa. Además es perfectamente factible producir dos ó dos cosechas y media al año (5 cosechas en dos años) ya que no existen limitaciones de temperatura o agua. En contraste con otras opciones en la Selva, la rotación de cultivos no es importante en el arroz bajo riego, desde el punto de vista fitosanitario, según experiencias de siglos en ecosistemas similares en Asia.

Rotación Intensiva de Cultivos

Esta opción se aplica para restingas y para áreas de suelos ácidos de poca pendiente que dispongan de suficiente infraestructura para el uso de insumos y mercadeo de los productos. En el caso de las restingas en donde el cultivo de arroz bajo riego no es factible se pueden efectuar rotaciones de maíz-soya; arroz-maíz-soya; o maíz intercalado con muchos otros cultivos. Las necesidades de abonamiento durante los primeros años son bajas, siempre y cuando el terreno no haya sido desmontado con bulldozer.

Para Ultisoles y otros suelos ácidos ubicados en topografías de planas a ligeramente ondulados (menos de un 6 - 8% de pendiente) la rotación de cultivos intensivos es perfectamente factible en donde se disponga de suficiente infraestructura. Esta tecnología ha sido desarrollada en Yurimaguas en donde rotaciones de arroz secano-maíz-soya y arroz-maní-soya se llevan experimentando desde hace 10 años con alrededor de 30 cultivos consecutivos ya cosechados.

La Fig. 5 muestra los promedios de rendimiento a largo término de 88 cosechas de estos 4 cultivos, con o sin adecuada fertilización durante los últimos ocho años. El arroz de secano y los cultivos de soya y maní son excelentes, pero la producción de maíz es moderada. La Fig 5 también indica una estabilidad en la producción en los cuatro cultivos.

Estos resultados indican que con fertilización adecuada puede realizarse en la Amazonía la producción continua de estos cultivos alimenticios. El término "fertilización adecuada" merece investigarse, debido a que tomó alrededor de 4 años comprender los cambios que ocurrieron en las propiedades de los suelos, después de la tumba y quema de un bosque secundario de 17 años y cosechando cultivos anuales.

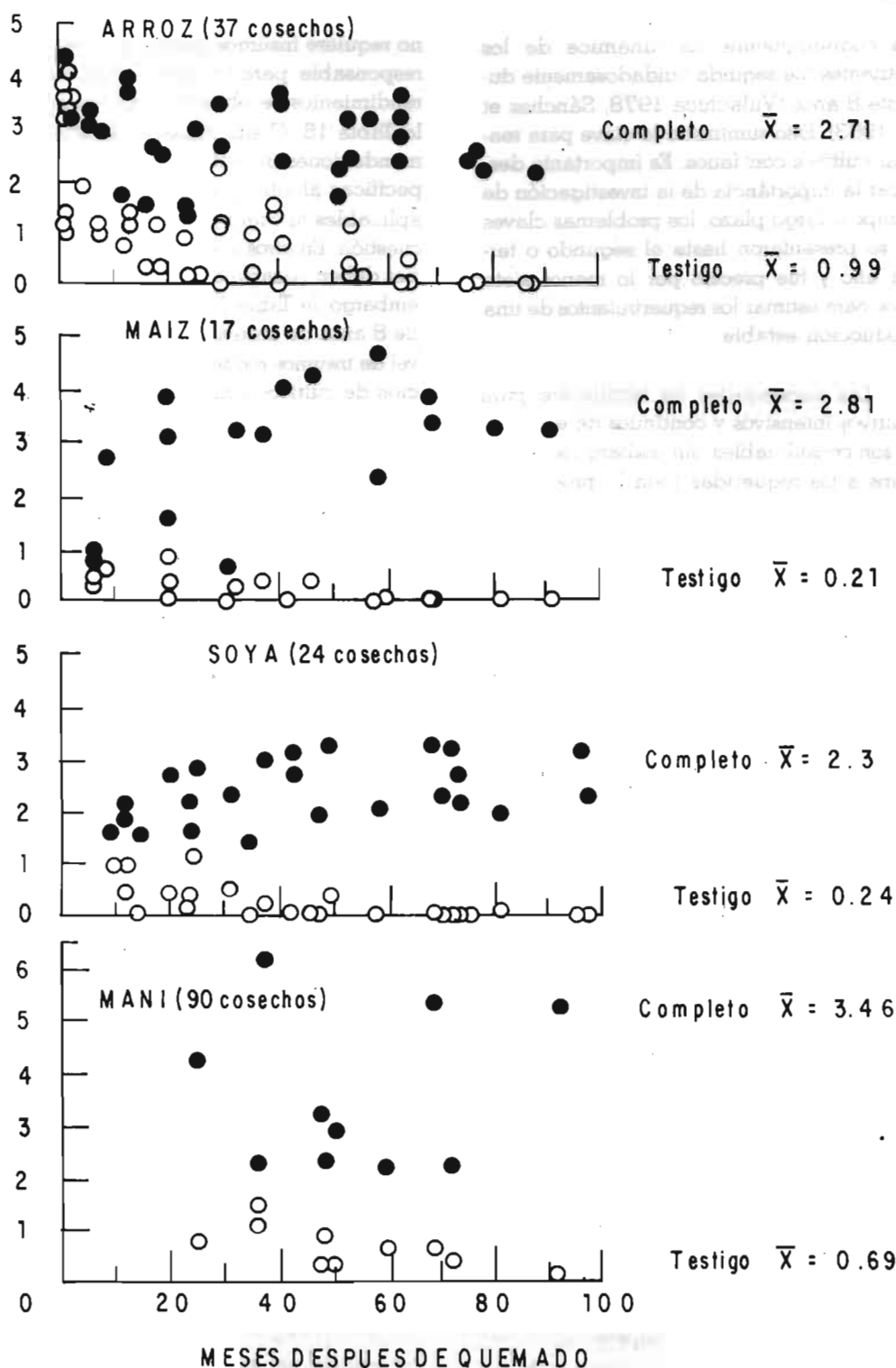


FIG. 5 — Producciones de los cultivos como una función del tiempo después del desmonte, con y sin fertilización completa. Yurimaguas (1972-1980).

Fuente: Sánchez y Bandy (1982)

les continuamente. La dinámica de los nutrientes fue seguida cuidadosamente durante 8 años (Villachica 1978, Sánchez et al. 1983). Esto suministró la clave para realizar cultivos continuos. Es importante destacar la importancia de la investigación de campo a largo plazo: los problemas claves no se presentaron hasta el segundo o tercer año y fue preciso por lo menos siete años para estimar los requerimientos de una producción estable.

Las necesidades de fertilizante para cultivos intensivos y continuos de este suelo son considerables, sin embargo son similares a las requeridas para la producción de cosechas en otros Ultisoles. Después de la primera cosecha, la cual normalmente

no requiere insumos químicos, el esquema responsable para la producción de altos rendimientos se obtiene como muestra en la Tabla 15. Como todas las buenas recomendaciones de fertilizantes, estas son específicas al sitio y por lo tanto solamente aplicables al suelo y sistema de cultivo en cuestión. En otros suelos, las recomendaciones deben basarse en análisis de suelo. Sin embargo, la Tabla 14 desarrollado después de 8 años de cultivo, da indicación del nivel de insumos requeridos para una producción de cultivos continuos en los Ultisoles. También debe enfatizarse que estos niveles de fertilización no difieren substancialmente de los utilizados para maíz, soya y maní en Ultisoles del sureste de los Estados Unidos.

TABLA 15. Requerimientos de fertilizantes para cultivos continuos de 3 cultivos por año (arroz-maíz-soya o arroz- maní-soya) en un Ultisol ácido de Yurimaguas¹.

Insumos	Dosis	Frecuencia de aplicación
Ca	3 t/ha	Una vez cada tres o cuatro años
N	80-100 kg N/ha	Maíz y arroz únicamente
P	25 kg P/ha	Cada cultivo
K	100 kg K/ha	Cada cultivo, aplicaciones divididas
Mg	25 kg Mg/ha	Cada cultivo, a menos que se use cal dolomítica
Cu	1 kg Cu/ha	Una vez cada año o cada dos años
Zn	1 kg Zn/ha	Una vez cada año o cada dos años
B.	1 kg B/ha	Una vez al año
Mo	20 g Mo/ha	Mezclado con semilla de leguminosa únicamente

* Los requerimientos de Ca y S se satisfacen con la cal, superfosfato simple y portadores de Mg, Cu, y Zn.

¹Fuente: Sánchez et al. (1982a)

Efectos en las propiedades del suelo. Em peligro de la degradación del suelo bajo cultivo continuo en los trópicos húmedos es de común preocupación en la literatura. Nuestros resultados, sin embar-

go indican justamente lo contrario; las propiedades del suelo mejoran con el buen manejo. La Tabla 16 muestra que después de 20 cultivos consecutivos, el pH de la capa superior del suelo aumenta desde muy

ácido (4.0) antes del desmonte hasta un nivel favorable de 5.7. El contenido de materia orgánica decrece en un 27%; la mayor parte de esta disminución ocurre durante el primer año. El aluminio intercambiable disminuyó de niveles muy altos a cantidades despreciables, la saturación de aluminio decreció de un nivel tóxico de 82% a un nivel despreciable de 1%. Los niveles de calcio intercambiable aumentaron 20 veces a consecuencia de las aplicaciones de cal. Los niveles de magnesio intercambiable se duplicaron. Los niveles de potasio intercambiable no aumentaron a pesar de las grandes cantidades de fertilizantes potásico aplicado, lo que sugiere una

rápida utilización por los cultivos y quizás pérdidas por lixiviación. La capacidad catiónica de cambio efectiva, una medida de la capacidad del suelo para retener los cationes contra el lavado, se duplicó con el tiempo como consecuencia de la carga dependiente del pH característica de la arcilla caolínica y de los óxidos de hierro. La fertilización también incrementó los niveles de P aprovechable de un nivel crítico por debajo de 10 ppm hasta cifras sustancialmente superiores. La misma tendencia ocurrió con los micronutrientes zinc y cobre. Por lo tanto, estos cambios son indicativos de un mejoramiento en las propiedades químicas de la superficie del suelo.

TABLA 16. Cambios en las propiedades del suelo (0-15cm) después de 7.3/4 años de cultivos contínuos de 20 cosechas de maíz, arroz de secano y soya con fertilización completa en Yurimaguas, Perú 1.

Tiempo	pH	Materia Orgánica (%)	Intercambiables				CIC efec- tiva	Sat. de Al (%)	Disponibles				
			Al	Ca	Mg	K			P	Zn	Cu	Mn	Fe
			meq/100 cc						ppm				
Antes del desmonte	4.0	2.13	2.27	0.26	0.15	0.10	2.78	82	5	1.5*	0.9*	5.3*	650*
94 meses después del desmonte	5.7	1.55	0.06	4.98	0.35	0.11	5.51	1	39	3.5	5.2	1.5	389

* 30 meses después del desmonte.

Fuente: Sánchez et al. (1982a)

Hasta ahora no se han detectado cambios desfavorables en las propiedades físicas de los suelos, debido al efecto protector contra el impacto de las lluvias de las 3 cosechas anuales bien fertilizadas. No obstante que los residuos de las cosechas se dejan en el campo hasta que las parcelas experimentales son nuevamente laboradas para prepararlas para las próximas siembras, el suelo se expone por un período superior a 20 días hasta cuando se establece la cobertura del cultivo. Se han observado pérdidas ocasionales por escorrentía pero no se consideran de magnitud suficiente para afectar las cosechas durante 8 años; sin em-

bargo, la compactación del suelo es excesiva en las parcelas que no han recibido fertilización, porque los cultivos muy débiles no desarrollan una cobertura completa.

Los subsuelos ácidos infértiles de los Oxisoles y Ultisoles, actúan frecuentemente como una barrera química para el desarrollo de las raíces. Las raíces de los cultivos son incapaces de penetrar al subsuelo altamente saturado con aluminio y muy bajo en calcio intercambiable. Esta situación produce sistemas radiculares poco profundos que a menudo dan como resultado plantas que sufren sequía durante períodos sin lluvia mientras el subsuelo tiene

suficiente agua disponible. Hemos observado que las propiedades químicas del subsuelo mejoran con el tiempo en el sistema de manejo intensivo. La fig. 6 muestra aumentos significativos en calcio, magnesio y en la capacidad de cambio en capas de 15 a 45 cm de profundidad, así como un decrecimiento en la saturación de aluminio.

La utilización del esquema de fertilización y cal promovió el movimiento descendente de los cationes básicos, lo cual condujo a un medio ambiente más favorable para el desarrollo de las raíces, que el existente antes del desmonte. Por lo tanto la fertilización apropiada y el cultivo continuo mejoran más que degradan este Ultisol de los trópicos húmedos.

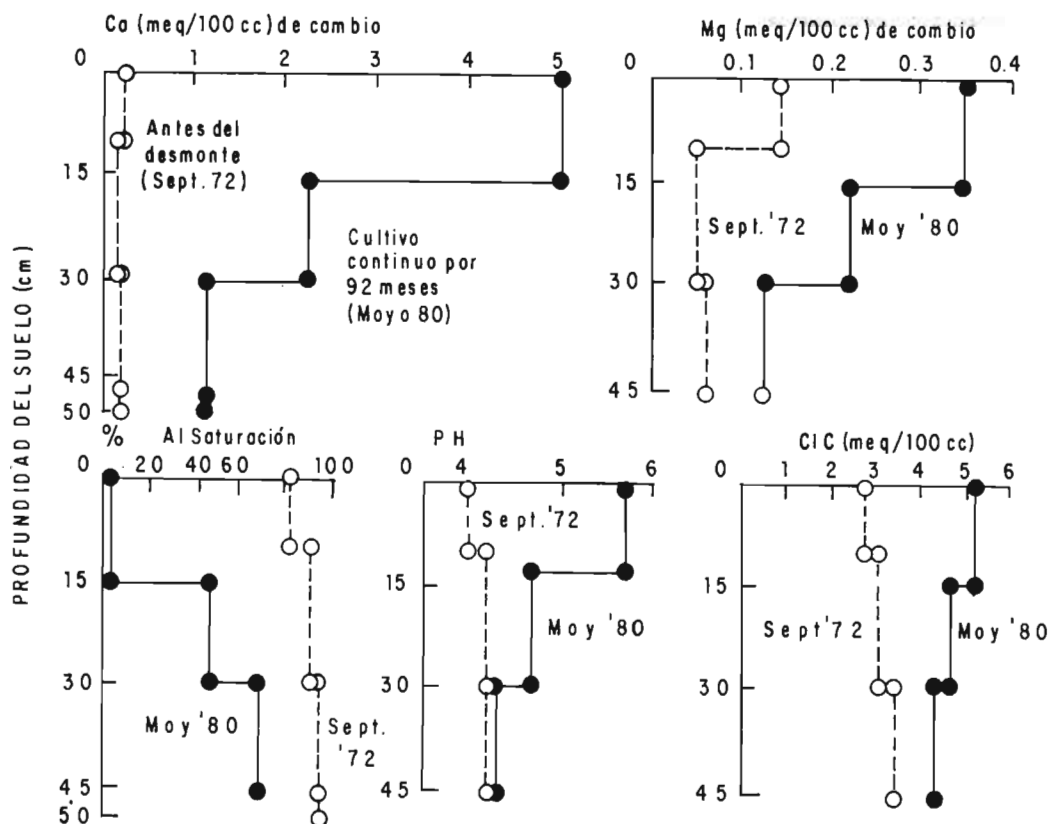


FIG. 6. Mejoramiento de las propiedades químicas del subsuelo después de 7.1/2 años de cultivos continuos de arroz maíz soya en rotacion en un Ultisol de Yurimaguas. Perú. Fuente: Sánchez et al 1982.

Implicaciones Económicas. El análisis económico realizado con los resultados de las parcelas experimentales y con los ensayos en campos de agricultores, indica que el sistema de producción de tres cosechas por año es económicamente viable dentro de una amplia variación de precio de las cosechas y los fertilizantes, niveles de ca-

pital y composición de la fuerza laboral familiar. Cuando se acumuló que solamente se utilizó en la chacra típica la mano de obra familiar, y que el agricultor prestó alrededor de US\$ 150 al Banco Agrario, y considerando los precios mundiales del mercado de fertilizantes más su transporte terrestre desde Lima, los ingresos familiares anua-

les aumentaron cuatro veces del actual promedio de US\$ 750 a alrededor de \$3,000 explotando 1.5 ha bajo cultivos continuos. También se encontró muy favorecido el valor marginal del producto del capital; el precio del capital fue de 0.18 por dolar mientras los precios marginales variaron de \$1.29 a \$4.85 por dolar del capital prestado, el que se utilizó principalmente para comprar fertilizantes (Hernández & Coutu 1981).

Cultivos con Bajos Insumos

La opción anterior pese a sus ventajas agronómicas y económicas, es solo factible en aquellas regiones de la Selva que posean suficiente infraestructura vial, de mercado y de crédito para que agricultores puedan comprar fertilizantes y cal, así como poder vender el producto de tres cosechas anuales. En el Perú esta opción parece más aplicable a las zonas del Alto Huallaga, Huallaga Central y Alto Mayo donde dichas condiciones son más aparentes.

En áreas donde la infraestructura vial y crediticia no reúne estas condiciones, la tercera opción tecnológica consisten en cultivos de ciclo corto con bajos insumos. Según lo indica la Fig. 4 esta opción es recomendable para suelos ácidos con pendientes menores de 8% así como para restingas con suelos más fértiles, aunque de preferencia este último componente del paisaje puede ser utilizado más intensivamente con el cultivo de arroz bajo riego.

El sistema de cultivos con bajos insumos se basa en la filosofía de "adaptar las plantas a las limitaciones del suelo" en vez de "modificar el suelo para cubrir las necesidades de las plantas". Estudios en Yurimaguas demuestran que esta opción se basa en tres componentes claves: 1) seleccionar variedades tolerantes a la acidez del suelo, para eliminar la cal; 2) sistema de labranza que permita el retorno de los residuos de la cosecha para reciclar los nutrientes y 3) el uso de purmas o barbechos

mejorados para acelerar la restauración del suelo en descanso. Este último factor refleja el hecho de que no aparenta ser posible el cultivo continuo en suelos ácidos sin un uso considerable de fertilizantes y cal. La opción de cultivos con bajos insumos es por lo tanto, una etapa transicional entre la agricultura migratoria y agricultura permanente.

Se han estudiado un gran número de variedades de los cultivos alimenticios de la región a su tolerancia a un alto nivel de saturación de aluminio en Yurimaguas, sembrándolos en terrenos encalados y sin encalar. Los resultados indican que solo existen variedades de arroz y de caupí que son tolerantes a la acidez del suelo y que poseen otras características favorables tales como alto potencial de rendimiento, calidad de grano y tolerancia a enfermedades (Piha & Nicholaides 1981). La búsqueda de variedades tolerantes de maíz, soya, maní, camote y otras especies continúa sin resultados contundentes hasta la fecha.

Un sistema promisorio es el siguiente. El agricultor desmonta su chacra en forma tradicional, adicionando solamente la eliminación de troncos y ramas no quemadas, para la venta como leña o para hacer carbón. Los tocones queda el en campo. Después de las primeras lluvias que ayudan a incorporar las cenizas se siembra una variedad de arroz de estatura media y tolerante al aluminio como el "Africano Desconocido", a un distanciamiento controlado de 30 x 50 cm durante los meses de Setiembre a Octubre. No se aplica fertilizantes ya que las cenizas aumentan el nivel de fertilidad y solo se utiliza deshierbo manual o el herbicida Hedonal. Después de la cosecha (Diciembre-Enero) se distribuye la paja del arroz lo mejor posible para reciclar nutrientes y se siembra la misma variedad de arroz por segunda vez, aplicándosele 30 kg N/ha al inicio del macollamiento, utilizando las mismas prácticas culturales. Después de la segunda cosecha de arroz, se siembra una variedad de caupí (*Vigna sinensis*) tolerante a la aci-

de tal como Vita -7, con tacarpo, a un distanciamiento de 30 x 50 cm. Dicho cultivo cubre el suelo durante los meses más secos (Julio-Agosto) y al cosechar las vainas se requiere la devolución del material verde al suelo. No se aplican fertilizantes al caupí. De esta manera se pueden cosechar hasta 3 cosechas al año en ecosistemas de bosque pluvial, o dos (arroz y caupí) en ecosistemas de bosque estacional).

Este sistema puede durar 1 ó 2 años según la fertilidad inicial del suelo y de la cantidad de ceniza producida durante la

quema. Su uso durante un segundo año probablemente incluye aplicaciones de potasio, magnesio y fósforo. Los niveles de fertilización necesarias varían en diferentes suelos y cultivos.

La Tabla 17 indica la productividad potencial de este sistema al nivel de experimento en Yurimaguas. En un año se cosecharon dos siembras de arroz y una de caupí, produciendo 6.5 t/ha de arroz y 1.9 t/ha de caupí en un suelo de pH 4.5, 1.95 meq Al/100g, y 53% de saturación de aluminio, medidos después de la quema (Gichuru & Sánchez 1983).

TABLA 17. Productividad del sistema de cultivo de bajos insumos en suelo ácido y plano de Yurimaguas con un pH de 4.6 después de la quema.

Siembra	Cultivo	Rendimiento (t/ha)	Fertilización (kg/ha)
1a. (Mayo '82)	Caupí	1.9	0
2a. (Set. '82)	Arroz	3.5	30 N
3a. (Feb. '83)	Arroz	3.0	50 N
4a. (Junio '83)	Caupí	1.5	0

Fuente (Gichuru & Sánchez 1983).

Debido a la pérdida de fertilidad y al aumento de malezas con el tiempo, el cultivo continuo con bajos insumos solo se puede considerar como un esfuerzo pionero, utilizándose el suelo de forma casi tra-

dicional mientras que los tocones se descomponen. Es necesario considerar las diferentes opciones para una agricultura permanente. La Fig. 7 ilustra cuatro de ellas.

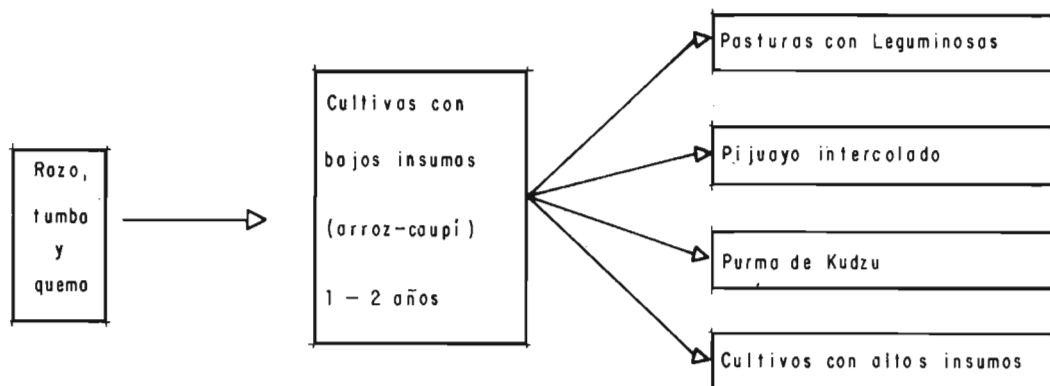


FIG 7. Opciones que pueden seguir al cultivo con bajos insumos después de 1 ó 2 años de producción.

Una es establecer pasturas de gramíneas y leguminosas que también operan con bajos insumos. Dichas pasturas pueden ser establecidas dentro del último cultivo de arroz, voleando la semilla de pastos después del último deshierbo. Debido a la cobertura casi total del caupí no parece factible establecer la pasturas dentro de este cultivo.

Otra opción es establecer un cultivo perenne tal como el pijuayo (*Guillemia gasipaes*), eventualmente con una cobertura de leguminosas forrajeras. Plantones de pijuayo pueden ser sembrados durante el segundo o tercer cultivo de ciclo corto a un distanciamiento de 2 x 3 m.

La tercera opción es someter el suelo a un descanso, siguiendo el sistema de agricultura migratoria pero con tecnología. Estudios en Yurimaguas demuestran que una purma de kudku (*Pueraria phaseoloides*) de dos a tres años de edad tiene una productividad parecida a una purma natural de 25 años en términos de rendimientos de cultivos obtenidos después de rozar y quemar ambas (Bandy & Sánchez 1981). sin embargo estos estudios no indican las razones por las cuales este mecanismo funciona ya que no se observó un reciclaje significativo de nutrientes. La purma de kudzu tiene además las ventajas de poder ser eliminada fácilmente por medio de la quema; además puede usarse como "banco de proteína" para ganado en rotación con otros potreros, como fuente de producción de semillas de kudzu y como fuente potencial de harina de hojas de kudzu como componente en alimentos balanceados para aves. Se están investigando actualmente otras leguminosas como "purmas mejoradas" incluyendo *Desmodium ovalifolium*, *Centrosema híbrido*, y *Cajanus cajan*.

Pasturas con Leguminosas

La ganadería vacuna de doble propósito (carne y leche) es un aspecto muy importante en la Amazonía. La Selva Peruana

posee alrededor de 300,000 ha en pastos, la gran mayoría consistiendo en pasturas degradadas dominada por un complejo de gramíneas llamado "torourco" (*Paspallum conjugatum* y *Axonopus compressus*). El establecimiento de pasturas se hace normalmente dentro del primer cultivo de arroz o maíz después de tumbar el bosque (Toleo & Morales 1979). Tradicionalmente se han sembrado gramíneas pobremente adaptadas a suelos ácidos tales como el pasto jaragua (*Hyparrhenia rufa*) o el pasto castilla (*Panicum maximum*), sin leguminosas ni abonamiento. A medida que el efecto de las cenizas disminuye, las gramíneas comienzan a desaparecer, aumentando además la presión de pastoreo ya que la carga de animales por hectárea se mantiene relativamente constante. Dicha práctica resulta en la desaparición de la gramínea sembrada, y al enpurmamiento por árboles o a una pradera de torourco. Las praderas de torourco bien manejadas pueden producir un aumento de 100 kg/ha/año de peso vivo con una carga entre 0.5 y 1.0 animales por hectárea. Cuando la presión de pastoreo excede los límites de la pastura degradada, aparecen áreas sin cubierta vegetal las cuales son compactadas por los animales y pueden convertirse en trillas donde el agua escorre y eventualmente en grietas al iniciar un proceso de erosión acelerada.

La cuarta opción tecnológica ofrece una solución a este problema en suelos ácidos ya sean planos u ondulados (Fig. 4). Se basa en la mezcla de ecotipos de gramíneas y leguminosas tolerantes a suelos ácidos, así como a las enfermedades y plagas más importantes. Estudios efectuados por el INIPA e IVITA en colaboración con el Programa de Pastos Tropicales del CIAT y entidades locales en Pucallpa, Tarapoto, Yurimaguas, Alto Mayo, Tingo María, La Morada, Pichis Palcazu y Puerto Maldonado demuestran la existencia de varias especies promisorias de gramíneas y leguminosas para la Selva Peruana que se describen en la Tabla 18 (Ara et al. 1981, Schaus et al. 1983, López et al. 1983).

El potencial productivo de dichos ecotipos puestos en mezclas se ilustra en la Tabla 19 con datos de un experimento ubicado en un Ultisol de Yurinaguas sembrado primero de maíz y después dedicado a dichos pastos durante los últimos tres años. El suelo al iniciar el establecimiento tenía un pH de 4.1, y una saturación de Al

de 61% y un nivel de P disponible muy bajo de 4 ppm. La fertilización inicial consistió de 100 kg/ha de cal, seguida de 50 kg P_2O_5 /ha, 50 kg K_2O /ha y 10 kg Mg O/ha una vez al año. Novillos de raza Nellore fueron utilizados, no recibiendo nutrición adicional salvo agua y sales mineralizadas. La producción animal durante de 3 años se

TABLA 18. Algunos especies promisoras de pasturas para suelos ácidos en la Selva Peruana.

Tipo	Especie
Gramíneas	Andropogon gayanus (Pasto San Martín) Brachiaria decumbens (Braquiaria) Brachiaria humidicola (Kikuyo de la Amazonía)
Leguminosas:	Stylosanthes guianensis 134, 186 Desmodium ovalifolium 350 Centrosema híbrido 438 Pueraria phaseoloides (kudzu) Zornia latifolia (728)

TABLA 19. Producción animal en pasturas mejoradas en suelos ácidos de Yurimaguas con insumos mínimos. Primer año: pastoreo continuo; segundo y tercer año: pastoreo alterno.

Pastura	Ganancias diarias			Ganancias por ha		
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 1	Año 2	Año 3
	--- g/an./dia ---			--- kg/ha/año ---		
A. gayanus - S. guianensis	219	402	662	390	703	680
B. decumbens - D. ovalifolium	398	419	366	639	846	594
P. maximum - P. phaseoloides ¹	406	205	208	724	304	253
A. gayanus - Centrosema híbrido ¹	2/	435	564	-	884	457
B. humidicola - D. ovalifolium	-	2/	421	-	-	553

1 La gramínea prácticamente desapareció de la mezcla

2 Pastura no establecida hasta el siguiente año

Fuentes: Ara et al, (1981), Schaus et al, (1983)

ilustra en el Cuadro 19. Puede notarse que algunas mezclas alcanzan niveles de incremento animal de peso de 400-700 kg/ha/año, o sea de 4 a 7 veces más de lo obtenido con torourco bien manejado. La carga animal promedio también subió de 0.5 a 1 animal/hectárea con torourco a más de 4 animales /ha.

El manejo animal es sumamente importante para mantener una buena pastura en asociación. El pastoreo continuo utilizado durante el primer año produjo un desbalance a favor de las leguminosas. El pastoreo rotativo utilizado durante el segundo y tercer año de 45 días en cada potrero mejoró las pasturas notablemente. La persistencia de una pastura debe determinarse a través de varios años. Los datos de Yurimaguas indican una persistencia muy promisorio para las asociaciones *Andropogon gayanus* - *Stylosanthes guianensis* y *Brachiaria decumbens* - *Desmodium ovalifolium*.

Para la transferencia de esta tecnología a otras zonas en Selva debe de considerarse además de análisis de suelo, el sistema de establecimiento de la pastura y el manejo animal.

Cultivos Perennes y Agroforestales

Una gran opción para la Selva son los cultivos perennes, ya que además de imitar al bosque, tienen la característica de fijar el agricultor a su tierra debido al largo período de producción. La Fig 4 indica que esta opción es viable tanto para restingas altas, como para suelos ácidos de variable pendiente así como para ciertas zonas montañosas. Los cultivos perennes difieren en su tolerancia a suelos ácidos al igual que cultivos de ciclo corto o pasturas (Sánchez & Salinas 1981). El cacao (*Theobroma cacao*) es susceptible a suelos ácidos y por lo tanto debe de sembrarse en restingas altas o bajo fertilización en suelos ácidos. Lo mismo ocurre con la papaya (*Carica papaya*), y la pimienta (*Piper nigrum*). El jebe o siringa (*Hevea brasiliensis*), la pal-

ma africana (*Elaeis guineensis*), el pijuayo (*Guilielma gasipaes*), guaraná (*Paullinia cupana*), achiote (*Bixa orellana*) aparentemente son tolerantes a suelos ácidos y por lo tanto adaptable a zonas con suelos Ultisoles. Los cultivos perennes en pendientes fuertes de la Selva Alta deben necesariamente estar protegidos por cultivos tales como plátano en su fase de establecimiento para no causar erosión del suelo. Además del cacao, la Selva Alta tiene un buen potencial de mejorar la productividad de café, cítricos y papaya mediante variedades con mayor tolerancia a plagas y enfermedades.

En la Selva Baja las opciones más promisoras consisten en intercalar cultivos perennes de alto valor unitario como el pijuayo con cultivos anuales y tal vez pastura. En caso que se consideren cultivos perennes solos, el suelo debe estar protegido por alguna leguminosa rastrera. Observaciones en Yurimaguas indican que las leguminosas *Centrosema* híbrido, *Desmodium ovalifolium* y kudzu proveen buena cobertura para plantaciones de pijuayo.

Otras opciones agroforestales que deben de investigarse es el cultivo en callejones (alley cropping), para producir abono verde para cultivos anuales; cercos vivos, para bajar el alto costo de mantener cercos en potreros, leguminosas arbustivas para ramoneo en asociación con pasturas de gramíneas puras, franjas forestales al contorno entre franjas de pasturas. Estas posibilidades deben de ser investigadas así como muchas combinaciones de árboles con cultivos que actualmente utilizan nativos y colonos en la Selva (Denevan et al 1983). Otras posibles opciones han sido descritas por Peck (1982), Hecht (1982) y Valencia (1982).

La promoción de agroindustria para transformar las cosechas en productos de alto valor unitario como jugos, conservas, concentrados proteínicos y vitamínicos es una importante consideración en el proceso de desarrollo. Sin una agroindustria di-

námica la estabilidad de muchos cultivos perennes en la Selva no podrá ser lograda.

Bosques en Mosaico con Agricultura

La producción forestal no ha sido investigada por el INIPA ya que es responsabilidad del Instituto Nacional de Forestal y Fauna (INFOR). El potencial forestal y las prioridades de investigación al nivel amazónico han sido recientemente descritos por Romero & Romero (1983). Sin embargo, hay un punto que merece ser resaltado en el manejo de suelos: la conveniencia de que la agricultura esté en forma de mosaico intercalada con bosques naturales. Este tipo de distribución especial se observa a través del sureste de los Estados Unidos, desde los Estados de Georgia hasta Virginia donde los suelos principales son Ultisoles y donde la agricultura migratoria imperaba hasta hace un siglo. La gran mayoría del piedemonte y la planicie costera atlántica del sudeste de los Estados Unidos es un gran bosque, principalmente "purmas" dentro de las cuales se intercalan campos de 5 a 100 hectáreas con cultivos anuales, pasturas e plantaciones forestales.

La razón por la que se plantea esta propuesta es que ecólogos de Brasil (Schubert & Salati 1982) han indicado que al talar enormes extensiones contiguas de Selva se puede producir un déficit de vapor de agua a la atmósfera debido al efecto de albedo que es producto de una superficie de color verde más claro que el verde oscuro del bosque natural. Al reflejar más luz un color más claro, la atmósfera tendrá menos vapor de agua, lo cual, puede causar consecuencias adversas a zonas colindantes de la Amazonía. Aunque esta teoría no está probada, parece conveniente evitar cualquier peligro de este tipo, simplemente intercalando áreas de producción agropecuaria dentro de una gran matriz de bosque.

Protección Ecológica

La Fig 4 indica varias posiciones topográficas que no deben de ser tocadas en el desarrollo agropecuario. Se incluye los diques naturales en las orillas de erosión de los ríos, los aguajales y las montañas o zonas escarpadas no aptas para la producción sostenida de cultivos perennes. Se mencionó anteriormente la acertada política del Proyecto Especial Pichis Palcazu de proteger los primeros 10 metros de las riberas, así como de la ausencia de una tecnología para el desarrollo de aguajales. Además de lo indicado en la Fig. 4, existen extensiones de suelos Espodosoles e Pdzoles Gigantes del Trópico (Zamora 1972), los cuales son de tal baja fertilidad natural que no permiten en desarrollo de un bosque pluvial normal. Aunque dichos suelos son muy productivos con un alto uso de insumos en el Estado de la Florida en Estados Unidos, sumeja opción para la Selva es no tocarlos, ya que otros son mejores.

Cultivos sin Insumos

La Figura 4 indica esta opción para el sistema de barrial, o playas dejadas por los grandes ríos durante la época de estiaje. Agricultores las utilizan para sembrar arroz, maní y caupí. Debido al alto riesgo de perder cosechas por inundación no se recomienda tecnología mejorada. Las investigaciones para obtener variedades más precoces y métodos de cosecha en agua deben de desarrollarse para mejorar la productividad de este sistema.

Cría de Búfalos

Una opción promisoría para los bajiales inundables es la cría de búfalos de agua (bubalinos). Los búfalos domesticados se han usado desde tiempo inmemorial en Asia para tracción animal en la Selva es

grande. Aunque la experiencia en la Selva Amazônica se limita rebaños en islas cerca de Iquitos, existen sistemas de producción de búfalos bien productivos en Brasil. Un requisito indispensable de estos animales es disponer de forraje durante todo el año. Por esta razón, se indicó en la Fig. 4 la necesidad de utilizar las restingas altas o suelos ácidos de altura en la cría de búfalos durante el tiempo que los bajiales permanezcan inundados.

Además del potencial para tracción animal, los búfalos tienen la capacidad de digerir pasturas de calidad inferior a los vacunos, teniendo por lo tanto ciertas ventajas comparativas para la producción de carne y leche. Estudios efectuados por EMBRAPA en Belém se resumen en la Tabla 20. La cría de búfalos proporciona las siguientes ventajas: una opción promisoría para los bajiales, mayor peso al nacer, capacidad más alta de digerir fibra y forrajes secos, mayor aumento de peso individual, mayor peso al sacrificio y mayor productividad lechera. Las desventajas son una menor capacidad de carga por hectárea, falta de conocimientos sobre el manejo, y diferencias en el sabor de la leche al ser más alta en sólidos. Toledo & Serrão (1982) consideran que el búfalo es un animal llamado a cumplir un papel importante en la ganadería amazónica futura.

Las desventajas son una menor capacidad de carga por hectárea, falta de conocimientos sobre el manejo, y diferencias en el sabor de la leche al ser más alta en sólidos. Toledo & Serrão (1982) consideran que el búfalo es un animal llamado a cumplir un papel importante en la ganadería amazónica futura.

TABLA 20. Comparación entre la productividad de ganado vacuno cebú y búfalos en Belém, Brasil.

Parámetros	Búfalos	Cebú
Digestibilidad in vitro de fibras secas % ¹	32	23
Digestibilidad in vitro de materia seca % ¹	34	31
Peso al nacer (kg)	37	27
Peso a los 2 años (kg)	344	272
Ganancia de peso (g/an/día) ²	545	353
Capacidad de carga (an/ha/año) ²	1.9	3.4
Ganancia peso/ha (kg/ha/año) ²	382	404
Natalidad (%) ³	65	45
Edad de beneficio (años) ³	2.5	4.2
Peso al beneficio (kg) ³	350	325
Producción de leche (kl/lactancia) ³	1200	1000

¹Hino supermaduro de *Melinis minutiflora*

²Pastoreo en rotación en *Echinochloa pyramidalis*

³Datos generales

Fuente: Nascimento et al. 1979.

