

Comissão 1.2 - Levantamento e classificação do solo

CLASSIFICAÇÃO DE HORIZONTES DIAGNÓSTICOS EM NÍVEIS HIERÁRQUICOS INFERIORES COM BASE NAS FRAÇÕES HÚMICAS⁽¹⁾

Ademir Fontana⁽²⁾, Marcos Gervasio Pereira⁽³⁾, Lúcia Helena Cunha dos Anjos⁽³⁾ & Vinicius de Melo Benites⁽²⁾

RESUMO

Com desenvolvimento da classificação dos solos até o quarto nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS, busca-se a elaboração e padronização de propostas para a classificação dos solos no quinto e sexto níveis categóricos (família e série). Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo verificar a viabilidade das frações húmicas para a classificação de horizontes diagnósticos no quinto ou sexto níveis categóricos (família e série) do SiBCS. Para o desenvolvimento da proposta, foram utilizados 169 horizontes diagnósticos distribuídos entre O histórico, H histórico, A chernozêmico, A húmico e B espódico. Esses horizontes foram analisados quanto à composição química e física. Também foram quantificados os teores de C orgânico nas frações: ácidos fúlvicos (C-FAF), ácidos húmicos (C-FAH) e humina (C-HUM), extrato alcalino (C-EA). Foram calculadas as relações C-FAH/C-FAF, C-EA/C-HUM (C-EA = C-FAF + C-FAH) e a %FAF, %FAH e %HUM. As propostas de classes estabelecidas para cada horizonte diagnóstico no quinto ou sexto níveis categóricos estão relacionadas ao C-FAH e C-HUM e às relações C-FAH/C-FAF e C-EA/C-HUM, identificadas a partir de correlações significativas com os atributos químicos e físicos. Quanto aos horizontes O e H histórico, apresentam-se classes com base na relação C-FAH/C-FAF. Nos horizontes A chernozêmico e A húmico há duas classes para cada um deles, tendo como base C-HUM e a relação C-FAH/C-FAF, para o primeiro, e C-FAH e C-HUM, para o segundo. Para os horizontes B espódico, apresentam-se três classes, a partir do C-FAH e das relações C-FAH/C-FAF e C-EA/C-HUM.

Termos de indexação: SiBCS, matéria orgânica e classes de classificação.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor no Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. Recebido para publicação em janeiro de 2010 e aprovado em janeiro de 2011.

⁽²⁾ Pesquisador, Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico 1024, CEP 22460-000 Rio de Janeiro (RJ). E-mails: ademir.fontana@cnps.embrapa.br; vinicius@cnps.embrapa.br

⁽³⁾ Professor Associado II, Departamento de Solos, UFRRJ. Bolsista do CNPq e da FAPERJ. E-mails: gervasio@ufrjr.br; lanjoso@ufrjr.br

SUMMARY: CLASSIFICATION OF DIAGNOSTIC HORIZONS IN LOWER HIERARCHICAL LEVELS ON THE BASIS OF HUMIC FRACTIONS

With the development of soil classification to the fourth category level of the Brazilian Soil Classification System – SiBCS, it seeks the development and standardization of proposals for the classification of soils in 5th and 6th categorical levels (family and series). In this sense, this paper aims to available the viability of the humic fractions for the classification of diagnostic horizons in the 5th or 6th categorical levels (family and series) of SiBCS. For the development of the proposal a total of 169 diagnostic horizons distributed among Folistic Epipedon (O hístico), Histic Epipedon (H hístico), Mollic Epipedon (A chernozêmico), Umbric Epipedon (A húmico) and Spodic Horizon (B espódico) were used. These horizons were analyzed for chemical and physical composition. Also quantified the levels of organic carbon fractions: fulvic acids (C-FAF), humic acids (C-HAF) and humin (C-HUM) and alkaline extract (C-AE). Relations were calculated C-HAF/C-FAF, C-AE/C-HUM (AE = C-FAF + C-HAF) and %FAF, %FAH and %HUM. Proposals for classes completed for each diagnostic horizons in the 5th or 6th categorical levels are related to the C-FAH, C-HUM and C-HAF/C-FAF and C-AE/C-HUM ratios, identified from significant correlations with the chemical and physical attributes. For O and H Epipedons presents classes based on the C-HAF/C-FAF ratio. The Mollic and Umbric Epipedons have been two classes for each horizon, based on the C-HUM and C-HAF/C-FAF ratio for the first and the C-HAF and C-HUM, for the second. For Spodic Horizon, are presented three classes, from the C-HAF and C-HAF/C-FAF and C-AE/C-HUM ratios.

Index terms: SiBCS, organic matter and classification classes.

INTRODUÇÃO

Com a publicação da primeira edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Embrapa, 1999), que normatiza a classificação dos solos até o quarto nível categórico e sugere o emprego de alguns atributos para os demais níveis, foi iniciado o processo de validação e aperfeiçoamento desse sistema. Algumas mudanças foram apresentadas na segunda edição no ano de 2006 (Embrapa, 2006), onde as classes de solos foram estruturadas até o quarto nível categórico. O quinto e sexto níveis categóricos, que se encontram em fase de estruturação, são utilizados para atender funções pragmáticas, sendo avaliadas as características diferenciais e propriedades que possam vir a influenciar o uso e manejo do solo para fins diversos. Até o momento, conforme analisado o SiBCS, são apresentadas apenas propostas de critérios e atributos taxonômicos para sua definição, carecendo ainda de sugestões que visem concluir a classificação nesses níveis hierárquicos (Embrapa, 2006).

Nesse sentido, têm-se apresentado propostas para esses dois níveis categóricos voltadas para as frações húmicas que compõem a matéria orgânica do solo. O uso das frações húmicas como proposta de característica diferencial deve-se à relação da matéria orgânica com o uso e manejo dos solos, bem como ao crescimento das plantas, especialmente no desenvolvimento do sistema radicular, nas relações solo-água-plantas e nas propriedades importantes para engenharia e geotécnica.

A utilização das frações húmicas tem por base a análise da sua distribuição ao longo do perfil de solo, condicionada pela mobilidade e também pela maior ou menor interação com a matriz mineral, que irá refletir na diferenciação dos horizontes, com reflexos em suas propriedades físicas e químicas. Para Anjos et al. (2008), as diferenças observadas na quantidade e na proporção das frações húmicas não só expressam variações na pedogênese, como também permitem relacioná-las com atributos relevantes ao manejo dos solos.

Como proposta, Valladares et al. (2003) sugerem a utilização das frações húmicas na ordem dos Organossolos. Esses autores apresentaram uma subdivisão de classes com base nos teores de C das frações ácidos fúlvicos (C-FAF) e ácidos húmicos (C-FAH) e na relação entre o C do extrato alcalino (C-EA) e a humina (C-EA/C-HUM), sendo esta apresentada no SiBCS (Embrapa, 2006).

Nessa mesma linha de pesquisa, Fontana et al. (2008a,b), em estudos com diversas classes e horizontes diagnósticos de solos, relatam que a distribuição das frações húmicas pode ser usada para o entendimento dos processos pedogenéticos e para a caracterização de solos no nível de ordens e de horizontes diagnósticos do SiBCS. Nesses estudos, os autores têm destacado a utilização das frações húmicas nos horizontes diagnósticos H hístico, A chernozêmico e B espódico.

Fontana et al. (2010) apresentam uma proposta de características diferenciais para os níveis de família

e série do SiBCS com base nas frações húmicas, sendo: matéria orgânica estável (horizontes minerais superficiais) com valores da relação do C-EA/C-HUM $\leq 0,5$; matéria orgânica iluvial (horizontes minerais subsuperficiais) com valores da relação do C-EA/C-HUM $\geq 2,0$; e potencial de lixiviação (sistema ou solo) com valores da relação do C-FAH/C-FAF e do C-EA/C-HUM $\geq 1,0$.

O presente trabalho teve como objetivo verificar a viabilidade das frações húmicas para a classificação de horizontes diagnósticos no quinto ou sexto níveis categóricos (família e série) do SiBCS.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados 169 horizontes diagnósticos, distribuídos entre O hístico, H hístico, A chernozêmico, A húmico e B espódico, conforme caracterização apresentada por Fontana et al. (2010). Esses horizontes foram selecionados em razão da maior participação da matéria orgânica em sua composição (Anjos et al., 2008). Os horizontes foram coletados em diferentes regiões fisiográficas do Brasil, sendo classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Embrapa, 2006).

