

**Proposta de Classificação de Horizontes Diagnósticos Minerais em Níveis Hierárquicos Inferiores com Base nas Frações Húmicas**



ISSN 1678-0892

Dezembro, 2011

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro Nacional de Pesquisa de Solos  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 192***

### **Proposta de Classificação de Horizontes Diagnósticos Minerais em Níveis Hierárquicos Inferiores com Base nas Frações Húmicas**

*Ademir Fontana  
Vinícius de Melo Benites  
Marcos Gervásio Pereira  
Lúcia Helena Cunha dos Anjos*

Rio de Janeiro, RJ  
2011

**Embrapa Solos**

Rua Jardim Botânico, 1.024 - Jardim Botânico. Rio de Janeiro, RJ

Fone: (21) 2179-4500

Fax: (21) 2274-5291

Home page: [www.cnps.embrapa.br](http://www.cnps.embrapa.br)

E-mail (sac): [sac@cnps.embrapa.br](mailto:sac@cnps.embrapa.br)

**Comitê Local de Publicações**

**Presidente:** Daniel Vidal Pérez

**Secretário-Executivo:** Jacqueline Silva Rezende Mattos

**Membros:** Ademar Barros da Silva, Cláudia Regina Delaia, Maurício Rizzato Coelho, Elaine Cristina Cardoso Fidalgo, Joyce Maria Guimarães Monteiro, Ana Paula Dias Turetta, Fabiano de Carvalho Balieiro, Quitéria Sônia Cordeiro dos Santos.

**Supervisor editorial:** Jacqueline Silva Rezende Mattos

**Normalização bibliográfica:** Ricardo Arcanjo de Lima

**Revisão de texto:** André Luiz da Silva Lopes

**Editoração eletrônica:** Júlia Rodrigues Santos de Pinho Mineiro  
Jacqueline Silva Rezende Mattos

**1ª edição**

1ª impressão (2011): online

**Todos os direitos reservados.**

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

---

Fontana, Ademir

Proposta de classificação de horizontes diagnósticos minerais em níveis hierárquicos inferiores com base nas frações húmicas / por Ademir Fontana [et al.]. – [Dados eletrônicos]. – Embrapa Solos : Rio de Janeiro, 2011.

26 p. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Solos, ISSN 1678-0892 ; 192).

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: < <http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes> >.

Título da página da Web (acesso em 10 jan. 2012).

1. Matéria orgânica. 2. Carbono orgânico. 3. Classificação de Solos. I. Benites, Vinicius de Melo. II. Pereira, Marcos Gervásio. III. Anjos, Lúcia Helena Cunha dos. IV. Título. V. Série.

CDD (21.ed.) 631.42

---

© Embrapa 2011

## Sumário

<b>Resumo</b> .....	5
<b>Abstract</b> .....	7
<b>Introdução</b> .....	9
<b>Material e métodos</b> .....	10
Seleção e caracterização dos horizontes diagnósticos .....	10
Análises dos dados .....	12
<b>Resultados e Discussão</b> .....	13
Matéria Orgânica Hipossolúvel (horizontes minerais superficiais) .....	13
Matéria Orgânica Iluvial (horizontes minerais subsuperficiais) .....	17
<b>Conclusão</b> .....	22
<b>Agradecimentos</b> .....	22
<b>Referências</b> .....	22

# Proposta de Classificação de Horizontes Diagnósticos Minerais em Níveis Hierárquicos Inferiores com Base nas Frações Húmicas

---

*Ademir Fontana<sup>1</sup>*

*Vinicius de Melo Benites<sup>1</sup>*

*Marcos Gervásio Pereira<sup>2</sup>*

*Lúcia Helena Cunha dos Anjos<sup>2</sup>*

## Resumo

As informações obtidas pela distribuição das frações húmicas podem ser utilizadas como características diferenciais e, assim, contribuir para a evolução do 5º e 6º níveis categóricos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). O objetivo desse trabalho foi quantificar o carbono orgânico nas frações húmicas e propor a utilização como características diferenciais em horizontes diagnósticos minerais de solos brasileiros. Foram utilizados no total 364 horizontes diagnósticos, sendo os superficiais A chernozêmico, A proeminente, A húmico, A húmico - relictual e A moderado e os subsuperficiais B espódico, B incipiente, B plânico, B textural, B latossólico, glei, flúvico e vértico. Estes horizontes foram avaliados quanto à composição química, física e teores de carbono orgânico das frações húmicas. Em avaliação da distribuição das frações húmicas, sugerem-se as seguintes características diferenciais para os níveis de família e série do SiBCS: "Matéria Orgânica Hipossolúvel" (horizontes minerais superficiais) –  $C-EA/C-HUM \leq 1,0$  e "Matéria Orgânica Iluvial" (horizontes minerais subsuperficiais) –  $C-EA/C-HUM \geq 2,0$ .

---

<sup>1</sup> Pesquisador A Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024, Rio de Janeiro-RJ. CEP: 22. 460-000  
E-mail: ademir.fontana@cnps.embrapa.br; vinicius@cnps.embrapa.br.