Recuperación de Laderas Degradadas

Las laderas abandonadas del cultivo de la coca están generalmente erosionadas debido al orientar los cursos paralelos a la

pendiente y no proteger al suelo. La décima opción ilustrada en la fig. 4 concentra en reclamar estas laderas tanto en zonas de colinas como en zonas con fuerte pendiente. Trabajos en colaboración con el Proyec-

to Especial Alto Huallaga en una pendiente superior a 100% en Tingo María indican que la siembra de las leguminosas *Desmodium heterophyllum*, *Centrosema* híbrido, *Desmodium ovalifolium* y kudzu cubren el suelo rápidamente. Entre ellas, la que mejor resultado ha dado es el *Desmodium heterophyllum*. Después de estabilizar el suelo que tienen en alto valor unitario de su producto como achote (*Bixa orellana*) o especies forestales (Benites 1983).

MITOS DE LA AMAZONÍA

Existen actualmente varias creencias ampliamente difundidas en la prensa mundial sobre la Amazonía, entre ellas:

- La Amazonía es el pulmón del mundo.
- Al desmontar el bosque pluvial, en suelo se convierte en laterita.
- La agricultura es imposible en la Amazonía.
- Se está transplantando ciegamente tecnologías de zonas templadas a la amazonía.

El Pulmón del Mundo

La creencia que la Amazonía es la fuente de oxígeno mayor del mundo y por ende su desmonte causaría la asfixiación de todo los animales resultó de una mala interpretación de las declaraciones del limnólogo alemán Harald Sioli hace varias décadas (Sioli 1980). La flora amazónica es sin duda alguna un enorme productor de oxígeno por medio de la fotosíntesis. Todos los árboles, sin embargo, consumen de noche el oxígeno que producen de día debido a su respiración. Fisiólogos han demostrado que la producción de oxígeno está en equilibrio con su consumo por las mismas plantas. Por lo tanto, la contribución neta es poca. Es importante recalcar que el factor que determina la producción de fotosíntesis en el trópico húmedo es el índice de área foliar. Dicho índice es similar entre los árboles amazónicos y plantas tales como arroz, brachiaria o pi-

juayo. Debido a las condiciones altamente propicias de temperatura y precipitación, una cobertura vegetal reemplaza a una que se destruye. La nueva cobertura puede ser purma, pasto, cultivos o simplemente malezas, pero todas ellas fotosintetizan y respiran.

Formación de Lateritas

Probablemente no existe un concepto más erróneo que la existencia de un proceso único de formación de los suelos tropicales que conduce a la formación de laterita. Cuando los edafólogos europeos y americanos viajaron al trópico durante el siglo XIX, se intriguaron por la presencia de la laterita. De regreso sus países, escribieron y comunicaron aspectos de este fenómeno. A su vez, ignoraron vastas regiones del trópico similares a los que se encuentran en las regiones templadas. En consecuencia, surgió la idea de que los suelos tropicales tienen un alto contenido de sesquióxidos y que se endurecen irreversiblemente al quedar expuestos. Los Oxisoles y Ultisoles erróneamente se consideran suelos en el proceso de desarrollo hacia lateritas. Incluso en publicaciones relativamente recientes en revistas científicas muy conocidas, se concluye que cuando a la gran mayoría de los suelos tropicales se les despoja de la vegetación, se convierten en pocos años en pavimento de ladrillo inservible. Muchas de estas conclusiones erróneas se basan en el supuesto de que Buchanan (1807) adoptó el término laterita debido al color rojo del suelo, mientras que lo que realmente quiso indicar fue su uso como material de construcción.

En 1933, Hardy indicó que las lateritas tienen una extensión limitada en el trópico. Estimaciones colectadas por Sánchez & Buol (1975) proporcionan los siguientes estimativos de la ocurrencia de lateritas: 2 por ciento para América tropical, 5 por ciento para Brasil central, 11 por ciento del África tropical y 15 por ciento para el Afri-

ca Occidental al sur del Sahara. No se han detectado lateritas en la Selva Peruana hasta el momento. Com base en estos y otros estimativos, se calcula que el área total del trópico en el que se pueden encontrar lateritas en/o cerca de la superficie del suelo es del orden del 7 por ciento. Además, la laterita o plintita se presenta en posiciones predecibles en el paisaje, no solo en el trópico sino también en el sureste de los Estados Unidos. Es importante recordar que la laterita solo se forma en el subsuelo. Marbut (1930) indicó que "En ningún caso se encontró el horizonte de concentración de hierro en la superficie, donde la situación local no fue tal que indicara claramente que había sido expuesto por la erosión". En consecuencia, este problema no afecta a la gran mayoría de los suelos del trópico, e incluso no es problema a no ser que la erosión exponga la capa de plintita rica en hierro. En zonas donde ocurre laterita, esta se usa como un recurso natural para construcción de carreteras.

La Agricultura es Imposible en la Amazonía

Este argumento se basa en la baja fertilidad natural de los suelos dominantes y a la poca productividad de la agricultura sin tecnología. Cualquier persona que conozca otras zonas del mundo con suelos Ultisoles en donde la agricultura tecnificada es un éxito (Sureste de Estados Unidos, Sureste de China, Centro y Sur de Brasil, etc.) no acepta dicho argumento. Los datos presentados en este trabajo lo demuestran ampliamente.

Transplante de Tecnologías de Zonas Templadas

Efectivamente los primeros intentos fueron así, principalmente con el jébe en Fordlandia, Brasil (Alvin 1982) y más recientemente con la tecnología de pasturas de *Panicum maximum* a gran esca-

la proveniente del sur de Brasil a su Amazonía. Además de las deficiencias agronómicas, este tipo de transplante posee gran falta de sensibilidad a los aspectos socioeconómicos.

Las tecnologías propuestas en este trabajo se basan en la aplicación de principios básicos de manejo de suelos a diferentes situaciones tipográficas, edáficas y de infraestructura. No se pretende dar una solución al manejo de suelos en la Selva sino presentar una serie de opciones, las cuales aún no exploran la totalidad de posibilidades tecnológicas. Los principios básicos de suelos son universales. La química del fósforo en el suelo es la misma en la Amazonía que en Alaska. La aplicación de estos principios a un problema dado es lo nuevo de estos trabajos.

CONCLUSION

Una implicación muy importante de estas tecnologías es el uso intensivo de que se da a cada hectárea que se desmonte y el hecho que el agricultor se fija al suelo. Con una producción por hectárea alta y estable, habrá menos necesidad de tumbiar más bosques para producir la misma cantidad de alimentos. Por lo tanto, una buena tecnología agraria puede resultar en una disminución de la tala indiscriminada del bosque tropical y por ende una mejor conservación de este magnífico patrimonio de la humanidad. **Con tecnología** por lo tanto se puede tener un uso racional del suelo en la Selva y llegar a una armonía entre la necesidad de producir más alimentos y la conveniencia de mantener la mayoría de la Selva en su estado natural. **Sin tecnología**, el desarrollo agropecuario resultará en grandes fracasos y daños al ecosistema.

CITACIONES BIBLIOGRAFICAS

- ALEGRE, J.C., CASSEL, D.K., BANDY, D.E. & SANCHEZ, P.A. Effect of land clearing on soil properties of an Ultisol and subsequent crop production in Yurimaguas, Peru. s.l., s.ed., 1982.

- Trabalho apresentado no Land Clearing Symposium, IITA, Ibadan, Nigeria.
- ALVIM, P.T. Agricultural production potential of the Amazon region. In: BARBIRA, F. **Land people and planning in contemporary Amazonia**. Cambridge, University of Cambridge, 1980. p. 27-36.
- ALVIM, P.T. Una evaluación en perspectiva de los cultivos perennes en la cuenca amazónica, In: HECHT, S.B. ed. **Amazonia-investigación sobre agricultura y uso de tierras**. Cali, CIAT, 1982 p. 325-44.
- ARA, M.A.; SANCHEZ, P.A.; BANDY, D.E. & TOLEDO, J.M. Adaptability of grass-legume pastures in the Amazon of Peru. **Agron. Abstr.** 82. 1981.
- ARÉVALO, L.A.; BENTTES, J.R. & BANDY, D.E. **Paddy rice in the alluvial soils of the Peruvian Amazon Basin**. Yurimaguas, INIPA, 1983. 25p.
- BANDY, D.E. & SANCHEZ, P.A. **Post-clearing soil management alternatives for sustained production in the Amazon**. s.l., s.ed., 1982. Trabalho apresentado no Land Clearing Symposium. IITA, Ibadan, Nigeria.
- BANDY, D.E. & SANCHEZ, P.A. Managed kudzu fallow as an alternative to shifting cultivation in Yurimaguas, Peru. **Agron. Abstr.**; 40, 1981.
- BANDY, D.E. BENTTES, J. & SANCHEZ, P.A. Irrigated rice potential of alluvial soils in the Amazon of Peru. **Agron. Abstr.**, 1982.
- BENTTES, J.R. **Alternativas para terrenos abandonados de la coca en el Alto Huallaga**. Yurimaguas, Estación Experimental de Yurimaguas, 1983. (Estación Experimental de Yurimaguas. Separatas, 4).
- BENTTES, J.R. Soils of the Peruvian Amazon: Their potential for use and development. In: WIENK, J.F. & WIT, H.A. de. eds. **Management of low fertility acid soils of the american humid tropics**. San José, IICA, 1983. p.85-93.
- BISHOP, J.P. Sistemas agroforestales para el trópico húmedo al Este de los Andes. In: HECHT, S.B. ed. **Amazonia-investigación sobre agricultura y uso de tierras**. Cali, CIAT, 1982. p.423-37.
- BUCHANAN, F. **A journey from Madras through the counties of Mysore, Camara, Malabar, etc (1800-1801)**. London, s.ed. 1807.
- BUOL, S.W.; SANCHEZ, P.A.; CATE JR., R.B. & GRANDER, M.A. El sistema de clasificar suelos de acuerdo con su fertilidad. In: BORNEMISZA, E & ALVARADO, A. eds. **Manejo de suelos en america tropical**. Raleigh, North Carolina State University, 1975. p.129-45.
- BRUZZONE, C.; LOPEZ, J. & PULVER, L. **Alto Mayo: Gran potencial arrocero, Lanzamiento de la variedad CICA-8**. Tarapoto, s.ed., 1983. 9p.
- CALDERÓN, C. **Recursos naturales de la región amazónica**. Iquitos, Corporación de Desarrollo de Loreto, 1982.
- COCHRANE, T.T. & SANCHEZ, P.A. Recursos de tierras, suelos y su manejo en la región amazónica; informe acerca del estado de conocimiento. In: HECHT, S.B. ed. **Amazonia - Investigación sobre agricultura y uso de tierras**. Cali, CIAT, 1982. p.143-218.
- COCHRANE, T.T.; PORRAS, J.A.; AZEVEDO, L. de G.; JONES, P.G. & SANCHEZ, L.F. **An explanatory manual for CIAT's computerized land resource study of tropical America**. Cali, CIAT, 1979.
- CORNEJO, R. **El proyecto especial Alto Huallaga**. Lima, Presidencia del Consejo de Ministros, 1983.
- DEL AGUILA, E. **Proyecto especial Pichis Palcazu**. Lima, Presidencia del Consejo de Ministros, 1983. 19p.
- DENEVAN, W.M.; TREACY, J.M.; ALCORN, J.B.; PADOCH, C.; DENSLOW, J. & FLORES-PAITÁN, S. Indigenous agroforestry in the Peruvian Amazon: Bora Indian management of swidden fallows. In: HEMMINGS, J. ed. **Change in the Amazon Basin Man's impact on Forest and Rivers**. Manchester, University of Manchester, 1983.
- FAO, Roma, Italia. **Soil Map of South America**. Rome, 1971.
- GAZZO, J. Políticas y planes de desarrollo para la región amazónica del Perú. In: HECHT, S.B. ed. **Amazonia-investigación sobre agricultura y uso de tierras**. Cali, CIAT, 1982. p.87-108.

- GICHRU, M.P. & SANCHEZ, P.A. **Minimum tillage, phosphorus, sulfur, calcium, magnesium interactions in an Ultisol Draft report.** Yurimaguas, INIPA, 1983.
- HANCOCK, J.K.; HILL, R.W. & HARGREAVES, G.H. **Potential evapotranspiration and precipitation deficits for Tropical America.** Cali, CIAT, 1979. 398p.
- HARDY, F. Cultivation properties of tropical red soils. *Emp. J. Exp. Agric.*, 1:103-12, 1933.
- HECHT, S.B. Los sistemas agroforestales en la cuenca amazónica: práctica, teoría y límites de un uso promisorio de la tierra. In: HECHT, S.B. ed. **Amazonía-investigación sobre agricultura y uso de tierras.** Cali, CIAT, 1982. p.347-90.
- HERNANDEZ, D. & COUTU, A.J. Economic evaluation of slash and burn cultivation options in Yurimaguas, Peru. *Agron. Abstr.* 42, 1981.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGRARIA, Lima, Peru. **Estudio de base del sistema de investigación, educación y extensión agrícola.** Lima, 1979. p. 665-7.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y PROMOCIÓN AGROPECUARIA. Lima Peru. **Programa Nacional de Arroz: Documento Base.** Lima, 1983.
- LAL, R. Deforestation and soil erosion. s.l., s.ed., 1982. Trabalho apresentado no Land Clearing Symposium, IITA, Ibadan, Nigeria.
- LOPEZ, W. et. al. *Andropogon gayanus* (Pasto San Martín) CIPA X. Tarapoto, s.ed., 1983.
- MARBUT, C.F. Laterites. In: INTERNATIONAL SOIL SCIENCE CONGRESS, 2., Leningrad. *Proceeding...* s.l., s.ed., 1930.
- NASCIMENTO, C.N.B.; MOURA CARVALHO, L.O.D. de & LOURENÇO JR., J. de B. **Importância do búfalo para a pecuária brasileira.** Belém, EMBRAPA-CPATU, 1979. 31p.
- NICHOLAIDES, J.J.; SANCHEZ, P.A.; BANDY, D.E.; VILLACHICA, J.H.; COUTU, A.J. & VALVERDE, C. Crop production systems in the Amazon basin, pp.101-53. In: MORAN, E.F. ed. **The Dilemma of amazonian development.** Boulder, Westview, 1983.
- OFICINA NACIONAL DE EVALUACIÓN DE RECURSOS NATURALES, Lima Peru. **Inventario, evaluación e integración de los recursos naturales de la zona de los ríos Inambri y Madre de Dios.** Lima, 1972.
- OFICINA NACIONAL DE EVALUACIÓN DE RECURSOS NATURALES, Lima Peru. **Estudio de suelos de la zona de Jaén-San Ignacio (Detallado).** Lima, 1977a.
- OFICINA NACIONAL DE EVALUACIÓN DE RECURSOS NATURALES, Lima Peru. **Uso de los problemas de percepción remota para la evaluación del potencial de la palmera aguaje en la Selva Peruana.** Lima, 1977b.
- OFICINA NACIONAL DE EVALUACIÓN DE RECURSOS NATURALES, Lima Peru. **Inventario, evaluación e integración de los recursos naturales de la zona Iberia-Iñapari.** Lima, 1977c.
- OFICINA NACIONAL DE EVALUACIÓN DE RECURSOS NATURALES, Lima Peru. **Inventario, evaluación e integración de los recursos naturales de la zona Pucallpa-Abujao.** Lima, 1978.
- OFICINA NACIONAL DE EVALUACIÓN DE RECURSOS NATURALES, Lima, Peru. **Inventario, evaluación e integración de los recursos naturales en la zona de los ríos Alto Yurúa y Breu.** Lima, 1980.
- OFICINA NACIONAL DE EVALUACIÓN DE RECURSO NATURALES, Lima, Peru. **Inventario, evaluación integral de los recursos naturales del valle del río Pichis.** Lima, 1981.
- OFICINA NACIONAL DE LA EVALUACIÓN DE RECURSOS NATURALES, Lima, Peru. **Classification de las tierras del Peru.** Lima, 1982.
- PECK, R.B. Actividades de investigación en bosques, e importancia de los sistemas de multistratos en la cuenca amazónica. In: HECHT, S.B. ed. **Amazonía-investigación sobre agricultura y uso de tierras.** Cali, CIAT, 1982. p.391-406.
- PIHA, M. & NICHOLAIDES, J.J. Field evaluation of legume, sweet potato and rice varieties for tolerance to soil acidity. *Agron. Abstr.* 45, 1981.

- PULVER, E.R. **Plan para la implementación de prácticas agronómicas mejoradas para la producción de arroz en la zona del Huallaga Central, Perú.** Tarpoto, s.ed., 1983. 7p.
- ROMERO, R. & ROMERO, M. **Utilización y manejo forestal REDINAA.** Lima, INIPA, 1983. 180p.
- SANCHEZ, P.A. influencia de los factores climáticos al cultivo del arroz en el Perú. In: HERNANDEZ, J. & ARRASCO, R. eds. **Curso de Capacitación sobre el Cultivo del Arroz.** Lambayeque, SI-PA, 1969. cap. 7. p.
- SANCHEZ, P.A.; SEUBERT, C.E.; TYLER, E.J.; VALVERDE, C.; LOPEZ, C.E.; NUREÑA, M.A & WADE, M.K. Investigaciones en el manejo de suelos tropicales en Yurimaguas. Selva baja del Perú. In: REUNION INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN PARA EL TRÓPICO AMERICANO (Sistema de uso de la tierra). Lima 1974. Lima, IICA, 1974. p.11B- B37. (IICA. Informes de conferencias, cursos y reuniones, 41).
- SANCHEZ, P.A. & BUOL, S.W. Soils of the tropics and world food crisis. *Science*, 180:598-603, 1975.
- SANCHEZ, P.A. **Suelos del Trópico - Características y Manejo.** San José, IICA, 1976.
- SANCHEZ, P.A. Manejo de suelos tropicales en la Amazonía sudamericana. *Suelos Ecuat.*, 8:1-11, 1977.
- SANCHEZ, P.A. & SALINAS, J.G. **Suelos ácidos: estrategias para su manejo con bajos insumos en América Tropical.** Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1983. 93p.
- SANCHEZ, P.A.; BANDY, D.E.; VILLACHICA, J.H. & NICHOLAIDES, J.J. Amazon basin soils: management for continuous crop production. *Science*, 210:821-7, 1982a.
- SANCHEZ, P.A.; COUTO, W. & BOUL, S.W. El sistema de clasificar suelos de acuerdo con su fertilidad: interceptación, aplicaciones y modificaciones. *Geoderma*, 27: 283-309, 1982b.
- SANCHEZ, P.A.; VILLACHICA, J.H. & BANDY, D.E. Soil fertility dynamics after clearing a tropical rainforest in Peru. *Soil Sci. Soc. Amer.* 47, 1983. in press.
- SCHAUS, R., ARA, M.A. & SANCHEZ, P.A. **Legume-based pastures production systems.** Yurimaguas, INIPA, 1983.
- SCHUBART, H.O.R. & SALATI, E. Los usos de la tierra en la región amazónica: los sistemas naturales. In: HECHT, S.B. ed. **Amazonía-investigación sobre agricultura y uso de tierras.** Cali, CIAT, 1982. p.219-50.
- SEUBERT, C., SANCHEZ, P.A. & VALVERDE, C. Effect of land clearing methods on soil properties and crop performance in an Ultisol of the Amazon jungle of Peru. *Trop. Agric., Trinidad*, 54:307-21, 1977.
- SIOLI, H. Foreseeable consequences of actual development schemes and alternative ideas. In: BARBIRA, F. ed. **Land, people and planning in contemporary amazonia.** Cambridge, University of Cambridge, 1980. p.237-68.
- TOLEDO, J.M. & MORALES, V.A. Establecimiento y manejo de pasturas mejoradas en la Amazonía Peruana. In: TERGAS, L.E. & SANCHEZ, P.A. eds. **Producción de pastos en suelos ácidos del trópico.** Cali, CIAT, 1979, p.191-210.
- TOLEDO, J.M. & SERRÃO, E.A.S. **Producción de pastos y granado en la Amazonía.** In: HECHT, S.B. ed. **Amazonía-investigación sobre agricultura y uso de tierras.** Cali, CIAT, 1982, p.295-324.
- VALENCIA, J.E. Investigaciones silviculturales y agroforestales adelantadas por CONIF. In: HECHT, S.B. ed. **Amazonía-investigación sobre agricultura y uso de tierras.** Cali, CIAT, 1982. p. 407-12.
- VALVERDE, C. & BANDY, D.E. Producción de cultivos alimenticios anuales en la Amazonía. In: HECHT, S.B. ed. **Amazonía-investigación sobre agricultura y uso de tierras.** Cali, CIAT, 1982. p.253-94.
- VILLACHICA, J.H. **Maintenance of soil fertility under continuous cropping in an Ultisol of the Amazon Jungle of Peru.** Raleigh, North Carolina State University 1978. 269p. Tese doutorado.
- ZAMORA, C. **Esquema de los podzoles de la región selvática del Perú.** Lima, ONER.
- ZAMORA, C. Suelos de las tierras bajas del Perú. In: BORNEMISZA, E. & ALVARADO, A eds. **Manejo de suelos en América tropical.** Raleigh, North Carolina State University, 1975. p.45-60.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE UM LATOSSOLO AMARELO MUITO ARGILOSO DO ESTADO DO AMAZONAS SOB DIFERENTES MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO

José Carlos Corrêa

RESUMO: No Estado do Amazonas, principalmente nas áreas próximas a Manaus, o preparo mecanizado dos solos vem sendo realizado de forma indiscriminada. Tal prática, aliada às precipitações intensas que ocorrem em épocas de solo descoberto, é responsável pela destruição da estrutura do solo e formação de camadas compactadas. O trabalho objetivou avaliar o efeito de três métodos de preparo de solo: convencional (aração e gradagem), rotavator (enxada rotativa) e direto (uso de herbicidas para o controle de invasoras, eliminando os preparos mecanizados de solo) sobre as características físicas e físico-hídricas de um Latossolo Amarelo muito argiloso. Os três sistemas de preparo de áreas foram realizados antes do plantio de milho e caupi, em rotação. A adubação e plantio, nos preparos convencional e rotavator, foram realizados com a plantadeira-adubadeira MF-315 (caupi) e MF-401 (milho). No preparo direto, foi utilizada a plantadeira-adubadeira Rotocaster FNI-Howard. Tais implementos foram acoplados ao trator MF-285. Após três anos de cultivo, os métodos de preparo alteraram significativamente a percentagem de macroporos da camada superficial (0-20 cm) do solo, quando comparados com a floresta virgem sem uso. Consequentemente, houve redução na velocidade de infiltração básica do solo submetido aos preparos convencional (14,5 cm/hora), rotavator (13,47 cm/hora) e direto (7,27 cm/hora), em relação à floresta virgem, sem uso (65,5 cm/hora).

Termos para indexação: Solo, porosidade, infiltração, condutividade hidráulica.

PHYSICAL CHARACTERISTICS OF A CLAYEY YELLOW LATOSSOL IN THE STATE OF AMAZONAS UNDER DIFFERENT TILLAGE SYSTEMS

ABSTRACT: Mechanized soil tillage has been performed indiscriminately in the region of Manaus, State of Amazonas, as a means of overcoming manual labor shortage. Such practices, in conjunction with high rainfall intensity during periods when the soil is bare, are responsible for soil structure degradation and compaction. This study was performed to evaluate the effects of three tillage systems on the physical characteristics of a clayey Yellow Latossol (oxisol). Treatments were: conventional (plowing and disking), rotary hoe, and no till (no mechanical tillage plus weed control by herbicides). Tillage treatments were performed prior to planting corn and cowpeas in rotation. In the conventional and rotary hoe treatments fertilization and planting were performed with MF-315 (cowpeas) and MF-401 (corn) fertilizer-planter implements. A FNI - Howard Rotocaster planter-fertilizer was utilized for the no-till system. A MF-285 tractor was utilized with all implements. Soil macroporosity was altered significantly only in the topsoil layer (0-20 cm). After three years of cultivation, topsoil (0-20 cm) macroporosity was altered significantly by the tillage systems when compared to an unused virgin forest site. Consequently basic soil infiltration velocities were reduced by the treatments of conventional (14.50 cm/h), rotary-hoe (13.47 cm/h) and no-till (7.27 cm/h) preparation relative to the unused virgin forest (62.5 cm/h).

Index terms: Soil, porosity, infiltration, hydraulic conductivity.

¹ Eng. Agr. M.Sc. EMBRAPA-UEPAE Manaus. Caixa Postal 455. CEP 69000. Manaus, AM.

INTRODUÇÃO

O cultivo intensivo do solo e o seu preparo em condições inadequadas alteram suas características físicas em graus variáveis com a sua natureza. Dependendo da intensidade dessas modificações, tais alterações podem produzir condições limitantes ao desenvolvimento dos vegetais, em detrimento da produtividade, além de grandes perdas de solo por erosão hídrica.

No Estado do Amazonas, principalmente nas áreas próximas a Manaus, o preparo mecanizado dos solos, objetivando suprir a escassez de mão-de-obra, vem sendo realizado de forma indiscriminada. Tal prática, aliada às precipitações intensas que ocorrem nessa região, coincidindo com a época do solo descoberto, constituem fatores responsáveis pela destruição da estrutura do solo e formação de camadas compactadas.

Muitos autores têm estudado o efeito do tráfego de máquinas na degradação de solos sob cultivo. Klingebiel & O'Neal (1952) encontraram alta redução na taxa de infiltração básica de água em solo trabalhado pelas máquinas agrícolas. Flocker et al. (1960), simulando níveis de compactação de solo pelo tráfego de máquinas de colheita em solo úmido, verificaram redução na taxa de infiltração de água, aumento da densidade e formação de torrões no preparo. Segundo Voorhees et al. (1978), o tráfego de máquinas pesadas compactou o solo na zona de passagem das rodas, nas camadas de 0-15 e 15-30 cm de profundidade, evidenciado pelo aumento da densidade e resistência à penetração.

Dias (1983), estudando o efeito do desmatamento mecanizado nas propriedades físicas do solo investigado, observou que a taxa de infiltração de água das áreas trabalhadas com buldozer foi reduzida significativamente de 60%, quando comparadas com a área de floresta virgem sem uso (200 cm/hora).

Este trabalho objetiva avaliar a influência de diversos sistemas de preparo do so-

lo sobre algumas características físicas (densidade, porosidade total e macro e microporosidade) e físico-hídricas (condutividade hidráulica e infiltração de água) de um Latossolo Amarelo muito argiloso de Manaus, AM.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) — UEPAE de Manaus, situada à margem esquerda da rodovia AM-010 (km 30) que liga a cidade de Manaus ao município de Itacoatiara, entre as coordenadas geográficas de 2°51'07" e 2°54'10" de latitude sul e 57°57'20" e 60°01'20" de longitude WGr.

O solo foi classificado, por Rodrigues et al. (1972), como Latossolo Amarelo muito argiloso, conforme Anexos. Caracteriza-se por ser um solo muito profundo, intensamente intemperizado, bem drenado e de textura muito argilosa. O perfil é bem desenvolvido, apresentando o horizonte A muito delgado e o B latossólico; a sua capacidade de troca de cátions e saturação de bases são muito baixas, o que lhe confere uma baixa fertilidade.

De acordo com o Boletim Agrometeorológico (1983), o clima é do tipo Af, na classificação de Köppen, caracterizado por apresentar temperatura do mês mais frio sempre superior a 18°C e precipitação pluviométrica do mês mais seco superior a 60 mm.

O estudo foi feito em área com topografia uniforme (2% a 3% de declividade), sob condições de floresta. A floresta foi derubada com "tree pusher", queimada, enleirada, em seguida, arada e gradeada para facilitar a catação manual de tocos.

O experimento foi instalado em maio de 1980 com os seguintes tratamentos: a) Preparo convencional — constou de uma aração (arado MF com quatro discos) e uma gradagem (grade MF de 32 discos); b) Preparo rotavator — realizado com uma rotação através de enxada rotativa (ro-

tovator FNI - Howard). A profundidade de aração, gradagem e rotavação foi de aproximadamente 20 cm; c) Preparo direto — eliminaram-se as operações acima descritas e outros métodos convencionais de preparo; as ervas daninhas foram controladas com herbicidas. Os três sistemas de preparo de área foram realizados antes do plantio do milho e do caupi, em rotação anual. A adubação e plantio, no preparo convencional e rotavator, foram realizados com a plantadeira-adubadeira MF-315 (caupi) e MF-401 (milho). No preparo direto, foi utilizada a plantadeira-adubadeira Rotocaster FNI — Howard. Os implementos acima citados foram acoplados ao trator MF 285; e d) Floresta virgem sem uso — foi utilizada como testemunha.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com três repetições, tendo cada parcela a área de 300m² (15m x 20m).

Para avaliar o efeito dos diferentes sistemas de preparo, sobre as propriedades físicas do solo, durante três anos, foram coletadas amostras de solos em triplicata, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, em três locais dentro de cada parcela, de forma que cada resultado representou uma média de nove repetições.

As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

As amostras com estrutura deformada e não deformada foram submetidas às seguintes análises:

Densidade real do solo: determinada com balão volumétrico aferido de 50 ml empregando álcool etílico (Oliveira 1960).

Densidade do solo: determinada segundo técnicas descritas por Blake (1965) fundamentada na utilização de cilindros metálicos de volume conhecido para obter amostras de solos com estrutura natural.

Porosidade total: obtida através de densidade real (dr) e da densidade do solo (ds), segundo a seguinte fórmula:

$$P_t = \frac{(dr - ds)}{dr} \times 100$$

— Macroporosidade: calculada através da diferença entre a porosidade total e a microporosidade, sendo esta determinada em amostras não deformadas submetidas a tensões de 1/10 atm, através do método da placa porosa descrito por Richards (1954).

— Água disponível: foi obtida alternativamente pela diferença entre os teores de água a 1/3 atm e 1/10 atm como limite superior, e 15 atm, como limite inferior. Os teores de água a 1/3 atm e 1/10 atm foram determinados em amostras não deformadas, enquanto que o teor de água a 15 atm obteve-se em amostras deformadas. Para essas determinações utilizou-se o método do extrator de placa porosa descrito por Richards (1954).

— Condutividade hidráulica do solo (K): determinada através do permeâmetro de carga constante, descrito por Oliveira (1961), utilizando amostras com estrutura natural, coletadas com extrator recomendado por Uhland (1949). Seu cálculo obedece à lei de Darcy, expressa pela seguinte equação:

$$K = \frac{Q \times L}{A \times H \times t}$$

onde: Q = vazão (cm³)

L = comprimento da coluna (cm)

A = secção transversal da área (cm²)

H = carga hidráulica

t = tempo (minutos)

— Infiltração do solo: As medidas de infiltração foram determinadas pelo método de duplo cilindro, descrito por Bertrand (1965), utilizando-se hidrômetro como medidas da água consumida na infiltração, segundo Dias (1983), com três observações por parcela, totalizando nove observações por tratamento.

As taxas de infiltração foram representadas graficamente em escala log. log usando-se a equação do Kostakov (Philip 1957), através do método da regressão linear que se expressa como: $I = aT^n$.

A capacidade de infiltração do solo foi classificada, conforme O'Neal (1949), em:

muito lenta (0,13 cm/hora), lenta (0,13 - 0,51 cm/hora), moderadamente lenta (0,51 - 2,03 cm/hora), moderada (2,03 - 6,35 cm/hora), moderadamente rápida (6,35 - 12,7 cm/hora), rápida (12,7 - 25,4 cm/hora) e muito rápida (> 25,4 cm/hora).

Foram coletadas amostras de solo, antes do teste de infiltração, para determinação da umidade gravimétrica que, posteriormente, foi transformada para percentagem em volume.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados da condutividade hidráulica dos tratamentos (Tabela 1), após três anos, permite verificar que os métodos de preparo alteraram, com diferentes intensidades, esta propriedade físico-hídrica do solo, na profundidade entre 0-20 cm, quando comparados com a floresta virgem sem uso. O preparo direto, entretanto, foi o que mais contribuiu para reduzir a condutividade hidráulica do solo em relação aos demais tratamentos. Os preparos convencional e rotavator, por outro lado, não apresentaram diferenças significativas entre si. Na profundidade entre 20-40 cm, a condutividade não foi afetada pelos métodos de preparo do solo.

As maiores condutividades exibidas pelos preparos convencional e rotavator, na profundidade entre 0-20 cm, foram devidas à mais intensa mobilização do solo, durante o preparo de área, deixando-o mais solto; enquanto que para o preparo direto,

TABELA 1. Valores médios de condutividade hidráulica do Latossolo Amarelo muito argiloso sob diferentes métodos de preparo de área.

Tratamentos	Condutividade hidráulica			
	0-20	20-40	$\bar{x}$	0-40
	cm/hora			
Convencional	34,3 ^a	8,38 ^a	21,34	13,51
Direto	16,44 ^b	7,30 ^a	11,87	10,10
Rotavator	30,14 ^a	9,86 ^a	20,00	14,87
Floresta virgem	49,86 ^c	10,37 ^a	30,11	17,17
$\bar{x}$	32,69	8,98		

Valores com a mesma letra, em cada profundidade não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

devido ao tráfego da maquinaria agrícola sem uma ação destinada a soltar e granular o solo, registrou-se redução nas suas propriedades transmissoras de água.

A condutividade hidráulica está intimamente associada com o volume de poros, especialmente os chamados macroporos ou poros não capilares, responsáveis pela drenagem, percolação e aeração do solo. Na Tabela 2, observa-se, que o solo submetido aos três métodos de preparo, quando comparados com o da floresta virgem, aumentaram significativamente a densidade na profundidade compreendida entre 0-20 cm, reduzindo, conseqüentemente, o volume de macroporos. O preparo direto, entretanto, foi o que mais contribuiu para essa redução.

A quantidade de água disponível do solo pode ser analisada nas diferentes profundidades, considerando-se os percentuais retidos às tensões de 1/3 e 1/10 atm, alternativamente, como limite superior da faixa de água disponível, e de 15 atm como limite inferior. Observa-se (Tabela 2) que o aumento da densidade do solo, na profundidade compreendida entre 0-20 cm, produzido pelo preparo direto, proporcionou uma maior quantidade de água disponível no solo (Tabela 3), respectivamente a tensões de 1/3 atm e 1/10 atm. A floresta virgem, por possuir, nesta profundidade, valores de densidade do solo (0,93 g.cm⁻³) significativamente inferiores, é que apresenta menor quantidade de água disponível. Petersen et al. (1968) encontraram estreita correlação entre a densidade do solo e o teor de água a 1/3 atm. Hill & Sumner (1967), estudando solos de Natal (USA), verificaram que o incremento da densidade do solo aumentou a quantidade de água retida, a um potencial matricial constante em solos arenosos, e uma diminuição em solos franco arenosos e franco argilo arenosos, a baixas tensões. Consideraram que os efeitos da densidade sobre as características hídricas devem-se à diferença na geometria e distribuição dos poros.

A taxa final de infiltração é a caracte-

TABELA 2. Valores médios de densidade do solo, macro e microporosidade do Latossolo Amarelo muito argiloso sob diferentes métodos de preparo de área.

Tratamentos	Dens. do solo (g.cm^{-3})			Macroporosidade (%)			Microporosidade (%)		
	0-20	20-40	$\bar{x}$	0-20	20-40	$\bar{x}$	0-20	20-40	$\bar{x}$
	cm			cm			cm		
Convencional	1,03 ^a	1,14 ^a	1,08	18,8 ^a	8,2 ^a	13,5	38,0 ^a	46,0 ^a	42,0
Direto	1,17 ^b	1,13 ^a	1,15	9,4 ^b	10,0 ^a	9,7	43,0 ^b	45,0 ^a	44,0
Rotavator	1,01 ^a	1,14 ^a	1,07	17,7 ^a	8,5 ^a	13,1	39,0 ^a	46,2 ^a	42,6
Floresta virgem	0,93 ^c	1,12 ^a	1,02	25,4 ^c	10,0 ^a	17,7	34,0 ^c	45,2 ^a	39,6
$\bar{x}$	1,03	1,13		17,8	9,2		38,5	45,6	

Valores com a mesma letra em cada profundidade não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

rística mais sensível para detectar as modificações introduzidas pelo preparo de solo. Os resultados obtidos na caracterização das propriedades físicas do solo submetido aos métodos de preparo convencional, direto e rotavator (Tabela 1 e Tabela 2) demonstram, mais uma vez, que as variações na velocidade de infiltração estão direta e indiretamente relacionadas com parâmetros, tais como: densidade do solo, macro e microporosidade, e condutividade hidráulica, já discutidos anteriormente. A velocidade de infiltração é maior quando a macroporosidade e a condutividade hidráulica são maiores. A velocidade de infiltração diminui com a compactação do solo através do aumento de sua densidade e microporosidade. Outro fator que pode afetar a velocidade de infiltração é a umidade do solo, antes da determinação da capacidade de infiltração. No momento dos testes de infiltração, a umidade dos solos (Tabela 3), nas profun-

didades de 0-20 cm e 20-40 cm, das áreas submetidas aos métodos de preparo, apresentavam valores próximos à capacidade de campo (1/3 atm).

As infiltrações básicas foram afetadas pelos três métodos de preparo de área convencional (14,95 cm/hora), direto (7,27 cm/hora) e rotavator (13,47 cm/hora), quando comparados com o de floresta virgem sem uso (62,51 cm/hora). Entretanto, o preparo direto foi o que mais afetou a velocidade de infiltração. Conforme classificação da capacidade de infiltração de O'Neal (1949), o solo sob floresta virgem sem uso apresentou uma capacidade de infiltração muito rápida; os preparos convencional e rotavator apresentaram capacidade de infiltração rápida, enquanto no preparo direto, a infiltração foi reduzida para moderadamente rápida.

A Fig. 1 mostra as infiltrações instantânea e acumulada, correspondentes aos

TABELA 3. Percentagem (volume) de água disponível no Latossolo amarelo muito argiloso sob diferentes métodos de preparo de área e de água atual no solo antes dos testes de infiltração.

	Prof. (cm)				Umidade (% volume)		Antes (Infiltração)	Após (Infiltração)
		Tensões			Água disponível			
		1/10 atm	1/3 atm	15 atm	1/10 atm	1/3 atm		
Convencional	0 - 20	40,74	38,10	27,35	13,39	10,75	37,33	52,63
	20 - 40	44,97	43,28	31,64	13,33	11,64	42,94	57,28
Direto	0 - 20	45,47	42,50	28,00	17,47	14,50	46,01	56,03
	20 - 40	44,70	42,40	31,53	13,11	10,87	43,27	54,28
Rotavator	0 - 20	40,87	37,68	26,75	14,12	10,93	36,50	53,36
	20 - 40	46,35	41,79	31,62	14,73	10,17	43,66	53,78
Floresta virgem	0 - 20	40,87	36,00	28,00	12,87	8,00	33,87	44,57
	20 - 40	50,65	42,00	33,40	17,25	8,60	39,91	48,54

solos sob diferentes métodos de preparo. Observa-se que a penetração da água, tanto no início quanto no final do teste de infiltração, foi maior no solo sob floresta virgem sem uso, ao passo que a menor infiltração correspondeu ao solo submetido ao cultivo direto. Os preparos convencional e rotavator apresentaram valores de infiltração intermediários e muito próximos um do outro. Nessas condições, após a quase saturação do solo, uma chuva com intensidade de 14,95 cm/hora produziria escoamento superficial na área preparada pelo método convencional, e de apenas 7,27 cm/hora na área com o preparo direto. Já para a área de floresta virgem, o escoamento superficial só ocorreria se a intensidade da chuva fosse superior a 62,51

cm/hora. Esses valores são bastante superestimados se considerarmos que a infiltração real da chuva pode ser até oito vezes menor que a infiltração medida pelo método do duplo cilindro. Isto se deve à ocorrência de selamento superficial durante a chuva e à diferença de carga hidráulica na

TABELA 4. Valores de infiltração básica e acumulada de um Latossolo Amarelo muito argiloso sob diferentes sistemas de preparo de área.