Foram avaliados os seguintes atributos químicos e físicos: pH em água, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ , soma de bases (SB), H, Al^{3+} , capacidade de troca de cátions a pH 7,0 ($\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$), capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe), saturação por bases (V %) e a granulometria, quantificando-se as frações areia, silte e argila pelo método da pipeta (Embrapa, 1997).

Também foram quantificadas as frações húmicas, segundo a técnica de solubilidade diferencial estabelecida pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (Swift, 1996), com adaptações (Benites et al., 2003a).

Na extração das frações húmicas foi utilizado 1,0 g de solo, o qual foi submetido ao contato com 20 mL de solução de NaOH a $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ por 24 h. Após esse período, o extrato alcalino foi separado do resíduo por meio de centrifugação a 5.000 gravidade 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, acondicionado em placa de Petri e secado a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ (secagem completa). 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 C orgânico nas frações ácidos fúlvicos e húmicos foi feita usando-se alíquotas de 5,0 mL de extrato, 1,0 mL de dicromato de potássio $0,042 \text{ mol L}^{-1}$ e 5,0 mL de ácido sulfúrico concentrado, levado ao bloco digestor a $150 \text{ }^\circ\text{C}$ até (30 min) e titulado com sulfato ferroso amoniacal $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$. 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 bloco digestor a $150 \text{ }^\circ\text{C}$ (30 min) e titulação com sulfato ferroso amoniacal $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ e indicador ferroin (Yeomans & Bremner, 1988).

A partir dessa análise foram obtidos o C orgânico da fração ácidos fúlvicos (C-FAF), fração ácidos húmicos (C-FAH) e humina (C-HUM) e as relações C-FAH/C-FAF e C-EA/C-HUM, sendo $(\text{C-EA} = \text{C-FAF} + \text{C-FAH})$ (Benites et al., 2003a). Também foi calculado o percentual de cada fração em relação ao carbono orgânico total, % FAF, % FAH e % HUM.

Para a proposta de separação dos horizontes diagnósticos por classes no quinto e sexto níveis categóricos, foi analisada a distribuição das frações húmicas referentes aos valores quantitativos (C-FAF, C-FAH, C-HUM) e qualitativos (C-FAH/C-FAF e C-EA/C-HUM), que se destacaram pela magnitude e, ou, participação, além da capacidade de formação de grupos distintos em cada horizonte diagnóstico. Também, como análise auxiliar na tomada de decisão, fez-se uso da correlação de Pearson entre as frações húmicas e os atributos químicos e físicos de cada horizonte diagnóstico. Os valores participativos (% FAF, % FAH e % HUM) foram testados, porém apresentaram baixa capacidade de formação de grupos distintos.

Os valores das classes foram estabelecidos com base nas medidas de tendência central (média ou mediana) e, ou, na distribuição de frequências. Para validação, os horizontes foram submetidos à classificação proposta e realizou-se a comparação dos dados dos atributos químicos (pH, SB, H, Al^{3+} , $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$, CTCe e V %) e físicos (areia, silte e argila) das classes estabelecidas.

Para comparação nas classes estabelecidas, os dados foram submetidos a teste de homogeneidade de variâncias e distribuição normal dos dados; quando atendidas as premissas, foi empregada a análise paramétrica, sendo realizada a análise de variância e avaliação do teste F para as classes das frações húmicas. Quando não atendidas as premissas, utilizou-se a análise não paramétrica, com a realização do teste de Mann-Whitney. Como nível de significância (intervalo de confiança) para ambos os testes foi utilizado o valor $p < 0,10$, uma vez que neste trabalho a confiança é suficiente para estabelecer as classes de classificação. Quanto à análise multivariada, fez-se uso da análise da distância generalizada de Mahalanobis (Johnson & Wichern, 1992; Khattree & Naik, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Horizontes O hístico

Nesses horizontes orgânicos, devido à natureza do material de origem, os teores das frações húmicas e dos atributos químicos apresentaram ampla variação (Quadro 1), destacando-se os altos valores de H e $CTC_{pH\ 7,0}$. Esse padrão é indicativo da heterogeneidade entre os materiais orgânicos que compõem a origem desses horizontes, bem como reflexo da intensidade do processo de humificação a que a matéria orgânica é submetida e da composição da solução do solo.

Pela avaliação da correlação de Pearson, verificaram-se correlações positivas entre o C-FAH e a relação C-FAH/C-FAF com H (0,69 e 0,72). Para a relação C-FAH/C-FAF, verificou-se correlação positiva com Al^{3+} e $CTC_{pH\ 7,0}$ (0,66 e 0,63) e negativa com pH (-0,66). A relação C-EA/C-HUM apresentou correlação negativa com SB, CTCe e V%. Essas correlações demonstram a influência das frações húmicas na acidez potencial e ativa, onde os grupos funcionais COOH e OH das estruturas orgânicas dissociam-se em valores de pH 3,0, liberando o H para a solução (Carey & Sundberg, 1990), e as cargas negativas geradas irão contribuir na acidez potencial e na capacidade de retenção de cátions (Sposito, 1989; Stevenson, 1994; Canellas et al., 2008).

Para o estabelecimento das classes, a variável C-FAH/C-FAF apresentou maior potencial e assim denominado de classes fúlvico-húmico e hiper-húmico (Quadro 2). Pela análise entre os atributos químicos de cada classe, verificaram-se diferenças significativas entre os valores de pH, H e $CTC_{pH\ 7,0}$. Os valores de pH foram maiores na classe fúlvico-húmico, enquanto os valores de H e $CTC_{pH\ 7,0}$ foram maiores na classe hiper-húmico (Quadro 3).

Horizontes H hístico

Assim como nos horizontes O hístico, os teores das frações húmicas e dos atributos químicos apresentaram ampla variação, observando-se altos valores da relação C-FAH/C-FAF e, de maneira geral, maiores que 2,0, além dos altos valores de H e $CTC_{pH\ 7,0}$ (Quadro 4).

Pela avaliação da análise de correlação, foram observadas correlações negativas entre o C-FAH e a relação C-FAH/C-FAF com pH (-0,65 e -0,57) e positivas destas com H (0,67 e 0,69), assim como apresentado para os horizontes O hístico.

Nestes horizontes, além das propostas já apresentadas por Valladares et al. (2003), observa-se nova possibilidade de separação de classes com o uso da relação C-FAH/C-FAF (Quadro 5).

Foram verificadas diferenças significativas na maioria dos atributos, exceto para SB e CTCe (Quadro 6). Os menores valores de pH e V% foram observados na classe hiper-húmico, enquanto os valores de H, $CTC_{pH\ 7,0}$ e Al^{3+} foram menores na classe fúlvico-húmico. Em relação aos menores valores de pH, observa-se a influência do tiomorfismo, uma vez que a maior parte dos baixos valores está relacionada a horizontes com subscrito "j", assim como a sua maior

Quadro 2. Proposta de utilização das frações húmicas para a classificação de horizontes O hístico

Variável ⁽¹⁾	Valor ⁽¹⁾	Classificação
C-FAH/C-FAF	≤ 2,0	fúlvico-húmico
	> 2,0	hiperhúmico

⁽¹⁾ Limite estabelecido com base na média. C-FAF: carbono orgânico da fração ácidos fúlvicos; C-FAH: carbono orgânico da fração ácidos húmicos.