<sup>2</sup> Professor Associado III. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, BR 465, km 7, Seropédica, CEP: 23. 890-000. E-mail: gervasio@ufrj.br; lanjoserural@gmail.com.

***Termos de indexação:*** matéria orgânica, carbono orgânico, fracionamento quantitativo e classificação de solos.

# Proposal of Mineral Diagnostic Horizons Classification in Lower Hierarchical Levels with Base in Humic Fractions

---

## Abstract

The information obtained through the humic fractions distribution can be used as differential characteristic and therefore contribute to the evolution of 5<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> hierarchical levels in the Brazilian System of Soil Classification (SiBCS). The objective of this work was to quantify the organic carbon in humic fractions and propose the use as differential characteristic in mineral diagnostic horizons from Brazilian soils. A total of 364 diagnostic horizons, being, the surface A chernozêmico, A proeminente, A húmico, A húmico - relictual and A moderado and the subsurface B espódico, B incipiente, B plânico, B textural, B latossólico, glei, flúvico and vértico, were used. These horizons were evaluated for chemical and physical composition and the organic carbon tenors of humic fractions. In evaluation of the humic fractions distribution, suggests the following differential characteristics for the families and series levels of SiBCS: "Hipsoluble Organic Matter" (surface mineral horizons):  $C-AE/C-HUM \leq 1.0$  and "Iluvial Organic Matter" (subsurface mineral horizons):  $C-AE/C-HUM \geq 2.0$

**Terms of indexation:** organic matter, organic carbon, quantitative fractionating and soil classification.

## Introdução

A relação entre os atributos químicos e físicos do solo e o ambiente tem como resultado a transformação permanente dos minerais e da matéria orgânica, com a formação de diferentes horizontes, e conseqüentemente solos, durante a pedogênese. A expressão dos diferentes processos pedogenéticos se dá em parte pela relação entre os atributos químicos e físicos, com reflexo nas propriedades morfológicas e mineralógicas (FANNING; FANNING, 1989).

No estudo dos diferentes horizontes diagnósticos dos solos brasileiros, a matéria orgânica é um dos componentes chave para a sua identificação, uma vez que demonstra nas condições naturais uma relação causa-efeito entre os atributos químicos e físicos do solo e os teores de carbono orgânico, bem como na distribuição das frações húmicas. Além de compor um atributo diagnóstico para classificação dos solos, a magnitude da influência positiva da matéria orgânica nos atributos dos solos tropicais tem se destacado em inúmeros trabalhos ao longo dos séculos XX e XXI com a quantificação dos teores de carbono orgânico, carecendo, no entanto, de uma análise mais específica, vista as diferentes taxas de humificação e relações com a matriz mineral dos solos brasileiros.

As informações obtidas pela análise da distribuição das frações húmicas podem contribuir para os estudos pedológicos, podendo ser utilizadas como atributo diagnóstico ou propriedade diferencial. A utilização tem por base a análise da distribuição destas frações pelo perfil de solo, sendo esta condicionada pela mobilidade e/ou interação com a matriz mineral. Assim sendo, tem-se destacado que solos que apresentam baixos valores da relação entre as frações alcalino-solúveis pela humina refletem elevada interação e estabilidade da matéria orgânica com a matriz mineral do solo, pela obtenção de maior quantidade de carbono orgânico na fração humina. No entanto, altos valores desta mesma relação indicam movimentação e acúmulo de carbono orgânico pelo perfil (BENITES et al., 2001; SCHAEFER et al., 2002).

O uso das frações húmicas na classificação de solos pode ser uma forma de contribuição para a evolução do SiBCS nos 5º e 6º níveis categóricos, uma vez que a classificação dos solos nestes dois níveis categóricos é utilizada

para atender funções pragmáticas, sendo relacionadas e priorizadas características diferenciais e propriedades que afetam o uso e o manejo do solo para fins diversos (EMBRAPA, 2006). Segundo Anjos et al. (2008), as diferenças observadas nos teores e na distribuição das frações húmicas não só expressam variações pedogenéticas, bem como permite relacionar com atributos relevantes ao manejo dos solos.

Pesquisas com diferentes solos indicam que as frações húmicas apresentam relações com o seu uso, bem como com o tipo de solo. Neste sentido, Leite et al. (2003), ao estudarem o estoque total de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e milho cultivado com adubação mineral e orgânica, verificaram variações na distribuição das frações húmicas em função do uso dos solos. A influência do uso e manejo também pode ser observada em solos da Amazônia com horizonte antrópico e não antrópico, sob cultivo e floresta, onde a distribuição das frações foi alterada pela maior ou menor atividade antrópica (ZECH et al., 1990; CUNHA et al., 2007).

Com base no exposto, o presente trabalho apresenta como objetivos quantificar o carbono orgânico das frações húmicas e propor a utilização como características diferenciais em horizontes diagnósticos minerais de solos brasileiros.