Tratamentos	Infiltração	
	Básica	Acumulada
	-cm/h-	-cm-
Convencional	14,95	22,57
Direto	7,27	11,58
Rotavator	13,47	33,17
Floresta virgem	62,51	56,38

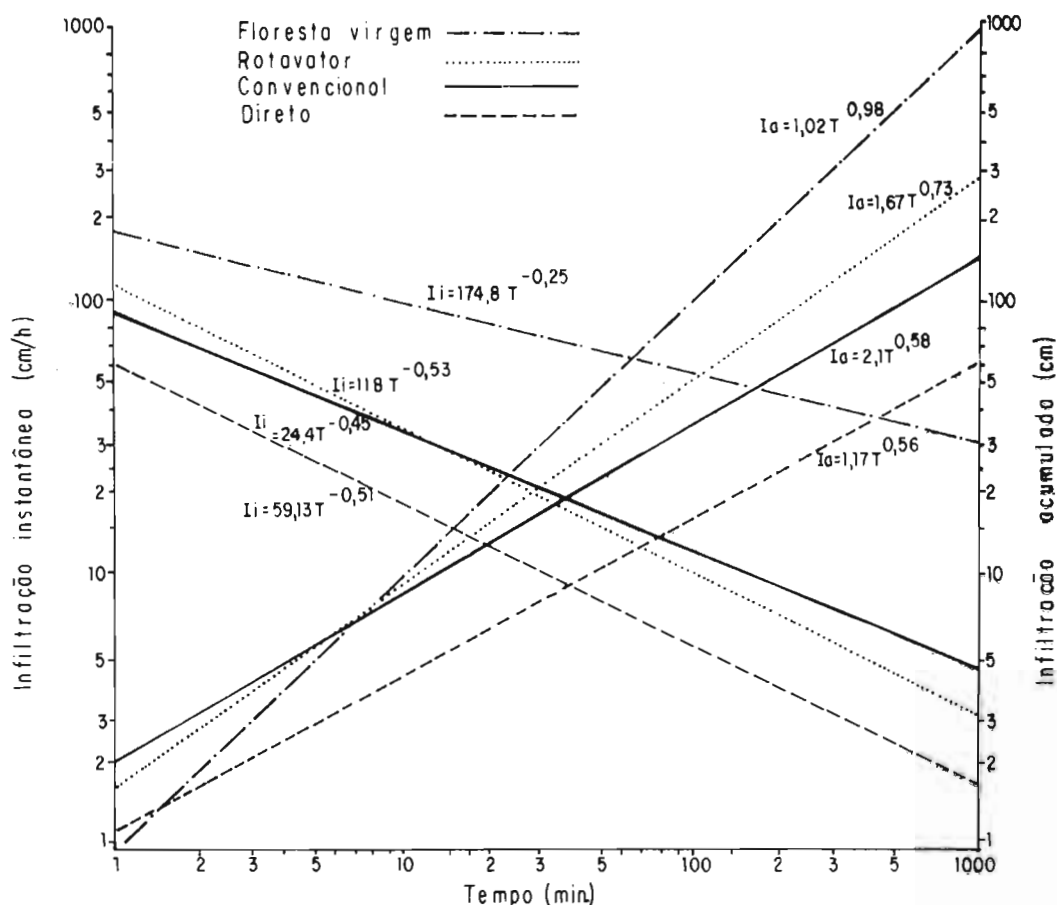


FIG. 1. Infiltração instantânea e acumulada do solo Latossolo Amarelo muito argiloso sob métodos de preparo convencional, direto e rotavator.

superfície do solo (Musgrave & Holtan 1964). É perfeitamente válido prever, com base nos resultados dos testes efetuados, que a grande maioria das chuvas que ocorrem na região em estudo causa escorrimento superficial e danos por erosão em solos cultivados.

CONCLUSÕES

Os métodos de preparo de solo (convencional, direto e rotavator) provocaram, durante três anos de cultivo, efeitos significativamente diferentes sobre os parâmetros físicos e físico-hídricos, particularmente à profundidade compreendida de 0-20 cm.

A modificação da porosidade do solo à profundidade de 0-20 cm, provocada principalmente pelo método de preparo direto, devido à influência das pressões (peso do trator e implementos) e ao impacto das gotas de chuvas, afetou a permeabilidade do solo e poderá, com o passar dos anos, reduzir sensivelmente esse parâmetro se não houver uma ação mecânica destinada a soltar e granular o solo.

A excelente estabilidade dos agregados desse solo tem sido a propriedade mais importante na resistência a ação desagregante dos implementos agrícolas utilizados nos preparos de solo convencional (arado e grade) e rotavator (enxada rotativa).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTRAND, A.R. Rates of water intake in the field. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L. E. & CLARK, F. E. eds. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. v. 1, p. 197-209. (ASA. Agronomy, 9).
- BLAKE, G.R. Bulk density. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARK, F.E., eds. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. v.1, p. 374-7. (ASA. Agronomy, 9).
- BOLETIM AGROMETEOROLÓGICO. EMBRAPA-UEPAE de Manaus. 1983. p. 2.
- DIAS, A.C.P. Effects of selected land clearing methods on the physical properties of an oxisol in the Brazilian Amazon. Manaus, University of Reading, 1983. 187p. Tese Doutorado.
- FLOCKER, W.J.; TIMM, H. & VOMOCIL, J.A. Effect of soil compaction on tomato and potato yields. *Agron. J.*, 52:345-8, 1960.
- HILL, J.N.S. & SUMNER, M.E. Effects of bulk density on moisture characteristics of soil. *Soil Sci.*, 103(4): 234-8, 1967.
- KLINGEBIEL, A.A. & O'NEAL, A.M. Structure and its influence on tilth of soils. *Soil Sci Soc. Am. Proc.*, 16(1):77-80, 1952.
- MUSGRAVE, O.W. & HOLTAN, H.N. Infiltration. In: CHOW, V.T. ed. *Handbook of applied hydrology*. New York, McGraw-Hill, 1964. p. 1-12.
- OLIVEIRA, L.B. de. Estudo do sistema solo-água-planta em solos do nordeste. Recife, IPEANE, 1960. p.30-2. (IPEANE. Boletim Técnico, 14).
- OLIVEIRA, L.B. de. Coeficiente de permeabilidade de dois tipos de solo aluvial da Estação Experimental de Curado. Recife, IPEANE, 1961. 35p. (IPEANE. Boletim Técnico, 16).
- O'NEAL, M.A. Soil characteristics significant in evaluating permeability. *Soil Sci.*, 67(5): 17-21, 1949.
- PETERSEN, G.W.; CUNNINGHAM, R.L. & MATELSKI, R. P. Moisture characteristics of Pennsylvania soils. I. Moisture retention as related to texture. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32(2): 271-5, 1968.
- PHILIP, J.R. The theory of infiltration: 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. *Soil Sci*, 84(3):257-64, 1957.
- RICHARDS, L.A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soil*. Washington, USDA, 1954. (USDA. Agriculture handbook, 60).
- RODRIGUES, T.E.; REIS, R.S.; MORIKAWA, I.K.; FALES, I.C. & SILVA, B.N.R. da. Levantamento detalhado dos solos do IPEAAO. Manaus, IPEAAO, 1972. 63p. (IPEAAO. Boletim Técnico, 3).
- UHLAND, R.E. Physical properties of soils as modified by crops and management. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 14(1): 51-5, 1949.
- VOORHEES, W.B.; SENST, C.G. & NELSON, W.W. Compaction and soil structure modification by wheel traffic in the Northern corn belt. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42(2):344-9, 1978.

ANEXOS

**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA E ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICAS DO
SOLO LATOSSOLO AMARELO MUITO ARGILOSO,
CONFORME RODRIGUES et al.
(1972)**

Localização: 500 m da estrada, atrás do prédio sede do IPEAAOc, Estado do Amazonas.

Situação e declive: perfil de trincheira, declividade de 1%

Litologia e formação geológica: terciário-formação Manaus

Material originário: sedimentos argilosos

Erosão: praticamente nula

Drenagem: bem drenado

Relevo: regional - ondulado local - plano

Vegetação: floresta equatorial úmida

Uso atual: cobertura vegetal natural

A₁ - 0 - 8 cm: bruno acinzentado-claro (10 YR 6/3 úmido); argila pesada; fraca moderada pequena bloco subangular e fraca pequena granular; poros e canais muitos; friável plástico e pegajoso; transição plana e difusa.

A₃ - 8 - 33 cm: bruno muito claro acinzentado (10 YR 7/4, úmido); argila pesada; moderada pequena bloco subangular; poros e canais muitos; ligeiramente firme plástico e pegajoso; transição plana e difusa.

B₂₁ - 33 - 70cm: amarelo (10 YR 7/6, úmido); argila pesada; moderada pequena e média bloco subangular; cerosidade pouca e fraca; poros e canais muitos; ligeiramente firme plástico e pegajoso; transição plana e difusa.

B₂₂ - 70 - 104 cm: amarelo (10 YR 7/6, úmido); argila pesada; fraca e moderada pequena e média bloco subangular; superfície fosca pouca; poros e canais muitos; ligeiramente firme plástico e pegajoso; transição plana e difusa.

B₂₃ - 104 - 150 cm: amarelo (10 YR 7/8, úmido); argila pesada, fraca a moderada pequena e média bloco subangular; poros muitos e canais comuns; ligeiramente firme plástico e pegajoso; transição plana e difusa.

B₂₄ - 150 - 170 cm: amarelo (10 YR 7/8, úmido); argila pesada; fraca a moderada pequena e média bloco subangular; poros muitos, canais comuns; ligeiramente firme plástico e pegajoso.

Observações: Raízes finas e médias muitas no A₁, comuns no A₃, poucas no B₂₁ e B₂₂; finas e poucas no B₂₃ e B₂₄; grossas comuns no A₁ e A₃; B₂₁ poucas. Atividade de organismos comuns em todo o perfil. Ocorrência de fragmentos de carvão no A₃ e B₂₁.

Perfil 1. Latossolo Amarelo textura muito argilosa floresta equatorial úmida relevo ondulado.

Horiz.	Prof. (cm)	pH		Granulometria (%)				Argila natural %	Complexo de laterização (ataque H_2SO_4 d = 1,47)			K1	Kr
		H_2O	KCl	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila total		SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)		
A ₁	0 - 8	3,8	3,6	8	1	10	81	10	31,74	25,38	5,14	2,12	1,88
A ₃	8 - 33	4,3	3,9	7	2	3	88	x	33,04	26,10	4,92	2,15	1,93
B ₂₁	33 - 70	4,7	4,1	4	1	4	91	x	21,75	25,47	4,90	1,45	1,29
B ₂₂	70 - 104	5,0	4,2	4	1	4	91	x	34,33	25,76	4,30	2,26	2,04
B ₂₃	104 - 150	5,0	4,2	4	1	4	91	x	35,54	25,90	4,68	2,23	2,09
B ₂₄	150 - 170+	5,2	4,2	3	1	3	93	x	34,20	25,57	4,08	2,27	2,07

Gradiente textural = 1,07

P_2O_5 mg/100g	Bases trocáveis (meq/100g TFSE)				S meq/100g TFSE	H^+ meq/100g TFSE	Al^{+++} meq/100g TFSE	T meq/100g TFSE	V (%)	C (%)	M.O. (%)	N (%)	C/N
	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+									
0,27	0,21	0,14	0,04	0,05	0,44	7,57	2,70	10,71	4	2,04	3,50	0,18	11
0,14	0,08	0,13	0,03	0,03	0,26	4,34	1,45	5,05	4	1,12	1,93	0,10	11
0,14	0,06	0,04	0,03	0,02	0,15	2,68	1,03	3,71	4	0,58	1,00	0,06	10
0,14	0,04	0,08	0,03	0,02	0,17	2,16	1,03	3,36	5	0,37	0,64	0,05	7
0,14	0,06	0,02	0,03	0,02	0,13	1,85	0,82	2,80	5	0,29	0,50	0,04	7
0,14	0,04	0,04	0,06	0,02	0,16	2,26	0,62	3,04	5	0,21	0,36	0,03	7

INFLUÊNCIA DE DOIS MÉTODOS DE PREPARO DE ÁREA NA COMPACTAÇÃO DE UM LATOSSOLO AMARELO NO ESTADO DO AMAZONAS

Benjamín Fernández Medina¹

RESUMO: Em um Latossolo Amarelo de textura muito argilosa do Campo Experimental de Dendê (CNPSP-EMBRAPA), no Estado do Amazonas, foi conduzido um estudo objetivando avaliar o efeito de dois métodos de preparo de área para plantios (manual e mecanizado) sobre a compactação do solo. Os parâmetros usados para medir esta propriedade dinâmica do solo foram: a) infiltração básica; b) densidade do solo e c) resistência do solo à penetração. Os resultados deste estudo mostraram que as operações que antecederam o enleiramento, sejam estas mecânicas ou manuais, não causaram modificações profundas na estrutura do solo, capazes de interferir na sua produtividade futura. A operação do enleiramento, não obstante, devido ter sido realizada em um período chuvoso e sobre o solo com suas partículas parcialmente orientadas pela pressão aplicada durante as operações anteriores, provocou uma compactação mais acentuada, particularmente quando efetuada mecanicamente, em cujo caso atingiu um nível crítico, expresso por um valor de infiltração básica de 1,4 mm/h. Nesta última etapa do processo de preparo de área para plantio, encontraram-se diferenças significativas entre preparos mecanizado e manual, e entre cada um destes e a mata virgem, para todos os três parâmetros de avaliação.

Termos para indexação: Desmatamento, infiltração básica, resistência do solo à penetração.

IMPACT OF TWO LAND CLEARING METHODS ON SOIL COMPACTION OF A YELLOW LATOSOL OF THE STATE OF AMAZONAS-BRAZIL

ABSTRACT: The effect of two methods of clearing a very clayey Yellow Latosol (Oxisol) of the State of Amazonas on soil compaction is described. A 14 ha field under tropical rainforest vegetation was cleared by means of both mechanized and manual methods. For the two methods, slight changes in soil physical conditions were observed immediately after burning. However, the operation of piling up in rows of the material that remained after burning promoted a drastic reduction in the infiltrability of the soil and a marked resistance to penetration, with greater impact on the soil cleared mechanically, which yielded values significantly different to those of the manual slash-burn method and the virgin forest. The soil bulk density, although showing the same trend as the other two soil physical parameters, was much less sensitive to modifications due to clearing operations.

Index terms: Slash-burn, final infiltration, soil resistance to penetration.

¹ Eng. Agr. M.Sc. Consultor Programa Contrato IICA/EMBRAPA, EMBRAPA-CNPSP, Caixa Postal 319, CEP 69000, Manaus, AM.

INTRODUÇÃO

A compactação do solo é um comportamento mecânico do mesmo, mediante o qual sua densidade aumenta como resultado de cargas ou pressões aplicadas (Baver 1972). Há um rearranjo das partículas do solo que se traduz em alterações na distribuição dos poros por tamanhos, diminuição na porosidade total e modificações no movimento e conteúdo de calor, ar, água e nutrientes (Shierlaw & Alston 1984). Devido à compactação do solo reduzir o número de poros grandes, entre os quais se encontram aqueles de tamanhos similares aos das raízes das plantas, e como estas não podem penetrar em poros de diâmetros menores do que seus próprios diâmetros (Wiersum 1957), as raízes devem exercer força para deslocar as partículas e assim poder crescer e proliferar (Whiteley & Dexter 1982). A habilidade das raízes para sobrepujar a resistência mecânica do solo varia com a espécie da planta (Taylor & Gardner 1960), embora não esteja claro como se originam estas diferenças (Shierlaw & Alston 1984). Segundo Harris, citado por Bowen (1981), quando uma força é aplicada ao solo, este responde através de uma rearranjo das partículas e uma redução no tamanho dos poros.

A resistência de um solo à compactação, causada por compressão ou desligamento, é determinada pela sua resistência mecânica a qual, por sua vez, está formada por duas componentes: resistência coesiva e resistência fricional. As grandezas destas duas componentes variam consideravelmente dependendo do conteúdo de água do solo, textura, forma das partículas incluindo rugosidade, tamanho dos agregados, composição e concentração iônica da solução do solo, matéria orgânica, tipo do mineral de argila e histórico do solo (Bowen 1981). Chancellor (1976) lista as seguintes quatro causas de compactação do solo: a) consolidação natural durante os processos de formação do solo; b) pisoteio por ani-

mais, incluindo o homem; c) concentração natural do solo com a desidratação e d) resposta do solo a pressões e deformações impostas pelas rodas e esteiras dos equipamentos agrícolas e por implementos e ferramentas usados no preparo do solo, tratos culturais e colheita. Uma outra causa de compactação é a ação das gotas de água sobre agregados pouco estáveis durante chuvas e irrigações por aspersão ou por inundação (Keller 1967, 1970a, 1970b).

Em geral, os produtores e técnicos da região amazônica estão cientes de que o processo de preparo de área para plantio, principalmente se este é feito mecanicamente, causa compactação do solo. Entretanto, a magnitude desse efeito não está ainda adequadamente documentada. A Unidade de Execução de Pesquisa de Ambiente Estadual de Manaus (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1978) mediu a infiltração de água no solo antes e depois da operação de derruba manual e mecanizada em um Latossolo Amarelo, textura argilosa, da área de Manaus (AM). Os valores dessa propriedade físico-hídrica do solo, determinados antes da derruba, foram dez vezes maiores que os obtidos depois dessa operação, indicando que houve severa compactação do solo. Não se encontrou diferença entre derruba manual e mecanizada. Gent Junior et al. (1984), estudando o impacto das operações de preparo de área totalmente mecanizado nas propriedades físicas de um solo florestal de Carolina do Norte (E.U.A.), plantado com *Pinus taeda* L., detectaram marcantes alterações nas referidas propriedades como resultado, principalmente, do excessivo tráfego de maquinaria pesada. O solo estava com um conteúdo de umidade ligeiramente acima da capacidade de campo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de dois sistemas de preparo de área em Latossolo (Oxisolo), Amarelo do Estado do Amazonas sobre compactação do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em um setor da Estação Experimental do Rio Urubu (EE-RU), situada a 120 km de Manaus, final da estrada ZF 7, às margens do rio Urubu, município de Rio Preto da Eva (AM).

O solo onde se realizou o preparo de área para plantio é um Latossolo Amarelo, textura muito argilosa, unidade pedogenética extensamente distribuída na região amazônica e particularmente no município de Manaus, AM. Caracteriza-se por ser um solo muito profundo, fortemente desgastado, bem drenado e de textura muito argi-

losa (> 70% do horizonte B). O perfil é bem desenvolvido apresentando horizonte A₁ pouco espesso e B latossólico. Capacidade de troca de cations e percentagem de saturação de bases muito baixas o que lhe confere uma baixa fertilidade.

O clima da área, na classificação de Köppen, enquadra-se no tipo Af, quente e úmido, tipicamente equatorial, caracterizado pela inexistência de uma estação seca. Na Tabela 1 são mostrados os dados de precipitação na EERU, desde maio de 1983, quando se iniciou o registro, até agosto de 1984, juntamente com as médias da UEPAE de Manaus para o período 1971-83 (Boletim... 1983).

TABELA 1. Precipitação pluviométrica na Estação Experimental do Rio Urubu (EE-RU) de 21.03.83 a 31.08.81 e médias de treze anos (1971-83) na Estação Agrometeorológica da EMBRAPA-UEPAE de Manaus (AM), localizada a 3°8'S e 59°52'W. Grw.

Dezena	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
mm												
E E R U												
1983												
1ª				79,0	88,0	2,4	8,6	97,2	51,2	162,1	20,8	90,8
2ª				59,3	82,0	66,6	28,2	19,1	76,0	19,4	128,2	56,4
3ª			75,0	62,5	37,1	42,9	29,2	45,2	64,2	54,6	15,6	188,8
Total			75,0	200,8	207,1	111,9	66,0	161,5	191,4	236,1	164,6	336,0
1984												
1ª	103,4	83,5	47,0	33,2	80,6	74,2	38,2	12,2				
2ª	51,0	11,4	64,4	53,0	47,8	2,4	98,0	22,6				
3ª	209,8	92,6	164,4	83,2	27,4	29,8	41,2	27,0				
Total	364,2	287,5	216,0	169,4	155,8	106,4	177,4	61,8				
EMBRAPA - UEPAE												
(1971 - 1983)												
Médias	232,2	273,4	294,9	296,5	268,2	149,6	128,0	103,8	102,4	164,2	150,3	243,2

A vegetação é componente da floresta equatorial úmida e luxuriante, densa, heterogênea que, de acordo com o seu aspecto florístico, é denominada floresta equatorial úmida de terra firme. A cobertura vegetal é constituída por uma floresta densa e rica em espécies botânicas, observando-se vários estratos formados de plantas herbáceas ou lenhosas, subarbus-

tos, arbustos e, finalmente, indivíduos arbóreos (Instituto de Pesquisas... 1972).

Preparo de Área

O preparo de área foi realizado em uma superfície de 14 ha utilizando dois métodos: mecanizado e manual. A seguir, os detalhes de ambos os métodos e da mata virgem que foi usada como testemunha:

- . Método mecanizado - 7 ha
- . Desmatamento - Realizado com Komatsu D65E, equipado com "treepusher" entre 15 e 20 de junho de 1983, na metade oeste da área.
- . Queima - Feita no dia 20 de outubro de 1983. Devido ao excesso de chuvas que não permitiu uma secagem total do material derrubado, esta operação foi muito incompleta.
- . Enleiramento - Realizou-se com trator Caterpillar D-8 no início de fevereiro para 25% da área (extremo oeste) e de 14 a 16 de março no restante desta.
- . Método manual - 7 ha
- . Desmatamento - Efetuado com moto-serras, na metade leste da área, durante o mês de agosto de 1983.
- . Queima - Idêntico ao método mecanizado.
- . Enleiramento - Feito por uma equipe de cinco pessoas com moto-serras, entre dezembro de 1983 e março de 1984.

O atraso com que foi realizada esta última operação, decorreu do excesso de chuvas durante os meses de dezembro de 1983 a fevereiro de 1984.

- . Mata virgem - Floresta tropical úmida e luxuriante, densa, heterogênea, rica em espécie botânicas, observando-se vários estratos constituídos de plantas herbáceas, subarbustos, arbustos e indivíduos arbóreos (Instituto de Pesquisas... 1972).
- . Avaliação da compactação do solo
 - . Visando medir os efeitos dos dois métodos de preparo de área na compactação do solo e compará-los entre si e com a mata virgem contígua (testemunha), nas respectivas áreas delimitaram-se, ao acaso, cinco parcelas, de 72mx45m nas quais foram efetuadas, antes e depois do enleiramento, as determinações físicas que são descritas a seguir.
 - . Infiltração: Foi realizada utilizando-se cilindros infiltrômetros duplos, de acor-

do com a metodologia descrita por Bertrand (1965) e Chanduvi (1970). Na proximidade dos locais em que foram efetuadas as provas de infiltração (dois por parcela) coletaram-se amostras de solo para determinação de umidade inicial ou antecedente.

Os valores das infiltrações instantâneas em função do tempo foram calculados pela equação de Kostiakov, citado por Chanduvi 1970, que para velocidade de infiltração (V) se escreve como:

$$V = Kt^{-m}(1)$$

onde t é tempo, m é a pendente da curva e K é uma constante.

A velocidade de infiltração básica ou final (Vb), por sua vez, estimou-se quando a mudança entre dois valores contíguos era igual ou menor que 10%. Sua expressão matemática (Chanduvi 1970), obtém-se diferenciando a infiltração instantânea com respeito ao tempo, podendo-se assim estabelecer o tempo (t), em minutos, ao qual deverá

ocorrer a infiltração básica:

$$t = 600m(2)$$

onde m tem o mesmo significado que na equação (1).

- . Densidade do solo: Foi determinada em cada parcela, utilizando-se o método do torrão parafinado descrita por Blake (1965), às profundidades 0- 0,05, 0,05 - 0,1, 0,1 - 0,2, 0,2 - 0,3 m.
- . Resistência do solo à penetração: Foi avaliada utilizando-se o penetrômetro tipo cone, modelo Eykelkamp 74. Em cada parcela foram feitas medições em três locais selecionados ao acaso até a profundidade de 0,3m a cada 0,05m, a partir dos primeiros 0,05 m do solo superficial. As características físicas do solo, bem como seu conteúdo de umidade por ocasião dos testes, assinalaram o cone n° 2, com área superficial de 2 cm², como sendo o mais apropriado para medir a resistência do solo à penetração. A força aplicada necessária para introduzir o cone no solo, denominada "índice de cone", é

calculada através da seguinte relação:
 $\text{kg/cm}^2 = (\text{leitura no manômetro}) \times (1/\text{área superficial do cone}) (3).$

Os resultados de todas as determinações efetuadas foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey para comparação das médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Infiltração

Os valores médios de infiltração básica correspondentes aos métodos mecanizado e manual e à mata virgem, antes e depois do enleiramento, são mostrados na Tabela 2. Verifica-se que todos os dois métodos de preparo de área, tanto antes quanto depois do enleiramento, apresentam taxas de infiltração inferiores às da mata virgem (testemunha), o que foi decorrente do impacto das operações de derruba e enleiramento, principalmente, nas propriedades transmissoras de água do solo. Observa-se também, que, sob as condições em que se realizou este estudo, a operação de enleiramento foi a que causou a mais drástica diminuição da infiltração do solo,

particularmente quando esta foi efetuada mecanicamente. A análise de variância dos dados de infiltração básica (Tabela 3) mostra diferenças significativas, aos níveis de 5% e 1% de probabilidade, entre tratamentos para os dados obtidos antes e depois do enleiramento, respectivamente. A comparação das médias pelo teste de Tukey a 5% (Tabela 2) por outro lado, revelou que a operação de derruba das árvores não afetou significativamente a taxa de infiltração quando realizada manualmente. Já a derruba mecanizada causou uma redução estatisticamente significativa dos valores desta propriedade físico-hídrica do solo, muito embora sem atingir um nível que possa prejudicar o desenvolvimento das plantas e/ou a estabilidade do solo, como se aprecia na Tabela 2. A situação anterior mudou radicalmente depois do enleiramento, em que se verificaram efeitos bastante mais acentuados de ambos os métodos, particularmente do mecanizado, que reduziu a taxa de infiltração básica do Latossolo a um valor crítico de $1,4 \text{ cm.h}^{-1}$ que, dada a intensidade das chuvas da região, deverá provocar abundante escoamento superficial e, conseqüentemente, erosão do solo.

TABELA 2. Valores médios de infiltração básica e umidade inicial do solo antes (AE) e depois do enleiramento (DE).

Tratamento	Infiltração básica (cm.h^{-1})		Umidade inicial (%)	
	AE	DE	AE	DE
Mecanizado	17,1a	1,4a	42,5	45,2
Manual	24,1ab	11,2b	39,9	39,6
Mata	29,5b	29,5c	43,8	43,8

DMS (5%) 9,4 e 8,8 para antes e depois do enleiramento, respectivamente. ¹Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

TABELA 3. Análise de variância dos dados de infiltração básica antes do enleiramento (AE) e depois do enleiramento (DE).

Fonte da variação	G.L.	QM		F	
		AE	DE	AE	DE
Entre parcelas	(14)	-			
Tratamentos	02	385,7	2.031,4	8,2*	50,3**
Resíduo experimental	12	47,0	40,4	-	-
Resíduo de amostragem	15	14,4	3,3		
Total	29				

O valor de infiltração básica do solo após enleiramento no método mecanizado deveu-se à compactação causada pelo tráfego de maquinaria pesada sobre o solo com elevado teor de umidade, que facilitou a orientação e aproximação das partículas. Este efeito foi agravado pelo grande volume de madeira que ficou na área após a queima incompleta, o que obrigou a um maior esforço e mobilização da máquina que efetuou essa operação.

Estes resultados concordam com os de Gent Junior et al. (1984) que mostraram uma diminuição significativa na condutividade hidráulica do solo após o processo de desmatamento de um solo argiloso da Carolina do Norte (E.U.A.). A UEPAE de Manaus-EMBRAPA (Sistemas... 1978), por sua vez, em um estudo acerca da influência do desmatamento da mata virgem sobre a compactação de um Latossolo Amarelo do Estado do Amazonas, constatou uma diminuição na infiltração de 30cm.h^{-1} , antes da derruba para $3\text{-}4\text{cm.h}^{-1}$, depois desta operação. Não foi encontrada diferença entre desmatamento mecanizado e manual.

A influência do tráfego de maquinaria na infiltração de água no solo tem sido demonstrada e documentada por diversos pesquisadores (Reeves & Cooper 1960, Baver et al. 1972, Greacen & Sands 1980, Gent Junior et al. (1984). Todos coincidem em atribuí-la a modificações no arranja-

mento das partículas do solo que provoca a diminuição do tamanho dos poros, especialmente daqueles de tamanhos maiores (macroporos), que produz uma redução na área de seção transversal para fluxo de água, juntamente com percursos mais tortuosos para o movimento deste fluido.

Densidade do solo

A densidade do solo (Tabela 4) mostrou-se ser uma propriedade física pouco sensível ao tráfego de maquinaria pesada e de pessoal e ao impacto decorrente da queda das árvores durante o processo de preparo de área. Depara-se que a operação de derruba não causou variações marcantes neste parâmetro, nem entre tratamentos e nem mesmo entre profundidades, provocando apenas uma pequena redução no tamanho dos poros que praticamente não afetou a relação massa/volume do solo, mas que teve alguma repercussão nas suas propriedades transmissoras de fluidos, como foi apreciado quando se discutiu a infiltração. Na etapa seguinte, depois do enleiramento, verificou-se um aumento mais acentuado da densidade com o uso do método mecanizado, atingindo seu maior valor ($1,24\text{ g cm}^{-3}$) na profundidade compreendida entre 5 cm e 10 cm, o que não ocorreu com o manual, que exibiu valores bastante semelhantes aos da mata, nas diversas profundidades.

TABELA 4. Valores médios de densidade do solo para os métodos de preparo de área mecanizado e manual, e mata virgem antes e depois do enleiramento.

Tratamento	Densidade do solo (g cm^{-3})			
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 30 cm
Antes do enleiramento				
Mecanizado	1,18	1,16	1,15	1,16
Manual	1,15	1,14	1,20	1,17
Mata	1,15	1,16	1,16	1,12
Depois do enleiramento				
Mecanizado	1,22a	1,24a	1,24a	1,20a
Manual	1,16b	1,17b	1,16b	1,15b
Mata	1,15b	1,16b	1,16b	1,12c

DMS = 0,20 (5%) depois do enleiramento

¹Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey.

A análise de variância dos dados de densidade do solo (Tabela 5) não detectou diferenças significativas entre tratamentos antes do enleiramento, mas sim depois dessa operação. O teste de Tukey a 5% (Tabela 4), por sua vez, mostrou médias do

método mecanizado, em todas as quatro profundidades, depois do enleiramento, significativamente maiores que as do método manual e a testemunha. As médias destes dois últimos, por sua vez, não diferiram estatisticamente.

TABELA 5. Análise de variância para os dados de densidade do solo antes (AE) e depois do enleiramento (DE).

Fonte de variação	G.L.	QM		F	
		AE	DE	AE	DE
Tratamentos	(11)				
Métodos (A)	2	0,0015	0,036	0,50	28,8**
Profundidade (B)	3	0,0013	0,003	0,40	2,4
Método x Prof. (A x B)	6	0,002	0,001	0,66	-
Resíduo	46	0,003			
Total	56				

O fato da densidade do solo não ter sido severamente afetada, pelas operações de derrubada e enleiramento, dever-se-ia, de uma parte, a que a primeira, em ambos os métodos, foi realizada no período menos chuvoso do ano (Tabela 1), tendo isso contribuído para atenuar o impacto dessa operação, conforme a teoria dos filmes de água e a orientação das partículas (Baver et al. 1972). De outra parte, o relativamente alto percentual de matéria orgânica do solo (Tabela 6) fez com que este requeresse grandes quantidades de água para a formação dos filmes deste líquido ao redor das partículas e a consequente orientação das mesmas que caracteriza o estado de

consistência plástica. Isto, na prática, significa que o solo atinge sua consistência plástica, ou seja, começa a ser susceptível à compactação a um alto conteúdo de água, podendo, sem grande risco, ser traçado em uma ampla faixa de umidade. É provável que este efeito da matéria orgânica tenha desempenhado papel de destaque durante as operações de derruba e enleiramento, principalmente na primeira, já que as chuvas abundantes caídas no período em que se realizou o enleiramento tornam duvidosa sua ação nessa etapa do processo. Contudo, não se descarta a possibilidade disso ter ocorrido, mesmo que parcialmente.

TABELA 6. Médias¹ de conteúdo de matéria orgânica do solo nos métodos mecanizado e manual e na mata virgem.

Tratamento	Conteúdo médio de matéria orgânica %			
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 30 cm
Mecanizado	4,5	3,2	2,1	1,2
Manual	4,6	2,2	1,5	1,1
Mata	5,6	3,9	2,7	1,8

¹Médias de cinco repetições.

Os pequenos aumentos nos valores de densidade do solo causados por ambos os métodos, que variaram de 1,16 g cm⁻³ na mata para 1,24 g cm⁻³, no método meca-

nizado não seriam indicativos de problemas de falta de aeração e/ou impedância mecânica do solo para o crescimento das raízes, que caracteriza os solos altamente

compactatos. Com efeito, Weihmeyer e Henrickson, citados por Baver et al. (1972), encontraram que a densidade crítica para crescimento das raízes em areias era $1,75 \text{ g cm}^{-3}$, ao passo que em argila variava entre $1,46$ e $1,63 \text{ g cm}^{-3}$. Por outro lado, o maior valor de densidade, no método mecanizado ($1,24 \text{ g cm}^{-3}$), foi registrado à profundidade de 5 cm a 20 cm , o que estaria de acordo com o encontrado por Chancellor et al. (1976) e Taylor et al. (1978) no sentido de que a máxima densidade sob os pneus não se produz na interfase pneumático-solo, mais a uma profundidade aproximadamente da metade da largura do pneumático.

Resistência à penetração

A distribuição dos valores de resistência do solo à penetração do penetrômetro tipo cone de 2 cm^2 de área superficial para ambos os métodos e para a mata virgem, às profundidades de $0,05 \text{ m}$; $0,10 \text{ m}$; $0,15 \text{ m}$; $0,20 \text{ m}$; $0,25 \text{ m}$ e $0,30 \text{ m}$ antes e depois do enleiramento (Tabela 7) mostram que este parâmetro foi altamente sensível às pressões aplicadas ao solo durante o processo de preparo de área. Depara-se que já antes do enleiramento, isto é, quando ainda não se tinham observado variações na densidade do solo, a análise de variância dos dados de resistência à penetração (Tabela 8) detectou diferenças altamente sig-

nificativas entre tratamentos e profundidades. Depois desta operação, as diferenças entre tratamentos foram ainda maiores, mas não se registraram variações estatísticas entre profundidades. Em ambas as etapas, o método mecanizado foi o que induziu maiores incrementos na resistência do solo, sendo que antes do enleiramento os valores mais altos (94 e 105 kg cm^{-2}) foram medidos à profundidade de 15 cm a 30 cm . Todavia, após essa operação, os maiores valores ($144,8$ e $148,2 \text{ kg cm}^{-2}$) se registraram às profundidades de 5 cm e 10 cm , respectivamente. O aumento substancial da resistência à penetração na última etapa do processo, deve-se à intensa mobilização e deslocamento da maquinaria, num espaço pequeno (15 m de largura), durante o enleiramento, o que justamente por ter causado compactação do solo por compressão devido ao peso do equipamento, atuando sobre um solo com suas partículas parcialmente orientadas, provocou também compactação por desliscamento. Um outro fator que contribuiu também para essa maior compactação do solo, nesta etapa do processo, foi a alta pluviosidade no período em que se efetuou o enleiramento (Tabela 1).

O teste de Tukey, para contraste das médias (Tabela 7), revelou, em geral, diferenças significativas entre métodos e entre cada um destes e a floresta virgem. Estas diferenças foram sempre mais acentuadas na operação de enleiramento.

TABELA 7. Valores médios de resistência do solo em kgf cm^{-2} à penetração para os métodos de preparo de área mecanizado e manual, e mata antes e depois do enleiramento.

Tratamento	Profundidade (cm) ¹					
	5	10	15	20	25	30
Antes do enleiramento						
Mecanizado	53,8a	75,2a	93,6a	105,4a	104,2a	103,0a
Manual	44,4b	69,4a	84,4b	95,6b	108,4a	107,2a
Mata	41,4b	54,2b	68,6c	84,0c	89,4b	82,8b
Depois do enleiramento						
Mecanizado	144,8a	148,2a	122,0a	138,6a	132,6a	133,2a
Manual	69,4b	87,8b	86,8b	105,0b	100,4b	103,2b
Mata	41,4c	54,2c	68,6b	84,0c	89,4b	82,8c

DMS (5%) = 9 e 20 para antes e depois do enleiramento, respectivamente.

¹Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey.

TABELA 8. Análise de variância para os dados de resistência à penetração antes (AE) e depois do enleiramento (DE).

Fonte de variação	G.L.	QM		F	
		AE	DE	AE	DE
Tratamento	(9)				
Métodos (A)	2	3.023,0	34.425,0	12,0**	136,4**
Profundidade (B)	5	6.798,0	1.400,2	27,1**	5,6
Métodos x Prof. (A + B)	10	92,2	886,2	0,4	3,5
Resíduo	72	251,0	252,34	-	-
Total	89				

Chamou a atenção a falta de coerência entre os valores de densidade e resistência do solo à penetração. Com efeito, observou-se que enquanto a densidade do solo não aumentou de maneira acentuada em relação à testemunha, a resistência à penetração atingiu valores que indicaram uma extremamente alta compactação. Esta ausência de coerência teria sua origem, de uma parte, na presença no perfil do solo, particularmente na sua parte superficial, de grande número de raízes que teriam oferecido resistência extra à penetração do cone do penetrômetro e, de outra, a que a relação densidade - resistência do solo é dependente do tipo de solo (Bowen 1981). Este último significa que dois ou mais solos com o mesmo teor de umidade e igual resistência à penetração podem apresentar densidades bastante diferentes.