Quadro 1. Frações húmicas e atributos químicos dos horizontes O hístico

Perfil Horizonte	C-FAF ⁽¹⁾	C-FAH	C-HUM	C-FAH/C-FAF	C-EA/C-HUM	pH _{H₂O}	SB	H	Al ³⁺	CTC _{pH 7,0}	CTCe	V	
	g kg ⁻¹						cmol _c kg ⁻¹					%	
CA1	O	24,0	57,0	120,8	2,4	0,7	5,2	1,50	37,8	3,0	42,30	4,47	3
CA4	O	23,6	32,6	63,6	1,4	0,9	4,9	1,20	32,9	2,6	36,70	3,79	3
CD1	O	6,9	24,0	62,0	3,5	0,5	3,7	4,70	34,1	3,0	41,80	7,73	11
CD6	O	5,7	27,6	64,6	4,8	0,5	3,6	4,20	38,8	2,6	45,60	6,84	9
IB6	O	10,3	58,4	93,8	5,7	0,7	4,0	1,70	58,9	7,1	67,70	8,78	2
LS1	O	18,4	14,6	108,4	0,8	0,3	6,8	37,17	3,8	0,0	40,97	37,17	91
MB9	O	24,4	34,6	52,8	1,4	1,1	4,7	1,60	34,8	5,1	41,50	6,70	4
P1	O	2,8	1,4	62,8	0,5	0,1	7,5	47,60	1,6	0,0	49,20	47,63	97
PR3	O	35,8	51,3	132,5	1,4	0,7	5,7	14,90	24,2	0,7	39,80	15,58	37
RJ2	O1	27,0	20,6	65,3	0,8	0,7	4,8	1,92	33,0	0,0	34,92	1,92	5
RJ2	O2	18,7	6,0	26,0	0,3	1,0	5,6	0,14	14,9	0,0	14,99	0,14	1
RS2	O	9,4	16,3	28,9	1,7	0,9	4,0	2,07	17,4	4,5	23,97	6,57	9
RS3	O	15,3	10,8	60,8	0,7	0,4	4,8	3,25	36,7	3,1	43,05	6,35	8

⁽¹⁾ C-FAF: carbono orgânico da fração ácidos fúlvicos; C-FAH: carbono orgânico da fração ácidos húmicos; C-HUM: carbono orgânico da fração húmica; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; CTCe: capacidade de troca de cátions efetiva; V%: saturação por bases. C-EA: carbono orgânico do extrato alcalino (C-FAF + C-FAH).

Quadro 3. Comparações⁽¹⁾ dos atributos químicos a partir da classificação proposta pela relação C-FAH/C-FAF nos horizontes O histórico

Atributo	Teste utilizado	Fúlvico - Húmico (n = 9)	Hiperhúmico (n = 4)
pH em água	F ⁽²⁾	5,4 a	4,1 b
SB (cmol _c kg ⁻¹)	Mann-Whitney	2,10 a	3,00 a
H (cmol _c kg ⁻¹)	F	22,1 b	42,4 a
Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	F	1,8 a	3,9 a
CTC _{pH 7,0} (cmol _c kg ⁻¹)	F ⁽²⁾	36,10 b	49,40 a
CTCe (cmol _c kg ⁻¹)	Mann-Whitney	6,57 a	7,29 a
V (%)	Mann-Whitney	8 a	6 a

⁽¹⁾ Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente a 5 %. ⁽²⁾ Significativo a 10 %.

Quadro 4. Frações húmicas e atributos químicos dos horizontes H histórico

Perfil Horizonte	C-FAF ⁽¹⁾	C-FAH	C-HUM	C-FAH/C-FAF	C-EA/C-HUM	pH _{H₂O}	SB	H	Al ³⁺	CTC _{pH 7,0}	CTCe	V	
	g kg ⁻¹						cmol _c kg ⁻¹			%			
AE19	H	3,8	8,3	66,3	2,2	0,2	7,1	27,91	3,3	0,0	31,21	27,91	89
AL1	Hop1	30,5	65,5	149,5	2,1	0,6	4,4	3,00	11,3	0,6	14,90	3,62	20
AL2	Hdopj	16,8	98,0	236,7	5,8	0,5	3,2	2,54	34,0	6,0	42,52	8,52	6
BA2	Hdj	12,1	98,0	279,3	8,1	0,4	3,4	9,50	75,5	3,2	88,30	12,73	11
BA2	Hdoj1	12,4	159,2	151,1	12,8	1,1	3,2	4,30	64,1	3,8	72,20	8,08	6
BA3	Hdopj1	22,6	79,0	156,0	3,5	0,7	3,6	12,30	43,2	1,6	57,20	13,92	22
DF1	Hd1	14,4	92,8	26,6	6,4	4,0	5,9	21,05	12,2	0,0	33,26	21,06	63
DF1	Hd2	12,1	57,2	44,8	4,7	1,5	5,4	5,92	28,8	0,2	34,96	6,16	17
ES1	Hdp1	23,9	61,1	77,3	2,6	1,1	4,0	2,80	20,4	0,8	24,10	3,61	12
MA	Hj	2,7	10,8	38,1	4,0	0,4	4,5	79,00	10,3	0,5	89,80	79,50	88
MG2	Hdo1	11,7	22,4	71,9	1,9	0,5	5,1	2,08	11,9	1,3	15,28	3,38	14
MS2	Hdo1	14,8	57,2	39,3	3,9	1,8	4,4	3,51	22,8	1,6	27,93	5,13	13
MS2	Hd	6,9	75,3	38,5	10,9	2,1	4,3	6,21	32,3	2,2	40,70	8,40	15
P5	H	4,0	3,0	85,8	0,8	0,1	8,3	38,10	0,0	0,0	38,10	38,10	100
PR2	Hdp1	10,5	68,1	46,4	6,5	1,7	4,4	9,40	34,1	0,7	44,20	10,08	21
PR2	Hdp2	12,1	117,2	63,6	9,7	2,0	4,1	5,60	58,7	4,5	68,80	10,10	8
RJ	H	8,9	30,2	47,6	3,4	0,8	6,4	22,56	11,1	0,0	33,66	22,56	67
RJ3	Hdp	21,8	90,1	105,0	4,1	1,1	4,8	23,20	23,2	2,4	48,78	25,58	48
RJ3	Hdo1	29,2	91,5	106,2	3,1	1,1	5,3	27,77	18,9	1,1	47,74	28,84	58
RJ5	Ho1	14,3	49,6	145,2	3,5	0,4	3,2	52,50	41,8	6,5	100,80	58,95	52
RS1	Hdp	10,9	33,2	44,3	3,0	1,0	5,4	7,70	38,1	1,4	47,18	9,08	16
RS4	Hpj	12,9	129,0	263,6	10,0	0,5	3,0	8,00	83,6	5,5	97,10	13,50	8
RS5	Hdpj	12,7	127,6	216,3	10,0	0,6	3,7	21,90	52,3	0,6	74,90	22,53	29
RS5	Hdj	13,2	115,5	139,2	8,8	0,9	3,5	10,20	44,9	2,2	57,40	12,41	18
SC1	H1	32,7	78,0	95,1	2,4	1,2	4,5	17,00	19,1	0,3	36,44	17,34	47
SC1	H2	26,0	108,5	224,5	4,2	0,6	4,6	23,30	15,8	0,6	39,68	23,88	59
SC2	Hdoj1	27,3	164,9	154,4	6,0	1,2	3,6	6,90	47,4	2,2	56,60	9,13	12
SC2	Hdoj2	13,5	183,0	222,6	13,6	0,9	3,3	7,90	42,1	2,1	52,10	10,00	15
SP1	Hp1	23,3	104,6	40,6	4,5	3,2	5,2	3,15	57,8	0,5	61,40	3,60	5
SP1	Hp2	15,1	104,4	16,5	6,9	7,2	5,1	1,51	41,5	0,3	43,26	1,76	3

⁽¹⁾ C-FAF: carbono orgânico da fração ácidos fúlvicos; C-FAH: carbono orgânico da fração ácidos húmicos; C-HUM: carbono orgânico da fração humina; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; CTCe: capacidade de troca de cátions efetiva; V %: saturação por bases. C-EA: carbono orgânico do extrato alcalino (C-FAF + C-FAH).

acidez potencial (Quadro 4). Esses resultados indicam que os solos hiper-húmicos tendem a apresentar menor fertilidade natural. Valladares et al. (2003) observaram padrão semelhante em relação à presença de horizontes tiomórficos na classe húmico (C-FAH > 90 g kg⁻¹) da proposta de classificação com base nas frações húmicas para Organossolos.

Horizontes A chernozêmico

Diferindo dos horizontes anteriores, esses minerais apresentaram menor variação dos teores das frações húmicas e dos atributos químicos e físicos (Quadro 7). Observa-se o predomínio da humina, com altos valores da %HUM, além de altos valores de pH e SB. Esse

Quadro 5. Proposta de utilização das frações húmicas para a classificação de horizontes H histórico

Variável	Valor ⁽¹⁾	Classificação
C-FAH/C-FAF	≤ 5,0 > 5,0	fúlvico-húmico hiperhúmico

⁽¹⁾ Limite estabelecido com base na frequência. C-FAF: carbono orgânico da fração ácidos fúlvicos; C-FAH: carbono orgânico da fração ácidos húmicos.