## **Material e Métodos**

### **Seleção e caracterização dos horizontes diagnósticos**

Para a elaboração da proposta, contou-se com um banco de dados contendo os atributos químicos, físicos e o carbono orgânico das frações húmicas de diferentes tipos de horizontes diagnósticos minerais de solos brasileiros, constando horizontes principais caracterizados como A, B e C e transicionais AB e AC.

Para a obtenção do banco de dados, foram avaliados diferentes trabalhos, como: Benites et al. (2000, 2001), Schaefer et al. (2002), Benites (2002), Melo (2002), Corrêa et al. (2003), Ibraimo et al., (2004) e Fontana et al. (2010). Os horizontes diagnósticos selecionados seguem as normas para descrição e coleta de solo (SANTOS et al., 2005), a caracterização química e

física (EMBRAPA, 1997) e a classificação pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (EMBRAPA, 2006) (Tabela 1).

As frações húmicas foram obtidas conforme as normas da Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (SWIFT, 1996), em proposta modificada por Benites et al. (2003). Foi obtido o carbono orgânico da fração ácidos fúlvicos (C-FAF), fração ácidos húmicos (C-FAH), fração humina (C-HUM) e a relação C-EA/C-HUM ( $C-EA = C-FAF + C-FAH$ ).

Na extração das frações húmicas foi utilizado 1,0 g de solo, submetido ao contato com 20 mL de solução de hidróxido de sódio  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  por 24 h. Após esse período, o extrato alcalino foi separado do resíduo por meio de centrifugação a  $5.000 \text{ g}$  por 30 min. Seguiu-se mais uma lavagem com a mesma solução, juntando-se o extrato com o anteriormente obtido, resultando em volume final de 40 mL. O resíduo foi retirado dos tubos de centrífuga em placa de Petri e secado a  $65^\circ\text{C}$ . O pH do extrato alcalino foi ajustado a  $1,0 (\pm 0,1)$  com solução de ácido sulfúrico 20%, seguido de decantação por 18 h em geladeira. Decorrido esse período, o precipitado (fração ácidos húmicos) foi separado da fração solúvel (fração ácidos fúlvicos) por filtragem e ambos os volumes aferidos a 50 mL com água destilada.

A quantificação do carbono orgânico nas frações ácidos fúlvicos e húmicos foi feita usando-se alíquotas de 5,0 mL de cada extrato, 1,0 mL de dicromato de potássio  $0,042 \text{ mol L}^{-1}$  e 5,0 mL de ácido sulfúrico concentrado, levado a chapa aquecedora a  $150^\circ\text{C}$  e titulado com sulfato ferroso amoniacal  $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$  e indicador ferroin. No resíduo seco em estufa, foi determinado o carbono orgânico na fração humina, adicionando-se 5,0 mL de dicromato de potássio  $0,1667 \text{ mol L}^{-1}$  e 10,0 mL de ácido sulfúrico concentrado, em chapa aquecedora a  $150^\circ\text{C}$  e titulado com sulfato ferroso amoniacal  $0,25 \text{ mol L}^{-1}$  e indicador ferroin (YEOMANS; BREMNER, 1988).

**Tabela 1.** Tipos de horizontes diagnósticos minerais estudados e distribuição.

Horizontes	Número Observações
<b>Superficiais (n = 210)</b>	
A chernozêmico	48
A proeminente	3
A húmico	21
A húmico – relictual <sup>(1)</sup>	53
A moderado	85
<b>Subsuperficiais (n = 154)</b>	
B espódico	58
B incipiente	11
B plânico	7
B textural	25
B latossólico	32
Glei	7
Flúvico	8
Vértico	5

<sup>(1)</sup>Solos desenvolvidos em clima e vegetação pretéritos, os quais muitas vezes diferem dos atuais (KER, 1997; CALEGARI, 2008).

### **Análises dos dados**

As inferências nos dados foram efetuadas com base nas análises estatísticas descritivas (dispersão e frequência) e correlação de Pearson.

Foi aplicada uma análise descritiva em todo o banco de dados, com a avaliação dos valores mínimos e máximos valores, visando à exclusão de dados extremos (*outliers*). Foram excluídos desta forma os valores de COT < 1,0 g kg<sup>-1</sup>, soma das frações húmicas > 90%, C-HUM < 1,0%, C-EA/C-HUM < 0,1 e > 5,0 (horizontes superficiais), C-EA/C-HUM > 15,0 (horizontes subsuperficiais), Ca<sup>2+</sup> > 30,0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> e Al<sup>3+</sup> > 12,0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, argila > 700 g kg<sup>-1</sup> (horizontes superficiais).

Os valores limites para as características diferenciais foram obtidos pela análise de dispersão e frequência dos dados em horizontes superficiais e subsuperficiais tendo como base a relação C-EA/C-HUM.