Finalmente, caberia frisar que, devido este estudo ter sido realizado apenas em um solo da região e em ano bastante chuvoso, seus resultados deverão ser manejados com certa cautela quando aplicados a outras condições edafoclimáticas. Isto é particularmente importante no que se refere à operação de enleiramento que, devido às anormalmente altas quedas pluviométricas, a partir de agosto de 1983, só foi possível realizá-la em um período bastante chuvoso (dezembro 1983 - março 1984), favorecendo assim uma maior compactação do solo. De acordo com o anterior, espera-se que em anos normais (Tabela 1), que possibilitem a realização da derruba em junho e julho e o enleiramento entre agosto e setembro, após uma queima com-

pleta, os resultados sejam diferentes dos encontrados neste estudo. Contudo, devido a que as partículas antes do enleiramento se encontram parcialmente orientadas pela pressão exercida durante a operação de derruba mecanizada, sempre haverá uma redução no volume do solo que afetará suas propriedades transmissoras de fluidos, bem como sua resistência à penetração das raízes das plantas. A magnitude desta compactação só poderá ser avaliada repetindo-se este estudo durante vários anos e exercendo um estrito controle das épocas de realização das diferentes operações de preparo de área.

CONCLUSÕES

As operações de preparo de área que antecederam o enleiramento, sejam estas mecânicas ou manuais, não causaram uma acentuada compactação do Latossolo Amarelo que possa repercutir seriamente no desenvolvimento radicular das culturas e/ou modificar adversamente as relações precipitação/infiltração, favorecendo, assim, a erosão do solo. O enleiramento realizado mecanicamente promoveu uma drástica redução na infiltração básica e um igualmente abrupto aumento na resistência do solo à penetração. A densidade do solo, por outro lado, mostrou-se muito pouco sensível ao impacto do intenso tráfego de maquinaria pesada, durante o processo de desbravamento. As chuvas abundantes caídas durante o período em que foi realizado o enleiramento foram decisivas no alto índice de compactação atingido pelo solo.

Devido este estudo ter sido conduzido em um ano anormalmente chuvoso, que não possibilitou a realização das diferentes operações de preparo de área em forma adequada e em épocas propícias, recomenda-se repeti-lo realizando todas as operações em forma oportuna, isto é, no período menos chuvoso do ano (junho a setembro).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAVER, L.D.; GARDENER, W.H. & GARDNER, W.R. *Soil physics*. 4. ed. New York, J. WILEY, 1972. 489p.
- BERTRAND, A.R. Rate of water intake in the field. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis. I. Physical and mineralogical properties including statistics of measuring and sampling*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. v.1. p.197-209. (ASA. Agronomy, 9).
- BLAKE, G.R. Bulk density. In: BLACK, C.A. ed. *Methods of soil analysis. I. Physical and mineralogical properties including statistics of measuring and sampling*. Madison, American Society of Agronomy, 1965, v.1. p.374-90. (ASA, Agronomy, 9).
- BOLETIM AGROMETEROLÓGICO. UEPAE-
Manaus, 1983. 24p.
- BOWEN, H.D. Alleviating mechanical impedance. In: ARKIN, G.F. & TAYLOR, H.M., eds. *Modifying the root environment to reduce crop stress*. Michigan, American Society of Agricultural Engineers, 1981. p. 21-87.
- CHANCELLOR, W.J. *Compaction of soil by agricultural equipment*. California, Division of Agr. Sci. Univ. of California, 1976, 53p. (University of California, Division of Agr. Sci. Boletim, 1981).
- CHANDUVI, AF. *Método simplificado para determinar constantes de infiltração*, Centro de Drenage y
- Recuperacion de Tierras**. Peru, Min. de Agricultura/Universidade Agrária La Molina. 1970. 20p.
- GENT JÚNIOR, J.A.; BELLARD, R.; HASSAN, A.E. & CASSEL, D.K. Impact of harvesting and site preparation on physical properties of Piedmont forest soil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 48(1):173-7, 1984.
- GREACEN, E.L. & SANDS, R. Compaction of forest soils: a review. *Aust. J. Soil Res.*, 18:163-89, 1980.
- INSTITUTO DE PESQUISAS AGROPECUÁRIA DA AMAZÔNIA OCIDENTAL, Manaus, Am. *Levantamento detalhado dos solos do IPEAAOc.*, Manaus, 1972. 63p. (IPEAAO. Boletim Técnico, 1).
- KELLER, J. The effect of water application on soil tilth. *Utah Sci.*, 9:93-6, 1967.
- KELLER, J. Sprinkler intensity on soil tilth. *Transactions of the ASAE*, 13(1):18-25, 1970a.
- KELLER, J. Control of soil moisture during sprinkler irrigation. *Transactions of the ASAE*, 13(6):885-90, 1970b.
- REAVES, C.A. & COOPER, A.W. Stress distribution in soil under tractor loads. *Agric. Eng.*, 41:20-1, 31, 1960.
- SISTEMAS de desmatamento. *Relat. Téc. Anu. UEPAE-Manaus*. 1978, p.267-81.
- SHIERLAW, J. & ALSTON, A.M. Effect of soil compaction on root growth and uptake of phosphorus. *Plant and soil*, 77:15-28, 1984.
- TAYLOR, H.M. & GARDNER, H.R. Relative penetrating ability of different plant roots. *Agron. J.*, 52:579-81, 1960.
- TAYLOR, J.H.; BURT, E.C. & BAILEY, A.C. *Traction and compaction of big tractors*. St. Joseph, ASAE, 1978. (ASAE. Paper, 78-1029).
- WHITELEY, G.M. & DEXTER, A.R. Forces required to displace individual particles within beds of similar particles. *J. Agric. Engng. Res.*, 27:215-25, 1982.
- WIERSUM, L.K. The relationship of size and structural rigidity of pores to their penetration by roots. *Plant and Soil*, 9:75-85, 1957.

EFETOS DE SISTEMAS DE CULTIVO SOBRE PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO AMARELO TEXTURA MÉDIA

Ernesto Feio Boulhosa¹, Antonio Ronaldo Camacho Baena²,
Ivandro de França da Silva³ e Rui de Souza Chaves⁴

RESUMO: Com o objetivo de avaliar os diversos sistemas de uso e seus efeitos nas propriedades físicas do Latossolo Amarelo textura média, foram realizadas determinações de análise granulométrica, matéria orgânica, estabilidade de agregados, porosidade total, macro e microporosidade, densidade aparente, resistência à penetração e capacidade de água disponível. Essas determinações foram procedidas em áreas sob capoeirão, capim, gengibre, cultivo de cacau, cultivo de dendê e cultivo de seringueira. Constatou-se uma diminuição no tamanho de agregados estáveis em água na porosidade total e na macroporosidade e um aumento da microporosidade, resistência à penetração e densidade aparente nos sistemas de cultivo de cacau, dendê e seringueira, quando comparados às áreas sob capoeirão e capim gengibre. A compactação provocada por esses sistemas de cultivo não reduziu o desenvolvimento vegetativo dessas culturas.

Termos para indexação: Manejo de solo, propriedades físicas, solos, mecanização agrícola.

THE EFFECT OF CROPPING SYSTEMS ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF A MEDIUM-TEXTURE YELLOW LATOSOL

ABSTRACT: In order to determine the effect of different cropping systems on the physical properties of an Yellow Latosol (Oxisol) of medium texture, textural separates, organic matter, water-stable aggregates, total porosity, macro and micro-porosity, bulk density, resistance to penetration and water-holding capacity were determined in soil samples taken from areas under secondary forest, *Paspalum maritimum*, cacao, oil palm and rubber plantations. While comparing the different cropping systems, a reduction in size of water-stable aggregates, total porosity and macro-porosity and an increase in micro-porosity, resistance to penetration and bulk density were found in soil samples taken from areas under cacao, oil palm and rubber plantations as compared to those from areas under secondary forest and *Paspalum maritimum*. Soil compaction promoted by these systems of cultivation did not reduce vegetative growth of the various plant types.

Index terms: Soil management, physical properties, soils, agricultural mechanization.

¹Eng. Agr. M.Sc. Bolsista EMBRAPA/CNPq. EMBRAPA-CPATU. Caixa Postal 48. CEP 66000. Belém, PA.

²Eng. Agr. M.Sc. EMBRAPA-CPATU.

³Eng. Agr. M.Sc. UFPB - Centro de Ciências Agrárias. CEP 58397. Areia, PB.

⁴Eng. Agr. M.Sc. FCAP. Caixa Postal 917. CEP 66000. Belém, PA.

INTRODUÇÃO

A utilização intensiva dos solos da Amazônia começou no século passado, através do processo de colonização da região bragantina, no Estado do Pará, cujo objetivo principal seria implantar um centro produtor de alimentos, com o plantio de culturas, tais como: arroz, feijão, mandioca, fumo e algodão, visando ao abastecimento dessa região e da cidade de Belém.

Os colonos, por desconhecerem as reais potencialidades dos solos e não disporem de recursos, desenvolveram uma agricultura itinerante ou migratório, com a utilização de sistemas primitivos de cultivo através da broca, derruba, queima e encoivramento, com o uso do machado e fogo. Neste tipo de agricultura, em geral são usadas plantas de ciclo curto que, na maioria das vezes, não protegem completamente o solo. Este processo de preparação de área para cultivo, durante os dois primeiros anos, permite obter uma produção relativamente elevada, em consequência do conteúdo de matéria mineral resultante da queima e da decomposição de restos da vegetação não queimada, decrescendo a produtividade nos anos seguintes até desestimular qualquer atividade agrícola (Lima 1954 e Alvim 1978). A observação tem mostrado que este processo associado à elevada precipitação pluviométrica na região, provoca a lixiviação de nutrientes e condiciona para que, em poucos anos de exploração da área, a fertilidade natural dos solos se torne mais baixa.

Muitos estudiosos da área, entre eles Lima (1954) e Penteado (1967), afirmam que este processo de preparo de área tem sido um dos principais obstáculos ao desenvolvimento de uma agricultura racional, não permitindo a conservação dos recursos florestais e dos solos da região. Por outro lado, Falesi et al. (1980) afirmam que, na região amazônica com vegetação de densas florestas, não é possível uma expansão de áreas de cultivo sem a remoção da cobertura vegetal, independente do método de preparo do solo.

O cultivo intensivo quando realizado de maneira inadequada provoca a destruição dos agregados, acarretando, como consequência, menores valores para o grau de agregação e de estabilidade de agregados, alterando a natureza dos espaços porosos (Baver et al. 1973). O efeito da compactação na produtividade é devido a mudanças nas propriedades físicas do solo. Além do aumento da densidade aparente, o volume total de poros diminui e a distribuição de poros é alterada, havendo um aumento na quantidade de poros pequenos.

O uso inadequado do solo sob cultivo intensivo também poderá provocar compactação do solo. O efeito da compactação na produtividade é devido a mudanças nas propriedades do solo, promovendo um aumento na densidade aparente, resistência à penetração e diminuição do volume de poros, trazendo como consequência dificuldades no desenvolvimento de várias culturas, conforme foi evidenciado por Tachett & Pearson (1964) e Veihmeyer & Hendrickson (1984), quando trabalharam com algodão e girassol. Por sua vez, Baena (1979) observou um retardamento no crescimento do milho com o aumento da densidade aparente de $0,91 \text{ g/cm}^3$ e diminuição da porosidade total de 68% para 54%.

A diminuição da porosidade total poderá proporcionar um aumento da microporosidade, influenciando numa maior retenção de água, devido à redução do espaço ocupado pelo ar. Segundo vários autores, a retenção de água é influenciada por várias partículas do solo, como é o caso da argila (Medina & Grohmann 1965) silte + argila (Freire et al. 1976) e matéria orgânica (Grohmann & Medina 1962).

Em região tropical é difícil fazer estimativas da água retida nos solos, escoada pela superfície ou percolada, uma vez que estes processos são muito dinâmicos, dependendo das condições locais, cobertura do solo, declividade do terreno, umidade do solo no momento da chuva e muitos outros fatores.

Dessa forma, o objetivo deste estudo é avaliar e comparar os efeitos dos diversos sistemas de uso do solo, com relação às suas propriedades físicas atuais.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo

A área objeto deste estudo está localizada na região metropolitana de Belém, limitando-se ao Norte com a área pertencente ao Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido - CPATU e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico; ao sul com o rio Guamá; a leste com a área do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido; e a oeste com a área pertencente à Universidade Federal do Pará e às Centrais Elétricas do Brasil S/A ELETRONORTE.

O solo estudado foi classificado como Latossolo Amarelo textura média, assentado sobre arenitos e argilitos da Formação Barreiras (Vieira 1975), apresentando percentagens elevadas de areia em relação às frações de silte e argila (Santos 1982). É friável, poroso e com transição difusa e plana entre os horizontes, possui estrutura fraca, pequena subangular e frequentemente maciça. Apresenta fertilidade natural baixa, devido à pobreza de elementos nutritivos e alto teor de alumínio permutável (Falesi 1972).

No local de estudo analisaram-se os efeitos dos sistemas de cultivo sobre as propriedades físicas do solo, cujos tratamentos foram os seguintes:

Capoeirão — Área onde a mata virgem foi eliminada por volta de 1920, usando-se o método de preparo de área convencional da região amazônica, que consiste na derrubada e queima da vegetação para dar lugar à exploração com milho, caupi, mandioca e arroz, aproximadamente até 1930. A partir dessa data, a área permaneceu em pousio dando origem ao capoeirão.

Capim gengibre (*Paspalum maritimum*) — Em 1928, a mata virgem foi eli-

minada pelo método convencional da região para dar lugar à exploração com milho, caupi, mandioca e arroz, até aproximadamente 1960, permanecendo em pousio até 1962, quando a área foi mecanizada com trator de esteira e plantada a cultura do guaraná, a qual foi mantida até 1979. A partir dessa data, o capim desenvolveu-se espontaneamente, sendo roçado periodicamente e manualmente.

Cultivo do cacau (*Theobroma cacao*) — Em 1921, a vegetação nativa foi eliminada através do sistema tradicional de cultivo da Amazônia, sendo plantados caupi, milho, mandioca e arroz, permanecendo esses sistemas de cultivo contínuo aproximadamente até 1951, quando a área foi ocupada com bacuri-pari (*Rhedia macrophylla*) até 1963. A partir dessa data, foi utilizada a roçagem mecânica para a retirada do bacuri-pari e implantação do cacau. Entre 1963 e 1967, a área recebeu adubação orgânica, fertilização química de NPK e calagem. Entre 1963 e 1978, a área recebeu roçagem mecânica com frequência aproximada de uma vez ao mês. Desde 1978, a área é apenas mantida limpa através de duas roçagens mecanizadas por ano.

Cultivo do dendê (*Elaeis guineensis*) — Em 1923, a vegetação nativa foi eliminada através do sistema tradicional de preparo de área na região, para a exploração com culturas de milho, caupi, mandioca e arroz, permanecendo com estes sistemas de cultivo até 1940. A partir deste ano permaneceu em pousio, dando origem a uma capoeira de porte médio. Em 1958, a área foi destocada com trator de esteira, gradeada com trator de rodas e plantada com dendê. A cultura recebeu adubação orgânica e cobertura morta (mulch), até o terceiro ano de crescimento e adubação mineral com potássio até o sexto ano. Entre 1959 e 1974, realizou-se limpeza mecanizada da área com frequência aproximada de uma vez ao mês. Desde 1975, este sistema de cultivo se mantém

limpo com cerca de duas roçagens mecanizadas por ano.

Cultivo da seringueira (*Hevea brasiliensis*) — Por volta de 1920, a vegetação nativa foi eliminada através do sistema tradicional, sendo plantado milho, cupi, mandioca e arroz, permanecendo com estes sistemas até aproximadamente 1942, quando entrou em pousio, dando origem a uma capoeira. Em 1962, a área foi destocada e gradeada com trator de esteira e realizou-se o plantio da seringueira. A roçagem mecânica nesse sistema vem sendo realizada até os dias atuais com frequência de uma vez ao mês.

Metodologia

O delineamento experimental utilizado foi do tipo inteiramente casualizado e em cada parcela submetida aos diferentes sistemas de cultivo do solo foram coletadas, em três locais distintos, nas profundidades de 0-15 cm; 15-30 cm e 30-50 cm, amostras deformadas e não deformadas para as diferentes determinações. Para cada profundidade foram feitas três repetições.

A análise estatística constou da análise de variância dos valores dos parâmetros, teste F e comparação entre médias pelo teste de Tukey (Gomes 1973).

As determinações físicas e químicas realizadas neste estudo constaram de: teor de matéria orgânica, granulometria, densidade aparente, porosidade total, macro e microporosidade, capacidade de água disponível, estabilidade de agregados e resistência à penetração.

O teor de matéria orgânica foi determinado pelo método de Vettori (1969), através da oxidação com dicromato de potássio 0,4N e titulação do excesso com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,1N.

A granulometria foi determinada pelo método internacional da pipeta, descrito por Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1979). Na dispersão da amostra para os solos da Amazônia, normalmente é utilizada solução de NaOH 1N (com fator devidamente ajustado) para 20 gramas

de Terra Fina Seca e ao Ar (TFSA).

Na determinação da densidade aparente, utilizou-se o método do cilindro de volume constante (Blake 1965). Para a determinação da estabilidade de agregados em água em profundidade de 15-30 cm, utilizaram-se peneiras de 2,0; 1,0; 0,5; 0,25 e 0,1 mm de abertura da malha (Yoder 1963).

A porosidade total foi calculada através da soma dos volumes de ar e água contidos nos anéis volumétricos de 100 cm³, determinada pelo DIK VOLONUMETER. Já a microporosidade foi determinada, considerando o volume de água retido a 0,33 atm e a macroporosidade determinada através da diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

A capacidade de água disponível às plantas foi obtida através da diferença dos teores de umidade retida entre 0,33 atm e 15,0 atm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Granulometria e matéria orgânica

Quando se fez a comparação das médias das frações minerais entre profundidades de cada sistema de cultivo (Tabela 1), verificou-se que, com exceção do sistema capoeirão, houve uma tendência de teores mais pronunciados de areia grossa na profundidade de 0-15 cm em relação as de 15-30 e 30-50 cm, o que parece ser uma característica dos solos tropicais, conforme relatos de Baer (1963). Com relação aos teores de argila (Tabela 1), observou-se um percentual mais elevado na profundidade 30-50 cm, em relação às restantes o que, segundo Box (1953), se deve à migração das partículas finas dos horizontes superiores e sua deposição no horizonte B.

Quanto ao teor de matéria orgânica, houve diferenças significativas entre profundidades dentro de cada sistema de cultivo (Tabela 1), sendo que os maiores valores foram encontrados na profundidade 0-15 cm. Estas camadas superficiais apresentaram

TABELA 1. Percentagem de areia grossa, areia fina, silte, argila e matéria orgânica sob cinco sistemas de cultivo x profundidade.

Sistema de cultivo	Profundidade	Granulometria %				
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila total	Matéria orgânica
	— cm —			%		
Capoeirão	0-15	36	34	10	21	1,67
	15-30	36	34	12	22	1,50
	30-50	32	32	17	24	1,29
Capim	0-15	41	33	16	13	1,41
	15-30	40	32	13	14	1,40
	30-50	37	34	13	15	1,40
Cacau	0-15	29	32	25	14	1,50
	15-30	28	30	26	16	1,41
	30-50	27	30	23	20	1,41
Dendê	0-15	34	33	21	13	1,45
	15-30	31	34	18	17	1,43
	30-50	31	36	15	18	1,38
Seringueira	0-15	50	33	8	9	1,49
	15-30	48	35	6	12	1,38
	30-50	47	35	5	13	1,36

valores mais elevados de matéria orgânica devido à deposição de materiais como folhas e outras partes das plantas, formando um tapete de produtos em decomposição.

Distribuição do tamanho de agregados

Analisando a distribuição do tamanho de agregados, constante na Tabela 2, nota-se que a percentagem dos agregados retidos em peneiras de 2,0 mm diminuiu à medida que se passa do capoeirão sucessivamente para os sistemas de cultivo com capim, cacau, dendê e seringueira. Estes resultados indicam uma maior degradação da estrutura deste solo, pelos sistemas de cultivo de seringueira, dendê e cacau, através de processos mecanizados, confirmando informações de Grohmann & Arruda (1961).

As maiores percentagens de agregados dos solos sob capoeirão e capim parece indicar uma significativa recuperação de estrutura, a que segundo Baver et al. (1973) pode ser devida ao maior retorno de resíduos vegetais ao solo, ao efeito agregante do sistema radicular das plantas e à influência protetora da cobertura vegetal.

Os sistemas de cultivo de cacau, dendê e seringueira, por sua vez, apresentaram percentuais mais elevados de agregados estáveis em água, principalmente em peneiras menores que 0,25 mm de diâmetro, indicando uma maior susceptibilidade à erosão.

Compactação do solo

Os dados da Tabela 3 indicam que a porosidade total do solo diminui sob todos os

TABELA 2. Percentagem de agregados retidos em peneiras de tamanhos diferentes nos sistemas de cultivo em profundidade de 15-30 cm.

Sistema de cultivo	Agregados (%) / abertura de malha (mm)					
	2,0	1,0	0,5	0,25	0,105	0,105
	%					
Capoeirão	28,63 ^a	14,01 ^{ab}	16,91 ^a	17,73 ^a	15,63 ^b	7,09 ^a
Capim	27,35 ^a	15,07 ^a	15,00 ^{ab}	21,00 ^a	18,00 ^a	3,58 ^a
Cacau	20,00 ^b	10,00 ^b	14,00 ^b	21,00 ^a	24,00 ^a	11,00 ^a
Dendê	18,30 ^b	13,99 ^{ab}	18,00 ^a	21,97 ^a	19,33 ^{ab}	8,41 ^a
Seringueira	15,54 ^b	13,76 ^{ab}	20,05 ^a	24,29 ^a	18,51 ^{ab}	7,85 ^a

Valores seguidos da mesma letra na vertical não apresentam diferença significativa entre si, de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

sistemas de cultivo, quando comparados ao capoeirão, notando-se decréscimo mais acentuado sob os sistemas de cacau, dendê e seringueira, os quais não apresentaram diferenças significativas entre si. Esta diferença é causada pela roçagem mecânica a que estão submetidos estes sistemas de cultivo.

Os resultados da Tabela 4, mostram um decréscimo da porosidade total da camada de 0-15 cm para a de 15-30 cm nos sistemas de cultivo de dendê e seringueira. Para a profundidade situada imediatamente abaixo, houve aumento. Isso parece indicar que tenha ocorrido compactação na camada intermediária.

Observa-se, ainda, que o sistema capoeirão mostrou resultados de porosidade total que variam entre 51,00% na profundidade 0-15 cm e 43,50% na profundidade de 30-50 cm, bem como decréscimo mais acentuado no sistema de cultivo de cacau, variando entre 40,87% na profundidade 0-15 cm e 39,80% na profundidade de 30-50 cm. Estes dados revelam que o uso intensivo de solos diminui a porosidade total quando comparado com solos em pousio, conforme foi comprovado por Bayer et al. (1973).

Por sua vez, o aumento gradativo da porosidade total no sistema com capim (Tabela 4), para as maiores profundidades, po-

TABELA 3. Composição granulométrica, teor de matéria orgânica, porosidade, densidade aparente, resistência à penetração e água disponível.

Característica	Sistema de cultivo do solo				
	Capoeirão	Capim	Cacau	Dendê	Seringueira
Areia grossa (%)	35	39	28	32	48
Areia fina (%)	33	33	31	34	34
Silte (%)	13	14	25	18	6
Argila total (%)	22	14	17	16	11
Matéria orgânica (%)	1,49 ^a	1,40 ^a	1,44 ^a	1,42 ^a	1,41 ^a
Porosidade total (%)	46,50 ^a	44,33 ^{ab}	40,22 ^b	41,10 ^b	41,83 ^b
Macroporosidade (%)	26,06 ^{ab}	29,58 ^a	17,94 ^b	20,37 ^b	24,96 ^{ab}
Microporosidade (%)	20,44 ^{ab}	14,75 ^b	22,28 ^a	20,83 ^{ab}	16,87 ^b
Densidade aparente (g/cm ³)	1,42 ^a	1,47 ^{ab}	1,54 ^b	1,53 ^{ab}	1,55 ^b
Resistência à penetração (kg/cm ²)	3,61 ^a	7,00 ^{bc}	4,97 ^{ab}	8,44 ^c	7,55 ^{bc}
Água disponível (%)	11,29 ^a	10,08 ^a	10,77 ^a	12,08 ^a	10,66 ^a

Médias seguidas da mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 4. Porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade aparente sob cinco sistemas de cultivo x profundidade.

Sistema de cultivo	Profundidade	Porosidade total	Macroporosidade	Microporosidade	Densidade aparente
	— cm —		%		g/cm ³
Capoeirão	0-15	51,00 ^a	32,27 ^a	18,73 ^a	1,32 ^c
	15-30	45,00 ^b	24,25 ^b	20,75 ^b	1,44 ^b
	30-50	43,50 ^{ab}	21,66 ^b	21,84 ^{ab}	1,49 ^a
Capim	0-15	42,20 ^b	26,71 ^b	15,49 ^b	1,51 ^a
	15-30	44,30 ^b	31,05 ^a	13,25 ^c	1,48 ^a
	30-50	46,50 ^a	30,99 ^a	15,51 ^c	1,43 ^b
Cacau	0-15	40,87 ^c	21,31 ^c	19,56 ^a	1,48 ^b
	15-30	40,00 ^c	18,02 ^c	21,98 ^a	1,56 ^a
	30-50	39,80 ^c	14,49 ^{cd}	25,31 ^a	1,59 ^a
Dendê	0-15	43,23 ^b	25,75 ^b	17,48 ^a	1,47 ^b
	15-30	39,03 ^c	17,58 ^c	21,45 ^a	1,58 ^a
	30-50	41,33 ^b	17,78 ^c	23,55 ^a	1,54 ^a
Seringueira	0-15	41,17 ^{bc}	27,94 ^b	13,23 ^b	1,57 ^a
	15-30	40,33 ^{bc}	22,32 ^b	18,01 ^b	1,57 ^a
	30-50	44,00 ^a	24,64 ^b	19,36 ^{ab}	1,51 ^b

Valores seguidos da mesma letra dentro de cada profundidade entre sistemas de cultivo na vertical não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

de estar relacionado à recuperação da estrutura proporcionada pelas raízes do capim e à textura mais arenosa apresentada por este sistema (Tabela 3) (Mazurak & Ramig 1962).

Quanto à distribuição da macro e microporosidade (Tabela 4), observa-se no sistema capoeirão um decréscimo da macroporosidade e aumento da microporosidade com a profundidade o que concorda com os maiores teores de argila e mais

elevadas densidades nos horizontes inferiores do solo.

Nas profundidades imediatamente abaixo da camada arável (Tabela 4), verifica-se uma maior proporção de microporosidade em relação à macroporosidade nos sistemas de cultivo cacau e dendê, do que nos sistemas capoeirão e capim, indicando um efeito mais acentuado do cultivo nos primeiros. Este aspecto concorda com Machado & Brum (1978), que encon-

taram redução na macroporosidade e aumento da microporosidade em solos intensamente cultivados.

A diminuição da porosidade total e macroporosidade e o aumento da microporosidade, resultantes da degradação da estrutura do solo, caracterizam o surgimento de camadas compactadas (Silva 1980), como ocorre nos sistemas de cultivo de cacau e dendê, refletindo no aumento da densidade aparente na profundidade 15-30 cm no sistema de cultivo de dendê, e na profundidade 30-50 cm no sistema de cultivo de cacau.

Os resultados da Tabela 3 mostram que a densidade aparente sofreu influência diferencial nos diversos sistemas de cultivo do solo. Os sistemas cacau e seringueira, respectivamente, condicionaram uma maior densidade aparente ao solo (1,54 e 1,55 g/cm³), enquanto o sistema capoeirão a menor (1,42 g/cm³).

As densidades de 1,51 g/cm³ e 1,57 g/cm³, encontradas na profundidade 0-15 cm nos sistemas de cultivo com capim e seringueira (Tabela 4), contrastando com os outros sistemas que apresentam densidades mais elevadas na profundidade 15-30 cm,

TABELA 5. Água disponível sob cinco sistemas de cultivo x profundidade.

Sistema de cultivo	Profundidade (cm)	Capacidade de campo (%)	Ponto de murcha (%)	Água disponível (%)
Capoeirão	0-15	18,73	6,25	12,48 ^{ab}
	15-30	20,75	10,24	10,51 ^{ab}
	30-50	21,84	10,96	11,88 ^{ab}
Capim	0-15	15,49	5,99	9,50 ^b
	15-30	13,25	2,95	10,30 ^{ab}
	30-50	15,51	5,01	10,50 ^{ab}
Cacau	0-15	19,56	10,00	9,56 ^b
	15-30	21,98	7,37	14,61 ^a
	30-50	25,31	17,16	8,15 ^b
Dendê	0-15	17,48	3,34	14,14 ^a
	15-30	21,45	10,25	11,20 ^{ab}
	30-50	23,55	10,44	13,11 ^a
Seringueira	0-15	13,23	3,49	9,74 ^b
	15-30	18,01	8,81	9,20 ^c
	30-50	19,36	6,46	13,10 ^a

Valores seguidos da mesma letra dentro de cada profundidade entre sistemas de cultivo na vertical não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

são coerentes com a textura mais arenosa desses solos (Buckman & Brady 1967).

Retenção de água

Os resultados da Tabela 5 revelaram um decréscimo da retenção de água, à baixa sucção mátrica, na profundidade 0-15 cm, na seguinte ordem decrescente de cultivo: cacau > capoeirão > dendê > capim > seringueira. Este decréscimo está relacionado ao menor teor de silte e argila, conforme já relatados por Goedert & Winkler (1972) e Ramos & Castro (1974).

Sob altas sucções mátricas (Tabela 5), observa-se uma diminuição de retenção de água na camada superficial dos sistemas de cultivo de cacau > capoeirão > capim > seringueira > dendê. Com exceção do sistema de cultivo de dendê, isto parece estar relacionado com a compactação e degradação da estrutura no sistema de cultivo de cacau (Hillel 1970), aos teores mais elevados de matéria orgânica (Grohmann & Medina 1962) no sistema capoeirão e aos teores elevados de areia grossa nos sistemas de cultivo de capim e seringueira, conforme dados da Tabela 1.

A maior retenção de água na profundidade 30-50 cm, à baixa sucção mátrica, nos sistemas de cultivo com cacau e dendê (Tabela 5) parece estar relacionada com os teores elevados de microporos (Goedert & Winkler 1972).

A água disponível para as plantas (Tabela 5), com exceção dos solos sob sistemas de cultivo cacau e dendê, foi maior na profundidade 30-50 cm, decorrente de uma parte dos maiores teores de argila, dessa camada e da outra, do efeito do cultivo do solo, desde que, segundo Medida & Grohmann (1965) e Ramos & Castro (1974), mudanças provocadas na estrutura de uma camada exercem seus efeitos sobre o regime de umidade do perfil, afetando a disponibilidade de água.

CONCLUSÕES

a) observou-se uma diminuição do tamanho de agregados estáveis em água sob

os sistemas de cultivo de cacau, dendê e seringueira, quando comparados aos sistemas capoeirão e capim gengibre;

b) o surgimento de camadas adensadas abaixo da profundidade 0-15 cm, nos sistemas de cultivo com capim, cacau, dendê e seringueira, é decorrente dos tratamentos culturais realizados por processos mecanizados;

c) a profundidade total apresentou resultados mais elevados no sistema capoeirão e menores no sistema de cultivo com cacau. Por outro lado, a relação microporosidade e macroporosidade foi mais acentuada nos sistemas de cultivo cacau e dendê. Os sistemas de cultivo cacau e seringueira, respectivamente, condicionaram uma maior densidade aparente ao solo, enquanto o sistema capoeirão a menor densidade aparente;

d) a baixa sucção mátrica (0,33 atm), na profundidade de 0-15 cm, a retenção de água decresceu na seguinte ordem: cacau > capoeirão > dendê > capim > seringueira. Por outro lado, à alta sucção mátrica (15 atm), o decréscimo foi: cacau > capoeirão > capim > seringueira > dendê.

e) as mudanças ocorridas nas propriedades físicas pelo uso do solo, dentro dos sistemas de cultivo com capim, cacau, dendê e seringueira, não causaram modificações drásticas na estrutura e nem afetaram o desenvolvimento destas culturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVIM, P.T. de. *Perspectivas de produção agrícola na região amazônica*. Inter-ciência, 3(4): 243-51, 1978.
- BAENA, A.R.C. & DUTRA, S. *Densidade aparente e porosidade do solo no desenvolvimento do milho*. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1979. 11p. (EMBRAPA-CPATU. Comunicado Técnico, 24).
- BAER, F.E. *Suelos e fertilizantes*. Barcelona, Omega, 1963. 480p.
- BLAKE, G.R. Water availability. In: BLACK, C.A. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. part. 1, p. 279-98.

- BOX, J. Some characteristics of the soils of Amazon. **Inst. Agric. Res. Bucharest**. 2:499-503. 1953.
- BUCKMAN, O.M. & BRADY, N.C. **Nature and properties of soils**. 8 ed. New York, McMillan, 1967. 639p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1979.
- FALESI, I.C.; BAENA, A.R.C. & DUTRA, S. **Consequências da exploração agropecuária sobre as condições físicas e químicas dos solos das microrregiões do nordeste paraense**. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1980. 48p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 14).
- FREIRE, J.C.; SOUZA, J.J.; LOPES, A.S.; BAHIA, V.G. & BAHIA, F.G.F.T. Água disponível em dois solos do município de Lavras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15, Campinas, 1975. **Anais...** Campinas, SBCS, 1976. p.74-80.
- GOEDERT, W. J. & WINKLER, E.I.G. Características hídricas dos solos de Pelotas, Rio Grande do Sul. **Pesq. agropec. bras.** Série Agron., 7:1-4, 1972.
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba. ESALQ, 1973. 403p.
- GROHMANN, F. & ARRUDA, H.V. Influência do preparo do solo sobre a estrutura de terra-roxa-legítima. **Bragantia**, Campinas, 20(49): 1203-9, 1961.
- GROHMANN, F. & MEDINA, H.P. Características de umidade dos principais solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, 21(18) 285-95. 1962.
- HILLEL, D. **Solo e água: fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre, UFRGS, 1970. 231p.
- LIMA, R.R. Os efeitos das queimadas sobre a vegetação dos solos arenosos da região da estrada de ferro de Bragança. Belém, IAN, 1954. 41p. (IAN. Boletim Técnico, 2).
- MACHADO, J.A. & BRUM, A.C. R. **Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo**. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 2:81-4, 1978.
- MAZURAK, A.P. & RAMIG, R.E. Aggregation and airwater permeabilities in a Chernozem soil cropped to perennial grasses and followgrain. **Soil Sci.**, Baltimore, 94:151-7, 1962.
- MEDINA, H.P. & GROHMANN, F. Correlações entre características físicas do solo e ocorrência de cerrado no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, 29(2):480-5, 1965.
- PENTEADO, A.R. **Problemas de colonização e uso da terra na Região Bragantina do Estado do Pará**. Belém, UFPa., 1967. v. 1, 304p. (UFPa. Coleção Amazônica, Série José Veríssimo).
- RAMOS, D.P. & CASTRO, A.F. de. Influência da textura e da matéria orgânica do solo sobre suas constantes de umidade. **Arq. Univ. Fed. Rur.**, Rio de Janeiro, 4:(1):15-8, 1974.
- SANTOS, P.C.T.C. dos **Levantamento detalhado de solos do campus da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará**. Fortaleza, UFCe, 1982. 84p. Tese Mestrado.
- SILVA, I.F. de. **Efeitos de sistemas de manejo e tempo de cultivo sobre propriedades físicas de um Latossolo**. Porto Alegre, UFRGS. Faculdade de Agronomia, 1980. 60p. Tese Mestrado.
- TACHETT, M.M. & PEARSON, E. Some effects of compacted soil on plant growth in the Southern Great Plains. **J. Soil Water Conserv.** 18: 235-6, 1964.
- VEIHMEYER, F.J. & HENDRICKSON, A.H. **Soil density and root penetration**. **Soil Sci.**, Baltimore, 65:487-93, 1948.
- VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Minist. da Agricultura. Equipe de pedologia e fertilidade do solo, 1969. (M.A. Boletim Técnico, 7). 14p.
- VIEIRA, L.S.; SANTOS, W.H.P. dos; FALESI, I.C. & OLIVEIRA FILHO, J.P.S. **Levantamento de reconhecimento dos solos da Região Bragantina, Estado do Pará**. Belém, IPEAN, 1967. 63p. (IPEAN. Boletim Técnico, 47).
- YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Jour. Am. Soc. Agron.** 28:1, 1963.

TEOR DE UMIDADE EM LATOSSOLO AMARELO TEXTURA MÉDIA SOB DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA UTILIZANDO-SE SONDA DE NÊUTRONS

Antonio Ronaldo Camacho Baena¹ e Saturnino Dutra¹

RESUMO: Em regiões tropicais, de altos índices pluviométricos anuais, como da Amazônia brasileira, é crença geral de que a disponibilidade de água no solo não seja fator limitante da produção agrícola. De acordo com a classificação climática de Köppen, a Amazônia brasileira apresenta três subdivisões (Afi, Ami e Awi) que apresentam variações na distribuição de chuvas. Com a finalidade de estudar a disponibilidade de água no solo utilizando-se uma sonda de nêutrons modelo 503 HYDROPROBE CPN, as determinações do teor de umidade no campo foram feitas periodicamente, de jun/81 a jan/82 e de jun/82 a jan/83, em solo do tipo Latossolo Amarelo textura média, em local de cobertura arbórea, pastagem e cultura de ciclo curto. Foi feita a curva de calibração do aparelho e determinados os valores do ponto de murcha, capacidade de campo, água disponível, macro, micro e porosidade total. Os resultados mostraram que não existe "déficit" hídrico no período estudado, o que indica que as áreas de clima Afi e solo Latossolo Amarelo textura média podem ser usadas com cultivo intensivo, sem que a água venha a ser um fator limitante da produção de alimentos.

Termos para indexação: Água, solo, tipos de cobertura, sonda nêutrons.