Quadro 6. Comparações⁽¹⁾ dos atributos químicos a partir da classificação proposta pela relação C-FAH/C-FAF nos horizontes H histórico

Atributo	Teste utilizado	Fúlvico-Húmico (n = 17)	Hiperhúmico (n = 13)
pH em água	F	5,1 a	3,9 b
SB (cmol _c kg ⁻¹)	Mann-Whitney	17,00 a	7,90 a
H (cmol _c kg ⁻¹)	F	22,2 b	47,9 a
Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	F	1,1 b	2,6 a
CTC _{pH 7,0} (cmol _c kg ⁻¹)	F ⁽²⁾	44,10 b	59,30 a
CTCe (cmol _c kg ⁻¹)	Mann-Whitney	17,34 a	10,08 a
V (%)	F	43 a	17 b

⁽¹⁾ Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente a 5 %. ⁽²⁾ Significativo a 10 %.

padrão é indicativo de maior homogeneidade desses horizontes quanto à intensidade do processo de humificação da matéria orgânica e da composição da solução do solo.

Na avaliação das correlações, destacam-se as positivas entre C-FAF e C-FAH com silte (0,50). O C-HUM apresentou correlação positiva com SB, CTC_{pH 7,0} e CTCe (0,49, 0,54 e 0,49) e com silte (0,58), e negativa com areia (-0,47). A relação C-FAH/C-FAF mostrou correlação positiva com H (0,49), e a relação C-EA/C-HUM, negativa com os atributos químicos, exceto H (-0,54).

Para esses horizontes foram estabelecidas classes com base em duas variáveis, sendo a relação C-FAH/C-FAF, já proposta por Lobova (1965), com valor > 1,0 para Chernossolos da Ásia ocidental; contudo, a atual proposta apresenta diferença no valor-limite das classes (Quadro 8).

Pela comparação entre as classes hipo-humina e humina, verificou-se que entre os atributos químicos houve diferenças significativas para os valores de SB, CTC_{pH 7,0}, CTCe e entre os atributos físicos para areia e silte (Quadro 9). Para os atributos químicos e o silte, os maiores valores estão na classe humina, enquanto para areia o maior valor foi observado na classe hipo-humina. O padrão observado para os atributos químicos e físicos na classe humina reflete a importância das bases trocáveis como agente potencializador da estabilidade entre a fração orgânica e a matriz mineral desses solos.

Na comparação entre as classes fúlvico e húmico, verificaram-se diferenças significativas entre os valores de pH, H e V % (Quadro 9). Os valores de pH foram maiores na classe fúlvico e refletem solos com menor acidez potencial, como evidenciado pelos menores valores de H e V %.

Horizontes A húmico

Diferentemente dos horizontes minerais anteriores, nesse horizonte mineral os teores das frações húmicas e dos atributos químicos e físicos apresentaram ampla variação (Quadro 10). Esse padrão demonstra a heterogeneidade da composição desses horizontes, uma vez que para a sua classificação no SiBCS são avaliados os teores de COT em uma seção de controle preestabelecida.

Nesses horizontes foram observadas, com destaque, correlações positivas entre o C-FAH e C-HUM com H (0,41 e 0,57) e CTC (0,42 e 0,66). Para o C-HUM também se observa a correlação positiva com Al³⁺ (0,42), CTCe (0,64) e silte (0,47).

As classes estabelecidas tiveram como base duas variáveis (Quadro 11). Em relação aos demais horizontes em estudo, a alta variabilidade entre os horizontes A húmicos contribui para o estabelecimento de classes distintas.

Pela análise entre as classes hipo-húmico e húmico e entre hipo-humina e humina, verificaram-se diferenças significativas entre os valores de H, Al³⁺, CTC_{pH 7,0} e CTCe (Quadro 12). No entanto, para as classes hipo-humina e humina observou-se diferença significativa entre os valores de silte. Em ambos os atributos, os maiores valores ocorreram na classe húmico e humina, refletindo a importância da relação entre os ácidos húmicos e humina com a acidez potencial e capacidade de troca catiônica.

Horizontes B espódico

Nesses solos verificou-se o predomínio das frações alcalino-solúveis – nesse caso, as frações ácidos fúlvicos e ácidos húmicos. Esse predomínio também pode ser observado pelos altos valores da relação C-EA/C-HUM, a qual na sua maioria foi superior a 2,0 (Quadro 13). Segundo estudos nestes solos, os altos valores dessa relação indicam zonas de acúmulo de C orgânico (Benites et al., 2001, 2003b). Como características de pedoambiente, destacam-se os altos valores de areia, a qual se apresenta como fator de influência para o processo de eluviação/iluviação de C orgânico na forma de complexos organometálico (Buol et al., 1980; Gomes et al., 1998; Benites et al., 2001).

Observaram-se correlações positivas de C-FAH com H (0,61), Al³⁺ (0,52), CTC_{pH 7,0} (0,64) e CTCe (0,50) e, por outro lado, correlação negativa com pH (-0,61). Assim como nos solos apresentados anteriormente, os ácidos húmicos têm participação efetiva na dinâmica de troca de cátions dos solos (Sposito, 1989; Stevenson, 1994; Canellas et al., 2008). A relação C-EA/C-HUM

Quadro 7. Frações húmicas e atributos químicos e físicos dos horizontes A chernozêmico