## Resultados e Discussão

O desenvolvimento de uma proposta para a estruturação dos níveis hierárquicos inferiores do SiBCS (5º - família e 6º - série) (EMBRAPA, 2006) tendo como base nas frações húmicas é reforçado pela relação destas com os atributos químicos e físicos dos solos. Para Anjos et al. (2008), as diferenças observadas na quantidade e na proporção das frações húmicas não só expressam variações na pedogênese, assim como permitem relacioná-las com atributos relevantes ao manejo dos solos.

Segue com duas propostas para características diferenciais para o SiBCS:

### **Matéria Orgânica Hipossolúvel (horizontes minerais superficiais)**

Com base na Tabela 2, é possível observar uma ampla variação dos valores de COT, das frações húmicas e atributos químicos e físicos. Esta variação de valores expressa as peculiaridades dos diferentes horizontes diagnósticos estudados.

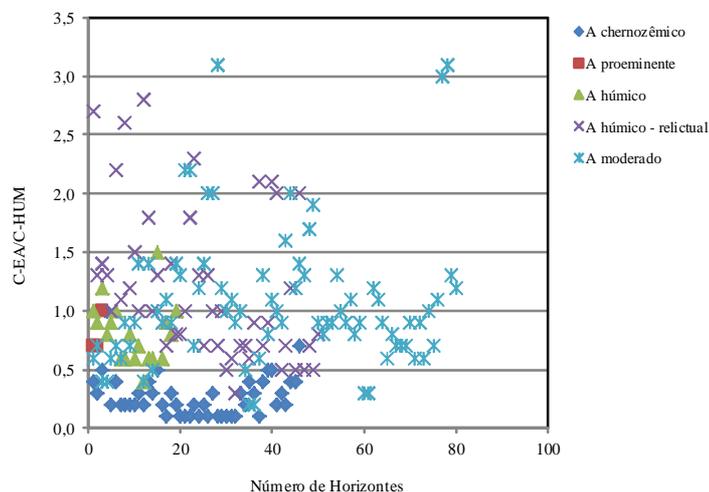
O valor de referência da característica diferencial para horizontes minerais superficiais foi obtido analisando o gráfico de dispersão dos valores da relação C-EA/C-HUM (Figura 1) e distribuição de frequência (Figura 2), sendo verificado um limite de 1,0. Este valor indica que a fração insolúvel da matéria orgânica representa ao menos a mesma proporção que as frações alcalino-solúveis. Do total de 198 horizontes diagnósticos superficiais, 142 foram classificados como "Matéria Orgânica Hipossolúvel" (C-EA/C-HUM  $\leq$  1,0), sendo na sua maioria os horizontes A chernozêmico, A proeminente e A húmico (Tabela 3).

**Tabela 2.** Estatística descritiva dos teores de carbono orgânico total, frações húmicas e atributos químicos e físicos dos horizontes superficiais (n = 198).

Estatística	COT <sup>(1)</sup>	C-FAF	C-FAH	C-HUM	C-EA/C-HUM	Ca <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Argila
	g kg <sup>-1</sup>	%				—cmolc kg <sup>-1</sup> —		g kg <sup>-1</sup>
Média	30,5	16,8	21,6	51,5	0,9	4,1	1,5	267,6
Erro padrão	1,3	0,7	0,9	1,0	0,0	0,5	0,1	12,4
Mediana	25,4	16	22	51	0,8	0,6	0,5	223
Modo	44,8	13	24	52	0,7	0,1	0,0	100
Desvio padrão	18,4	9,2	12,5	14,5	0,6	6,7	2,1	174,0
Curtose	-0,535	4,377	-0,231	-0,212	2,079	4,160	4,329	-0,826
Assimetria	0,725	1,572	0,391	0,123	1,316	2,159	1,926	0,564
Mínimo	2,0	3	1	20	0,1	0,0	0,0	30
Máximo	75,1	58	65	89	3,1	27,6	11,4	680

<sup>(1)</sup>COT: carbono orgânico total; C-FAF: carbono da fração ácidos fúlvicos; C-FAH: carbono da fração ácidos húmicos; C-HUM: carbono da fração humina; C-EA: carbono do extrato alcalino (C-FAF + C-FAH); Ca<sup>2+</sup>; Al<sup>3+</sup>; argila.

Diferentes trabalhos têm destacado que o baixo valor da relação C-EA/C-HUM é indicativo da interação/estabilidade da matéria orgânica com a matriz mineral do solo. Este padrão se deve à insolubilidade da matéria orgânica do solo na camada superficial de determinados solos, concentrando-se como humina. O predomínio da humina em horizontes superficiais de solos brasileiros foi observado por Benites et al. (2000); Corrêa et al. (2003).