SOIL WATER IN A MEDIUM-TEXTURE YELLOW LATOSOL UNDER DIFFERENT SOIL COVER USING A NEUTRON DEVICE

ABSTRACT: In high annual rainfall tropical regions, such as the Brazilian Amazonia, it is generally believed that water availability is not a factor limiting agricultural production. According to Köppen climatic classification, the Brazilian Amazonia has three types of climate (Afi, Ami, Awi) with different rainfall patterns. To study soil water availability, a neutron device model 503 HYDROPROBE CPN was used. Periodic field measurements of soil water were made from June 1981 to January 1982 and June 1982 to January 1983 in a Yellow Latosol (Oxisol) of medium texture under trees, pasture and short-cycle crops. The calibration curve was made for the neutron device, and the values of wilting point, field capacity, available water, micro, macro and total porosity were determined. No water deficit was observed during the study period. The areas with Afi climate and Yellow Latosol (Oxisol) of medium texture, may be put to intensive cropping as water stress will not be a limiting factor to crop production.

Index terms: Water, soil, soil cover, neutron device.

¹ Eng. Agr. M.Sc. EMBRAPA-CPATU. Caixa Postal 48. CEP 66000. Belém, Pa.

INTRODUÇÃO

Em regiões tropicais de altos índices pluviométricos anuais, como da Amazônia brasileira, é crença geral de que a disponibilidade de água no solo não seja fator limitante da produção agrícola. De acordo com a classificação de Köppen, a Amazônia brasileira enquadra-se na categoria de clima A. Esta categoria apresenta, na região, três subdivisões (Afi, Awi e Ami) que são semelhantes no que diz respeito ao regime térmico, porém apresentam variações na distribuição das chuvas, principalmente na duração e período de estiagem. Assim é que o Afi apresenta-se chuvoso o ano todo, ocupando cerca de 17% da região. Os restantes 83% distribuem-se entre o Ami (41%) e o Awi (42%), que apresentam períodos secos definidos, sendo o último o de maior "déficit" hídrico (Bastos 1982).

Dentre os diversos fatores que mais influenciam na quantidade de água disponível, além dos climáticos, destaca-se o próprio solo, principalmente através da textura, estrutura e teor de matéria orgânica. A maioria dos trabalhos sobre solos tropicais descreve-os como moderadamente a excessivamente drenados, condicionando que a água do solo seja rapidamente transferida da superfície para as camadas mais profundas, o que ocasiona a intensa lavagem do perfil e conseqüente lixiviação dos nutrientes, motivo da baixa fertilidade da maioria dos solos tropicais.

O conhecimento da disponibilidade de água para a planta em diversos períodos do ano, entre locais de clima e solo diferentes, na imensa região amazônica, é um fator que sem dúvida irá em muito contribuir para aumentar o potencial produtivo agrícola desta região.

Este trabalho é uma primeira aproximação visando fornecer subsídios no que diz respeito ao armazenamento de água disponível às plantas em solo Latossolo Amarelo textura média, usado intensivamente com cultivos anteriores, em clima do tipo Afi, sob três tipos diferentes de cobertura vegetal.

MATERIAL E MÉTODOS

De junho/1981 a janeiro/1982 e de junho/1982 a janeiro/1983, de modo a cobrir os meses menos chuvosos de setembro, outubro e novembro, as determinações do teor de umidade no campo foram feitas periodicamente, utilizando-se uma sonda de nêutrons modelo 503 HYDROPROBE NUCLEAR DEPTH MOISTURE GAUGE de fabricação da CAMPBELL PACIFIC NUCLEAR CORPORATION.

O princípio da operação da sonda baseia-se na emissão de nêutrons de alta energia (Americium 241/Beryllium) que colidem com núcleos de outros elementos no solo, retornando para o local de onde foram emitidos, sendo detectados pelo tubo detector de trifluoreto de boro (BF₃). O hidrogênio é o principal responsável pela termalização dos nêutrons. A quase totalidade do hidrogênio presente no solo encontra-se na forma de água. Em razão disso, a densidade da nuvem de nêutrons termalizados reflete a umidade do solo. Este método tem a vantagem de possibilitar medições subseqüentes em um mesmo local sem abalar a estrutura natural do solo.

O tubo de acesso utilizado para a sonda foi do tipo PVC e as leituras foram efetuadas às profundidades de 15 e 30 cm. As amostragens foram efetuadas em locais com cobertura arbórea, pastagem e cultura de ciclo curto, existindo em cada local três tubos de acesso equidistantes 30 cm. Foi feita a curva de calibração do aparelho no campo para o tipo de solo em questão, obtendo-se por regressão linear as seguintes equações:

— para 15 cm de profundidade $Y = 7,03 + 10,47 x$

— para 30 cm de profundidade $Y = 7,05 + 5,11 x$

onde, Y é o teor de umidade no solo em g/100cc e x é a razão (ratio) entre a contagem no campo e a contagem padrão do aparelho (1408), para ambas as equações.

Estas equações foram obtidas através da relação entre os seguintes valores de determinações gravimétricas de umidade do

solo, e da razão registrada pela sonda no momento da coleta do solo para a determinação gravimétrica:

Prof. 15 cm		Prof. 30 cm	
Razão	g de H ₂ O/100cc de solo	Razão	g de H ₂ O/100cc de solo
1,74	25,3	3,56	25,5
1,34	23,0	3,49	25,4
1,36	20,3	3,45	23,7
1,36	20,8	3,13	23,5
1,09	17,9	1,93	22,0
1,09	17,7	2,91	21,8
0,88	17,3		
0,72	14,3		

Também foram determinados os valores de ponto de murcha, capacidade de campo, água disponível, macro, micro e porosidade total do solo nas profundidades de 15 cm e de 30 cm dos locais em estudo. Os valores de ponto de murcha e capacidade de campo correspondem à percenta-

gem de água retida no solo sob uma tensão de 15 e 1/3 atm, respectivamente. A água disponível é dada pela diferença entre a capacidade de campo e o ponto de murcha. A porosidade total corresponde a soma dos volumes de ar e de água, existentes em anel volumétrico de 100cc, determinados no DIK VOLUNOMETER. A microporosidade corresponde ao teor de umidade retida na tensão de 1/3 atm, e a macro à diferença entre total e micro. Todas as determinações foram feitas no Laboratório de Física de Solos do CPATU.

RESULTADOS

A Tabela 1 mostra os valores de ponto de murcha, capacidade de campo e água

TABELA 1. Ponto de murcha, capacidade de campo e água disponível de um Latossolo Amarelo textura média sob diferentes tipos de cobertura.

Cobertura do solo	Prof. cm	g H ₂ O/100cc de solo		
		Ponto de murcha	Capacidade de campo	Água disponível
Pastagem	15	12	26,5	14,5
	30	12	25,5	13,5
Cultura de ciclo curto	15	9	19	10
	30	15	21,5	6,5
Arbórea	15	8,4	16,8	8,4
	30	11,4	20,9	9,5

disponível do solo nos locais em estudo.

A tabela 2 mostra os valores da ma-

cro, micro e porosidade total para os mesmos locais.

TABELA 2. Macro, micro e porosidade total de um Latossolo Amarelo textura média sob diferentes tipos de cobertura.

Cobertura do solo	Prof. cm	Porosidade (%)		
		Macro	Micro	Total
Pastagem	15	11,5	26,5	38
	30	12,5	25,5	38
Cultura de ciclo curto	15	20	19	39
	30	16,5	21,5	38
Arbórea	15	19	17	36
	30	15	21	36

A Fig. 1 mostra a variação do teor de umidade no solo com relação aos valores de ponto de murcha, capacidade de cam-

po, macro, micro e porosidade total, por local e profundidade, no período estudado de junho de 1981 a janeiro de 1982.

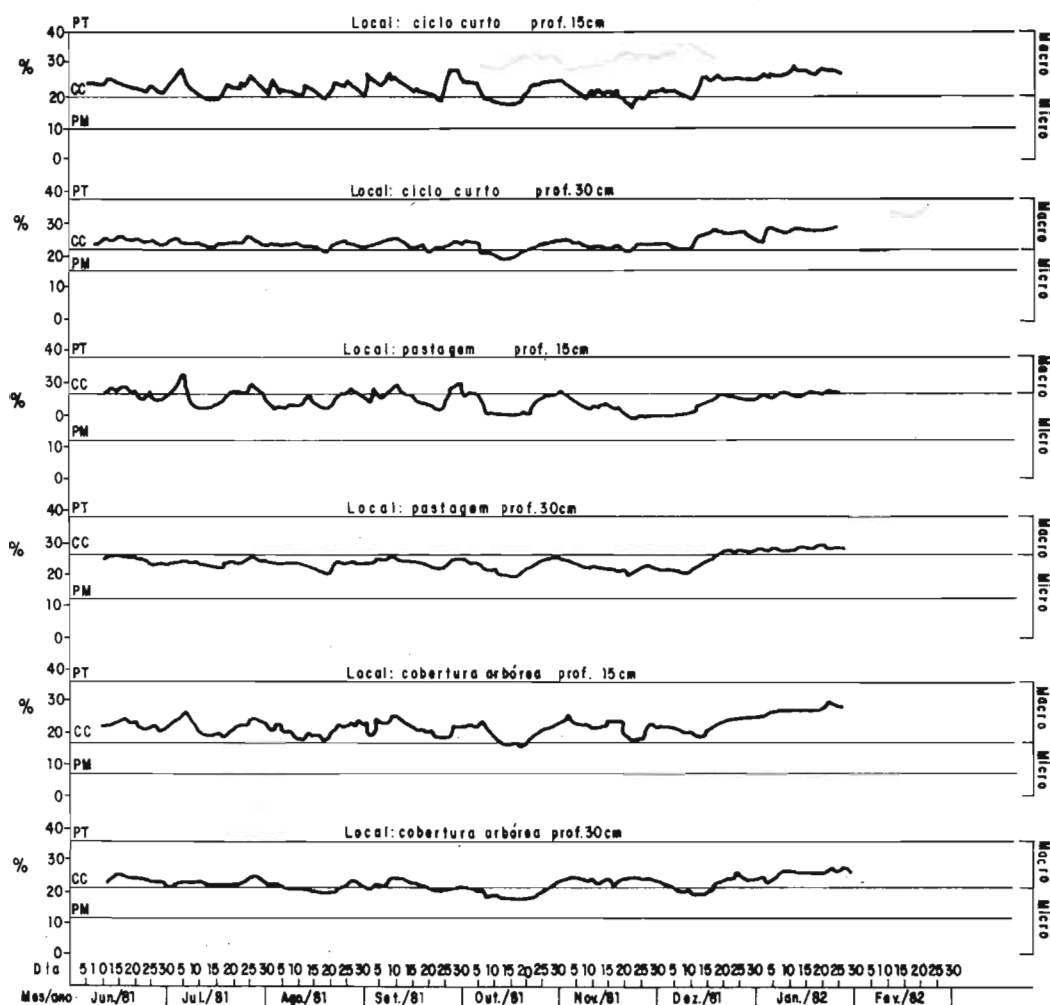


FIG. 1. Variação do teor de umidade no solo (g de $H_2O/100cc$ de solo) com relação aos valores de porosidade, ponto de murcha e capacidade de campo, por local e profundidade, no período de jun/81 a fev/82.

A Fig. 2 mostra a variação do teor de umidade no solo com relação aos valores de ponto de murcha, capacidade de campo, macro, micro e porosidade total por local e profundidade, no período estudado de junho de 1982 a janeiro de 1983.

A Tabela 3 mostra os coeficientes de correlação simples entre a precipitação pluviométrica (mm) e a água no solo (g de $H_2O/100cc$ de solo), por local e profundidade, durante o período total de estudo.

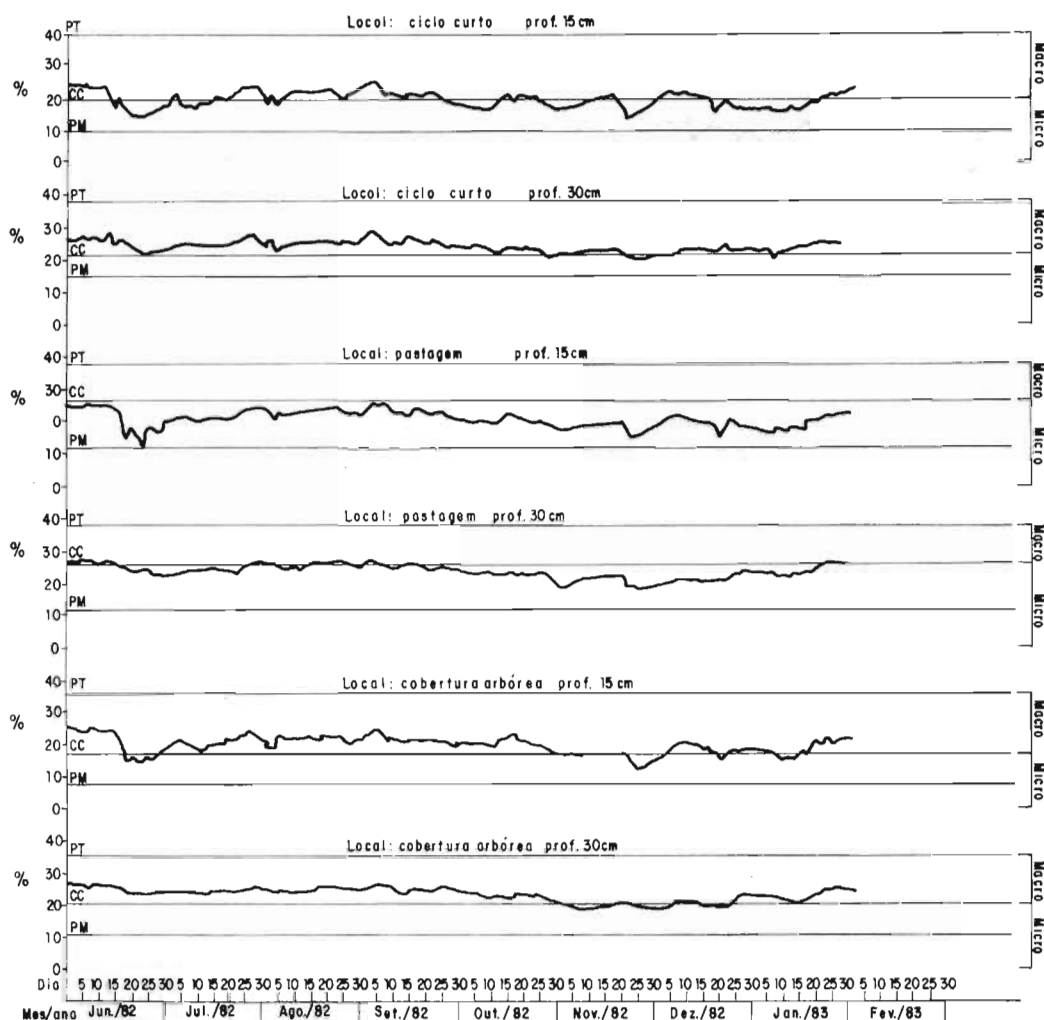


FIG. 2. Variação do teor de umidade no solo (g de $H_2O/100cc$ de solo) com relação aos valores de porosidade, ponto de murcha e capacidade de campo, por local e profundidade, no período de jun/82 e fev/83.

TABELA 3. Coeficientes de correlação simples entre precipitação pluviométrica e água no solo, para diferentes locais e profundidades de um Latossolo Amarelo textura média, em clima do tipo Afi.

Local	Ciclo curto		Pastagem		Cob. arbórea	
Profundidade	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm
Coeficientes	0,37**	0,40**	0,34**	0,40**	0,36**	0,41**

** Coeficientes significativos ao nível de erro de 0,01.

DISCUSSÃO

A caracterização físico-hídrica dos solos da região amazônica é assunto de pesquisa, praticamente a ser iniciado, e por este motivo, poucos são os dados de literatura disponíveis sobre este assunto.

Sobre os valores da Tabela 1 para ponto de murcha, capacidade de campo e água disponível, Oliveira & Melo (1978) encontraram para a camada superficial (0-30 cm) de Latossolos do Estado de Alagoas, cultivados com cana-de-açúcar, de mesma textura e material originário (sedimentos da série Barreiras) do solo usado neste estudo, valores médios de ponto de murcha, 11,7; capacidade de campo 23,5 e água disponível 11,8 g de $H_2O/100cc$ de solo, portanto bastante próximos das médias dos locais da Tabela 1, de ponto de murcha 11,3; capacidade de campo 21,7 e água disponível 10,4 g de $H_2O/100cc$ de solo. Ainda na Tabela 1 observa-se que a pastagem apresenta valores mais elevados de água disponível em relação às áreas com ciclo curto e cobertura arbórea. O efeito que as gramíneas exercem na estrutura do solo, melhorando suas propriedades físicas, provavelmente em função de seu denso e fibroso sistema radicular, é citado por Weaver & Harmon (1935), Bennett (1981), Kramer & Weaver (1936), Martin (1944), Grohmann (1960), Bertoni (1966), Bown (1966) e Wrigley (1971). A capacidade das gramíneas de melhor utilizar a água do solo é citado por Sutton (1908), Bennett (1981), Combs (1982) e Whitt et al. (1966).

Os resultados mostrados na Tabela 2 apresentam para as variáveis estudadas, valores semelhantes aos da literatura existente. Baena & Dutra (1982) encontraram para o Latossolo Amarelo textura média, em condições de mata virgem, da região Bragantina, valores médios de porosidade total 42% na camada superficial. Ainda Baena & Dutra (1981), para o mesmo tipo de solo, desmatado pelo processo tradicional manual, em 1976, para implantação dos experimentos Sistema de produção com

plantas perenes em consórcio duplo - CPATU 1 e Produtividade de solos amazônicos e mudanças ecológicas sob diferentes sistemas de manejo — CPATU 2, em Capitão Poço, encontram valores médios de porosidade total de 38%, após cerca de dois anos de uso do solo com cultivos perene e anual. Vieira et al. (1967) encontraram valores de porosidade total 40% na superfície destes solos recobertos com capoeira de cerca de cinco anos de idade, e Falesi et al. (1980) encontraram valores médios de porosidade total 41% para estes solos sob diversos tipos de uso. De uma maneira geral, o uso do solo causa uma diminuição na porosidade total, quando comparado com o mesmo solo, em condições naturais.

Dados de literatura sobre macro e micro porosidade para os solos desta área, são praticamente inexistentes. Porém, várias outras determinações, feitas no Laboratório de Física de Solos do CPATU, para o mesmo tipo de solo, confirmam estes resultados. Oliveira (1967), estudando solos Latossolos do tabuleiro do norte de Pernambuco, de mesma textura e material de origem (sedimentos da série Barreiras), usados com cultivos diversos, encontrou, na superfície, valores médios de porosidade total 38%, macro 13% e micro 25%, sendo que para a determinação de micro foi usada a tensão de 0,06 atm. Apesar de se tratar do mesmo tipo de solo e das distâncias entre os locais de estudo serem muito pequenas ($\pm 60m$), observa-se uma grande variação entre os valores de ponto de murcha, capacidade de campo, água disponível, macro e micro porosidade, mostrados nas Tabelas 1 e 2. Isto provavelmente está relacionado com os diferentes históricos das áreas e seus diversos tipos de uso.

As Fig. 1 e 2 mostram a variação do teor de umidade no solo com relação aos valores de ponto de murcha e capacidade de campo, por local e profundidade, no período estudado.

A Fig. 1 mostra que, no período de junho de 1981 a janeiro de 1982, a variação do teor de umidade no solo foi uniforme entre as respectivas profundidades de todos

os locais estudados, sendo que esta variação é mais intensa à profundidade de 15 cm do que à profundidade de 30 cm. Nos locais com cobertura de ciclo curto e arbórea, o teor de umidade se situa em ambas as profundidades, geralmente acima da capacidade de campo, com exceção de pequenos períodos, entre os meses de agosto a dezembro, em que o teor de umidade se situa abaixo da capacidade de campo, porém sem nunca atingir o ponto de murcha. No local com pastagem, o conteúdo de água no solo distribui-se mais entre os valores de ponto de murcha e capacidade de campo, principalmente na profundidade de 30 cm. Também para a pastagem, o teor mais baixo de umidade do solo, no período de setembro a dezembro, não atinge o ponto de murcha.

A Fig. 1 também mostra que, para os diversos locais e profundidade estudadas, a aeração do solo não é comprometida, pois apesar do teor de umidade encontrar-se geralmente acima da capacidade de campo, apenas em raríssimas ocasiões a aeração é inferior a 10%. A aeração pode ser medida pela diferença entre os valores de porosidade total e o teor de umidade do solo.

A Fig. 2, que mostra as observações feitas entre junho de 1982 a janeiro de 1983, apresenta de maneira geral uma tendência de variação semelhante a da Tabela 1. A diferença mais marcante está no fim do mês de junho, que apresenta uma queda no teor de água no solo que se aproxima do ponto de murcha, principalmente na profundidade de 15 cm na pastagem.

De acordo com a Tabela 3, os teores de umidade do solo, determinados através do uso de sonda de nêutrons, apresentam correlações positivas e significativas com os valores de precipitação pluviométricas, registrados nos boletins agrometeorológicos da EMBRAPA-CPATU, dos anos de 1981/82 (Boletim 1980, 1981).

De acordo com os resultados deste estudo, que são válidos apenas para as regiões de clima Af e solo Latossolo Amarelo, textura média, pode-se concluir que:

— A sonda de nêutrons é um método prático e eficaz para determinar a umidade do solo sem alterar sua estrutura.

— A variação no teor de umidade foi mais intensa na camada superficial de 15 cm em relação à camada mais profunda de 30 cm.

— O teor de umidade que se apresenta acima da capacidade de campo não restringiu a boa aeração do solo, apresentando-se esta sempre com valores acima de 10%.

— O mais baixo teor de umidade não atingiu o ponto de murcha, o que mostra que a eficiência de água, provavelmente, não foi o fator restritivo ao desenvolvimento vegetal.

— As áreas de clima Af e Latossolo Amarelo textura média podem ser usadas com cultivo intensivo para produção de alimentos, sem que a disponibilidade de água no solo venha a ser fator restritivo a uma boa produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAENA, A.R.C. & DUTRA, S. **Algumas propriedades físicas dos solos das áreas do CPATU-1 e CPATU-2, Altamira e Capitão-Poço 1978.** Belém. EMBRAPA-CPATU, 1981.
- BAENA, A.R.C. & DUTRA, S. **Propriedades físicas dos principais solos da Amazônia brasileira em condições naturais.** Belém, EMBRAPA-CPATU, 1982. 20p. (EMBRAPA-CPATU, Boletim de Pesquisa, 33).
- BASTOS, T.X. **O clima da Amazônia brasileira, segundo Köppen.** Belém, EMBRAPA-CPATU, 1982. (EMBRAPA-CPATU. Pesquisa em Andamento, 87).
- BENNETT, H.H. **Management and use of agricultural land including farm, woods and pasture.** Washington, D.C. s.ed., 1981.
- BERTONI, J. **Conservação do solo em pastagem.** In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 9. São Paulo, Secretaria de Agricultura, Departamento de Produção Animal, 1966, p.583-6.

- BOLETIM AGROMETEOROLÓGICO CPATU, 1980. 66p.
- BOLETIM AGROMETEOROLÓGICO CPATU, 1981. 71p.
- BOWN, T.A. The role of grassland in erosion control of Hawaii. PAN AMERICAN SOIL CONSERVATION CONGRESS, 1. São Paulo. Proceedings. São Paulo, Secretaria de Agricultura, 1966. p.841-6.
- COMBS, T.F. **Growing pastures in the South Chapel Hill**. Raleigh, University of North Caroline, 1982.
- FALESE, I.C.; BAENA, A.R.C. & DUTRA, S. **Conseqüências de exploração agropecuária sobre as condições físicas e químicas dos solos das microrregiões do nordeste paraense**. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1980. 49p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 14).
- GROHMANN, F. Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, 19:315-28, 1960.
- KRAMER, J. & WEAVER, J.E. Relative efficiency of roots and tops of plants in protecting the soil from erosion. Nebraska, University of Nebraska, 1936. (University of Nebraska. Report Bulletin, 12).
- MARTIN, W. Soil structure. **East Afr. Agric. J.**, 9:189-95, 1944.
- OLIVEIRA, L.B. O estudo físico do solo e a aplicação racional de técnicas conservacionistas. **Pesq. Agropec. Bras.** 2:281-5, 1967.
- OLIVEIRA, L.B. & MELO, V. Caracterização físico-hídrica do Solo. II. Unidade Utin-ga (Latosolo Vermelho-Amarelo distrófico). **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, 13(3):67-81, 1978.
- SUTTON, M.J. **Permanent and temporary pastures**. London, Simpkin, 1908.
- VIEIRA, L.S.; SANTOS, W.H.P. dos; FALESI, I.C. & OLIVEIRA FILHO, J.P.S. **Levantamento de reconhecimento dos solos da região bragantina, Estado do Pará**. Belém, IPEAN, 1967. (IPEAN. Boletim Técnico, 47).
- WEAVER, J.E. & HARMON, G.W. **Quantity of living plant materials and prairie soils in relation to runoff soil erosion**. Nebraska, University of Nebraska, 1935. (University of Nebraska. Bulletin, 8).
- WHITT, D.M.; BLAKELY, B.O. & WILLIAMS, R.B. The use of grass in soil conservation. In: PAN AMERICAN SOIL CONSERVATION CONGRESS, 1. São Paulo, **Proceedings**. São Paulo, Secretaria de Agricultura, 1966. p.823-8.
- WRIGLEY, G. **Tropical agriculture; The development of production**. London, Faber and Faber, 1971.

EFFECTS OF DIFFERENT MULCH MATERIALS ON SOIL PROPERTIES AND YIELD OF MAIZE (*Zea mays*) AND COWPEA (*Vigna unguiculata*) IN AN EASTERN AMAZON OXISOL¹

Elmar Schöning² and J. Alkämper³

ABSTRACT: Soil degradation is a widely occurring problem in most eastern Amazon soils when smallholders use the traditional slash-and-burn method for cultivation. An experiment to test the benefits of mulching was conducted with the objective of finding suitable alternatives to maintain or improve soil fertility. *Pueraria* (*Pueraria phaseoloides*), elephant grass (*Pennisetum purpureum*), weeds, two types of secondary forest (green parts), rice husks and maize threshing residues were used as mulch materials applied at 10 t/ha of dry matter under two fertilizer treatments in an Oxisol (Yellow Latosol) at the EMBRAPA-CPATU Experimental Field of Capitão Poço, Pará, Brazil. An input of most available macronutrients and organic matter could be found in mulched plots. Mulches comprised of pueraria without chemical inputs produced significantly higher yields of maize (*Zea mays*); these yields represent 95% of those attained on completely fertilized, bare soil. On non-fertilized bare soil only 80 kg/ha of maize and 7 kg/ha of cowpea were produced. The nutrient effect of mulching was much smaller on succeeding cowpea (*Vigna unguiculata*), due to leaching and high decomposition rates of the mulch materials during the first months after application. Mulches more resistant to decomposition had a relatively smaller effect on the yield of maize but enhanced cowpea production more than those mulches which were almost completely decomposed within one growing season. The use of mulches positively influenced the presence of soil mesofauna and also increased soil respiration (CO₂ evolution), an index of higher microbial activity. Mulched plots showed higher contents of organic carbon (C) which were positively correlated (significant at the 1% confidence level) with cation exchange capacity (CEC) values of the surface layer soil. Soil moisture reserves in the 0-10 cm layer were on average 3.3% greater in mulched plots than in bare soil during dry season. Soil temperatures in the surface layer decreased drastically when the soil was covered with mulch. Beneficial effects found by mulching indicate that soil degradation can be partly avoided. Although a higher input of labour will be necessary, mulching appears to improve or at least maintain most chemical, physical and biological soil properties. As long as mulch material can be sufficiently provided, smallholders will be able to remain on their land and keep chemical inputs on an economical level for continuous crop production.

Index terms: Eastern Amazon region, oxisol, organic mulches, soil organic matter, mesofauna, nutrient effects, soil temperature, shifting cultivation.

¹ Part of research work towards Ph. D. thesis (unpublished) supported by GTZ (German Agency for Technical Cooperation), EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) and Justus-Liebig University.

² Research Agronomist, Justus-Liebig-Universität Giessen, Wiss. Zentrum Tropeninstitut, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Schottstr. 2, D 6300 Giessen, F.R.G.

³ Professor for Tropical and Subtropical Agronomy, Dotor, Justus-Liebig-Universität Giessen, Wiss. Zentrum Tropeninstitut, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Schottstr. 2, D 6300 Giessen, F.R.G.

EFETO DE DIFERENTES MATERIAIS DE COBERTURA MORTA NAS PROPRIEDADES DO SOLO E PRODUÇÃO DE MILHO (*Zea mays*) E CAUPI (*Vigna unguiculata*) EM LATOSSOLO DA AMAZÔNIA ORIENTAL

RESUMO: A degradação do solo é um problema que ocorre na maioria dos solos amazônicos quando pequenos produtores praticam o sistema da queima para o cultivo. Foi conduzido um experimento para testar a eficiência da cobertura morta com o objetivo de desenvolver alternativas apropriadas para manter ou aumentar a fertilidade do solo. Puerária (*Pueraria phaseoloides*), capim elefante (*Pennisetum purpureum*), invasoras de pouca idade, dois tipos de casca (partes verdes), casca de arroz e palha e sabugo de milho foram utilizados como cobertura morta aplicados nas quantidades de 10 t/ha de matéria seca com dois níveis de adubação em Latossolo Amarelo (Oxisolo) no Campo Experimental da EMBRAPA-CPATU no município de Capitão Poço, Pará, Brasil. Foi observado um incremento dos macronutrientes mais assimiláveis e da matéria orgânica nas parcelas com cobertura morta. Cobertura morta de puerária sem adubação química resultou em produções de milho (*Zea mays*) significativamente mais alta. Estas produções representam 95% das obtidas com adubação completa. Somente 80 kg/ha de milho e 7 kg/ha de caupi (*Vigna unguiculata*) foram produzidos na testemunha sem adubação. O efeito nutricional da cobertura morta se fez sentir com menor intensidade na cultura seguinte de caupi devido à lixiviação e rápida decomposição do material usado durante os primeiros meses depois da aplicação. Os materiais de cobertura de maior resistência à decomposição mostraram um efeito menor no rendimento de milho mas proporcionaram produções de caupi maiores do que aqueles que foram quase completamente decompostos durante o primeiro cultivo. O uso de cobertura morta influenciou positivamente na presença da mesofauna do solo e aumentou a respiração edáfica (evolução de CO₂) o que indica uma maior atividade microbiana. Parcelas com cobertura morta mostraram teores maiores de carbono orgânico (C) que foram positivamente correlacionados (ao nível de 1%) com os valores da capacidade de troca de cátions (CTC) da camada superficial do solo. A retenção de água na camada de 0-10 cm do solo foi em média 3,3% maior nas parcelas com cobertura morta em comparação ao solo desnudo durante a época seca. A temperatura do solo na camada superficial diminuiu drasticamente no solo coberto. Os efeitos benéficos do uso de cobertura morta indicam que a degradação do solo pode ser em parte evitada. Não obstante a necessidade de um maior "input" de mão-de-obra, o uso da cobertura morta parece melhorar ou pelo menos manter a maioria das características químicas, físicas e biológicas do solo. Enquanto os materiais de cobertura podem ser conseguidos em quantidade suficiente, pequenos produtores poderão permanecer em suas áreas com o uso de adubações químicas num nível econômico capaz de manter uma produção contínua em cultivos sucessivos.

Termos para indexação: Amazônia oriental, latossolo, cobertura morta, matéria orgânica, mesofauna, nutrientes, temperatura do solo, agricultura itinerante.

INTRODUCTION

Problems of deforestation and agriculture have become more and more obvious in the Amazon region with further developments in landscape management and urban planning during the past twenty years. The low fertility of most Amazon soils (Falesi 1974) prevents smallholders from a continuous crop production, forcing them to carry on with the traditional shifting cultivation. The problems of this

slash-and-burn clearing method — a rapid decline of soil-fertility mainly caused by nutrient leaching, invading weeds and losses of organic matter — have been repeatedly documented (Nye & Greenland 1965, Weischet 1980, Sioli 1983).

The use of mineral fertilizers is likely to be limited by poor infrastructure and often by high prices. Moreover, disposable land is getting scarce which leads to permanently shortened fallow/periods on previously cleared areas, thus causing further soil degradation.

The development of alternative farming systems is therefore necessary, including an adequate management of soil organic matter. A suitable component of alternative farming systems might be the use for organic mulches. Beneficial effects of mulching in annual crops were documented for soils of Western Nigeria (Lal 1974, Ayanaba & Okigbo 1975) and Western Amazonia (Sanchez 1981, Wade & Sanchez 1983).

This paper reports the initial results of studies on mulching in annual crops in the Eastern Amazon region. Different kinds of organic mulches were applied to study their effects on the improvement of chemical, physical and biological soil properties and their influence on crop production.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was established in the middle of 1982 on an almost level field of the Capitão Poço Experimental Station of the Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (CPATU), Pará, Brazil (1°46'S Lat, 47°04'W Long, 100m above sea level). The texture of the surface layer of the experimental soil is loamy sand changing into clayey sand and sandy clay in the subsurface horizon. The soil is classified as an Oxisol (Yellow Latosol). It is well drained, with high contents of kaolinit (~95%) in the clay-fraction and occasionally occurring lateritic concretions, and also with low effective cation

exchange capacity (CEC) and low reserves of most nutrient elements. Soil pH values of the 0-20 cm layer are approximately 4.8 (H₂) and 4.3 (KCl); treatment with lime was not found necessary as exchangeable aluminium (Al) was < 0.5 m.e./100g. The climate is humid tropical with a mean annual temperature of 26.9° C and a mean annual rainfall of approximately 2200 mm; it belongs to the Ami-group following the classification-system of Köppen (1931). The rainy season includes two growing seasons, from December to April and from May to August; the dry season of approximately four months extends from mid-August to mid-December.

The experiment was arranged in a randomized complete block design with four replications. A two-factor-design was used with different mulch materials as main plots of 6x8m; each main plot was equally divided into mineral-fertilized and non-mineral-fertilized subplots of 3x8 m each. Fertilizing in kg/ha was 120-80-60 NPK for maize and 30-80-60 NPK for cowpea. Nitrogen (N) was applied as urea, phosphorus (P) as triple superphosphate and potassium (K) as KCl (60%).

Simultaneous to seeding, P-fertilizer was applied once to each crop with a hand-seeder (two-store-system) whereas K-fertilizer was applied in two (30/30) and N-fertilizer in three (20/50/50) applications for maize; in cowpea, K and N were applied once. Nutrient additions by mulching are shown in Table 1.

TABLE 1. Some nutrient contents, C/N ratios and nutrient applications of mulches used (analysed before mulch application).

Mulches used	Org. C	Total N	Total P	K	Ca	Mg	C/N	kg/ha at mulch rates of 10 t/ha						(d.w.)
								C	N	P	K	Ca	Mg	
Elephant grass	41.0	1.40	0.21	3.74	0.39	0.13	29	4100	140	20.9	374	39	13	
Pueraria	45.0	2.98	0.16	2.29	0.79	0.17	15	4500	298	15.5	229	79	17	
Weeds	44.0	0.95	0.14	1.21	0.30	0.16	46	4400	95	14.1	121	30	16	
Sec. forest (2-3 yrs.)	45.0	1.74	0.16	1.42	1.30	0.22	26	4600	174	16.5	142	130	22	
Sec. forest (4-5 yrs.)	46.5	1.88	0.10	1.69	0.98	0.19	25	4650	188	10.4	169	89	19	
Rice husks	43.0	0.57	0.08	0.21	0.10	0.03	75	4300	57	7.7	21	10	3	
Maize cobs + husks	45.5	0.66	0.09	0.68	0.09	0.05	69	4550	66	9.4	68	9	5	

The mulch materials used as main plot treatments were 1) elephant grass (*Pennisetum purpureum*) 2) pueraria resp. tropical Kudzu (*Pueraria phaseoloides*) 3) common weeds from a grassland area, 4) 2 to 3-year-old secondary forest (green parts), 5) 4 to 5-year-old secondary forest (green parts), 6) rice husks, 7) maize cobs and husks (threshing residues) and 8) bare soil as control. Elephant grass, pueraria, weeds and the two secondary forest mulches were cut by hand from adjacent areas and carried to the experimental plots, whereas rice husks and maize threshing residues were provided by a rice mill nearby and from the previous maize harvest of the experimental field, respectively. All mulch applications were at the rate of 10 tons/ha of dry matter (d.m.), determined by subsamples at 70° that were also used for analysis. Additional mulch samples were taken from the plots during the growing season.

The experimental area was cleared mechanically of a 5-year-old secondary forest and after having been left in fallow for nearly a year the soil was ploughed to a depth of 20 cm and harrowed twice before the experiment was established. Mulch materials were applied in October after soil samples had been taken for description of the initial nutrient status of the experimental soil.

Maize (cv. BR 5101) was planted with a two-store handseeder in mid-January at intervals of 80 cm between rows and 30 cm within rows; the crop was harvested in mid-May. Cowpea (cv. V-48) was planted at the end of May with the same handseeder as used for maize planting, at intervals of 40 cm between rows and 35 cm within rows; the crop was harvested in mid-August. Maize stover residues were not removed but left on all plots when cowpea was planted. Both crops were grown to maturity. Weeding was done by hand with a chopping knife three times during the growing season.

Grain yields of maize were taken from an 11,5 m² area and adjusted to 14,5% moisture content; those of cowpea were taken from a 9,1 m² area and adjusted to 13% moisture content. Subsamples were taken and oven-dried at 70°C for dry matter determination.

Chemical analysis of plant samples were done at Giessen University. Plant tissue was digested at 550°C by addition of HNO₃ (20%) and was analysed colorimetrically for total P following the yellow ammonium-vanadate-molybdate method, K, Ca and Mg were determined directly by flame photometry. Total N was determined by the micro-Kjeldahl procedure and organic carbon (C) conductometrically by a Wösthoff-apparatus (Schlichting & Blume 1966).

Chemical analysis of soil samples, taken regularly at 0-5 cm, 5-10 cm and 10-20 cm depth, were done in the EMBRAPA-CPATU Soil Laboratory following the methods as described in Guimarães et al. (1970). The samples were air-dried and sieved through a 1 mm mesh. Available P and exchangeable K were extracted with Mehlich extractor solution (HCl 0,05 N and H₂SO₄ 0,025 N) and P then determined colorimetrically using ascorbic acid as the reducing agent while K was determined by flame photometry. Total N was determined by the micro-Kjeldahl procedure and C by the Walkley-Black method (organic matter = % C x 1,724). The determination of the cation exchange capacity (CEC) followed the method as described by Hesse (1971) using sodium (Na) as indices.

Soil respiration (CO₂ — evolution) as an index for microbial activity was determined from 0-5 cm surface layer soil by using a modified Isermeyer-procedure (Isermeyer 1952).