Perfil	Hor.	g kg ⁻¹			C-FAH/ C-FAF	C-EA/ C-HUM	pH _{H₂O}	cmol _c kg ⁻¹			CTC _{pH 7,0}	CTCe	V	%		
		C-FAF ⁽¹⁾	C-FAH	C-HUM				SB	H	Al ³⁺				Areia	Silte	Argila
AE15	A	2,1	2,5	21,0	1,2	0,2	7,4	17,24	3,0	0,0	20,24	17,24	85	275	333	392
AE20	A	2,9	3,9	19,6	1,3	0,3	6,7	14,24	4,1	0,0	18,34	14,24	78	190	604	206
AE23	A	1,6	5,6	36,8	3,5	0,2	6,4	13,31	5,9	0,0	19,21	13,31	69	240	487	273
AE125	A	3,9	1,5	31,9	0,4	0,2	7,0	24,44	2,6	0,0	27,04	24,44	90	210	428	362
AE133	A	3,0	3,9	36,4	1,3	0,2	7,0	17,91	2,5	0,0	20,41	17,91	88	359	435	206
AE135	A	2,6	4,1	31,9	1,6	0,2	6,7	17,99	5,8	0,0	23,79	17,99	76	192	486	322
AE143	A	1,9	3,8	21,0	2,0	0,3	6,2	11,18	4,3	0,0	15,48	11,18	72	389	420	191
AE147	A	2,3	2,6	19,9	1,1	0,2	6,2	11,83	2,3	0,0	14,13	11,83	84	610	265	125
LS1	A2	3,7	3,5	18,6	0,9	0,4	6,6	20,46	3,1	0,0	23,56	20,46	87	267	424	309
LS2	A1	3,0	2,2	15,6	0,7	0,3	6,4	9,83	2,5	0,0	12,33	9,83	80	90	519	391
LS2	A2	2,7	1,8	9,8	0,7	0,5	6,3	7,02	3,0	0,0	10,12	7,02	69	53	490	457
MS1	A1	2,5	2,2	26,7	0,9	0,2	8,4	24,10	0,0	0,0	24,10	24,10	100	250	300	450
MS1	A2	1,5	2,1	24,3	1,4	0,1	7,3	21,20	0,0	0,0	21,20	21,20	100	261	223	516
P2	A1	3,9	8,2	41,4	2,1	0,3	7,3	31,11	2,8	0,0	33,91	31,11	92	219	489	292
P2	A2	2,7	2,1	25,6	0,8	0,2	7,3	28,46	1,6	0,0	30,06	28,46	95	242	454	304
P2"	A1	2,0	3,3	37,8	1,7	0,1	7,4	36,57	3,3	0,0	39,87	36,57	92	119	490	391
P2"	A2	1,8	1,7	31,2	0,9	0,1	7,2	33,05	4,1	0,0	37,15	33,05	89	137	444	419
P2"	AB	1,4	1,0	25,4	0,7	0,1	7,4	29,31	2,8	0,0	32,11	29,31	91	152	354	494
P3	A1	2,2	3,8	37,8	1,7	0,2	7,3	27,20	2,8	0,0	30,00	27,20	91	184	406	410
P3	A2	1,6	1,0	23,4	0,6	0,1	7,3	20,95	1,6	0,0	22,55	20,95	93	208	385	407
P3	AB	1,5	0,7	15,8	0,5	0,1	7,3	20,24	1,3	0,0	21,54	20,24	94	170	323	507
P4	A	2,2	1,2	37,8	0,5	0,1	8,3	29,31	0,0	0,0	29,31	29,31	100	117	475	408
P07	A1	2,5	1,6	12,3	0,6	0,3	8,4	38,06	0,0	0,0	38,06	38,06	100	150	280	570
P07	A2	0,6	0,1	7,1	0,2	0,1	8,4	39,48	0,0	0,0	39,48	39,48	100	140	310	550
P22	Ap	0,9	0,4	13,8	0,4	0,1	6,2	32,31	4,7	0,0	37,01	32,31	87	185	428	387
P43	A	0,9	0,6	17,8	0,7	0,1	8,3	29,10	0,5	0,0	29,60	29,10	98	87	552	361
PF1	Ap	1,1	0,5	11,7	0,5	0,1	7,4	10,18	0,8	0,0	11,01	10,18	93	673	127	200
PF2	Ap	1,0	0,1	9,9	0,1	0,1	7,2	13,31	0,8	0,0	14,14	13,31	94	516	256	228
PF2	AB	0,6	0,1	6,0	0,2	0,1	7,6	13,07	0,5	0,0	13,57	13,07	96	599	106	295
PF3	Ap	1,3	1,2	7,4	0,9	0,3	6,9	3,39	1,3	0,0	4,71	3,39	72	674	129	197
PF3	A2	1,4	0,7	12,0	0,5	0,2	6,9	10,82	3,8	0,0	14,62	10,82	74	658	190	152
PF6	Ap	2,9	2,1	11,8	0,7	0,4	6,7	15,54	3,3	0,0	18,84	15,54	82	462	334	204
PF6	A2	1,7	0,7	8,0	0,4	0,3	6,6	5,01	2,1	0,0	7,16	5,01	70	485	260	255
PF7	Ap	1,8	0,9	18,8	0,5	0,1	7,5	13,78	0,8	0,0	14,61	13,78	94	514	453	33
PT70	A1	1,8	1,9	9,3	1,1	0,4	5,7	6,01	2,0	0,0	8,01	6,01	75	849	90	61
PT70	A2	0,7	0,7	2,8	1,0	0,5	6,3	3,52	1,2	0,0	4,72	3,52	75	861	58	81
RJ	A	2,8	2,7	12,0	1,0	0,5	6,6	14,70	1,0	0,0	15,70	14,70	94	421	239	340
RJ1	Ap	1,2	0,5	10,0	0,4	0,2	8,2	10,08	0,1	0,0	10,18	10,08	99	488	241	271
RJ2	Ap	2,3	1,3	10,5	0,6	0,3	7,3	12,81	1,3	0,0	14,11	12,81	91	608	162	230
RS1	A	1,9	0,1	10,7	0,1	0,2	6,1	26,01	3,70	0,0	29,71	26,01	88	93	397	510
SC2	Ap	3,8	5,0	21,2	1,3	0,4	7,2	20,60	2,1	0,0	22,70	20,60	91	104	597	299
SC2	A2	2,8	2,8	13,3	1,0	0,4	6,0	10,95	6,0	0,0	16,95	10,95	65	10	496	494

⁽¹⁾ C-FAF: carbono orgânico da fração ácidos fúlvicos; C-FAH: carbono orgânico da fração ácidos húmicos; C-HUM: carbono orgânico da fração humina; SB: soma de bases; CTC_{pH 7,0}: capacidade de troca de cátions pH 7,0; CTCe: capacidade de troca de cátions efetiva; V%: saturação por bases. C-EA: carbono orgânico do extrato alcalino (C-FAF + C-FAH).

apresentou correlação positiva com Al (0,51), o que indica possível participação das frações alcalino-solúveis na translocação dos íons Al para os horizontes subsuperficiais. Quanto a estes horizontes, foram selecionadas três variáveis para o estabelecimento das classes (Quadro 14). Como o acúmulo de matéria orgânica iluvial é a principal característica diagnóstica desses horizontes, a proposta destacou principalmente a participação das frações alcalino-solúveis.

Pela análise dos atributos entre as classes hipohúmico e húmico, não foram verificadas diferenças estatísticas nos valores de SB e atributos físicos (Quadro 15). Os maiores valores de pH foram observados na classe hipohúmico, indicando a menor

Quadro 8. Proposta de utilização das frações húmicas para a classificação de horizontes A chernozêmico

Variável	Valor ^(1 e 2)	Classificação
C-HUM	≤ 20,0	hipohúmico
	> 20,0	húmico
C-FAH/C-FAF	≤ 0,8	fúlvico
	> 0,8	húmico

⁽¹⁾ Limite estabelecido com base na média. ⁽²⁾ Limite estabelecido com base na mediana. C-FAF: carbono orgânico da fração ácidos fúlvicos; C-FAH: carbono orgânico da fração ácidos húmicos; C-HUM: carbono orgânico da fração humina.

Quadro 9. Comparações⁽¹⁾ dos atributos químicos e físicos a partir da classificação proposta segundo C-HUM e a relação C-FAH/C-FAF nos horizontes A chernozêmico

Atributo	Teste utilizado	Hipohumina (n = 25)	Humina (n = 17)
pH em água	F	7,0 a	7,2 a
SB (cmol _c kg ⁻¹)	F	15,70 b	23,80 a
H (cmol _c kg ⁻¹)	F	2,0 a	2,7 a
CTC _{pH 7,0} (cmol _c kg ⁻¹)	F	17,70 b	26,80 a
CTCe (cmol _c kg ⁻¹)	F	15,67 b	23,76 a
V (%)	F	86 a	88 a
Areia (g kg ⁻¹)	Mann -Whitney ⁽²⁾	462 a	210 b
Silte (g kg ⁻¹)	F	309 b	424 a
Argila (g kg ⁻¹)	F	297 a	361 a
Atributo	Teste utilizado	Fúlvico (n = 22)	Húmico (n = 20)
pH em água	F	7,3 a	6,8 b
SB (cmol _c kg ⁻¹)	F	20,00 a	17,80 a
H (cmol _c kg ⁻¹)	F	1,7 b	2,9 a
CTC _{pH 7,0} (cmol _c kg ⁻¹)	F	21,70 a	21,00 a
CTCe (cmol _c kg ⁻¹)	F	19,96 a	17,83 a
V (%)	F	90 a	83 b
Areia (g kg ⁻¹)	F	314 a	331 a
Silte (g kg ⁻¹)	F	342 a	371 a
Argila (g kg ⁻¹)	F	344 a	299 a

⁽¹⁾ Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente a 5 %. ⁽²⁾ Significativo a 10 %.

Quadro 10. Frações húmicas e atributos químicos e físicos dos horizontes A húmico