**Figura 1.** Dispersão dos valores da relação C-EA/C-HUM nos horizontes superficiais.

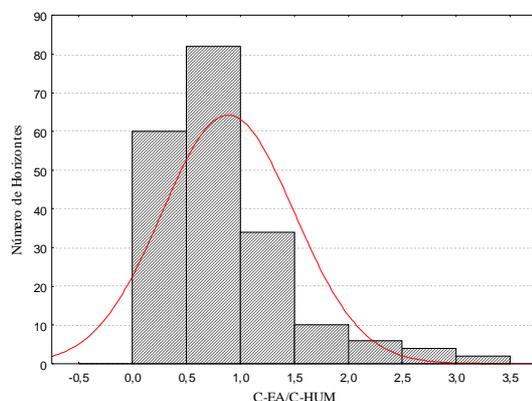


Figura 2. Distribuição de frequência dos horizontes superficiais.

Tabela 3. Número de horizontes superficiais classificados pela proposta.

Horizonte	C-EA/C-HUM $\leq 1,0^{(1)}$	C-EA/C-HUM $> 1,0$	Total
A chernozêmico	46	-	46
A proeminente	3	-	3
A húmico	17	2	19
A húmico – relictual	28	22	50
A moderado	48	32	80
Total	142	56	198

<sup>(1)</sup>C-EA: carbono do extrato alcalino (C-FAF + C-FAH); C-FAF: carbono da fração ácidos fúlvicos; C-FAH: carbono da fração ácidos húmicos; C-HUM: carbono da fração húmica.

Para solos com alta soma de bases, a interação entre a matéria orgânica e a matriz mineral do solo se deve à formação de complexos organominerais de elevada estabilidade, proporcionada pela formação de pontes entre os minerais de argila do tipo 2:1 na presença dos íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (Figuras 3 e 4) (KONONOVA, 1966; DUCHAUF0UR, 1976; THENG, 1979; BUOL et al., 1980; SIX et al., 2000; CORRÊA et al., 2003; MAJZIK; TOMBÁ CZ, 2007). O carbonato de cálcio atua como floculante da matéria orgânica (SPAIN et al., 1983; OADES, 1988; SOMBROECK et al., 1993) onde as frações mais decompostas da matéria orgânica são precipitadas com o  $\text{Ca}^{2+}$ , o que diminui a solubilidade e torna limitada sua mineralização (DUCHAUF0UR, 1976; GAIAFFE et al., 1984; MUNEEER; OADES, 1989).

Associada às condições mineralógicas e composição do complexo sortivo, destaca-se a ação da fauna bastante ativa, que homogeniza a massa de solo (DUCHAUFOR, 1976; DRIESSEN, 2001), promovendo condições favoráveis para a cimentação e dessa forma contribuindo para a formação de agregados com grau elevado de estabilidade, especialmente as estruturas em blocos ou prismáticas (EMBRAPA, 2006). Para os demais horizontes diagnósticos, condições específicas do ambiente de formação do solo podem influenciar para a maior participação do C-HUM.

Em outros horizontes, a formação de complexos organominerais estáveis está relacionada à presença de grupos funcionais ionizáveis na matéria orgânica e minerais de argila como óxidos de ferro e alumínio amorfos, que atuam como floculantes na presença de  $Al^{3+}$  e  $Fe^{3+}$  (OADES, 1988; SOMBROECK et al., 1993). Os óxidos de ferro e os ácidos húmicos participam ativamente da agregação e estabilização dos agregados ao se ligarem com cátions polivalentes como  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$  e  $Ca^{2+}$  (TOMBÁ CZ et al., 2004).

Para solos submetidos ao cultivo e/ou deposição constante de material orgânico, a análise desta relação deve ser feita considerando o histórico e o tempo de mudança de uso, frente a um novo padrão de distribuição das frações húmicas. A adição constante de matéria orgânica fresca favorece a formação das frações alcalinas solúveis (C-FAF e C-FAH) e, com isto, aumento da relação, o que não necessariamente indica baixa estabilidade da matéria orgânica do solo.



**Figura 3.** Perfil com horizonte A chernozêmico e ambiente de ocorrência. Local: município de Italva – RJ. Fonte: Ademir Fontana.



**Figura 4.** Perfil com horizonte A chernozêmico, horizonte superficial e estrutura prismática. Local: municípios de Muqui e Jerônimo Monteiro – ES. Fonte: Ademir Fontana.

Para demonstrar a influência dos cátions na estabilidade da matéria orgânica e das frações húmicas nos horizontes classificados com  $C\text{-EA}/C\text{-HUM} \leq 1,0$ , observou-se relação entre as frações húmicas e o íon  $\text{Ca}^{2+}$ , com correlação negativa e significativa ( $p < 0,05$ ) com o C-FAF (-0,57), C-FAH (-0,57) e C-EA/C-HUM (-0,70) e positiva e significativa ( $p < 0,05$ ) com o C-HUM (0,51). As correlações negativas indicam que o  $\text{Ca}^{2+}$  propicia estabilização da matéria orgânica, insolubilizando as frações ácidos fúlvicos e húmicos que são obtidas como humina.