The decomposition rates of mulches used were determined by collecting all present mulch material from the central m² area of each main plot after maize ha-

vest. The material was oven-dried at 70°C for dry matter determination and later transferred back to the experimental plots.

Bi-monthly soil moisture reserves were recorded gravimetrically during the dry season and early rainy season for 0-10 cm and 10-20 cm depths using a Pürkhauer hand auger. Soil temperature measurements were made in a separate weed-mulched plot in absence of canopy cover within 24 hr at 3 and 15 cm depth, using a soil thermograph.

For the quantitative determination of soil mesofauna in the 0-5 cm surface layer of the experimental soil, a modified Berlese — Tullgren procedure was used as described by Dantas (1979). The mesofauna was determined from soil core samples of 7 cm diameter and 5 cm depth which were taken equally from all replications using an Eijkelkamp hand auger and then further treated according to Dantas (1979).

All statistical tests including the t-test, least significant difference (L.S.D.), and correlation and regression, were made at a probability of error of 5% or less. L.S.D. values for comparisons between two-factor treatments of different main plot treatments were hand calculated by the method given by Schuster & Lochow (1979).

RESULTS AND DISCUSSION

Properties of Used Mulches

By using mulching materials of different nutrient contents, different quantities of nutrients were applied to the soil (Table 1). The fertilizing effect of the decomposing and leaching mulches were generally comparable to common mineral fertilizing except for P, which was insufficiently added in all treatments. Apart from N, P and K also considerable amounts of Ca and Mg were applied. On an average 4.5 t/ha of organic carbon were added to the soil. The C/N ratios of the

materials used varied from 15 (*Pueraria*) to 75 (rice husks) and were negatively (but not significantly) correlated with the decomposition rates found for the used mulches. When maize was harvested, the percentage of initially applied mulch (10 t/ha) that had decomposed was 72% for elephant grass, 90% for *pueraria*, 84% for weeds, 48% for secondary forest of 2 to 3 years, 51% for secondary forest of 4 to 5 years, 45% for rice husks, and 68% for maize cobs and husks.

The used mulches were heavily leached during the first months, especially at the beginning of the rainy season. Four months after the mulch application, average losses of 26% of N, 50% of P and 90% of K of the initial nutrient contents were found. Ca and Mg were more resistant to leaching.

Changes in Chemical Properties of the soil.

Topsoil dynamics of several chemical properties as influenced by the mulch materials used are shown in Table 2. The data represent the soil status of the non-mineral-fertilized plots 8 months after mulch application.

Contents of C increased on an average by 15% in mulched plots whereas they decreased in bare soil by 14%, compared to the initial contents. N decreased in all treatments, in bare soil more than in mulched plots. The initial content of N, as well as that of P and K, might be considered as partly derived from decomposing plant material which had been ploughed under during the field preparation.

The decline of N involved wider C/N ratios in all plots, which were also induced by increased contents of C in mulched plots. Mulch materials with high C/N ratios of the plant tissue like rice husks and maize cobs and husks also caused wider C/N ratios in topsoil (< 20), showing an effect of a microbial N-immobilization which might indicate N deficiency. This

TABLE 2. Effects of different mulches on some chemical properties of 0-5 cm layer of an eastern Amazon Oxisol (Analysed 8 months after mulch application from plots without mineral fertilizers).

Mulch used (10 t/ha of d.m.)	Org.C (%)	Tot.N (%)	C/N ratio	P ₂ O ₅ (mg/100g)	K (meq/100g)	Soil Respiration (mg CO ₂ /100g)	CEC (meq/100g)
Elephant grass	1.44	0.073	20	0.26	0.26	62.12	10.54
Pueraria	1.35	0.081	17	0.29	0.18	53.75	9.53
Weeds	1.50	0.076	20	0.33	0.14	64.37	9.73
Sec. forest (2-3 yrs.)	1.41	0.084	17	0.37	0.19	57.69	10.14
Sec. forest (4-5 yrs.)	1.38	0.078	18	0.29	0.17	54.07	9.93
Rice husks	1.69	0.067	25	0.26	0.16	84.80	10.74
Maize cobs + husks	1.54	0.073	21	0.29	0.19	58.44	10.14
Bare soil	1.10	0.059	19	0.10	0.10	27.08	7.30
Initial (before mulching)	1.28	0.095	13	0.37	0.17	-	8.72

phenomenon known from experiments involving straw manuring without compensating N-fertilizing.

Available P declined less in mulched plots or was maintained on the same level compared to the bare, unfertilized soil. Values of exchangeable K increased or showed rates of decline in mulched plots compared to the control.

Bare soil values of N, P and K indicated deficiency of these nutrients as verified by corresponding appearance in the crops grown on these plots, whereas crops grown in unfertilized mulched plots showed only slight signs of P-deficiency, indicating P as the limiting factor. Dynamics of chemical properties in the 5-20 cm layer of unfertilized plots were less affected by mulch than those in the surface layer, but showed similar results.

In fertilized plots only slight differences of N, P and k contents found between mulched and bare treatments in the investigated layers. Contents of carbon increased less in fertilized and mulched plots than in unfertilized, mulched plots, but showed approximately the same decline in bare soil as in the unfertilized control. The CEC-values of the topsoil increased

on an average by 15,8% (1,39 meq/1000g) in mulched plots and declined by 16,3% (1,42 meq/100 g) in bare soil, compared to the initial status. Along with the lowest effect on the contents of C in the topsoil, *Pueraria* mulch also had the lowest effect on CEC-values, whereas rice husks had the best. Nutrient contents found in mulched plots of both fertilizer treatments indicated a well-balanced nutrient status, favored by increased CEC and C, thus providing better conditions for the succeeding crop.

Changes in Biological Properties of the Soil

Soil respiration measured as the rate of CO₂ - evolution from topsoil was drastically increased and gave values 2 to 3 times higher in mulched plots compared to bare soil, as shown in Table 2. This indicates a higher microbiological activity induced by mulch and its decomposition, thus favoring the microbial build-up of organic matter (especially of humic substances), the increase of CEC and the gradual release of available plant nutrients.

The influence of mulching on the presence of soil mesofauna is shown in Table

3. The results were found in topsoil samples taken eight months after mulch application. All investigated taxonomic groups of mesofauna were usually represented by a larger number of species in mulched plots than in the bare soil. The mulches used showed about 2 to 10 times higher numbers of mesofauna except for pueraria mulch, which was almost decomposed when the soil was investigated. Species of Acari were most frequently represented among all other groups followed by those of Collembola, Coleoptera (larva) and Corrodentia. Species of Diplopoda, which represent an important group of detritivores, were also found in all mulched plots,

whereas none was found in the control. The highest numbers of mesofauna species, mainly represented by Acari, were found in plots covered with rice husks; here the number of Acari were approximately five times higher than those of otherwise mulched plots.

Most of the recorded species of mesofauna are expected to play a direct or indirect role in the (primary) decomposition of mulch or naturally occurring litter, although the species of each taxonomic group were not subdivided into predators and detritivores, which might have been important especially in the case of Acari.

TABLE 3. Mesofauna in 1000 cm soil from 0-5 cm layer of an Eastern Amazon Oxisol as influenced by different mulches (8 months after mulch application).

Mesofauna (Taxonomic groups)	Mulch used							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Acari	306	169	422	397	264	1512	357	130
Collembola	67	31	40	27	28	62	30	11
Diplura			1	1	1			
Protura		4	12	3	7	2	7	
Coleoptera (adult)	11		1	3	1	5	2	3
Coleoptera (larva)	7	10	15	13	15		8	4
Corrodentia	9	4	9	15	8	13	2	2
Diptera (adult)	6	3	1	2		2		1
Diptera (larva)	1					1		
Homoptera	2	5	2	1	3		1	1
Hymenoptera (Formic.)	2		2	3	14	2	1	
Chilopoda	1				1			
Diplopoda	2	7	9	14	1	3	3	
Paupoda		1	3		6			
Total	414	234	517	479	349	1602	411	152

1= elephant grass; 2= Pueraria; 3= weeds; 4= sec. forest (2-3 yrs. old); 5= sec. forest (4-5 yrs. old); 6= rice husks; 7= maize cobs + husks; 8= bare soil.

Intercorrelations between Soil Properties

From Table 4, showing the correlation matrices between the soil variables of Table 2 and 3, the relative importance of some soil parameters affected by mulching can be assessed. The values of the total mesofauna are significantly correlated with the soil respiration values ($r = 0,83$) the contents of C ($r = 0,78$) and the C/N ratios ($r = 0,84$). This shows the role of mesofauna in decomposition processes and in the direct or indirect build-up of soil organic matter. Soil respiration is fairly significantly correlated with the contents of C ($r = 0,96$) and the VEC values ($r = 0,89$). Therefore, the microbial activity might be considered as a factor in soil fertility restoration by building up organic matter and increasing the cation

exchange capacity at the same time. The high correlation found between respiration values and the contents of C confirm the results of Ayanaba et al. (1976), who examined the respiration of soil organisms as an index of the level of organic matter. Significant correlations were found between the values of C and CEC ($r = 0,88$). This shows the important role of organic matter for storing up nutrients and improving their availability, as verified by the significant correlation found between CEC and the contents of exchangeable K ($r = 0,72$). The contents of total N and available P are also significantly correlated ($r = 0,90$). The positive correlations found between C and P ($r = 0,55$) and CEC and P ($r = 0,71$) indicate the effect of C and CEC on available P. Singh et al. (1983) found C and CEC of the same soil significantly correlated with the sorption of P.

TABLE 4. Intercorrelations (r) between some soil properties of 0-5 cm layer of an Eastern Amazon Oxisol as affected by different mulches (8 months after mulch application).

	1	2	3	4	5	6	7	8
	MES	CO ₂	OC	CEC	N	C/N	P	K
1	1	0,83**	0,78*	0,55	-0,20	0,84**	0,12	0,00
2		1	0,96**	0,89**	0,27	0,64	0,55	0,40
3			1	0,88**	0,23	0,68	0,55	0,37
4				1	0,53	0,35	0,71*	0,72*
5					1	-0,55	0,90**	0,48
6						1	-0,21	-0,05
7							1	0,43
8								1

MES = Total mesofauna;
OC = Organic carbon;
N = Total nitrogen;
P = Avail. phosphorus

CO₂ = Soil respiration (CO₂-evolution)
CEC = Cation exchange capacity
C/N = C/N ratio;
K = Exchangeable potassium

* Significant at the 5% confidence level ($r = 0,71$)

** Significant at the 1% confidence level ($r = 0,83$)

Changes in Physical Properties of the Soil

The effect of mulch treatments on soil moisture reserves was investigated during the dry season and the beginning of the rainy season. During the dry season, soil water reserves were on an average 11,2% in the 0-10 cm layer and 11,3% in the 10-20 cm layer of mulched plots, whereas bare soil values were 7,9% (-3,3%) and 9,5% (-1,8%), respectively; these values are similar to those found by Maurya and Lal (1981). Topsoil moisture reserves of bare soil fell below the permanent wilting point, which was found to be at 8,8% moisture content. The best effect on soil moisture conservation was found for pueraria mulch, whereas the lowest was for maize cobs and husks.

During the beginning of the rainy season, slight differences were found between mulched and bare plots. Mulched plots had on the average soil moisture reserves

of 17,6% in the 0-10 cm layer and 16% in the 10-20 cm layer, whereas respective values of 16,3% and 17% were found in bare soil. These values are close to the field capacity of the soil, which indicates the negligible effect of mulching on soil moisture reserves during the rainy season. In periods of heavy, continuing rainfall a negative effect of mulching might become obvious when mulch prevents the soil from quick drying, thus causing waterlogging and anaerobic conditions in the soil.

The effect of mulch on soil temperatures is shown in Fig. 1. Soil temperatures measured during 24 hours on a sunny day in two different depths were drastically decreased when the soil was covered with weed-mulch applied at a rate of 10 t/ha of dry matter. A maximum temperature of 36,7° C was measured in 3 cm depth in bare soil, whereas the mulched treatment reached a maximum temperature of 30,5° C at the same depth. Linde (1982) found similar results in the Western Amazon region.

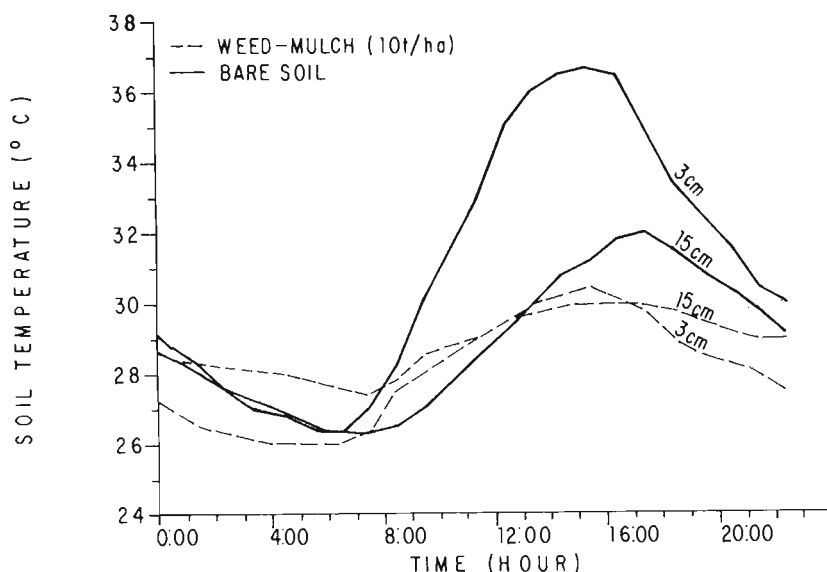


FIG. 1. Effect of weed-mulch on soil temperatures of an Eastern Amazon Oxisol in 3 and 15 cm depth during 24 hours on a sunny day, August 1983.

Climatic data of the day when soil temperatures were measured (24.08.1983):

Precipitation (mm,0,0; air temperature (°C) max. 32,0/min. 20,4; rel. atm. humidity (%) at 9,30h: 81/14,30h: 52; Evaporation (Piche) 3,4; sunshine (h/day) 9,2; global radiation (ly - day⁻¹) 462,1,

The temperatures at 15 cm depth were less affected, reaching a maximum of 30°C in the mulched soil and 32°C in the bare soil. Temperatures found in mulched soil showed a more level course during 24 hours but oscillated by about 10 degrees in the topsoil of the control, remaining for more than 12 hours above the optimum soil temperature of 30°C.

Grain yield

Grain yield was significantly affected by mulching treatments as shown in Table 5. Maize planted as the first crop after mulch application was conspicuously more affected by mulching than cowpea,

due to high leaching and decomposition of mulch materials during the first growing season. Mulches with high decomposition rates affected the yields of maize more than mulches which were more resistant to decomposition. A more or less reverse effect was found in the yields of cowpea, especially in the case of pueraria and rice husks. When mineral fertilizer was applied, significant differences in maize yield were found in mulches plots using pueraria, weeds, maize cobs and husks and elephant grass, compared to the bare soil. Mulched plots produced between 24% (rice husks) and 61% (pueraria) more maize than the control, which produced 3539 kg/ha.

TABLE 5. Yield response (kg/ha) of maize and cowpea to different mulch materials and mineral fertilizer in an Eastern Amazon Oxisol, Capitão Poço (CPATU), Pará Brazil, 1983.

Mulch used (10t/ha of d.m.)	First crop (Maize)*		Second Crop (Cowpea)**	
	NPK 120-80-60	NPK 0-0-0	NPK 30-80-60	NPK 0-0-0
Elephant grass	4646	2144	1227	80
Pueraria	5697	3342	1187	114
Weeds	4911	2215	1394	105
Sec. forest (2-3 yrs.)	4462	1560	1191	35
Sec. forest (4-5 yrs.)	4479	1807	1397	95
Rice husks	4398	1146	1487	163
Maize cobs + husks	4863	2101	1302	41
Bare soil	3539	78	1169	7
L.S.D. 5 %	987		281	
L.S.D. 1 %	1321		376	
L.S.D. 0,1 %	1729		493	

* = grain moisture content 14,5%

** = grain moisture content 13%.

In plots without mineral fertilizer application, highly significant differences in maize yield were found for all kinds of mulches compared to the control. The former produced 15 (rice husks) to 43 (pueraria) times more than achieved with bare plots, which produced only 78 kg/ha of grain. This fact may demonstrate the naturally low fertility status of the soil. It also shows that the fertilizing effect of mulch generally corresponds with common mineral fertilizer applications. With pueraria mulch and no further chemical inputs, a maximum production of 3342 kg/ha was achieved, i.e. about 95% of the yields achieved with completely fertilized, bare plots. In a Paleudult of the Western Amazon region, using 8 t/ha of green material of pueraria mulch, Wade & Sanchez (1983) obtained 81% of the yields achieved on completely fertilized, bare soil (mean of five consecutive crops).

The used mulch materials, except those of maize cobs and husks, showed the same sequence of efficiency in increasing the yield of maize in both fertilizer treatments.

As shown in Table 5, the effect of mulching on the yield of cowpea was significantly less, compared to that of maize, due to the reasons mentioned above. In mineral-fertilized plots, none of the mulching treatments, except that with rice husks, achieved yields significantly different from the control. Mulched plots produced between 1,5% (pueraria) and 27% (rice husks) more than bare soil which produced 1169 kg/ha.

No significant differences were found for the yields of cowpea obtained without mineral fertilizer inputs. Nevertheless, a clear residual effect of mulching could still be noticed in both fertilizer treatments in comparison with bare soil.

Mineral fertilizer caused a fairly significant increase in the yields of both crops in all treatments; the bare soil was almost 100 times more affected than the mulch-treated soil.

The low cowpea yields of 7 kg/ha, achieved on unfertilized, bare soil, and 163 kg/ha as the best result received from mulched plots (rice husks), indicate the insufficient effect of mulching on the second crop when mulch is applied only once and no further fertilizer application is done.

For practical purposes, we conclude that mulch should be either applied in adequate quantities to each crop or, if applied once a year, compensated by additional fertilizer inputs to the second crop. In any case, an additional P-fertilization is recommended as P is limited even in mulched soils. A compensating fertilization of N is indicated when mulches of a wide C/N ratio are used. Mulches which are more resistant to decomposition have a lower fertilizing effect but maintain chemical, physical and biological effects for a longer time than fast-decomposing mulches. Although mulches of a less nutrient-efficiency require an additional application of mineral fertilizers, they may affect the nutrient-availability by an improved CEC, thus making possible an economical input of chemicals.

REFERENCES

- ANAYANBA, A. & OKIGBO, B.N. Mulching for improved soil fertility and crop production. Organic material as fertilizers. *Soils Bull.*, 27:97-119, 1975.
- ANAYANBA, A.; TUCKWELL, S.B. & JENKINSON, D.S. Effects of clearing and cropping on organic reserves and biomass of tropical forest soils. *Soil Biol.*, 8:209-13, 1976.
- DANTAS, M. Pastagens da Amazônia Central: Ecologia e fauna do solo. *Acta Amaz.*, 9(2):5-54, 1979. Suplemento.
- FALESI, I.C. *Amazônia: a terra é pobre*. Rio de Janeiro, Opinião, 1974.

- GUIMARÃES, G. de A.; BASTOS, J.B. & LOPES, E. de C. **Métodos de análise física, química e instrumental de solos.** Belém, IPEAN, 1970. 108p. (IPEAN. Química de Solos, v.1, n.1).
- HESSE, P.R. Cation exchange capacity. In: **A textbook of soil chemical analysis.** London, J. Murray, 1971. p.101-3.
- ISERMEYER, H. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodernatur und der Carbonate im Boden. **Z. fuer Pflanzenernähr. Dueng., Bodenk.,** 6:26-38, 1952.
- KÖPPEN, W. **Outline of climatology.** 2.ed. Berlin, Walter de Gruyter, 1931.
- LAL, R. Soil temperature, soil moisture and maize yield from mulched and unmulched tropical soils. **Plant and Soil,** 40(1):129-43, 1974.
- LINDE, W. **Agronomische Studien Über den Kartoffelanbau in Yurimaguas, Amazonasbecken, Peru.** Justus-Liebig, Universität Gießen, F.R.G., 1982.
- MAURYA, P.R. & LAL, R. Effects of different mulch materials on soil properties and on the root growth and yield of maize (*Zea mays*) and cowpea (*Vigna unguiculata*). **Field Crops Res.,** 4:33-45, 1981.
- NYE, P.H. & GREENLAND, D.J. **The soil under shifting cultivation.** Farnham Royal, CAB, 1965. 156p. (CAB. Technical Communication, 51).
- SANCHEZ, P.A. Soil management in the oxisol savannas and ultisol jungles of tropical South America. In: GREENLAND, D.J. ed. **Characterization of soils.** Oxford, Clarendon, 1981. p.214-53.
- SCHLICHTING, E. & BLUME, H.-P. **Bodenkundliches Praktikum.** Hamburg, Paul Parey, 1966.
- SCHUSTER, W. & LOCHOW, J. von. **Anlage und Auswertung von Feldversuchen.** 2. Aufl. Frankfurt, Verlag, 1979.
- SINGH, R.; MÖLLER, M.R.F. & FERREIRA, W. de A. Características da sorção do fósforo relacionadas com propriedades selecionadas de solos dos trópicos úmidos da Amazônia. **R. Bras. Ci. Solo,** 7(3):233-41, 1983.
- SIOLI, H. **Amazonien — Grundlagen der Ökologie des größten tropischen Waldlandes** Paperback der Zeitschrift **Naturwissenschaftliche Rundschau.** Stuttgart, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, 1983.
- WADE, M.K. & SANCHEZ, P.A. Mulching and green manure applications for continuous crop production in the Amazon Basin. **Agron. J.,** 75(1):39-45, 1983.
- WEISCHET, W. **Die ökologische Benachteiligung der Tropen.** 2. Aufl. Stuttgart, B. G. Teubner, 1980.

PESQUISAS DE REVESTIMENTO VEGETAL DE TALUDES NA AMAZÔNIA

Hitoshi Mário Saito¹, C.C. Shock¹ e F.P. Bosshart¹

RESUMO: A contenção de taludes e encostas de ferrovias, rodovias e obras industriais é uma necessidade em face dos problemas econômicos que causam devido à erosão, além do assoreamento de mananciais, com danos irreparáveis à ecologia. Isto é agravado na região amazônica, visto as condições edafoclimáticas serem extremamente adversas à revegetação dos taludes. Os taludes são seriamente erodidos devido à alta e intensa pluviosidade, sistemas de drenagem deficientes e declividade inadequada, conjugada com solos inférteis, com acentuado teor de alumínio trocável e fortemente ácidos. As pesquisas desenvolvidas no Amazonas-Roraima (Rodovia Manaus-Porto Velho) e Maranhão-Pará (Projeto Ferro Carajás), nos últimos dez anos, objetivaram avaliar e identificar os fatores limitantes na implantação e manutenção de gramíneas e leguminosas, e solucioná-los ou minimizá-los através de materiais e metodologia apropriada. Para identificar esses problemas, a análise química e física dos solos foi o fator chave. Ensaio de adubação e correção foram conduzidos; plantas foram avaliadas em função das características reprodutivas e de crescimento, da adaptabilidade, da eficiência de cobertura do solo, e da viabilidade e disponibilidade de material de plantio. As manutenções necessárias, especialmente adubação e controle de pragas e doenças, foram outros aspectos pesquisados. Os solos de corte comparativamente aos de aterro, são em geral mais ácidos, com teores variáveis e altos de alumínio (Al), baixos em matéria orgânica, em fósforo (P), em potássio (K), em cálcio (Ca) e em magnésio (Mg). A textura varia de extremamente arenosa a areno-argilosa. Dentre os nutrientes, o P se destacou pela alta resposta pelas plantas, seguindo-se o N (particularmente pelas gramíneas); o calcário dolomítico não apresentou resposta expressiva como corretivo, mas proporcionou Ca e Mg e reduziu o teor de Al. O enxofre (S) foi importante, assim como o zinco (Zn), em menor grau. Dentre as gramíneas, espécies de *Brachiaria* e o capim gordura (*Melinis minutiflora*) se destacaram com melhor comportamento e eficácia no controle da erosão. Dentre as leguminosas, as mais adaptadas foram espécies de *Calopogonium*, *Dioclea* (nativa), *Canavalia*, *Pueraria* e *Galactia*.

Termos para indexação: Amazônia, erosão, taludes, rodovia BR-319, projeto ferro Carajás, forrageiras, fertilidade de solos.

REVEGETATION RESEARCH OF SLOPES IN THE AMAZON

ABSTRACT: The stabilization of slopes and embankments in rail-roads, highways and industrial constructions is a necessity in face of the economic problems created due to erosion, as well as the silting of water sources, resulting in irreparable damage to the ecology. This is aggravated in the Amazon Region because the edaphoclimatic conditions are extremely adverse to slope revegetation. The slopes are seriously eroded due to high and torrential rainfall, poor drainage systems, inadequate declivity, combined with infertile, strongly acidic sub-soils with high exchangeable aluminum levels. The research conducted in Amazonas-Roraima (Manaus-Porto Velho highway) and Maranhão-Pará (Carajás Iron Ore Project) during the last 10 years,

¹Eng. Agr. Instituto de Pesquisas IRI. Caixa Postal 91. CEP 15990. Matão, SP.

had in view the evaluation and identification of the limiting factors in the implantation and maintenance of grass and legumes, and to resolve or to minimize them through suitable materials and methodology. To identify these problems, the physical and chemical analysis of the subsoils was the key factor. Fertilizing and liming trials were made; plants were evaluated for their growth and reproductive characteristics, adaptability, efficiency in ground coverage, viability and availability of planting material. Plant maintenance requirements, particularly fertilizer and pest and disease control were other aspects investigated. The cut slopes in comparison to the fills are, in general, more acid, with variable and high aluminum (Al) contents, low in organic matter, phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg). The soil consistency ranges from sandy to sandy-clay. The response of the plants to P stood out, followed by N particularly for the grasses; dolomitic limestone did not show a significant response as a soil corrective but provided Ca and Mg and reduced the Al content. Sulphur (S) was important as well as zinc (Zn) to a lesser degree. Of the grasses, the *Brachiaria* species and molasses grass (*Melinis minutiflora*) gave the best performance considering their behaviour and effectiveness in the control of erosion. Among the legumes, the best adapted were *Calopogonium*, *Dioclea* (native), *Canavalia*, *Pueraria* and *Galactia* species.

Index terms: Amazonia, erosion, slopes, BR-319 road, Carajás iron project, forages, soil fertility.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico do controle de erosão em taludes através de revestimento vegetal no Brasil tem se limitado, com raras exceções, em tentativas de empreiteiras envolvidas em grandes obras rodoviárias e ferroviárias, sem o suporte de estudos específicos nessa área.

Na Amazônia, as condições do meio ambiente são particularmente adversas devido ao regime e intensidade das chuvas, agravado pela alta erodibilidade dos taludes e baixa fertilidade dos subsolos. Isto limita o ressurgimento da vegetação natural, e exige alta tecnologia especializada.

Há mais de dez anos, o Instituto de Pesquisas IRI vem desenvolvendo pesquisas no Sul e Norte do Brasil, selecionando, para cada região e condições, os materiais e metodologia mais apropriados e eficientes para revestimento vegetal, assim como a manutenção correspondente.

Na Amazônia, os estudos abrangeram a rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319) de 1975 a 1978, e a Estrada de Ferro Carajás (Serra de Carajás/PA a São Luís/MA) de 1982 a 1984.

Este trabalho descreve a metodologia, os princípios que norteiam o direcionamento deste tipo de pesquisa e alguns dos principais resultados.

MATERIAL E MÉTODOS

Rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319)

Na BR-319, os ensaios foram desenvolvidos no trecho de Manaus (AM) a Porto Velho (RO) de 860 km, e selecionados taludes de corte, de aterro ou encostas representativas de cada situação, e a área experimental concentrada nas proximidades do km 110 (Castanho) Saito et al. (1978). Essa área apresenta as seguintes características: localização - latitude 3°53'S, longitude 60°25'O; temperatura média anual de 26°; U.R. 83%; e pluviosidade de 2.100mm/ano, concentrada no período de outubro a maio, com o auge da seca em agosto.

Embora os trabalhos tenham sido conduzidos em subsolos expostos, o solo é predominantemente latossolo amarelo, com ocorrência esporádica de solos hidromórficos nas proximidades de Manaus e rios cortados pela BR-319.

Inicialmente, foram selecionadas plantas apresentando características desejáveis como: agressivas e de rápido crescimento, estoloníferas, baixa exigência nutricional, resistentes a pragas e doenças, tolerantes ao fogo, e baixa exigência de manutenção (controle de ervas daninhas, podas, etc.); além de adaptabilidade ao clima local. Nesse sentido, foram avaliadas 209 intro-

duções de gramíneas e leguminosas, das quais, 122 exóticas do Brasil e do Exterior, e 87 nativas da região.

Paralelamente, os fatores limitantes do subsolo foram identificados através de amostragem e análise, no total de 128 amostras compostas, assim como através de quatro ensaios laboratoriais.

Integrando as plantas mais adaptadas, meios e taxas de adubação e correção, foram conduzidos ensaios para determinar os níveis de nutrientes e corretivos mais adequados analisando-se desde crescimento em altura, perfilhamento, cobertura do solo, tolerância a pragas, a doenças e submersão pelas enchentes, até a consorciabilidade entre gramíneas e leguminosas. Métodos de plantio manual ou mecanizado, em sulcos, covas ou a lanço, aliado a materiais auxiliares de cobertura foram testados, inclusive o uso de sementes, mudas, estolões e respectivas taxas de semeadura ou plantio; cobertura morta e hidroasfalto em diferentes concentrações (Projeto... 1977).

Estrada de Ferro Carajás (EFC)

Na EFC, os ensaios foram desenvolvidos na região de São Luís-MA e Serra de Carajás-PA, além do trecho inicial (Saito 1984). A precipitação média anual é de aproximadamente 2.000 mm a 2.220 mm, concentrada no período de janeiro a junho, e de outubro a abril, respectivamente, embora no período de 1982 a 1984 a intensidade e distribuição das chuvas tenha sido menor e atípica.

As características dos subsolos eram semelhantes aos da BR-319, conquanto os taludes arenosos predominassem na área do terminal marítimo e trecho inicial da ferrovia; variando de areno-argiloso ao longo da ferrovia a argilo-arenoso na Serra.

Os subsolos da região de São Luís são ácidos, baixo teor de matéria orgânica, de fósforo (P), de potássio (K), de cálcio (Ca), de magnésio (Mg) e teores relativamente toleráveis de alumínio (Al). Os da Serra apre-

sentam fertilidade um pouco melhor, com pH médio de 5,3 e teores de matéria orgânica não superior a 1,5% nos cortes e de 4% a 8% nos aterros ou solos recém-desmatados; baixo em P, em K, em Ca, em Mg; e teores de Al atingindo até 1,5 e.mg/100 ml TFSA.

A metodologia de trabalho foi semelhante à adotada na BR-319, e no total, foram instalados cinco ensaios de campo em São Luís e oito na Serra, além de nove ensaios em vasos.

Para seleção de plantas, foram realizadas cerca de 142 introduções de gramíneas e leguminosas, das quais, seis nativas da região de São Luís; na Serra, cerca de 81 introduções, sendo 74 exóticas e sete nativas da região.

Em fertilidade de solos, foram determinados níveis apropriados de N, P, K, e cálcio dolomítico, além do efeito dos micronutrientes zinco (Zn), manganês (Mn), cobre (Cu), boro (B), cobalto (Co) e molibdênio (Mo).

Materiais auxiliares de cobertura como casca de arroz, folha de babaçu triturada, aparas de dormentes e de madeira, hidroasfalto, em diferentes taxas e concentrações foram testados em ambas as regiões, utilizando-se mistura de gramíneas e leguminosas como indicadores.

RESULTADOS

BR-319

Seleção de Plantas

Relacionamos as plantas que apresentaram as melhores características e adaptabilidade. Gramíneas: *Homolepis aturensis*, *B. humidicola*, *B. decumbens*, *B. brizantha*, *B. ruziziensis*, *A. obtusifolius*, *P. notatum*, *D. diversinervis*, *D. swazilandensis*, *D. pentzii*, *Brachiaria* sp. IRI 668, *Axonopus* sp. IRI 724, *P. aquaticum*, *E. curvula* e *P. conjugatum*. Leguminosas: *D. lasiocarpa* (nativa) e *P. phaseoloides* IRI 2974, 1298 e 3010, além de *C. mucunoides*, *C. pubescens*,

Crotalaria sp. IRI 2982, *Z. lorantensis*, *S. guyanensis* e *C. brasiliensis* (Hollick et al. 1978).

Fertilidade de Solo

Os ensaios de campo utilizando algumas das gramíneas e leguminosas mais promissoras forneceram os seguintes resultados (Hollick et al. 1978):

N: Testados níveis de 25, 50, 75 e 100 kg/ha na forma de sulfato de amônia, uréia e na composição da fórmula comercial 12-28-14. Conquanto a de 100 kg/ha tenha proporcionado o mais rápido desenvolvimento inicial pelas plantas, seu efeito declinou rapidamente, comparativamente às taxas de 50 e 75 kg/ha em conjunto com outros nutrientes como o fósforo. A faixa de 50 a 75 kg/ha foi a de melhor resultado, e o sulfato de amônia foi benéfico devido ao teor de enxofre.

P: Foi o nutriente que mais se destacou. Testadas taxas de 50, 100 e 150 kg/ha de P_2O_5 na forma de superfosfato simples e triplo, e os melhores resultados foram obtidos com a de 150 kg/ha, na presença de N, K e calcário.

K: Testados níveis de 25, 50, 75, 100 e 150 kg/ha de K_2O . A dosagem mais apropriada situou-se entre 50 e 100 kg/ha, e esse nutriente foi de importância especial às leguminosas.

S: Taxas de 30 e 57 kg/ha através de sulfato de amônia ou flor de enxofre. Não foi constatada vantagem pelo uso da taxa de 57 kg/ha e recomendam-se níveis mínimos de 30 a 40 kg/ha, em face da grande capacidade de fixação pelos subsolos da BR-319.

Calcário dolomítico: Taxas variáveis de 500, 600, 1.000, 1.500 e 2.000 kg/ha, e com teor de 35% de CaO e 19% de MgO . Os melhores resultados foram obtidos com taxas de 1.500 a 2.000 kg/ha, embora pouco superiores à de 1.000 kg/ha. Em face da variabilidade dos subsolos, a taxa adequada situa-se na faixa de 500 a 1.500 kg/ha.

Micronutrientes: Testou-se resposta a Zn, Cu, B e Mo, à razão de 10, 5, 10 e 1

kg/ha e na forma de sulfato (zinco e cobre), bórax e molibdato respectivamente, além de Fe e Mn através de fritas (FTE BR-8 e 12), à razão de 50 kg/ha. A utilização de fritas foi a de maior conveniência em face da praticidade, e o Mn foi bastante importante às leguminosas (deficiência constatada por sintomas e análises foliar), Hollick et al. (1978).

Métodos de Plantio

Dentre os métodos testados (1. mudas e sementes em sulcos, manual; 2. mudas a lanço, mecanizado; 3. sementes a lanço, mecanizado; e 4. hidrossemeação), os de maior eficiência, embora de maior custo foram os métodos 1 e 2. O método 4, embora de menor custo de execução, exigiu adubação/correção (incorporada) preliminar no subsolo ou posterior aplicação pesada em cobertura para persistência satisfatória da cobertura vegetal (Hollick et al. 1978).

Estrada de Ferro Carajás (EFC)

Seleção de Plantas

Proporcionadas condições mínimas de fertilidade e umidade, apresentaram comportamento satisfatório as seguintes gramíneas na região de São Luís: *B. brizantha*, *B. decumbens*, *B. humidicola*, *Bracharia* sp. IRI 669, *C. dactylon*, *C. dactylon* cv. Swannee, *C. plectostachyus*, *D. decumbens* cv. transvala, *M. minutiflora*, *P. coryphaeum* CPATU 262, *P. notatum* cv. Batatais, *P. pilosum* CPATU 778, *P. secans* CPATU 262, e *P. maritimum* (nativa). Na serra, acrescentam-se além destas, exceto o *P. maritimum*, os seguintes: *B. ruziziensis*, *C. dactylon* cv. Cost Cross, *E. curvula*, *H. altissima*, *P. maximum* var. trichoglume e *P. plicatulum* (Saito 1984).

Dentre as leguminosas, destacaram-se em São Luís: *C. mucunoides*, *Calopogonium* sp. IRI 3136, *C. brasilianum*, *C. pubescens*, *Centrosema* sp. IRI. 3372, 3363, 3343 e 3342, *C. brasiliensis*, *Galactia* sp. IRI 2983, *M. atropurpureum* cv. Siratro, além das nativas *Dioclea la-*

siophylla, *Dioclea virgata* e *M. lathyroides*. Na serra, destacaram-se: *A. prostrata*, *C. indicus*, *C. brasiliensis*, *C. pubescens*, *Centrosema* sp. 3350, 3067 *C. ternatea*, *C. floribunda*, *D. intortum*, *D. uncinatum*, *G. striata*, *Galactia* sp. IRI 2983, *L. leucocephala*, *M. atropurpureum* cv. Siratro, *M. lab lab*, *P. phaseoloides*, *S. Punica*, *S. guyanensis* cv. Cook, *S. scabra*, *Stylosanthes* sp. Graham, *T. uncinatus* e *V. vexilata*, além de *D. la-siophylla* (nativa) Saito (1984).

Fertilidade de Solo

Utilizando-se a *B. decumbens*, *M. minutiflora*, *B. humidicola*, *C. pubescens*, *C. mucunoides* e *G. striata* como indicadoras, os seguintes resultados foram obtidos (Saito 1984):

Adução: Para uma consorciação de gramíneas e leguminosas, a de melhor resultado foi de 40-150-50 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O, além de 25 kg/ha de S. Dentre os micronutrientes, em São Luís, embora sem grande evidência, foram desejáveis o Cu, Mn, Zn e B para as gramíneas, além de Co e Mo, à taxa de 4, 15, 8, 0,5 kg/ha e 80 e 200 Gramas/ha respectivamente, para as leguminosas. Para a Serra, apenas o Cu e Zn, e o B em menor grau, além de Co e Mo para as leguminosas, às mesmas taxas.

Correção: A taxa mínima necessária foi de 1 t/ha de calcário dolomítico, sendo desejável 1,5 t/ha. Essas taxas reduziram o teor de Al e proporcionaram Ca-Mg em quantidade razoável, conquanto sem redução expressiva na acidez (Fig. 1).