Perfil	Hor.	C-FAF ⁽¹⁾	C-FAH	C-HUM	C-FAH/ C-FAF	C-EA/ C-HUM	pH _{H₂O}	SB	H	Al ³⁺	CTC _{pH 7,0}	CTCe	V	Areia	Silte	Argila
		g kg ⁻¹						cmol _c kg ⁻¹				%	g kg ⁻¹			
AM	A	2,7	1,7	7,7	0,6	0,6	4,4	0,96	7,1	0,9	8,94	1,86	11	721	60	219
BA1	A1	4,7	12,5	31,0	2,7	0,6	3,7	3,80	73,1	3,1	80,00	6,90	5	631	301	68
BA1	A2	2,6	6,6	12,1	2,5	0,8	5,3	1,60	10,1	1,3	13,00	2,90	12	737	78	185
CA2	AB	11,2	10,2	16,2	0,9	1,3	5,2	0,20	15,6	2,2	18,00	2,40	1	760	110	130
ES1	Ap	4,9	7,8	19,8	1,6	0,6	6,1	3,30	6,6	0,3	10,20	3,60	32	759	60	181
ES1	AC	1,5	4,6	8,5	3,1	0,7	6,1	1,60	3,4	0,6	5,60	2,20	29	885	40	75
IC1	A	3,1	8,0	14,8	2,6	0,8	4,8	0,87	7,7	0,6	9,17	1,47	9	799	125	76
MB4	A	4,3	9,5	10,8	2,2	1,3	4,4	0,55	12,1	1,6	14,25	2,15	4	815	42	143
MG	A2	6,3	4,8	11,1	0,8	1,0	4,2	0,27	9,7	1,6	11,57	1,87	2	399	84	517
P9	A	7,2	10,0	24,4	1,4	0,7	4,8	0,50	13,2	0,8	14,50	1,30	3	441	420	139
P9	AB	5,6	5,0	11,0	0,9	1,0	4,9	0,40	7,5	0,6	8,50	1,00	5	502	327	171
P12	Ap1	3,3	3,2	11,9	1,0	0,5	5,3	2,13	6,6	0,5	9,23	2,63	23	416	107	477
P12	Ap2	4,1	2,2	10,0	0,5	0,6	5,2	1,00	6,7	1,1	8,80	2,10	11	368	141	491
P25	Ap1	1,5	0,1	5,8	0,1	0,3	4,9	0,83	4,3	1,5	6,63	2,33	13	288	140	572
P25	Ab1	2,4	2,2	7,1	0,9	0,6	4,5	0,98	7,2	1,7	9,88	2,68	10	307	107	586
PA	A1	3,8	3,2	18,0	0,8	0,4	5,2	5,46	7,1	0,2	12,76	5,66	43	30	690	280
PA	AC	2,7	0,9	5,6	0,3	0,6	5,3	4,62	6,0	0,5	11,12	5,12	42	20	650	330
PF5	A1	5,2	4,8	14,5	0,9	0,7	4,4	0,80	13,5	4,2	18,50	5,00	4	350	160	490
PF5	A2	4,3	3,2	11,8	0,7	0,6	4,5	1,60	13,5	3,5	18,60	5,10	9	380	180	440
PR	Ap	6,0	12,0	19,9	2,0	0,9	5,7	13,11	11,7	0,1	24,91	13,21	53	296	221	483
PR	A2	3,8	16,8	9,9	4,4	2,1	4,9	2,39	18,6	2,3	23,29	4,69	10	415	185	400
PR1	A1	7,2	14,4	33,0	2,0	0,7	4,5	1,81	21,3	6,2	29,31	8,01	6	55	376	569
PR1	A2	5,7	9,2	16,0	1,6	0,9	4,6	0,67	15,5	5,2	21,37	5,87	3	65	327	608
RJ	A	4,9	11,8	25,3	2,4	0,7	5,8	12,29	8,3	0,0	20,59	12,29	60	396	317	287
RJ1	Ab2	1,7	2,0	2,5	1,2	1,5	5,5	3,01	3,4	0,0	6,41	3,01	47	697	102	201
RJ2	A1	17,8	22,0	18,4	1,2	2,2	5,0	1,52	17,3	2,3	21,16	3,82	7	480	229	291
RJ2	A2	5,3	15,3	10,4	2,9	2,0	5,6	1,26	12,6	1,4	15,29	2,66	8	590	152	258
RS	A1	9,0	13,7	44,4	1,5	0,5	4,8	8,50	24,2	2,2	34,90	10,70	24	62	539	399
RS	A2	10,9	9,3	27,5	0,9	0,7	4,7	5,20	28,3	5,0	38,50	10,20	14	55	425	520
RS	A3	8,2	8,2	13,6	1,0	1,2	4,8	3,80	14,8	5,5	24,10	9,30	16	73	330	597
RS1	A	7,2	7,2	29,2	1,0	0,5	4,1	1,00	21,0	9,0	31,00	10,00	3	120	370	510
RS2	A	4,6	21,0	13,0	4,6	2,0	4,1	1,07	23,4	4,5	28,97	5,57	4	376	188	436
RS3	A2	6,6	5,1	26,0	0,8	0,5	4,8	0,50	35,0	7,1	42,60	7,60	1	580	150	270
SB4	A	4,9	10,4	20,2	2,1	0,8	4,2	1,12	16,4	3,7	21,22	4,82	5	680	230	90
SP	A1	6,6	4,6	17,2	0,7	0,7	4,2	0,72	9,0	1,2	10,95	1,92	7	680	130	190
SP	A2	5,2	3,9	10,5	0,8	0,9	4,7	0,41	8,8	0,6	9,81	1,01	4	620	140	240
SP1	Ap	4,2	39,3	6,6	9,4	6,6	3,6	0,57	24,9	3,3	28,77	3,87	2	507	255	238
SP2	A1	2,8	1,2	7,9	0,4	0,5	4,2	0,28	6,2	1,0	7,48	1,28	4	681	55	264
SC1	A	7,8	2,6	13,0	0,3	0,8	4,6	2,27	11,8	4,1	18,17	6,37	12	179	373	448

⁽¹⁾ C-FAF: carbono orgânico da fração ácidos fúlvicos; C-FAH: carbono orgânico da fração ácidos húmicos; C-HUM: carbono orgânico da fração humina; SB: soma de bases; CTC_{pH 7,0}: capacidade de troca de cátions pH 7,0; CTCe: capacidade de troca de cátions efetiva; V %: saturação por bases. C-EA: carbono orgânico do extrato alcalino (C-FAF + C-FAH).

influência da acidez potencial, uma vez que nela verificaram-se os menores valores de H e Al³⁺. Os maiores valores da CTC_{pH 7,0} e CTCe foram encontrados na classe húmico, indicando a participação dos ácidos húmicos como contribuintes de cargas negativas.

Nas classes fúlvico-húmico e hiper-húmico, foram observadas diferenças significativas entre os valores de pH, Al³⁺, CTC_{pH 7,0} e CTCe (Quadro 15). Os maiores valores de pH foram encontrados na classe fúlvico-húmico, indicando, assim como na classe anterior, a menor influência da acidez potencial – nesse caso, do Al³⁺; os maiores valores de CTC_{pH 7,0} e CTCe ocorreram na classe hiper-húmico.

Quadro 11. Proposta de utilização das frações húmicas para a classificação de horizontes A húmico

Variável	Valor ⁽¹⁾	Classificação
C-FAH	≤ 6,0	hipohúmico
	> 6,0	húmico
C-HUM	≤ 15,0	hipohumina
	> 15,0	humina

⁽¹⁾ Limite estabelecido com base na frequência. C-FAH: carbono orgânico da fração ácidos húmicos; C-HUM: carbono orgânico da fração humina.

Quadro 12. Comparações⁽¹⁾ dos atributos químicos e físicos a partir da classificação proposta pelo C-FAH e C-HUM nos horizontes A húmico

Atributo	Teste utilizado	Hipohúmico (n = 18)	Húmico (n = 21)
pH em água	F	4,8 a	4,8 a
SB (cmol _c kg ⁻¹)	Mann -Whitney	0,97 a	1,52 a
H (cmol _c kg ⁻¹)	Mann -Whitney	7,2 b	15,6 a
Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	F ⁽²⁾	1,7 b	2,9 a
CTC _{pH 7,0} (cmol _c kg ⁻¹)	F	12,53 b	24,88 a
CTCe (cmol _c kg ⁻¹)	F	3,3 b	6,0 a
V (%)	F	15 a	13 a
Areia (g kg ⁻¹)	F	450 a	434 a
Silte (g kg ⁻¹)	F	202 a	251 a
Argila (g kg ⁻¹)	F	348 a	315 a
Atributo	Teste utilizado	Hipohumina (n = 23)	Humina (n = 16)
pH em água	F	4,8 a	4,8 a
SB (cmol _c kg ⁻¹)	Mann -Whitney	1,00 a	1,66 a
H (cmol _c kg ⁻¹)	Mann -Whitney	8,8 b	16,0 a
Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	F ⁽²⁾	1,9 b	3,0 a
CTC _{pH 7,0} (cmol _c kg ⁻¹)	Mann -Whitney	2,66 b	6,39 a
CTCe (cmol _c kg ⁻¹)	F	3,3 b	6,8 a
V (%)	F	13 a	17 a
Areia (g kg ⁻¹)	F	484 a	381 a
Silte (g kg ⁻¹)	F	175 b	306 a
Argila (g kg ⁻¹)	F	341 a	313 a

⁽¹⁾ Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente a 5 %. ⁽²⁾ Significativo a 10 %.

Nas classes hipoalcalino-solúvel e alcalino-solúvel, não foram observadas diferenças entre os valores de SB, V %, areia e silte (Quadro 15). Os maiores valores de pH foram observados na classe hipoalcalino-solúvel, indicando a menor influência da acidez potencial, como observado pelos menores valores de H e Al³⁺. Nessas classes, destacam-se as diferenças estatísticas entre os teores de argila, sendo maiores na classe hipoalcalino-solúvel.