### **Matéria Orgânica Iluvial (horizontes minerais subsuperficiais)**

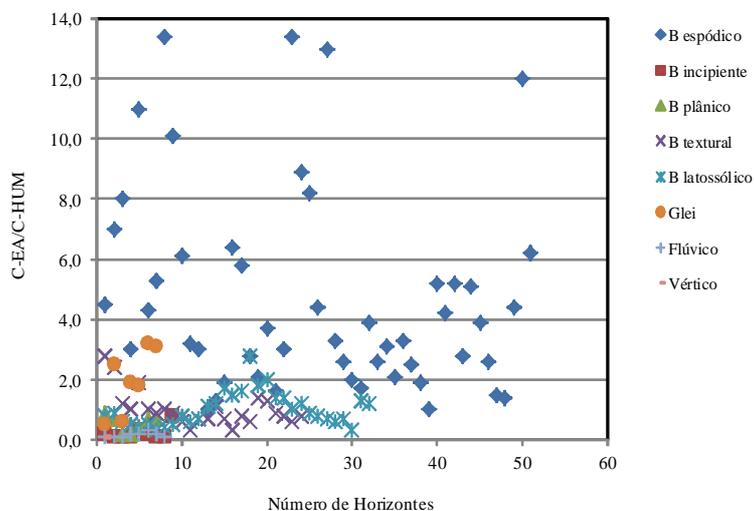
Assim, como nos horizontes superficiais, observa-se ampla variação dos valores de COT, das frações húmicas e atributos químicos e físicos, expressando as diferenças entre horizontes diagnósticos estudados (Tabela 4).

O valor de referência da característica diferencial foi obtido analisando o gráfico de dispersão dos valores da relação C-EA/C-HUM (Figura 5) e frequência (Figura 6), sendo verificado um limite de 2,0, associado à indicação que as frações alcalinas solúveis representem ao menos o dobro da fração insolúvel da matéria orgânica do solo. Do total de 140 horizontes diagnósticos subsuperficiais, 49 foram classificados como "Matéria Orgânica Iluvial" ( $C\text{-EA}/C\text{-HUM} \geq 2,0$ ), sendo na sua maioria composta pelos horizontes B espódico (Tabela 5).

**Tabela 4.** Estatística descritiva dos teores de carbono orgânico total, frações húmicas e atributos químicos e físicos dos horizontes superficiais (n = 140).

Estatística	COT <sup>(1)</sup>	C-FAF	C-FAH	C-HUM	C-EA/C-HUM	Ca <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Argila
	g kg <sup>-1</sup>	%				cmolc kg <sup>-1</sup>		g kg <sup>-1</sup>
Média	11,6	19,6	24,9	36,1	2,3	1,7	1,2	302,2
Erro padrão	0,7	1,5	1,8	1,7	0,2	0,3	0,1	18,4
Mediana	9,4	17	18	36	1,2	0,2	0,5	267
Modo	9,5	4	3	28	0,1	0,0	0,0	120
Desvio padrão	8,2	17,5	21,6	20,2	2,8	3,2	1,5	218,0
Curtose	4,744	0,833	0,085	-0,839	5,496	7,304	2,102	-0,582
Assimetria	1,881	1,053	0,976	0,140	2,296	2,638	1,530	0,658
Mínimo	1,0	0	0	1	0,1	0,0	0,0	22
Máximo	49,9	87	84	90	13,4	17,2	7,2	820

<sup>(1)</sup>COT: carbono orgânico total; C-FAF: carbono da fração ácidos fúlvicos; C-FAH: carbono da fração ácidos húmicos; C-HUM: carbono da fração húmica; C-EA: carbono do extrato alcalino (C-FAF + C-FAH); Ca<sup>2+</sup>; Al<sup>3+</sup>; argila.

**Figura 5.** Dispersão dos valores da relação C-EA/C-HUM nos horizontes subsuperficiais.

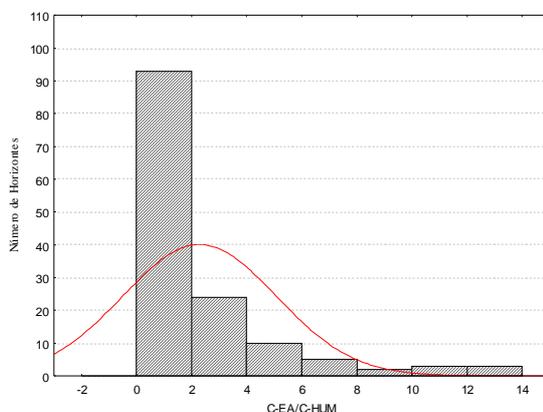


Figura 6. Distribuição de frequência dos horizontes subsuperficiais.

Tabela 5. Número de horizontes subsuperficiais classificados pela proposta.

Horizonte	Solúvel C-EA/C-HUM < 2,0 <sup>(1)</sup>	Hipersolúvel C-EA/C-HUM ≥ 2,0	Total
B espódico	9	42	51
B incipiente	10	-	10
B plânico	7	-	7
B textural	22	2	24
B latossólico	30	2	32
Glei	4	3	7
Flúvico	8	-	8
Vértico	1	-	1
<b>Total</b>	<b>91</b>	<b>49</b>	<b>140</b>

<sup>(1)</sup> C-EA: carbono do extrato alcalino (C-FAF + C-FAH); C-FAF: carbono da fração ácidos fúlvicos; C-FAH: carbono da fração ácidos húmicos; C-HUM: carbono da fração humina.