Materiais e Métodos de Plantio

Tratamento de Sementes: Sementes de *B. humidicola* foram embebidas em água e solução nitrogenada por um período de 3 a 48 horas, e à concentração de 0,0125% e 0,025%. A embebição em água durante 12 e 48 horas promoveu germinação superior em 73% do que a testemunha, de 8-10 dias após a semeadura, assim como a maior

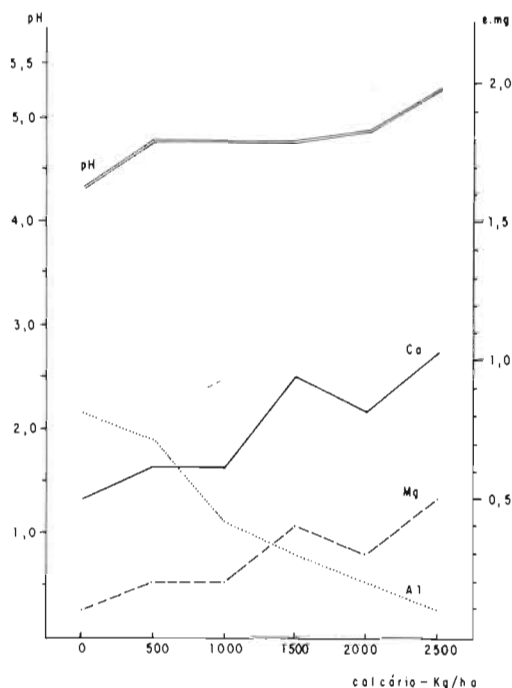


FIG. 1 Efeito da aplicação de calcário dolomítico em São Luís-MA, na presença de 80-300-100 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O, após 90 dias.

população final de plantas aos 28 dias. O contato e embebição das sementes com solução nitrogenada, em ambas as concentrações, foram altamente prejudiciais à germinação e desenvolvimento das plântulas (Saito 1984).

Preparo do Solo: Em São Luís, nos taludes arenosos, o método de covas foi superior, e nos argilo-arenosos, o de sulcos horizontais. Na Serra, o método mais eficiente foi o de sulcos horizontais.

Materiais Auxiliares de Cobertura: A folha de babaçu triturada à taxa de 2,5 t/ha foi o melhor "mulch", e na Serra, a casca de arroz à mesma taxa.

Hidroasfalto: Em São Luís, a de 15% de concentração foi mais eficiente, embora economicamente a concentração de 5% possa atender satisfatoriamente. Na Serra, conquanto a de 6% tenha sido mais eficaz com pequena margem, a de 2% proporcionou bons resultados.

Irrigação

Verificou-se a necessidade de no mínimo 10 mm/dia por um período de até 30 dias para o estabelecimento de cobertura vegetal em condições adversas de talude em São Luís: subsolo arenoso, plena seca, exposição intensa ao vento e ao sol (face oeste). Irrigação de manutenção da cobertura vegetal composta de gramíneas e leguminosas exigiu mínimo de 5 mm/dia para manter 100% de cobertura, nessas condições (Saito 1984).

DISCUSSÃO

BR-319

Fertilidade de Solo

Na Tabela 1, pode-se observar o comportamento de um conjunto de quatro gramíneas e quatro leguminosas sob dois níveis de N (50 e 100 kg/ha), três de P_2O_5 (50, 100 e 150 kg/ha) e um K_2O 50 kg/ha além de 30 kg/ha de S (exceto na testemunha). Apenas o tratamento 13 recebeu micronutrientes: sulfato de zinco, molibdato de sódio, sulfato de cobre, bórax, à taxa de 19, 1, 5 e 10 kg/ha respectivamente. Aproximada-

mente aos quatro meses após o plantio, foram aplicadas em cobertura na metade de cada parcela, 2 t/ha de calcário dolomítico.

O tratamento 9 apresentou o melhor desempenho e regularidade em cobertura do solo, seguindo-se o 13. Este último, embora de resultado satisfatório, não apresentou a mesma constância e regularidade de cobertura do solo.

Evidencia-se o contraste entre a testemunha (zero de cobertura) e os melhores tratamentos ao longo do período. Quanto às leguminosas, observa-se que somente, sua participação foi insignificante e de forma latente. Possivelmente beneficiado pelo calcário, após um ano as leguminosas, principalmente a puerária, se consolidaram e com tendência de se alastrar nos tratamentos contendo potássio principalmente, e fósforo em níveis de 100 e 150 kg/ha de P_2O_5 .

Outros ensaios forneceram resultados mais expressivos e específicos sobre o efeito de micronutrientes e calcário dolomítico (Hollick et al. 1978).

TABELA 1. Médias de cobertura do solo por mistura de quatro gramíneas e quatro leguminosas. BR-319, km 164,5.

Tratamento Nº	Adubação N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (kg/ha)	Cobertura (%)									
		G + L					Leguminosa (L)				
		Meses pós plantio					Meses pós plantio				
		4	6	12	15	24	4	6	12	15	
1	50- 50- 0	43	44	43	21	21	0	<1	<1	<1	
2	50-100- 0	51	64	67	38	33	0	<1	<1	4	
3	50-150- 0	60	64	64	36	34	0	<1	<1	2	
4	100- 50- 0	43	52	56	38	22	0	<1	<1	<1	
5	100-100- 0	70	66	61	38	33	0	<1	3	6	
6	100-150- 0	63	67	63	48	56	0	<1	<1	<1	
7	50- 50-50	48	55	52	33	23	0	<1	2	8	
8	50-100-50	70	74	70	46	50	0	<1	11	34	
9	50-150-50	88	84	80	83	81	0	<1	21	55	
10	100- 50-50	70	72	75	63	35	0	<1	3	15	
11	100-100-50	81	83	80	63	59	0	<1	12	37	
12	100-150-50	86	78	77	67	66	0	<1	8	40	
13*	100-150-50	76	80	77	64	74	0	<1	6	23	
14	0- 0- 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

* mais micronutrientes

G = Gramíneas

L = Leguminosas

Estrada de Ferro Carajás (EFC)

Fertilidade de Solos

A taxa mínima de adubação que proporcionou desenvolvimento inicial e persistência satisfatória na mistura de gramíneas e leguminosas foi a de 40-150-50 kg/ha de $N-P_2O_5-K_2O$, acrescido de 40 kg/ha de N em cobertura aos 30 dias. Em função das análises de solo e foliares, e comportamento das plantas, dentre os micronutrientes, o Cu, Mn, Zn e B apresentaram alguma importância à taxas de 4, 15, 8 e 0,5 kg/ha, além de Co e Mo para leguminosas, à taxa de 80 e 200 gramas/ha. Para a Serra, somente o Cu, Zn e B, além de Co e Mo para as leguminosas, às taxas referidas.

Quanto ao uso de calcário dolomítico, a taxa mais apropriada foi de 1 a 1,5 t/ha, embora taxas maiores utilizadas (até 2,5 t/ha) integradas com adubações de até 80-300-100 kg/ha de $N-P_2O_5-K_2O$ apresentassem maior resposta.

Preparo de Material de Plantio

Pela Tabela 2, observa-se que houve benefícios substanciais pela embebição preliminar de sementes de *B. humidicola* em água pura por 24 e 48 horas, na velocidade inicial de germinação e população final de plantas aos 28 dias de semeadura.

Esta prática é recomendável em face da necessidade de se obter cobertura inicial rapidamente. De baixíssimo custo, bastando abastecer as hidrossemeadeiras com antecedência, necessita de apenas um razoável planejamento operacional, com grandes benefícios (Saito 1984).

Métodos de Preparo do Solo e Materiais de Cobertura

A Tabela 3 representa os resultados obtidos com alternativas de preparo do solo (covas, sulcos horizontais e inclinados), concentrações de emulsão asfáltica, fontes

TABELA 2. Embebição de sementes de *B. humidicola* em água e solução nitrogenada. São Luís/MA.

Tratamento		Quantidade de plântulas/vaso*						
		Dias após semeadura						
Horas	Meio	4	8	12	16	20	24	28
0	K_2O	0	17	32	40	44	46	47
3		0	20	35	50	54	55	56
6		0	15	31	45	51	53	55
12		0	30	44	57	62	63	63
24		1	21	34	49	55	56	56
48		7	32	50	63	68	70	70
3	N_1	0	4	7	7	14	14	15
6		0	4	3	4	15	16	17
12		0	3	3	3	14	16	17
24		0	4	5	5	14	16	20
48		0	4	3	3	6	7	10
3	N_2	0	1	1	1	5	4	8
6		0	1	1	1	5	7	11
12		0	2	1	1	3	3	4
24		0	2	2	3	14	17	18
48		0	2	3	4	13	17	19

$N_1 = 0,0125\%$ (40 kg de N em 5.000 litros de água)

$N_2 = 0,0250\%$ (80 kg de N em 5.000 litros de água)

* Média de 4 repetições.

e taxas de cobertura morta, com mistura de gramíneas e leguminosas em talude arenoso na região de São Luís (trecho 1B da EFC). Na Serra, o ensaio foi semelhante, com pequenas variações nos tratamentos (Tabela 4).

Como se pode observar, o método de covas foi superior, enquanto nos subsolos mais estruturados da Serra, o de sulcos horizontais tenha se destacado. A concentração de melhor eficiência em São Luís foi a de 15% mas, economicamente, a de 5% pode atender, visto a diferença inexpressiva no desempenho. Na Serra, de mesma forma comparativa (6% a 2%), embora a de 2% tenha sido inferior por pequena margem, é mais recomendável pelo ponto de vista econômico.

Quanto à cobertura morta, a folha de babaçu triturada à taxa de 2,5 t/ha foi a de melhor eficiência em São Luís, e na Serra, a casca de arroz à taxa de 2,5 t/ha.

TABELA 3. Cobertura percentual média do solo por mistura de gramíneas e leguminosas, EFC, trecho 1B, São Luís-MA.

Tratamento	1982	1983				1984
	Out. a dez.	Jan. a mar.	Abr. a jun.	Jul. a ago.	Set.*	Março
Preparo do Solo						
Covas	44,8	47,6	67,6	68,8	0	72,5
Sulcos inclinados	31,1	38,5	60,1	65,4	0	50,8
Sulcos horizontais	26,6	32,7	55,0	55,8	0	60,0
Material Auxiliar						
Babaçu	39,0	45,8	67,0	72,5	0	58,8
Aparas	35,0	39,3	61,0	61,2	0	65,9
Serragem	27,7	33,6	54,9	56,2	0	58,8
Emulsão asfáltica						
15%	38,0	43,6	64,8	83,0	0	63,3
5%	30,7	34,7	57,0	61,4	0	58,9

* Fogo

TABELA 4. Cobertura percentual média do solo por mistura de gramíneas e leguminosas. Serra de Carajás-PA.

Tratamento	1983				1984
	Fev.	Abr. a jun.	Jul. a set.	Nov.	Fev.
Preparo do Solo					
Sulcos horizontais	49,8	79,0	82,3	86,2	100
Covas	45,7	74,4	76,7	82,5	100
Material auxiliar					
Casca de arroz	54,8	87,3	87,4	89,3	100
Aparas	40,7	66,0	71,4	79,3	100
Emulsão asfáltica					
6%	48,1	78,9	82,3	88,8	100
2%	47,4	74,4	76,7	80,0	100

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HOLLICK, A.M.; SAITO, H.M.; REIN, J. & SHOCK, C. **Projeto de pesquisas sobre revegetação**, relatório final. Rio de Janeiro, DNER/IPR - IRI, 1978.
- PROJETO de pesquisa sobre a revegetação. **Relat. Anu. Inst. Pesq. IRI**, São Paulo, (2) 1977.

- SAITO, H.M.; SHOCK, C.C.; REIN, J. & HOLLICK, A. M. **Manual de revestimento vegetal**. Rio de Janeiro, DNER/IPR-IRI, 1978.
- SAITO, H.M. **Áreas piloto de revestimento vegetal; relatório final**. Matão, Instituto de Pesquisas IRI-CVRD, 1984.
- SAITO, H.M. **Áreas piloto de revestimento vegetal; relatório 7**. Matão, Instituto de Pesquisas IRI-CVRD, 1984. p.38-47.

QUATERNARY GEOLOGY OF AMAZONIAN LOWLANDS

Georg Iron¹

ABSTRACT: The main features of the Pleistocene history in the Amazonian lowlands may be summarized as follows: In the Lower Amazonian river terraces were formed at different altitudes during the Pleistocene sea level highs along the valley slopes. In the region of the Upper Amazonian Lowlands extensive alluvial plains were formed, but their correlations with distinctive interglacial times are, with our present knowledge, possible only for the Middle to Late Pleistocene. For the genesis of ochre coloured clays covering large parts of the Barreira Formation two explanation are given: The clays are the sediments of an Late Pliocene to Early Pleistocene lake (Sombroek 1966) or they are the weathering product of underlying rocks and sediments (Irion 1978).

Index terms: Amazonian lowlands, quaternary geology, sediments, flood plains.

GEOLOGIA QUATERNÁRIA DA PLANÍCIE AMAZÔNICA

RESUMO: As principais feições da história do Pleistoceno na planície amazônica podem ser resumidos da seguinte maneira: No Baixo Rio Amazonas foram formados terraços, em diferentes altitudes, durante as altas do nível do mar no Pleistoceno ao longo dos declives dos vales. Na região do Alto Amazonas, foram formados extensas planícies aluviais, porém, suas correlações com eras interglaciais distintas são, com os conhecimentos atuais, possíveis somente para o médio até o recente Pleistoceno. Duas explicações são dadas para a gênese das argilas de coloração ocre que cobre, grande parte da Formação Barreira: As argilas são sedimentos de um lago do recente ao primitivo Pleistoceno (Sombroek 1966) ou são produto do desgaste das rochas e sedimentos subjacentes pelas intempéries (Irion 1978).

Termos para indexação: Planície amazônica, geologia quaternária, sedimentos, várzeas.

¹ Forschungsinstitut Senckenberg, Institut für Meeresgeologie und Meeresbiologie, D-2940 Wilhelmshaven, F.R. of Germany.

INTRODUCTION

First discussions on Quarternary geology in Amazonian were published by Agassiz (1867), followed by Banner (1893) and by Katzer (1903). More recently river terraces of Pleistocene sea level highs were studied by Sombroek (1966) and by Klammer (1971, 1978, 1984). After publishing the results of the SLAR-Survey since 1972, much has been done on the base of the Radar maps and of the corresponding reports by the RADAM authorities.

Especially the more recent studies show the importance of the Quaternary age for the geology of the Amazonian landscape. The low-lying areas of the Amazon Basin are widely covered by sediments of Pleistocene age. In higherlying areas yet Pleistocene sediments are rare and severe weathering processes have changed the mineralogical and geochemical composition of the outcropping rocks and sediments intensively, thus creating the specific conditions for the development of recent Amazonian ecosystems.

In the area of the Lower Amazon, one of the most obvious feature is the appearance of high plains in altitudes approximately 100-250 meters above sea level. The uppermost soil horizon in this area is made up by a typical ochre coloured clay named by Sombroek (1966) "Belterra clay", according to the "locus typicus". Sombroek and other authors believe that this clay is the deposit of a lake which existed in the Amazon Basin during late Pliocene and or Early Pleistocene.

The interpretation of this uppermost soil horizon by Sombroek is a stratigraphic interpretation. But there are also good reason, which we found after own detailed studies, to argue that the differentiation in the uppermost part of the Barreira Formation is the result of pedogenetic, in situ processes. We believe that this pedogenetic processes (Irion 1984) started some million years ago and is still going on.

River terraces and Alluvial plains

In the lower Amazon River terraces were formed during the Pleistocene. This was possible in the relatively high-situated Barreira Formation of this region. The river terraces are the last, not-eroded rest of alluvial floodplains, which were formed during Pleistocene sealevel highs. The sea-level mark determinates the river marks up to the foot of the Andes, as result of the low inclination of the Amazon and most of the lower parts of its tributaries. Klammer (1971, 1984) has carried out extensive studies treating successions of river terraces at the Jari and Trompetas Rivers. He found widespread terraces at altitudes of 80, 68, 51, 36, 20 and 10 metres above the recent river mark. These levels are in good relation with Pleistocene highwater levels of the world oceans.

In contrast of the eastern Amazon region the area west of the Rio Madeira, is very flat. The 100 m isohypse is located several hundreds of kilometers away from the Amazon. The landscape has an altitude of not more than a few tens of meters above the mean river marks. In this area flood plains formed during Pleistocene are common. The altitude of the flood plains is characterized by average high-water marks of the rivers; they are directly dependent on the sea level. Therefore, it should be expected that riverscapes of different altitudes can be correlated to Pleistocene sea level fluctuations. It is possible to carry out such differentiation of several altitudes by using the radar maps RADAM.

According to our mineralogical-geochemical investigations (Irion 1976, 1984), at least three alluvial plains of different ages can be distinguished by different stages of weathering.

As may be seen from the radar maps, an area of more than 400.000 km² is made up of Pleistocene alluvial sediments. In the geological maps, published in 1978 by the Projeto "RadamBrasil" (volume 18), the Pleistocene alluvial soils are combi-

ned with the Tertiary fluvial sediments of marginal regions to form the "Formação Solimões". This term was used first by Rego (1930) for the Miocene lacustrine, sediments of the Upper Amazon. The genesis of these sediments might differ basically from those of the Pleistocene várzea.

River and lakes

During the maximum of the Würm, (Wisconsin glaciation) the sea level was about 130 m below today's level. The valley of the Amazon and its tributaries were eroded more intensively as result of the lowered erosion base. Between 18.000 and 6.000 years B.P. the sea level rose from 130 m to about 10 m. This a mean sea level rise of 1 cm/yr. The sediments load of the Amazon and its tributaries was not enough to fill up the now increasingly drowned Amazon valley and thus a lake with the length of several, thousand kilometres could be formed in the Amazon valley. Only after flattening of the sea level curve, about 6.000 yr B.P., the filling of this lake and the development of the várzea became possible. It is not known if the filling of this lake is already completed or if in some areas in the Lower Amazon a lack of sediments still exists. The assumption of the existence of the lake is supported by the result of numerous echo soundings showing fine-grained bottom sediments in the middle and upper part of the Amazon in its Brazilian section. Fine-grained sediments cannot be deposited by the river itself because of its high current velocity, and the sediments look more like the deposits of a lake.

The hypothesis of the existence of an early to middle Holocene lake in the Amazon valley is strengthened also by the investigations made in the Prodelta. Damuth & Fairbridge (1970) analyzed cores of the Amazon delta containing Würmian sediments. They discovered: "an abrupt change to pelagic sediments at about 10.000 to 11.000 yr B.P., demon-

strating that with the beginning of the Holocene no longer large quantities of continental detritus reached the continental rise". This observation coincides with the existence of an "Amazon Lake", especially assuming that the change to pelagic sediments may have started somewhat earlier.

Similar changes in water levels and sedimentation which are hypothesized for the main Amazon valley may be predicted for the side valleys of this river.

Together with the main Amazon valley, lower courses of the Amazon tributaries were flooded. Tributaries rich in suspended matter filled their drowned lower courses with sediments and formed the recent floodplains. In terms of sediment load, clear or black water rivers did not reach this state, so that extended lakes; so-called "Ria-Lakes", were formed in the lower part of the Amazon the largest rialakes developed in the Xingu and Tapajós Rivers. In the western Amazon Basin, examples of such ria-lakes are Lago Grande do Manacapuru, Lago Aiapuá, Lago Surara, Lago Coari and Lago Tefé.

In order to know more on sedimentation in such lakes, we took mine sediments cores up to a length of 15 m in ria-lakes of Central Amazonia. The sediments were analyzed by in terms of mineralogy and geochemistry. Palynological studies were done by Absy (1979).

Below soft sediments of Holocene age, more consolidated lake sediments of an older age were found. It may be assumed that these sediments were deposited in the Monastir under conditions comparable to the present. When sea level decreased during the following Würm (Wisconsin) glacial, the lake level lowered, and finally the areas of the former lakes were occupied by courses of rivers or creeks. At the same time the organic components of the older lake sediment surfaces, which are now covered by younger sediments, were oxidized and consolidated. During the Flandrian (Holocene) transgression the river valleys were occu-

pied again increasingly by the rising water, and once again lakes were developed. In smaller river tributaries this development started, according to our C^{14} -datas, 8.000 yr B.P. (Fig. 1).

As may be shown by the example of the Tapajós River, not only the suspension of the tributaries, but also the suspension load of the main streams are responsible for the sediment formation. In the course of the annual highwater gauge, the suspension, overburdened with water of the main streams, penetrates to the lakes. The composition of the sediment load deriving from the tributaries differs from that deriving from the main streams, therefore it is possible to determine mineralogically the influence of both water-types sediments of the ria-lakes.

It has not been clarified, whether a complete refilling of the ria-lake with sediments can be postulated. Due to the strong annual water fluctuations with a difference of more than 10 m between high and low water levels, it is possible that sedimentation during highwater and erosion during low-water are in equilibrium.

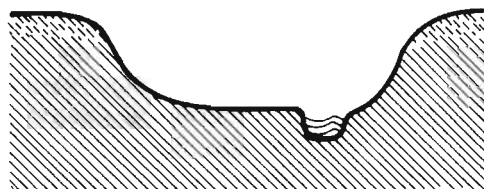
Our representations of Quarternary and recent sediments of the Amazon basin are mainly the results of work carried out by the author at the Max-Planck-Institut für Limnologie, Department of Tropical Ecology, Plön, and at the Senckenberg Research Institut, Wilhelmshaven, in collaboration with the Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA), Manaus. Investigations were financially supported by the "Deutsche Forschungsgemeinschaft" (German Research Community) (code Ir 6/2).

I am very grateful to Prof. Dr. H. Sio-li, Prof. Dr. G. Müller, Dr. M.L. Absy and to Dr. J. Adis for many helpful discussions and for supporting these studies. Special thanks to the co-workers of INPA, who greatly facilitated fieldwork in Amazônia.

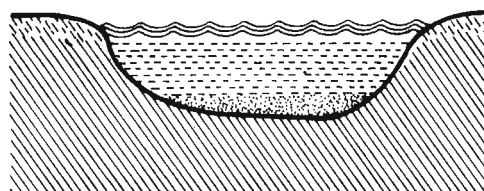
REFERENCES

ABSY, M.L. A palymiological study of holocene sediments in the Amazon Ba-

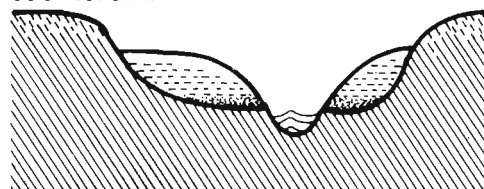
Early Pleistocene river valley



Lake stage-during a sea-level high



Formation of a valley during a sea-level minimum



Present day

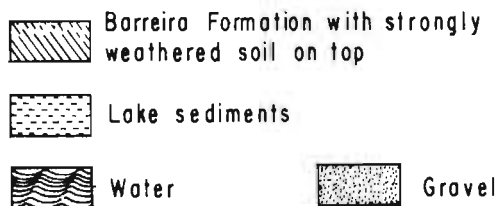
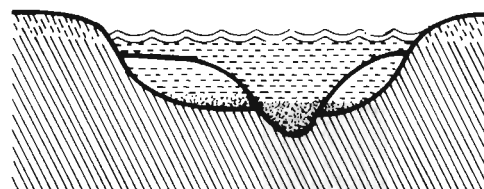


FIG. 1. Cross-section of a small river or rialake just above its confluence with a larger river in Central Amazonia. The pictures show stages of Pleistocene high and low water marks. The level of the inland waters depends, due to the very low gradient of the Amazon, directly on the level of the world oceans. Therefore Quarternary sea level fluctuations are documented in many parts of Central Amazonia.

- sin. s.l., University of Amsterdam, 1979.
Ph. D. Thesis.
- AGASSIZ, L. **Lettre à M. sur la géologie de la vallée de l'Amazone, avec des remarques de Jules Marcon, Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paleontologie.** Stuttgart, s. ed. 1867. p.180-181.
- BRANNER, J.C. **The supposed glaciation of Brazil.** Chicago, s. ed., 1893.
- DAMUTH, J.E. & FAIRBRIDGE, R.W. Equatorial atlantic deep-sea arkosic sands and ice-age aridity in tropical South America. **Geol. Soc. Am. Bull.** 81:189-206, 1970.
- IRION, G. Mineralogisch-geochemische Untersuchungen an der pelitischen Fraktion amazonischer Oberböden und Sedimente. **Biogeographica**, 7:7-25, 1976.
- IRION, G. Soil infertility in the Amazonian rain forest. **Naturwissenschaften**, 65:515-9, 1978.
- IRION, G. Clay minerals in Amazonian soils. In: SIOLI, H. **The Amazon.** Dordrecht, 1984. p.537-80.
- KATZER, F. **Grundzüge der Geologie des unteren Amazonasgebietes.** Leipzig, s. ed. 1903.
- KLAMMER, G. Über plio-pleistozäne Terrassen und ihre Sedimente im unteren Amazonasgebiet. **Z. Geomorphol.** N.F. 15:62:106, 1971.
- KLAMMER, G. Reliefentwicklung im Amazonasbecken und plio-pleistozäne Bewegungen des Meeresspiegels. **Z. Geomorphol.** N.F. 22:390-416, 1978.
- KLAMMER, G. The relief of the extra-Andean Amazon basin. In: SIOLI, H. **The Amazon.** Dordrecht, 1984. p.47-84.
- SOMBROEK, W.G. **Amazon soils.** Wageningen, s.ed., 1966.

O ESTADO ATUAL DO CONHECIMENTO SOBRE FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO NA AMAZÔNIA

Fátima Maria Moreira Magalhães¹

RESUMO: A fixação biológica de N_2 é um processo econômico e ecologicamente compensador que pode contribuir para o incremento da produtividade agrícola. Os trabalhos realizados na Amazônia abrangeram principalmente o levantamento de sistemas fixadores de N_2 que aqui ocorrem e alguns aspectos ecológicos relacionados com sua ocorrência. A maior parte das pesquisas realizadas foram relacionadas com as associações de bactérias fixadoras de N_2 com plantas. Poucos dados existem sobre cianobactérias e nenhum sobre actinomicetos fixadores de N_2 . *Derxia* sp, *Beijerinckia* sp, *Azobacter* sp, *Azospirillum lipoferum*, *Azospirillum brasilense* e uma nova espécie — *Azospirillum amazonense* — foram encontradas em solos de várzea e de terra firme, e em raízes de várias espécies vegetais. *Azospirillum* spp e *Beijerinckia* spp foram isoladas do interior de raízes de pupunha (*Bactris gasipaes*). Associações simbióticas de *Rhizobium* com várias espécies florestais nativas da família Leguminosae, algumas das quais de importância econômica, foram descobertas. Espécies fixadoras de N_2 foram de modo geral, encontradas com maior abundância em solos de várzea. Nos solos de terra firme encontraram-se características de adaptação a condições de acidez em algumas espécies fixadoras de N_2 . A importância de sistemas fixadores de N_2 na exploração econômica e racional dos solos da Amazônia é discutida.

Termos para indexação: Região amazônica, fixação biológica de N_2 , associações *Rhizobium-leguminosae*, *Azospirillum amazonense*, *Azospirillum brasilense*, *Azospirillum lipoferum*, *Beijerinckia* sp, *Derxia* sp, *Azobacter* sp.

PRESENT STATE OF KNOWLEDGE ON BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION IN AMAZONIA

ABSTRACT: Biological nitrogen fixation is an ecologically and economically important process that can contribute to increase agriculture productivity. Research in the Amazon region has consisted mainly of surveys of nitrogen-fixing systems which occur there and some ecological aspects related with their occurrence. The majority of such research has been related to nitrogen-fixing bacteria associated with plants. Few data exist about cyanobacteria and none about actinomycetes that fix nitrogen. *Derxia* spp, *Beijerinckia* spp, *Azospirillum lipoferum*, *A. brasilense* and a new species — *Azospirillum amazonense* — were found in *várzea* and *terra-firme* soils and roots of many plant species. *Azospirillum* spp and *Beijerinckia* spp were isolated from the interior of roots of pupunha (*Bactris gasipaes* H.B.K.). Symbiotic associations of *Rhizobium* with many native forest species of the family Leguminosae were found, including some of economic importance. Nitrogen-fixing bacteria were found to occur abundantly in *várzea* soils. On *terra-firme* soils, characteristics of adaptation to acid con-

¹ Eng. Agr. INPA. Caixa Postal 478. CEP 69.000. Manaus, AM.

ditions were encountered in some plant species. The importance of nitrogen-fixing systems in the economic and rational exploitation of Amazonia soils is discussed.

Index terms: Amazon region, biological N_2 fixation, Rhizobium-legume associations, *Azospirillum amazonense*, *Azospirillum lipoferum*, *Beijerinckia* sp., *Derxia* sp., *Azobacter* sp.

INTRODUÇÃO

A inviabilidade econômica de se obterem todos os elementos de que o solo necessita, através de fertilizantes obtidos por processos químicos, pode ser compensada pelo manejo adequado de processos biológicos que fornecem elementos para o solo, a um custo econômico e ecologicamente mais compensador. Este manejo tem por objetivo a maximização de processos que podem ocorrer em condições naturais mas que, na maioria das vezes não estão adaptados às demandas nutricionais de um cultivo agrícola intensivo.

Um desses processos é a fixação biológica de N_2 , que nos últimos anos tem merecido a atenção de pesquisadores de vários países, incluindo o Brasil.

O resultado mais significativo de pesquisas nesta área é com relação ao cultivo da soja: no Sul do país esta cultura já se beneficia integralmente do processo de fixação biológica de N_2 dispensando adubos nitrogenados.

Na Amazônia a diversidade em espécies oferece um campo vasto para estudos e opções. No complexo de interações do ecossistema amazônico participam vários sistemas fixadores de N_2 , alguns dos quais poderão desempenhar um papel relevante no aumento da produtividade agrícola e da fertilidade de solos, não só desta como de outras regiões.

Neste trabalho é apresentada uma síntese dos avanços e perspectivas resultantes das pesquisas realizadas sobre fixação biológica de N_2 , até o momento na Amazônia.

GENERALIDADES

A fixação biológica de N_2 é o processo pelo qual a enzima "nitrogenase" cataliza a reação de redução do nitrogênio

gasoso (forma que os vegetais não podem absorver) para amônia (forma assimilável pelas plantas). A reação $N_2 \rightarrow NH_3$ necessita de muita energia para o rompimento da ligação tripla que une os dois átomos de nitrogênio. O processo biológico utiliza a ATP produzida pelas reações metabólicas, enquanto nos processos químicos (Haber-Bosch, p.ex.) responsáveis pela produção de adubos nitrogenados, são necessárias altas pressões e temperaturas obtidas através de derivados de petróleo.

Organismos que possuem a nitrogenase são chamados de fixadores de N_2 . Espécies fixadoras de N_2 estão restritas ao Reino Procaryotae e têm representantes entre as bactérias heterotróficas, as bactérias fotossintéticas, as cianobactérias e actinomicetos do gênero Frankia, que estão presentes nos mais diversos tipos de habitats.

As espécies fixadoras de N_2 convivem na natureza com as espécies vegetais em diversos graus de relacionamento. Existem desde as que vivem em simbiose até as que, aparentemente, não tem qualquer tipo de interação direta com plantas, sendo por isso chamadas "de vida livre". As simbioses são mais importantes em termos agrônômicos pois, quando a relação é de mutualismo, a amônia resultante do processo de fixação de N_2 é diretamente utilizada pela planta que, em troca, fornece ao microrganismo energia em forma de fotossintatos. No caso dos fixadores de "vida livre", a amônia pode estar sujeita a perdas decorrentes da interferência de fatores químicos, físicos e biológicos do solo, não sendo então utilizada pelas plantas.

As simbioses conhecidas de espécies fixadoras de N_2 com plantas limitam-se àquelas em que o microrganismo infecta a planta, formando estruturas visíveis. É o caso dos nódulos induzidos por bactérias do

gênero *Rhizobium* em raízes ou no caule de várias espécies da família Leguminosae e dos nódulos induzidos por algumas cianobactérias e pelo actinomiceto do gênero *Frankia* em algumas espécies não leguminosas. Nestas interações, é relativamente fácil relacionar o bom estado nutricional do hospedeiro, em termos de nitrogênio, à presença do hóspede. No entanto, existem outras espécies fixadoras de N_2 que dão provas tão evidentes de suas presenças e/ou benefício para espécies vegetais.

Estudos têm sido realizados para detectar, identificar e avaliar espécies fixadoras de N_2 e também para descobrir mecanismos de interação microrganismo-planta em outros sistemas. Evidências de interação entre algumas espécies de bactérias fixadoras de N_2 , consideradas anteriormente de vida livre e gramíneas de pastagem ou cereais têm sido demonstradas. Contribuição de nitrogênio fixado biologicamente em algumas gramíneas tropicais foi confirmada por diversos autores pelo método de incorporação do N_2^{15} (De Polli 1975, Ruschel 1975, De Polli et al. 1977). Dentre as interações mais importantes demonstradas até agora pode-se citar: *Beijerinckia* spp - cana-de-açúcar (Döbereiner 1961, Döbereiner et al. 1972), Ruschel et al. 1979), *Azotobacter paspali* - *Paspalum notatum* (Döbereiner 1966, Döbereiner 1970) e *Azospirillum* spp - várias gramíneas tropicais (Döbereiner & Day 1976, Bulow & Döbereiner 1975, Baldani & Döbereiner 1980). Embora o conhecimento atual não permita tratar dessas interações como simbiose, nos últimos anos uma quantidade considerável de informações têm se acumulado demonstrando, além de um certo grau de relacionamento planta-bactéria nestes sistemas, perspectivas de contribuições economicamente significantes.

Os estudos realizados até agora na Amazônia têm abrangido principalmente os sistemas com bactérias fixadoras de N_2 ; tanto as espécies que apresentam associações simbióticas com plantas como as que foram reportadas com algum tipo de interação.

SISTEMAS FIXADORES DE N_2 ENCONTRADOS NA AMAZÔNIA

Simbioses *Rhizobium*-leguminosas

A família Leguminosae se destaca na flora amazônica por apresentar a maior diversidade em espécies e estar entre as famílias botânicas com maior número de indivíduos (Ducke 1949, Black et al. 1950, Rodrigues 1961, Rodrigues 1967a e b; Klinge & Rodrigues 1971, France et al. 1976), compreendendo espécies arbóreas, forrageiras, produtoras de grãos, aquáticas e cipós, muitas das quais importantes em sistemas agrícolas e/ou siveiculturais. Ducke (1949) realizou o maior trabalho de levantamento desta família na Amazônia e registrou 867 espécies, distribuídas em 118 gêneros. Desde então novos gêneros e espécies têm sido acrescentados a esta lista (Rodrigues 1974), Rodrigues 1975, Rodrigues & Matos 1980, Silva 1981).

Bactérias aeróbicas fixadoras de N_2 do gênero *Rhizobium* vivem saprofiticamente no solo ou em simbiose com várias espécies da família Leguminosae formando estruturas nodulares em suas raízes ou excepcionalmente no caule como é o caso da espécie *Sesbania rostrata* (Dreyfus & Dommergues 1981a). As únicas espécies não leguminosas, as quais *Rhizobium* se associa simbioticamente, são *Parasponia andersonii*, *P. parviflora* e *P. rugosa* (Akkermans et al. 1978, Trinick & Galbraith 1976, Trinick 1979). Espécies com nódulos caulinares ou espécies não leguminosas noduladas por *Rhizobium* não foram encontradas na Amazônia.

A capacidade de nodular, ou seja, de se associar simbioticamente a *Rhizobium* não é uma característica comum a todas as espécies da família Leguminosae e grande parte das espécies florestais tropicais ainda carece de informações a este respeito.

Em trabalhos de levantamento da capacidade de nodulação de leguminosas florestais nativas da Amazônia foi observada uma baixa frequência de nódulos em flo-

restas de terra firme que era mais acentuada nos solos de textura argilosa. Norris (1969) e Sylvester-Bradley et al. (1980) não encontraram nódulos em leguminosas florestais em solos argilosos, enquanto Magalhães et al. (1982) os encontraram, porém, com frequência bem menor do que em solos arenosos. A ausência de nodulação, num sistema em equilíbrio como a floresta amazônica, pode não estar necessariamente relacionada com a incapacidade da espécie em nodular, porém, ser devido a condições de equilíbrio no ambiente em termos de nitrogênio (Bonnier e Brakel 1969) ou ainda ser ocasionada pela ausência de estirpes de *Rhizobium* específicas ou pela limitação de fatores climáticos ou edáficos que influenciam o estabelecimento e desenvolvimento da simbiose. Assim sendo, mesmo espécies capazes de nodular podem não apresentar nodulação em determinadas condições e por isso só se deve considerar uma espécie da família Leguminosae como incapaz de nodular após várias observações em diferentes condições. Assim é que Magalhães et al. (1982) observaram que mudas de algumas espécies que não apresentavam nodulação na floresta de terra firme passaram a nodular quando transplantadas para o mesmo tipo de solo adubado sob condições de viveiros e concluíram que neste caso não era a ausência de *Rhizobium* apropriado o fator limitante para a nodulação destas espécies em condições naturais, mas sim fatores edáficos ou climáticos.

O plantio de sementes ou mudas sob condições de viveiro em substrato com população de estirpes nativas ou introduzidas de *Rhizobium*, através da inoculação, é uma metodologia que tem sido empregada como auxiliar nos levantamentos de capacidade de nodular de espécies florestais (Magalhães et al. 1982, Faria et al. 1983).

Observações sobre a ocorrência de nodulação em espécies florestais na Amazônia têm sido realizadas tanto em condições naturais (Norris 1969, Sylvester-Bradley et al. 1980, Magalhães et al. 1982, Maga-

lhães & Fernandes 1983, Souza et al. 1983, Magalhães 1984b) como em viveiro (Magalhães et al. 1982, Magalhães 1984a). A Tabela 1 mostra as espécies abrangidas por estes trabalhos.

Algumas das espécies observadas em condições naturais só estão identificadas ao nível de gênero. Isto acontece quando os indivíduos analisados são jovens ou não se encontram em fase reprodutiva e portanto sem os caracteres sexuais imprescindíveis na maioria das vezes para identificação ao nível de espécies. A baixa frequência de indivíduos em fase reprodutiva também, a maior facilidade de se analisar o sistema radicular de indivíduos jovens, no estágio de mudas, faz com que as coletas não se restrinjam aos primeiros em trabalhos realizados na floresta. Várias espécies foram encontradas sem nódulos em condições diversas e parecem portanto incapazes de nodular. Entre elas pode-se citar: *Dinizia excelsa*, *Dipteryx odorata*, *Eperua bijuga*, *Hymenaea courbaril*, *Schizolobium amazonicum*, *Amburana acreana*, *Copaifera multijuga*, *Copaifera reticulares* e *Cassia multijuga*. Dentre as espécies importantes no mercado madeireiro atual e com capacidade de nodular, destacam-se: *Cedrelinga catenaeformis*, *Diplotropis purpurea* e *Vouacapoua pallidior*. Do ponto de vista de associações com *Rhizobium*, *Inga* spp são particularmente interessantes, pois quase sempre e em condições nas quais ocorre a ausência de nodulação em outras espécies nodulíferas, estas espécies se encontram noduladas e muitas das vezes com abundância de nódulos (Magalhães 1984b). Este fato sugere um maior potencial de fixação biológica de N₂ nestas espécies nos solos de terra firme.