Ademais, com o intuito de avaliar a capacidade de separação dos horizontes com base nas frações húmicas em cada horizonte diagnóstico, foi realizada a classificação proposta e, a partir dos dados dos atributos químicos e físicos, realizada a análise da distância generalizada de Mahalanobis. Com essa análise, é possível analisar a probabilidade de semelhança entre

as classes estabelecidas em cada horizonte diagnóstico. Nesse sentido, observou-se que os valores de probabilidade de semelhança ficaram entre 0,01 e 13,78 %, ambos para as classes dos horizontes A chernozêmico. De maneira geral, as probabilidades de semelhanças não ultrapassaram 2,00 %, com exceção do O hístico e A chernozêmico, ambos na classe com C-FAH/C-FAF.

As observações apresentadas pela distância de Mahalanobis qualificam as classes de classificação com base nas frações húmicas. Assim, mesmo nas classes que apresentaram certa semelhança, pode ser considerado resultado satisfatório, uma vez que os dados utilizados na validação foram os mesmos usados no estabelecimento das classes. Assim, a aplicação com dados de outros horizontes não constantes deste

Quadro 13. Frações húmicas e atributos químicos e físicos dos horizontes B espódico

Perfil	Hor.	C-FAF ⁽¹⁾	C-FAH	C-HUM	C-FAH/ C-FAF	C-EA/ C-HUM	pH _{H₂O}	SB	H	Al ³⁺	CTC _{pH 7,0}	CTCe	V	Areia	Silte	Argila
CAA	Bh	0,8	4,0	4,6	5,0	1,0	4,6	1,55	5,7	0,9	8,15	2,45	19	625	272	103
CA1	Bh	3,6	0,6	3,2	0,2	1,3	5,3	1,48	6,9	0,0	8,38	1,48	18	607	224	169
CA2	Bh1	0,4	6,3	3,5	15,8	1,9	4,4	1,48	7,1	2,0	10,58	3,48	14	705	239	56
CA2	Bh2	0,7	19,0	3,1	27,1	6,4	5,4	1,38	16,6	2,1	20,08	3,48	7	658	248	94
CA2	Bh3	2,0	14,7	2,9	7,4	5,8	4,6	1,48	13,3	4,1	18,88	5,58	8	699	211	90
CN08	Bhs	11,6	1,9	4,9	0,2	2,8	4,9	0,86	18,9	1,9	21,66	2,76	4	653	202	145
CP2	Bh	0,4	7,2	3,6	18,0	2,1	4,3	0,32	8,0	1,4	9,72	1,72	3	850	90	60
CR1	Bh1	2,3	7,3	2,6	3,2	3,7	4,5	1,76	11,1	2,9	15,76	4,66	11	769	104	127
CR1	Bh2	3,0	1,2	2,7	0,4	1,6	5,2	1,65	7,7	1,2	10,55	2,85	16	754	89	157
CR2	Bhs1	3,4	3,7	2,4	1,1	3,0	4,6	2,73	10,6	3,1	16,43	5,83	17	796	60	144
CR2	Bhs2	7,0	2,4	0,7	0,3	13,4	4,8	1,49	12,9	3,1	17,49	4,59	9	791	45	164
CR2	Bhs3	5,4	9,8	1,7	1,8	8,9	4,2	1,66	19,8	4,7	26,16	6,36	6	782	82	136
CR2	Bhsm	4,8	8,3	1,6	1,7	8,2	5,0	1,75	17,3	1,9	20,95	3,65	8	441	496	63
CR2	Bhs4	4,8	1,3	1,4	0,3	4,4	5,2	1,97	6,2	1,0	9,17	2,97	21	856	44	100
DI3	Bh	1,0	4,2	0,4	4,2	13,0	4,1	0,00	2,0	1,8	3,80	1,80	0	950	10	40
ES2	Bh1	4,9	10,8	4,7	2,2	3,3	5,4	0,78	12,1	1,4	14,28	2,18	5	860	20	120
ES2	Bh2	8,4	9,8	7,1	1,2	2,6	5,2	0,87	8,4	1,0	10,27	1,87	8	880	3	117
ES3	Bh1	3,4	8,6	6,0	2,5	2,0	6,2	0,86	7,6	0,7	9,16	1,56	9	900	13	87
ES3	Bh2	3,5	6,1	5,6	1,7	1,7	5,8	0,80	6,0	0,6	7,40	1,40	11	908	3	89
ES5	Bhsm1	4,9	2,6	1,9	0,5	3,9	5,1	1,20	9,1	1,1	11,40	2,30	11	950	0	50
ES5	Bhsm2	4,6	4,6	0,1	1,0	92	5,3	2,51	6,1	0,3	8,91	2,81	28	955	0	45
ES7	Bhs	8,2	4,2	4,8	0,5	2,6	5,3	0,70	13,0	1,0	14,70	1,70	5	701	64	235
F1	Bh	3,2	2,0	1,7	0,6	3,1	5,3	1,92	3,9	0,0	5,82	1,92	33	848	54	98
F2	Bh1	3,7	3,5	3,4	0,9	2,1	5,3	2,04	4,8	0,0	6,84	2,04	30	802	139	59
F2	Bh2	3,7	1,2	1,5	0,3	3,3	5,8	2,44	3,6	0,0	6,04	2,44	40	822	111	67
F2	Bh3	1,9	4,2	2,4	2,2	2,5	5,6	2,18	5,3	0,0	7,48	2,18	29	780	97	123
IB10	Bhs	2,7	7,3	5,2	2,7	1,9	4,6	0,53	4,8	1,6	6,93	2,13	8	830	50	120
IB13	Bh	2,6	3,7	6,5	1,4	1,0	4,6	0,55	6,6	1,3	8,45	1,85	7	880	5	115
P05	Bhs	8,2	5,2	2,6	0,6	5,2	4,8	0,43	11,7	1,0	13,13	1,43	3	876	43	81
P1	Bh	1,3	17,5	4,5	13,5	4,2	3,6	0,64	9,8	1,4	11,84	2,04	5	900	35	65
P2	Bh1	1,2	18,5	3,8	15,4	5,2	3,6	1,81	17,7	3,0	22,51	4,81	8	910	0	90
P3	Bh2	1,1	30,0	11,2	27,3	2,8	3,8	1,41	21,1	3,7	26,21	5,11	5	905	0	95
P7	Bh1	0,9	16,8	3,5	18,7	5,1	3,8	0,82	14,8	2,7	18,32	3,52	4	911	4	85
P10	Bh1	0,1	22,8	5,4	228,0	4,2	3,7	0,71	10,9	2,1	13,71	2,81	5	900	0	100
P16	Bsm	11,0	3,2	0,3	0,3	47,3	5,2	0,24	9,0	0,5	9,74	0,74	2	862	96	42
PR1	Bh2	4,4	1,4	1,5	0,3	3,9	5,6	1,81	2,0	0,0	3,81	1,81	48	860	60	80
PR2	Bh2	4,1	7,3	4,4	1,8	2,6	4,6	0,21	5,2	0,8	6,21	1,01	3	840	40	120
RO	Bhs1	2,9	2,0	3,3	0,7	1,5	5,2	0,44	3,8	0,0	4,24	0,44	10	905	13	82
RO	Bhs2	2,8	2,1	3,6	0,8	1,4	5,5	0,44	4,3	0,2	4,94	0,64	9	874	27	99
RO	Bhs3	1,1	2,0	0,7	1,8	4,4	5,5	0,44	3,2	0,1	3,74	0,54	12	872	18	110
RJ	Bh	1,1	20,5	1,8	18,6	12,0	4,9	3,31	13,6	1,3	18,21	4,61	18	915	0	85
RJ5	Bhj	6,9	1,8	1,4	0,3	6,2	5,4	1,70	6,1	0,0	7,84	1,70	22	977	1	22
SP	Bhsj2	2,6	14,4	0,1	5,5	170,0	3,4	0,50	6,2	9,1	15,80	9,60	3	950	10	40
TH04	Bhs	8,2	2,1	0,1	0,3	103,0	5,0	0,22	9,0	1,0	10,22	1,22	2	921	59	20
TS10	Bhs	2,1	14,1	0,1	6,7	162,0	4,0	0,33	13,9	3,9	18,13	4,23	2	765	154	81

⁽¹⁾ C-FAF: carbono orgânico da fração ácidos fúlvicos; C-FAH: carbono orgânico da fração ácidos húmicos; C-HUM: carbono orgânico da fração humina; SB: soma de bases; CTC_{pH 7,0}: capacidade de troca de cátions pH 7,0; CTCe: capacidade de troca de cátions efetiva; V %: saturação por bases. C-EA: carbono orgânico do extrato alcalino (C-FAF + C-FAH).