O alto valor da relação C-EA/C-HUM é indicativo da movimentação das frações alcalinas solúveis pelo perfil de solo e do surgimento de zonas de acúmulo de carbono orgânico em subsuperfície. Esse padrão se deve à solubilidade dos ácidos fúlvicos e húmicos que percolam no perfil, enquanto a humina, por sua natureza pouco solúvel, concentra-se nas camadas superficiais dos solos (BENITES et al., 2001).

O predomínio dos ácidos fúlvicos e húmicos em horizontes subsuperficiais de solos brasileiros, principalmente B espódico, foi observado por Benites et al. (2001), Benites (2002), Schaefer et al. (2002) e Fontana et al. (2010). Neste grupo, excluem-se os horizontes A enterrado e C com caráter flúvico, pois ambos não apresentam evidências de iluviação de matéria orgânica e sim de outros processos, além do que tendem a apresentar valores dessa relação  $< 1,0$ , o que indica predomínio do C-HUM.

Para os horizontes B espódico (Figuras 7 e 8), a própria gênese está relacionada a iluviação de matéria orgânica (frações alcalinas solúveis) isoladamente ou com alumínio e ferro (BUOL et al., 1980, EMBRAPA, 2006). A interação das frações alcalinas solúveis com íons metálicos indica a formação na superfície do solo de quelatos (complexos organometálicos), sendo o acúmulo em subsuperfície decorrente da translocação (eluviação/iluviação) pelo processo denominado de queluviação.

Quanto à precipitação dos complexos organo-metálicos, Buurman (1985) relata que esta ocorre quando um determinado valor da relação carbono/metal é atingido, sendo esta, dependente do pH do solo e da acidez potencial dos compostos orgânicos. Schnitzer (1986) relata que os ácidos húmicos podem formar complexos insolúveis em valores de pH menores que 6,5, quando associados com colóides. Outra hipótese está relacionada à presença de lençol freático, onde a drenagem limitada impede a saída do material orgânico solúvel verticalmente (ANDRIESSE, 1969).

Para os demais horizontes diagnósticos, condições específicas do ambiente de formação do solo podem influenciar para a maior participação das frações alcalinas solúveis. No horizonte glei, está relacionada a flutuação do lençol freático com a remoção dos horizontes superficiais. Para o horizonte B latossólico, a baixa estabilidade em superfície da matéria orgânica, com solos de textura média e/ou material de origem quartzítico, favorecem a percolação pelo perfil dos compostos orgânicos de maior solubilidade, enquanto para o horizonte B textural podem estar associados aos minerais de argila dispersos que percolam pelo perfil e/ou a precipitação devido a menor porosidade ou mudança no complexo sortivo.



**Figura 7.** Perfil com horizonte B espódico e ambiente de ocorrência. Local: Linhares – ES. Fonte: Ademir Fontana.



**Figura 8.** Detalhe das frações alcalino-solúveis colorindo a água em perfil de Espodossolo. Local: Linhares – ES. Fonte: Ademir Fontana.

## Conclusão

Propõe-se o uso da distribuição das frações húmicas como características diferenciais para os níveis de família (5º nível) e série (6º nível) do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: (a) Matéria Orgânica Hipossolúvel (horizontes minerais superficiais) –  $C\text{-EA}/C\text{-HUM} \leq 1,0$ ; (b) Matéria Orgânica Iluvial (horizontes minerais subsuperficiais) –  $C\text{-EA}/CHUM \geq 2,0$ .

## Agradecimentos

Ao CNPq, pela concessão de bolsas de Mestrado e Doutorado junto ao curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo (CPGA-CS) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRRJ); e aos laboratórios de Gênese e Classificação e de Matéria Orgânica do Departamento de Solos, da UFRRJ.

## Referências

ANDRIESSE, J. P. Study of the environmental and characteristics of tropical podzols in Sarawak (East-Malasia). **Geoderma**, v. 2, p. 201-227, 1969.

ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Matéria orgânica e pedogênese. In: SANTOS, G. A.; SILVA, G. A.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 65-86.

BENITES, V. M.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S. Fracionamento quantitativo de substâncias húmicas como auxiliar na identificação de diferentes solos da região sul do Brasil. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E APLICAÇÃO DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 6, 2000. **Guia de excursão de estudos de solos nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000, 222 p.

BENITES, V. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MENDONÇA, E. S.; MARTIN NETO, L. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob campos de altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 661-674, 2001.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. de A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 7 p. (Embrapa Solos. Comunicado técnico, 16).

BENITES, V. M. **Caracterização de solos e das substâncias húmicas em complexo rupestre de altitude**. 2002. 83 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BUOL, S. W.; HOLE, F. D.; Mc CRACKEN, R. J. **Soil genesis and classification**. Ames: State University, Press, 1980. 404 p.