Outras espécies de bactérias fixadoras de N₂

Dentre as bactérias fixadoras de N₂, as de metabolismo aeróbico despertam maior interesse, pois o metabolismo aeró-

TABELA 1. Observações sobre a ocorrência de nodulação em leguminosas florestais nativas da Amazônia.

Espécie ⁽¹⁾	Local da observação ⁽²⁾	Porte dos indivíduos analisados ⁽³⁾	Nodulação ⁽⁴⁾	Referência ⁽⁵⁾
Caesalpinioideae				
<i>Bauhinia acreana</i> Harms	C	A	-	g
<i>B. kuntheana</i> Vog.	C	M, J	-	a
<i>B. longicuspis</i> Spr. ex. Bth.	C	J	-	g
<i>B. sp. 1</i>	C	M	-	g
<i>B. sp. 2</i>	C	M	-	g
<i>Cassia fastuosa</i> Willd	C	A	-	g
<i>C. grandis</i> L.	C	A	-	g
<i>C. latifolia</i> G. F. W. Mey	C	M, A	-	a, g
<i>C. leiandra</i> var. <i>guianensis</i> Sandw.	C	M	+	a
<i>C. multijuga</i> Rich	C, V	A, M	-	f, g
<i>C. nictidans</i> var. <i>disadena</i> Irwin & Barneby	C	A	+	g
<i>C. pteridophylla</i> Sandw.	C	M	+	a
<i>C. sp.</i>	C	M	+	g
<i>Copaifera multijuga</i> Hayne	C	A	-	h
<i>C. reticulata</i> Ducke	V	M	-	f
<i>C. sp.</i>	C	M	-	a
<i>Crudia parivoa</i> D.C.	C	M	-	a
<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandw	C, V	M	+	c
<i>Dimorphandra parviflora</i> Spr. ex Benth	V	M	+	f
<i>D. sp.</i>	C	M	+	d
<i>Eperua bijuga</i> Mart	C, V	M, A	-	a, b, f
<i>Eperua falcata</i> Aubl.	C	M	-	a
<i>E. grandiflora</i> (Aubl.) Benth	C	M	-	a
<i>E. sp.</i>	C	M	-	a
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	V	M	-	f
<i>H. parviflora</i> Huber	V	M	-	f
<i>H. sp.</i>	C, V	M	-	c
<i>H. sp.</i>	C, V	M	-	g
<i>Macarobium sp.</i>	C	M	-	a
<i>Nora excelsa</i> Benth	C	M	-	a
<i>M. gongrupii</i> (Klunh) Sadw.	C	M	-	a
<i>Peltogyne paniculata</i>	C, V	M, A	-	b, c
<i>P. venosa</i> Benth	C	M	-	a
<i>P. sp.</i>	C	M	-	g
<i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke	C	A, M	-	g
<i>Sclerolobium melanocarpum</i> Ducke	V	M	-	f
<i>S. micropetalum</i> Ducke	C	J	+	a
<i>Sclerolobium sp.</i>	C, V	M	+	c
<i>Swartzia benthamiana</i> Miq.	C	M	+	a
<i>S. corrugata</i>	C	M	+	c
<i>S. leiocalycine</i> Benth	C	M	+	a
<i>S. oblanceolata</i> Sandw.	C	M	+	a
<i>S. reticulata</i>	C	A	-	b
<i>S. sp. 1d</i>	C	M	+	d
<i>S. sp. 2d</i>	C	M	+	d
<i>S. sp. 1c</i>	C, V	M	+	c
<i>S. sp. 2c</i>	C, V	M	+	c

TABELA 1. Continuação

Espécie ⁽¹⁾	Local da ob- servação ⁽²⁾	Porte dos indivíduos analisados ⁽³⁾	Nodu- lação ⁽⁴⁾	Referên- cia ⁽⁵⁾
<i>S. sp. 1g</i>	C	M	+	g
<i>S. sp. 2g</i>	C	M	+	g
<i>S. sp. b</i>	C	A	-	b
<i>S. sp. a</i>	C	M	+	a
<i>Tachigalia sp. 1c</i>	C, V	M	+	c
<i>Tachigalia sp. 2c</i>	C, V	M	-	c
<i>Tachigalia sp. 1a</i>	C	M	-	a
<i>Tachigalia sp. 2a</i>	C	M	-	a
<i>Vouacarpa pallidior</i>	C	A	+	e
Papilionoideae				
<i>Alexa imperatricis</i> (Schomb.) Bail	C	M	-	a
<i>Amburana acreana</i> (D.) ACSmith	C, V	M, A	-	g
<i>Andira unifoliolata</i>	C	A	-	b
<i>A. sp.</i>	C	M	-	a
<i>Arachis sp.</i>	C	A	+	b
<i>Barbieria pinnata</i> (Pers.) Bail.	C	M	-	g
<i>Clitoria racemosa</i> G. Don.	C, V	M, J, A	+	a, b, f
<i>Clathrotropis macrocarpa</i> D.	C	J	+	a
<i>Dalbergia sp. a</i>	C	M, J	+	a
<i>Dalbergia sp. b</i>	C	A	+	b
<i>Desmodium barbatum</i> (L.) Benth	C	A	+	g
<i>Desmodium leiocarpum</i>	C	A	+	g
<i>Derris amazonica</i> Killip	C	A	+	g
<i>Derris sp. g</i>	C	M	+	g
<i>Derris sp. d</i>	C	M	+	d
<i>Dioclea sp.</i>	C	J	+	a
<i>Diplostropis purpurea</i> (Rich.) Arush	C	M	+	c
<i>Dipteryx odorata</i> Schreb	C, V	M, A	-	a, b, e, f
<i>Hymenolobium modestum</i>	C, V	M	+	c
<i>Hymenolobium sp. 1d</i>	C	M	+	d
<i>H. sp. 2d</i>	C	M	+	d
<i>H. sp. c</i>	C, V	M	+	c
<i>H. sp. a</i>	C	M	+	a
<i>Machaerium immdatum</i> Ducke	C m	A	+	g
<i>Machaerium madeirense</i> Pittier	C	A	+	g
<i>Machaerium sp. 1a</i>	C	M, J	+	a
<i>M. sp. 2a</i>	C	M	+	a
<i>Mucuna urens</i> (L.) D. C.	C	J	+	a
<i>M. sp. d</i>	C	M	+	d
<i>Myroxylon toluifera</i> H.B.K.	C	M	-	a
<i>Platymiscium trinitatis</i> Bth.	C	M	+	a
<i>Orosia coccinea</i> Jacks	C	M	+	a
<i>O. coutinhoi</i> Ducke	C	M	+	a
<i>O. discolor</i> Spr. ex Benth	V	M	+	f
<i>O. sp.</i>	C	M	+	c
<i>Sweetia praeclara</i> Sandw	C	M	+	a
Mimosoideae				
<i>Acacia polyphyla</i> D.C.	C	M, A	-	g

TABELA 1. Continuação

Espécie ⁽¹⁾	Local da ob servação ⁽²⁾	Porte dos indivíduos analisados ⁽³⁾	Nodu- lação ⁽⁴⁾	Referên- cia ⁽⁵⁾
<i>A. sp.</i>	C	M	-	g
<i>A. sp.</i>	C	J	-	a
<i>Anadenanthera peregrina</i> (L) Speg	C	A	+	g
<i>Calliandra surinamensis</i> Benth	V	M	+	f
<i>Cedrelinga catenaeformis</i> Ducke	C, V	A, M	+	c, d, e
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	C, V	A, M	-	c, f, g
<i>Entada polyphylla</i> Benth	V	M	+	f
<i>Enterolobium shomburkii</i> Bth	C, V	A, M	+	f, g
<i>Inga edulis</i> Mart	C	A	+	b, g
<i>I. heterophylla</i> Willd	V	M	+	f
<i>I. lateriflora</i> Miq	C	M	+	a
<i>I. macrophylla</i> H.B.K.	V	M	+	f
<i>I. peizizifera</i> Benth	C	J	+	a
<i>I. thibaudiana</i> D.C.	C	M	+	a
12 espécies de <i>Inga</i>	C	A, M	+	g
2 espécies de <i>Inga</i>	C, V	M	+	c
6 espécies de <i>Inga</i>	C	M	+	d
2 espécies de <i>Inga</i>	C	M	+	d
<i>Mimosa myriadena</i> Benth	C	J	-	a
<i>M. pigra</i> L.	V	M	+	g
<i>M. spruceana</i> Benth	C	A	-	g
<i>M. sp.</i>	C	A	-	g
<i>M. sp.</i>	C	J	-	a
<i>Parkia decussata</i> Ducke	C, V	A, M	-	f, g
<i>P. multijuga</i> L. C. Rich	C, V	A, M	-	c, f, g
<i>P. pendula</i> Bth ex Walp	C, V	M, J	-	a, f
<i>P. sp. 1c</i>	C, V	M	-	c
<i>P. sp. 2c</i>	C, V	M	+	c
<i>Pentaclethra macroloba</i> (Willd) Kunze	C	M	+	a
<i>Piptadenia suaveolens</i> Miq	C, V	M	-	c
<i>Piptadenia sp.</i>	C, V	M	-	c
<i>Pithecellobium cauliflorum</i> Mart	C	M	+	a
<i>P. collinum</i> Sandw	C	M	+	a
<i>P. racemosum</i> Ducke	C, V	A, M	-	c, e
<i>P. saman</i> (Jacq) Benth	V	M	+	f
<i>P. sp. 1g</i>	C	A	+	g
<i>P. sp. 2g</i>	C	M	-	g
<i>P. sp. 3g</i>	C	A	+	g
<i>P. sp. 1c</i>	C, V	M	+	c
<i>P. sp. 2c</i>	C, V	M	-	c
<i>P. sp. 3c</i>	C, V	M	+	c
<i>P. sp. 4c</i>	C, V	M	+	c
<i>P. sp. d</i>	C	M	+	d
<i>P. sp. 1a</i>	C	M, J	+	a
<i>P. sp. 2a</i>	C	M	+	a
<i>Stryphnodendron pulcherrimum</i> (willd) Hocher	C	A	-	g

TABELA 1. Continuação

Espécie ⁽¹⁾	Local da ob servação ⁽²⁾	Porção dos indivíduos analisados ⁽³⁾	Nodu- lação ⁽⁴⁾	Referên- cia ⁽⁵⁾
<i>S. guianense</i> (Aubl) Benth	V	M	+	f
<i>S. sp. 1g</i>	C	A	-	g
<i>S. sp. 2g</i>	C	I	-	g
<i>S. sp.</i>	V	M	+	c

(1) Exsicatas do material botânico coletado nos trabalhos c, d, e, f, g, h se encontram no Herbário do Departamento de Botânica do INPA, Manaus.

(2) V - Viveiro, C - Campo.

(3) M - Muda, J - Planta jovem, A - Planta adulta

(4) -: Nódulos ausentes, +: Nódulos presentes.

(5) a: Norris, 1969 - b: Sylvester - Bradley et al. 1980; c: Magalhães et al. 1982 - d: Souza et al. 1983 - e: Magalhães e Fernandes 1983 - f: Magalhães 1984a - g: Magalhães 1984b - h: Magalhães e Magalhães, dados não publicados.

bico é mais eficiente e os solos agrícolas são geralmente aerados (Neyra & Döbereiner 1977). Os estudos realizados na Amazônia se restringiram às espécies aeróbicas fixadoras de N_2 e principalmente àquelas em que foi demonstrado algum tipo de interação com plantas. *Azospirillum* spp (*A. brasilense* e *A. lipoferum*) foram encontradas em culturas de enriquecimento de solo, raiz não lavada (raiz + rizosfera) e raiz lavada de várias espécies de gramíneas nativas ou introduzidas (Asakawa 1979, Sylvester-Bradley et al. 1980, Magalhães 1981), espécies frutíferas (Sylvester-Bradley et al. 1980) e milho (Oliveira & Sylvester-Bradley 1980) em solos de terra firme e ainda na rizosfera e raízes de várias espécies de gramíneas em solos de várzea (Magalhães 1981, 1984). *Azospirillum* spp foram também isoladas do interior de raízes de quicuí (*Brachiaria humidicola*) e pupunha (*Bactris gasipaes*) (Magalhães et al. 1983, Magalhães & Döbereiner 1984). *Derxia* sp e *Azotobacter* sp foram isoladas de solos de várzea (Magalhães 1981), enquanto *Beijerinckia* foi isolada de raízes de gramíneas e do interior de raízes de *Bactris gasipaes* em solos de terra firme (Magalhães 1981, Magalhães 1983, Magalhães & Döbereiner 1984).

Sendo a Amazônia uma região caracterizada pela diversidade em espécies e

pouco estudada seria de se esperar que espécies fixadoras de N_2 ainda não conhecidas ocorressem nesta área. Magalhães (1981), modificando algumas características seletivas de meios de cultura de enriquecimento para isolamento de bactérias fixadoras de N_2 , isolou algumas espécies cujas características não estavam descritas na literatura. Uma destas espécies recentemente descrita como *Azospirillum amazonense* sp. nov. (Magalhães et al. 1983) tem melhor crescimento, "in vitro", em baixos valores de pH e foi isolada de várias gramíneas, de pupunha e de outras espécies, em solos de várzea e terra firme e em várias localidades da Amazônia (Magalhães 1983, Magalhães et al. 1983, Magalhães & Döbereiner (1984) (Tabela 2).

Cianobactérias

Espécies fixadoras de N_2 têm representantes entre as cianobactérias unicelulares, filamentosas, heterocísticas e não heterocísticas e podem ocorrer em simbiose com plantas ou vivendo livremente no solo em sistemas aquáticos.

Com relação à contribuição dessas espécies para o incremento agrícola, é bem conhecido o importante papel que desempenham na cultura do arroz nos países asiáticos.

TABELA 2. Ocorrência de *Azospirillum amazonense* sp. nov. em amostras de diferentes tipos de solo e raízes de espécies vegetais na Amazônia ⁽¹⁾ (Magalhães et al. 1983).

Tipo de amostra ⁽²⁾	Espécie vegetal	Local	Referência ⁽³⁾
RL	<i>Brachiaria brizantha</i>	Terra firme/Belém	a, b
S, RNL, RL, RE	<i>B. humidicola</i>	Terra firme/Manaus	a, b, c
RNL	<i>Digitaria</i> sp.	Pastagem/Roraima	a, b
RNL	<i>Axonopus</i> sp.	Pastagem/Roraima	a, b
RNL	<i>Andropogon gayanus</i>	Pastagem/Roraima	a, b
S, RNL	<i>Panicum pilosum</i>	Terra firme/Manaus	a, b
S, RL	<i>Paspalum virgatum</i>	Várzea/Manaus	a, b
RL	<i>Manihot utilissima</i>	Terra firme/Manaus	a, b
S, RNL, RL, RE	<i>Bactris gassipaes</i>	Terra firme/Manaus	a, b, c
S, RNL	<i>Eichornia crassipaes</i>	Várzea/Manaus	a, c
S, RNL	<i>Echinochloa polistachya</i>	Várzea/Manaus	a, c
S, RNL	<i>Leptochloa acabra</i>	Várzea/Manaus	a, c
S, RNL	<i>Panicum boliviense</i>	Várzea/Manaus	a, c
S, RNL	<i>Paspalum repens</i>	Várzea/Manaus	a, c
S, RNL	<i>Sorghum arundinaceum</i>	Várzea/Manaus	a, c
S, RNL	Gramineae n.d.	Pastagem/Manaus	a, c
S, RNL	<i>Rhynchospora cephalotes</i>	Pastagem/Manaus	a, c

(1). Avaliada pelo Método de Cultura de Enriquecimento em Meio Sacarose Semi-Sólido (Magalhães 1983).

(2). S = solo, RNL = raiz não lavada (raiz + rizosfera), RL = raiz lavada com água estéril, RE = raiz esterilizada superficialmente com 1% Chloramine T.

(3). a = Magalhães 1983; b = Magalhães et al. 1983; c = Magalhães e Döbereiner 1984.

Tanto em sistemas aquáticos como florestais, a ocorrência e, mais acentuadamente, a atividade fixadora de N_2 de cianobactérias foram pouco pesquisadas na Amazônia.

Anabaena azollae é uma espécie que pode ocorrer em simbiose com espécies vegetais aquáticas do gênero *Azolla*, que servem como adubação verde e alimentação animal. *Azolla microphylla* é uma das macrófitas aquáticas que proliferam na região das várzeas dos rios de água branca (Junk 1979). Espécies do gênero *Anabaena* e de outros gêneros fixadores de N_2 como *Lyngbya*, *Gloecapsa*, *Oscillatoria* e *Scytonema* foram identificadas na composição fitoplancônica dos rios Tocantins e Araguaia (Santos et al. 1981), porém a atividade fixadora de N_2 dessas espécies não foi pesquisada. A atividade da nitrogenase foi detectada através da técnica de redução do acetileno (ARA), "in vitro", em *Stigonema panniforme*, cianobactéria,

que em determinadas épocas pode ser encontrada cobrindo extensivamente áreas de solo de campina (Stewart et al. 1978).

Actinomicetos

Várias espécies vegetais não leguminosas, em geral de zonas temperadas, apresentam nódulos radiculares induzidos por actinomicetos fixadores de N_2 do gênero *Frankia* (Becking 1970, Guathier et al. 1981). Dos gêneros até agora reportados como associados a estes organismos, nenhum ocorre na Amazônia, embora as famílias botânicas às quais pertencem sejam representadas por outros gêneros nativos da região. Nenhuma associação com actinomicetos foi reportada até agora, para espécies nativas da Amazônia.

Cupins

Atividade da nitrogenase (ARA) foi detectada em cupins do gênero *Nasutiter-*

mes. Como este gênero é bastante freqüente na região, sugere-se que a fixação de nitrogênio associada com cupins pode ser um fator ecológico importante na Amazônia Central (Sylvester-Bradley et al. 1978).

ASPECTOS ECOLÓGICOS

Os resultados de diversos trabalhos indicam que os solos de várzea são mais favoráveis para ocorrência e atividade de microrganismos fixadores de N_2 do que os solos de terra firme em condições naturais. Comparando os solos de várzea com solos de terra firme representativos da região, Sylvester-Bradley et al. (1981) encontraram nodulação abundante e maior atividade da nitrogenase (ARA) na várzea, enquanto nos demais tipos de solo, com exceção de "terra preta dos índios", foi encontrada pouca ou nenhuma nodulação. Em experimentos sob condições de viveiro, várias espécies de leguminosas florestais nativas e exóticas apresentaram melhor crescimento e nodulação em solo Gley Húmico, quando comparado a Podzólico Vermelho Amarelo coletado em área de floresta (Magalhães 1984a). Variedades de soja cultivadas nestes solos não respondem à inoculação, apre-

sentando boa produtividade e nodulação abundante, com as estirpes nativas de *Rhizobium* (Yuyama 1982). Oliveira (1982) isolou destes solos a estirpe INPA 037 em que tem a alta eficiência em fixar N_2 e é bastante competitiva na nodulação de variedades de soja. Outras espécies fixadoras de N_2 , como *Azospirillum* spp (*A. amazonense*, *A. brasilense* e *A. lipoferum*), ocorrem com maior freqüência em solos de várzea (Magalhães 1981, Magalhães & Döbereiner 1984). Diferenças marcantes entre fatores edáficos de várzea e de terra-firme e estão relacionadas com a fertilidade e PO_2 . A maior freqüência de fixadores de N_2 na várzea pode estar sendo favorecida pelas condições microaerófilas do ambiente, pois a nitrogenase é altamente sensível ao oxigênio molecular e sua atividade em espécies fixadoras de N_2 aeróbicas é maior em valores de PO_2 muito baixos (Bergensen & Gibson 1978, Kurs & La Rue 1975, Day & Döbereiner 1976, Magalhães et al. 1983). Em solos de terra-firme, efeito favorável da adubação no solo foi encontrado na ocorrência de *Azospirillum* sp (*A. brasilense* e *A. lipoferum*) (Asakawa 1976, Sylvester-Bradley et al. 1980) e na nodulação de caupi (Tabela 3).

TABELA 3. Efeito da adubação convencional e peletização de sementes na nodulação e peso da parte aérea de *Vigna unguiculata* (L) Walp cultivar IPEAN-V-69 num Latossolo Amarelo da Amazônia Ocidental (Oliveira e Bonetti, dados não publicados).

Tratamentos ⁽¹⁾	Nódulos		Peso da parte aérea seca (mg/vaso)
	Nº/vaso	Peso (mg/vaso)	
Testemunha	7 ^{bd}	6 ^b	2,65 ^c
P	86 ^a	350 ^a	13,97 ^a
Ca + Mg	3 ^d	4 ^b	2,80 ^c
CaCO ₃ + Mg	22 ^{bcd}	2 ^b	3,04 ^c
CaCO ₃ (Pelet)	4 ^{cd}	4 ^b	3,29 ^c
MgCO ₃ (Pelet)	29 ^{bd}	5 ^b	3,64 ^{bc}
CaCO ₃ + MgCO ₃ (Pelet)	47 ^{ab}	50 ^b	4,87 ^{bc}
Fosfato de Rocha (Pelet)	41 ^{abc}	70 ^b	6,05 ^b
CV (%)	30,9 ⁽²⁾	1,85 ⁽²⁾	18,95

⁽¹⁾Todos os tratamentos receberam inoculação com as estirpes CB 756 e INPA 25

⁽²⁾Valores transformados em $\sqrt{x + 1}$

Obs.: As médias seguidas das mesmas letras em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Tuckey.

Outros resultados indicam, mesmo na terra firme, a existência de estirpes eficientes e mais adaptadas às condições edáfi-

cas limitantes. A inoculação da estirpe INPA 25, isolada por Asakawa de *Centrosema* sp. em solo de terra firme, induziu

rendimentos superiores aos de outras estirpes e igual ao da estirpe SMS 139 em duas variedades de *Vigna unguiculata* IPEAN-V-69 e Manaus em experimentos com vasos de Leonard em casa de vegetação. Em meio de cultura, estirpes nativas de *Azospirillum amazonense* (Magalhães et al. 1983) e de *Rhizobium* isolado de leguminosas florestais (Souza et al. 1983) têm mostrado melhor crescimento "in vitro", em valores baixos de pH.

SISTEMAS FIXADORES DE N₂ PROMISSORES PARA O DESENVOLVIMENTO AGRÍCOLA DA AMAZÔNIA

Dentre os sistemas fixadores de nitrogênio, as associações *Rhizobium*-leguminosas se destacam não só por sua eficiência comprovada como também pela importância que espécies da família Leguminosae possuem, como: produtoras de grãos, carvão, madeira, celulose e papel, adubação verde, flora apícola, forrageiras, cobertura do solo e etc.

Espécies que apresentem associações simbióticas, com microrganismos fixadores de N₂, têm uma vantagem competitiva em relação às outras espécies, pois podem não depender do nitrogênio do solo ou de adubos nitrogenados. Outra característica importante destas espécies é a possibilidade de contribuir com nitrogênio fixado para o ecossistema através de liberação ou decomposição dos nódulos e deposição no solo de matéria orgânica com teores elevados de nitrogênio.

Um dos problemas da Amazônia é a degradação dos solos de baixa fertilidade da terra firme que é acelerada pelo cultivo intensivo de monoculturas anuais. Sistemas de produção que imitem a floresta, do tipo agrosilvipastoril, agroflorestal ou outros, são mais viáveis do ponto-de-vista ecológico e econômico, considerando-se a médio e longo prazos. Espécies perenes, arbustivas ou herbáceas, associadas a microrga-

nismos fixadores de N₂ e adaptadas às condições climáticas e edáficas da Amazônia podem desempenhar um papel importante neste tipo de sistema, tanto diretamente, pela própria produtividade, como indiretamente contribuindo para que o sistema seja auto-sustentável em relação ao nitrogênio.

Associações de várias espécies com *Rhizobium* já conhecidas (Tabela 1). Embora o potencial de muitas associações permaneça inexplorado, estudos têm demonstrado a adaptação de algumas espécies nodulíferas a condições edáficas e climáticas da Amazônia. A espécie madeireira *Cedrelinga catenaeformis* apresentou nodulação abundante e melhor crescimento que *Eucalyptus deglupta* em experimentos de campo em Podzólico Vermelho Amarelo (Magalhães & Blu 1983). *Inga* spp podem ser úteis como flora apícola (National... 1979), forrageiras (Benevides 1983), produtoras de lenha e frutos. Na Amazônia, espécies desse gênero apresentam boa rusticidade (Arkcoll 1983) e são geralmente de rápido crescimento.

Os próximos passos da pesquisa na área da Fixação Biológica de N₂ devem considerar a avaliação do potencial de associações microrganismos fixadores de N₂ - espécies vegetais, a nível de campo, de modo que se verifique sua contribuição e as possibilidades de incremento através de técnicas de manejo ou pela seleção de estirpes adaptadas que fixem N₂ mais eficientemente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKKERMANS, A.D.L.; ABDULKADIR, S.; TRINICK, J.M. N-fixing root nodules in Ulmaceae: Parasponia or (and) Trema spp.? *Plant Soil*. 49:711-15, 1978.
- ASAKAWA, N.M. Ocorrência e características de *Azospirillum* spp. no solo e nas raízes de gramíneas na Amazônia Central. Manaus. INPA/FUA, 1979. 76p. Tese Mestrado.
- ARKCOLL, D.B. A comparison of some fast growing species suitable for wood lots

- in the wet Tropics. s.n.t. trabalho apresentado no Simpósio sobre Fixação de Nitrogênio em Árvores Tropicais, Rio de Janeiro, 1983.
- BALDANI, V.L.D. & DÖBEREINER, J. Host-plant specificity in the infection of cereals with *Azospirillum* spp. *Soil. Biol. Biochem.*, 12:433-9, 1980.
- BECKING, J.H. New species of the genus *Frankia*. *Int. J. Syst. Bacteriol.*, 20:201-20, 1970.
- BENEVIDES, J.E. *Investigacion em arboles forrageros*. Turrialba, CATIE, 1983. Trabalho apresentado no Curso sobre técnicas Agroflorestais.
- BERGENSEN, F.J. & GIBSON, A.H. Nitrogen fixation by *Rhizobium* spp. in laboratory culture media. In: DÖBEREINER, J.; BURRIS, R.H.; HOLLAENDER, A.; FRANCO, A.A.; NYERA, C.A. & SCOTT, D.B. *Limitation and potenciales for biological nitrogen fixation in the tropics*. New York/London, Plenum, 1978. p.262-74. (Basic. life sciences, v.10).
- BLACK, G.A.; DOBZHANSKY, T.H.; PAVAN, C. Some attempts to estimate species diversity and population density of trees in Amazonian forest. *Bot. Gaz.*, 3(3):413-25, 1950.
- BONNIER, C. & BRAKEL, J. Legumineuse *Rhizobium*. In: GEMBLoux, J.D. *Lutte Biologique Contre la faim*, s.l., s.ed., 1969, p.148.
- BULLOW, J.F.W. & DÖBEREINER, J. Potencial for nitrogen fixation in maize genotypes in Brasil. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 72:2389-93, 1975.
- DAY, J.M. & DÖBEREINER, J. Physiological aspects of N_2 fixation by a *Spirillum* from *Digitaria* roots. *Soil Biol. Biochem.*, 8:45-50, 1976.
- DE-POLLI, H. Ocorrência de fixação de 15 N_2 nas gramíneas tropicais *Digitaria decumbens* e *Paspalum notatum*. Piracicaba, USP, 1975. Tese Mestrado.
- DE-POLLI, H.; MATSUI, E.; DÖBEREINER, J.; SALATI, E. Confirmation of nitrogen fixation in two tropical grasses by 15 N_2 incorporation. *Soil Biol. Biochem.*, 9:119-23, 1977.
- DÖBEREINER, J. Nitrogen fixing bacteria of the genus *Beijerinckia* Derx in the rhizosphere of sugar cane. *Plant Soil*, 14:211-17, 1961.
- DÖBEREINER, J. *Azotobacter paspali* sp.n., uma bactéria fixadora de nitrogênio na rizosfera de *Paspalum*. *Pesq. Agropec. Bras.*, 1:357-65, 1966.
- DÖBEREINER, J. Further research on *Azotobacter paspali* and its variety specific occurrence in the rizosphere of *Paspalum notatum*. *Flugge. Centralbl Bact. Parasitink.* 2(124):224-30, 1970.
- DÖBEREINER, J. & DAY, J.M. Associative symbioses in tropical grasses: Characterization of microorganisms and dinitrogen-fixing sites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NITROGEN FIXATION, 1. *Proceedings...* Washington, Washington State University, 1976. p.518-38.
- DÖBEREINER, J.; DAY, J.M. & DART, P.J. Nitrogenase activity and oxygen sensitivity of the *Paspalum notatum* - *Azotobacter paspali* association. *J. Gen. Microbiol.*, 71:103-16, 1972.
- DÖBEREINER, J. DAY, J.M. & DART, P.J. Nitrogenase activity of the association. *Plant. Soil*, 37:191-6, 1972.
- DREYFUS, B.L. & DOMMERGUES, Y. Nitrogen fixing nodules induced by *Rhizobium* on the Stem of the tropical legume *Sesbania rostrata*. *Fens. Microb. Let.*, 10(4):313-7, 1981.
- DUCKE, A. Notas sobre a Flora Neotrópica — II. As leguminosas da Amazônia brasileira. Belém, IAN, 1949. 248p. (IAN. Boletim Técnico, 18).
- FARIA, S.M.; FRANCO, A.A.; MENANDRO, M.S.; JESUS, R.M.; BAITELLO, J.B.; AGUIAR, O.T.; DÖBEREINER, J. *Survey on nodulation of indigenous legumes trees in southeast Brazil*. s.n.t. Trabalho apresentado no Simpósio sobre Fixação de Nitrogênio em Árvores Tropicais, Rio de Janeiro, 1983.
- GAUTHIER, H. DIEM, H.G. & DOMMERGUES, Y. In vitro nitrogen fixation by two actinomicete Strains isolated from *Casuarina nodules*. *App. Envir. Microbiol.*, 41(1):306-8, 1981.
- JUNK, W.J. *Macrofitas aquáticas nas várzeas da Amazônia e possibilidade do seu uso na agropecuária*. Manaus, CNPq/INPA/SUFRAMA, 1979, 23p.
- KLINGE, H.; RODRIGUES, W.A.R. Matéria orgânica e nutrientes na mata de terra-

- filme perto de Manaus. **Acta Amaz.**, 1(1):69-72, 1971.
- KURZ, W.G.; LA RUE, T.H. Nitrogenase activity in rizobia in absence of plant host. **Nature**. 256:407-9, 1975.
- MAGALHÃES, F.M.M. Nitrogen-fixing bacteria isolated from diverse soils grass roots in Amazônia, In: VOSE, P.B. & RUSCHEL, A.P. **Associative N₂-fixation**. Florida, CRC, 1981, v.2. p.39-48.
- MAGALHÃES, F.M.M. **Caracterização e distribuição de uma nova espécie de bactéria fixadora de nitrogênio**. Manaus, INPA/FUA, 1983. 89p. Tese Mestrado.
- MAGALHÃES, F.M.M. Levantamento da capacidade de nodulação e/ou fixação de nitrogênio em espécies florestais da região amazônica. I. associação **Rhizobium** - leguminosas no Estado de Rondônia. REUNIÃO LATINO AMERICANA SOBRE RHIZOBIUM. 12, Campinas, 1984. **Anais...** Campinas, 1984a.
- MAGALHÃES, F.M.M. **Associações Rhizobium** - leguminosas florestais nativas e exóticas da Amazônia em dois tipos de solo representativos da região sob condições de viveiros. REUNIÃO LATINO AMERICANA SOBRE RHIZOBIUM. 12, Campinas, 1984. **Anais...** Campinas, 1984b.
- MAGALHÃES, F.M.M. & DÖBEREINER, J. Ocorrência de **Azospirillum amazonense** em alguns ecossistemas da Amazônia. **R. Bras. Microbiol.**, 15(4):246-52, 1984.
- MAGALHÃES, F.M.M.; MAGALHÃES, L.M.S.; OLIVEIRA, L.A.; DÖBEREINER, J. Ocorrência de nodulação em leguminosas florestais de terra firme nativas da região de Manaus, AM. **Acta Amaz.** 12(3):509-14, 1982.
- MAGALHÃES, L.M.S. & BLUM, W.R.H. Nutrition and productivity of **Cedrelinga catenaeformis** Ducke, artificial regeneration systems, s.n.t. Trabalho apresentado no Simpósio sobre Fixação de Nitrogênio em Árvores Tropicais, Rio de Janeiro, 1983.
- MAGALHÃES, L.M.S.; FERNANDES, N.P. **Experimental plantings of forest legumes native to Amazônia**. s.n.t. Trabalho apresentado no Simpósio sobre Fixação de Nitrogênio em Árvores Tropicais, Rio de Janeiro, 1983.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, Washington, EUA **Tropical legumes, resources for the future**. Washington, 1979. 331p.
- NEYRA, C.A. & DOBEREINER, J. Nitrogen fixation in grasses. **Adv. Agron.**, 29:1-38, 1977.
- NORRIS, D.O. Observation on the Nodulation Status of Rainforest leguminous species in Amazonia and Guyana. **Trop. Agric.**, Trinidad, 46: 145-51, 1969.
- OLIVEIRA, L.A. de. Eficiência, capacidade competitiva e sobrevivência de estirpes de **Rhizobium japonicum** (Kirchner) Buchanan. Porto Alegre, UFRGS, 1982. 142p. Tese Mestrado.
- OLIVEIRA, L.A. & SYLVESTER-BRADLEY, R. Effect of different Amazonian soils on growth, nodulation and occurrence of N² fixing **Azospirillum** spp in roots of some crop plants. **Turrialba**. 32(4):463-9, 1980.
- PRANCE, G.T.; RODRIGUES, W.A.; SILVA, M.F. Inventário florestal de um hectare de mata de terra-firme. Km 30 da Estrada Manaus-Itacoatiara. **Acta Amaz.** 6(1):9-35, 1976.
- RODRIGUES, W.A. **Estudos preliminares de mata de várzea alta de uma ilha do baixo rio Negro de solo argiloso e úmido**. Manaus, INPA, 1961. 50p. (INPA. Botânica, Publicação, 10).
- RODRIGUES, W.A. Inventário florestal Piloto ao longo da estrada Manaus-Itacoatiara, Estado do Amazonas. Dados preliminares. In: SIMPÓSIO SOBRE A BIOTA AMAZÔNICA, Belém, 1966. **Atas...** Rio de Janeiro, CNPq, 1967a. v.7. p.257-67.
- RODRIGUES, W.A. Inventário florestal preliminar de uma mata da região do Araras, rio Negro, Estado do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BOTÂNICA, 15., Porto Alegre, 1967. **Anais...** Porto Alegre, 1967b. p.297-8.
- RODRIGUES, W.A. Subsídio para o estudo das leguminosas da Amazônia. **Acta Amaz.**, 5(2):7-13, 1974.
- RODRIGUES, W.A. Contribuição para o estudo do gênero **Monopteryx** Spr. ex Benth (Leguminosae) da Amazônia. **Acta Amaz.**, 5(2):153-6, 1975.
- RODRIGUES, W.A.; MATOS, N.F. **Hymenolobium discolor** W. RODRIGUES & MATOS,

- nova espécie de Leguminosae na Amazônia. *Acta Amaz.*, 10(4):743-5, 1980.
- RUSCHEL, A.P. *Fixação biológica de nitrogênio em cana-de-açúcar*. Piracicaba, USP, 1975. Tese Doutorado.
- RUSCHEL, A.P.; VITORIA, R.L.; SALATI, E. & HENIR, Y. Nitrogen fixation in sugar cane (*Sacharum officinarum* L.) *Ecol. Bull.*, 26:297-303, 1979.
- SANTOS, A.; DORWICK, A.A.; ALVES, L.F.; MERA, P.A.S.; TOLEDO, A.P.; TUNDIZI, J.G.; MELACK, J. & JUNK, W.J. Estudos lincológicos no sistema Tocantins/Araguaia. *Relat. Semest. Conv. ELETRO-NORTE/CNPq/INPA*, (3), 1981.
- SILVA, M.F. Novas espécies de *Diormorphondra* Schott (Leguminosae — Caesalpinioidea) da região neotropical. *Acta Amaz.*, 11(1):53-9, 1981.
- SOUZA, L.A.G.; MAGALHÃES, F.M.M.; OLIVEIRA, L.A. Seleção de meio de cultura para isolamento de *Rhizobium* spp. de leguminosas florestais. s.n.t. Trabalho apresentado no Simpósio sobre Fixação de Nitrogênio em Árvores Tropicais, Rio de Janeiro, 1983.
- STEWART, W.D.P.; SAMPAIO, M.J.; ISICHEI, A.O. & SYLVESTER-BRADLEY, R. Nitrogen fixation by soil algae of Temperate and Tropical. Soils. In: DÖBEREINER, J. *Limitations and potenciales for biological nitrogen fixation in the Tropics*. New York, Plenum, 1978. p.41-64.
- SYLVESTER-BRADLEY, R.; BANDEIRA, A.G. & OLIVEIRA, L.A. Fixação de nitrogênio (redução de acetileno) em cupins (Insecta: Isoptera) da Amazônia Central. *Acta Amaz.*, 8(4):621-7, 1978.
- SYLVESTER-BRADLEY, R.; OLIVEIRA, L.A.; DE PODESTÁ FILHO, J.A. Nodulation of legumes, nitrogenase activity of roots and occurrence of nitrogen-fixing *Azospirillum* spp. in representative soils of Central Amazonia. *Agro. Ecosystems*, 6:249-66, 1980.
- TRINICK, M.J. & GALBRAITH, J. Structure of root nodules formed by *Rhizobium* on the non-legume *Trema cannabina* var. Scabra Arck. *Microbiology*, 108:159-66, 1976.
- TRINICK, M.J. Structure of N-fixing nodules formed by *Rhizobium* on roots of *Parasponia anderson* Plant. Com. 5. *Microbiology*, 25:565-78, 1979.
- YUYAMA, K. Estudos preliminares de adubação NPK, corretivos e inoculante na cultura de sola (*Glycine max* L. Merrill) no Estado do Amazonas. Manaus, 1982. Palestra proferida no Curso de Atualização e Fertilidade do Solo na Amazônia Ocidental. Manaus, 1982.



falangola editora