Quadro 14. Proposta de utilização das frações húmicas para a classificação de horizontes B espódico

Variável	Valor ⁽¹⁾	Classificação
C-FAH	≤ 5,0	hipohúmico
	> 5,0	húmico
C-FAH/C-FAF	≤ 2,0	fúlvico-húmico
	> 2,0	hiperhúmico
C-EA/C-HUM	≤ 3,5	hipoalcalino-solúvel
	> 3,5	alcalino-solúvel

⁽¹⁾ Limite estabelecido com base na frequência. C-FAF: carbono orgânico da fração ácidos fúlvicos; C-FAH: carbono orgânico da fração ácidos húmicos; C-HUM: carbono orgânico da fração humina; C-EA: carbono orgânico do extrato alcalino (C-FAF + C-FAH).

Quadro 15. Comparações⁽¹⁾ dos atributos químicos e físicos a partir da classificação proposta pela C-FAH e relações C-FAH/C-FAF e C-EA/C-HUM nos horizontes B espódico

Atributo	Teste utilizado	Hipohúmico (n = 23)	Húmico (n = 22)
pH em água	Mann-Whitney	5,2 a	4,6 b
SB (cmol _c kg ⁻¹)	F	1,33 a	1,08 a
H (cmol _c kg ⁻¹)	F	7,0 b	11,7 a
Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	Mann-Whitney	0,5 b	2,0 a
CTC _{pH 7,0} (cmol _c kg ⁻¹)	F	9,17 b	15,19 a
CTCe (cmol _c kg ⁻¹)	F	2,12 b	3,51 a
V (%)	Mann-Whitney	16 a	7 b
Areia (g kg ⁻¹)	F	828 a	825 a
Silte (g kg ⁻¹)	F	73 a	84 a
Argila (g kg ⁻¹)	Mann-Whitney	99 a	90 a
Atributo	Teste utilizado	Fulvico-húmico (n =26)	Hiperhúmico (n = 19)
pH em água	Mann-Whitney	5,2 a	4,4 b
SB (cmol _c kg ⁻¹)	F	1,25 a	1,15 a
H (cmol _c kg ⁻¹)	F	8,3 a	10,6 a
Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	F	1,0 b	2,4 a
CTC _{pH 7,0} (cmol _c kg ⁻¹)	F	10,56 b	14,19 a
CTCe (cmol _c kg ⁻¹)	F	2,24 b	3,58 a
V (%)	F ²	15 a	9 b
Areia (g kg ⁻¹)	F	824 a	831 a
Silte (g kg ⁻¹)	F	76 a	82 a
Argila (g kg ⁻¹)	Mann-Whitney	99 a	90 a
Atributo	Teste utilizado	Hipoalcalino-solúvel (n =22)	Alcalino-solúvel (n = 23)
pH em água	F	5,1 a	4,6 b
SB (cmol _c kg ⁻¹)	F	1,19 a	1,22 a
H (cmol _c kg ⁻¹)	F ²	8,0 b	10,5 a
Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	Mann-Whitney	1,0 b	1,8 a
CTC _{pH 7,0} (cmol _c kg ⁻¹)	F	10,20 b	13,90 a
CTCe (cmol _c kg ⁻¹)	F	2,23 b	3,36 a
V (%)	F	14 a	11 a
Areia (g kg ⁻¹)	F	806 a	847 a
Silte (g kg ⁻¹)	F	83 a	75 a
Argila (g kg ⁻¹)	F	112 a	79 b

⁽¹⁾ Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente a 5 %. ⁽²⁾ Significativo a 10 %. C-FAF: carbono orgânico da fração ácidos fúlvicos; C-FAH: carbono orgânico da fração ácidos húmicos; C-HUM: carbono orgânico da fração húmica; C-EA: carbono orgânico do extrato alcalino (C-FAF + C-FAH).

trabalho será necessária, com vistas a testar a classificação proposta por todas as variáveis apresentadas.

CONCLUSÕES

O estabelecimento de classes a partir dos valores de C-FAH, C-HUM e das relações C-FAH/C-FAF e C-EA/C-HUM foi eficiente para a individualização de grupos distintos a partir da comparação com os atributos químicos e físicos, o que valida a proposta de utilização das variáveis relacionadas às frações húmicas para a classificação desses horizontes no quinto ou sexto níveis categóricos (família ou série) do SiBCS, uma vez que os atributos então comparados apresentam influência marcante na fertilidade natural dos solos.

AGRADECIMENTOS

Ao CPGA-CS / UFRRJ, CNPq e Embrapa Solos.

LITERATURA CITADA

- 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., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais & subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.65-86.
- 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). R. Bras. Ci. Solo, 25:661-674, 2001.

- BENITES, V.M.; MADARI, B. & MACHADO, P.L.O.A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: Um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2003a. 7p. (Embrapa Solos. Comunicado Técnico, 16)
- BENITES, V.M.; COELHO, M.R.; MENDONÇA-SANTOS, M.L.; SOUZA, L.F.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A.; SILVA, E.F.; TROMPOWSKY, P.M. & SANTOS, H.G. Fracionamento de substâncias húmicas em Espodossolos do Estado do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. Anais... Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003b. CD ROM.
- BUOL, S.W.; HOLE, F.D. & MC CRACKEN, R.J. Soil genesis and classification. Ames, Iowa State University Press, 1980. 404p.
- CANELLAS, L.P.; MENDONÇA, E.S.; DOBBS, L.B.; BALDOTTO, M.A.; VELLOSO, A.C.X.; SANTOS, G.A. & AMARAL SOBRINHO, N.M.B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, G.A.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais & subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.45-64.
- CAREY, F.A. & SUNDBERG, J. Advanced organic chemistry – structure and mechanisms. 3.ed. New York, Plenum Press, 1990. 802p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Embrapa Produção de Informação. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. & BENITES, V.M. Distribution of organic carbon in the humic fractions of diagnostic horizons from Brazilian soils. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 39:951-971, 2008a.
- FONTANA, A.; BENITES, V.M.; PEREIRA, M.G. & ANJOS, L.H.C. Substâncias húmicas como suporte à classificação de solos Brasileiros. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2073-2080, 2008b.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. & BENITES, V.M. Quantificação e utilização das frações húmicas como característica diferencial em horizontes diagnósticos de solos Brasileiros. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:1241-1257, 2010.
- GOMES, J.B.V.; RESENDE, M.; REZENDE, S.B. & MENDONÇA, E.S. Solos de três áreas de restinga. II Dinâmica de substâncias húmicas, ferro e alumínio. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:1921-1932, 1998.
- JOHNSON, R.A. & WICHERN, D.W. Applied multivariate statistical analysis. 3.ed. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1992. 642p.
- KHATTREE, R. & NAIK, D.N. Multivariate data reduction and discrimination with SAS software. Cary, SAS Institute, 2000. 558p.
- LOBOVA, H. Sur les principes de la subdivision des zones en faciès. D'après le type d'altération, le type d'humus et le caractère de la salinité des sols. In: AMERYCKX, J.; DE LEENHEER, L.; DONIS, C.; FRIPIAT, J.; LAUDELOUT, H.; MANIL, G.; NOIRFALISE, A.; SCHEYS, G.; STENUIT, D.; TAVERNIER, R. & van den HENDE, A., eds. Classification des sols, Symposium International, 3.; *Pedologie*, pp.165-175, 1965.
- SPOSITO, G. The chemistry of soils. New York, Oxford Academic Press, 1989. 227p.
- STEVENSON, F.J. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1994. 496p.
- 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., eds. Methods of soil analysis: Chemical methods. Madison, Soil Science Society of America/American Society of Agronomy, 1996. Part 3. p.1011-1020. (Soil Science Society of America Book Series, 5)
- VALLADARES, G.S.; BENITES, V.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. & EBELING, A.G. Proposta para classificação de Organossolos em níveis inferiores com base nas frações Húmicas. Campinas, Embrapa Monitoramento por Satélite, 2003. 35p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2)
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988.