BUURMAN, P. Carbon/sesquioxide ratios in organic complexes and the transition albic-spodic horizon. **Journal of Soil Science**, v. 36, p.255-260, 1985.

CALEGARI, M. R. **Ocorrência e significado paleoambiental do horizonte a húmicoem Latossolos**. 2008. 259 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S. RUIZ, H. A.; BASTOS, R. S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região de várzeas de Souza (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p.311-324, 2003.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; CANELLAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. O.; TROMPOWSKY, P. M.; SANTOS, G. A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta Amazônica**, v. 37, p.91-98, 2007.

DRIESSEN, P. **Lecture notes on the major soils of the world**. Roma: FAO, 2001. (World Soil Resources Reports, 94).

DUCHAUFOR, P. Dynamics of organic matter in soil of temperate regions: its action on pedogenesis. **Geoderma**, v. 15, p. 1-40, 1976.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006.

FANNING, D. S.; FANNING, M. C. B. **Soil morphology, genesis, and classification**. Hoboken: John Wiley & Sons, 1989. 395 p.

FONTANA, A.; BENITES, V. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Quantificação e utilização das frações húmicas como característica diferencial em horizontes diagnósticos de solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1241-1257, 2010.

GAIFFE, M.; DUQUET, G.; TAVANT, H.; TAVANT, Y.; BRUCKERT, S. Stabilité biologique et comportement physique d'un complet argilo-humic placé dans différentes conditions de saturation en calcium ou en potassium. **Plant and Soil**, v. 77, p. 271-284, 1984.

IBRAIMO, M. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C.; LANI, J. L.; ROLIM-NETO, F. C.; ALBUQUERQUE, M. A.; MIRANDA, V. J. Gênese e micromorfologia de solos sob vegetação xeromórfica (caatinga) na região dos lagos (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 695-712, 2004.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, v. 5, p. 17-40, 1997.

KONONOVA, M. M. **Soil organic matter**. 2. ed. Oxford: Pergamon Press, 1966.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J.C.L.; MACHADO, P. L. O. de; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 821-832, 2003.

MAJZIK, A.; TOMBÁČZ, E. Interaction between humic acid and montmorillonite in the presence of calcium ions II. Colloidal interactions: charge state, dispersing and/or aggregation of particles in suspension. **Organic Geochemistry**, v. 38, p. 330–1340, 2007.

MUNEER, M.; OADES, J. M. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability 2. Field studies with  $^{14}\text{C}$ -labelled straw,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . **Australian Journal of Soil Research**, v. 27, p. 401-409, 1989.

MELO, V. F. **Solos e indicadores de uso agrícola em Roraima: áreas indígena Maloca Flechal e de colonização do Apiaú**. 2002. 145 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OADES, J. M. The retention of organic matter in soils. **Biogeochemistry**, v. 5, p. 35-70, 1988.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. Ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Embrapa Solos, 2005, 100 p.

SCHAEFER, C. E. R.; KER, J. C.; GILKES R. J.; CAMPOS J. C.; COSTA L. M.; SAADI, A. Pedogenesis on the uplands of the Diamantina Plateau, Minas Gerais, Brazil: a chemical and micropedological study. **Geoderma**, v. 107, p. 243-269, 2002.

SCHNITZER, M. Binding of humic substances by soil mineral colloids. In: HUANG, P. M.; SCHNITZER, M. (Ed.). **Interactions of soil minerals with natural organics and microbes**. Madison: Soil Science Society of America, 1986. p. 77-102.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil structure and soil organic matter: II. a normalized stability index and the effect of mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 1042–1049, 2000.

SOMBROECK, W. G.; NACHTERGAELE, F. O.; HEBEL, A. Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. **Ambio**, v. 22, p. 417–426, 1993.

SPAIN, A. V.; ISBELL, R. F.; PROBERT, M. E. Soil organic matter. In: CSIRO. **Soils, an australian viewpoint**. London: Academic Press, 1983, p. 551-563.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 1011-1020. Part 3.

THENG, B. K. G. **The chemistry of clay-organic reactions: formation and properties of clay-polymer complexes**. London: Adam Hilger; New York: Elsevier Science Publishing, 1979. 343 p.

TOMBÁ CZ, E.; LIBOR, Z.; ILLÉS, E.; MAJZIK, A.; KLUMPP, E. The role of reactive surface sites and complexation by humic acids in the interaction of clay mineral and iron oxide particles. **Organic Geochemistry**, v. 35, p.257–267, 2004.

YOEMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1467-1476, 1988.

ZECH, W.; HAUMAIER, L.; HEMPFLING, R. Ecological aspects of soil organic matter in tropical land use. In: McCARTHY, P.; CLAPP, C. E.; MALCOLM, R. L.; BLOMM, P. R. (Ed.). **Humic substances in soil and crop sciences: selected Readings**. Madison: SSSA, 1990. p. 187-201.

**Embrapa**

---

*Solos*