

PARTIÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS EM SOLOS BRASILEIROS⁽¹⁾

Lauana Lopes dos Santos⁽²⁾, Julian Junio Jesus Lacerda⁽³⁾ & Yuri Lopes Zinn⁽⁴⁾

RESUMO

As substâncias húmicas (SH) representam o principal reservatório de carbono orgânico total do solo (COT) e sua partição entre diferentes frações de solubilidade em meio alcalino ou ácido pode guardar relação com o tipo de solo e manejo adotado. O objetivo deste trabalho foi comparar a partição das SHs, de acordo com profundidade, tipo de solo, bioma e uso do solo no Brasil. Revisou-se a literatura, incluindo teses, dissertações, artigos e resumos em anais de eventos, em busca de dados sobre o teor de COT, sua porcentagem como ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e humina (HU) e a razão AH/AF. Os dados foram estratificados por intervalos comparáveis de profundidades (0-5, 5-10, 0-20, 20-50, 50-100 e >100 cm), biomas (Mata Atlântica, Cerrado, Amazônia, Pampa e Caatinga), ordem de solo (Argissolo, Latossolo, Cambissolo, Planossolo, Neossolo, Gleissolo e Organossolo) e principais usos do solo (florestas nativas, pastagem natural, pastagem plantada, eucalipto, culturas perenes e anuais). Os dados foram analisados por estatística descritiva, correlações de Spearman e análise de componentes principais (ACP). Nos Argissolos, Latossolos e Organossolos, a fração HU contribuiu com metade do COT, tendendo a diminuir em profundidade. Para Latossolos e Organossolos, a fração AF tendeu a aumentar em profundidade. Em Neossolos, a fração AH aumentou em profundidade, embora tenha diminuído em Gleissolos e Planossolos. A razão AH/AF geralmente diminui em profundidade. Pela ACP, não foi possível identificar um padrão de agrupamento das amostras em razão do tipo de bioma e uso do solo, sugerindo que a partição das SHs tem baixo potencial como indicador de efeitos do manejo ou condições ambientais, embora seja útil para discriminar processos de humificação em algumas ordens de solo.

Termos de indexação: humina, ácido húmico, ácido fúlvico, bioma, uso da terra, análise de componentes principais.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 15 de junho de 2012 e aprovado em 26 de abril de 2013.

⁽²⁾ Mestranda, Programa de Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras - PPGCS/UFLA. Caixa Postal 37. CEP 37200.000 Lavras (MG). Bolsista CNPq. E-mail: lauanasantos@ymail.com

⁽³⁾ Doutorando, PPGCS/UFLA. Bolsista FAPEMIG. E-mail: julianlacerda@gmail.com

⁽⁴⁾ Professor, Departamento de Ciência do Solo, UFLA. E-mail: ylzinn@dcs.ufla.br

SUMMARY: PARTITIONING OF HUMIC SUBSTANCES IN BRAZILIAN SOILS

Humic substances (HS) are the main pool of total soil organic carbon (TOC). They are partitioned in different fractions according to its solubility in alkali or acid medium, which can be related to soil type and management. This work aimed to compare HS partitioning in Brazilian soils according to soil depth, soil type, biome, and land uses. In a literature review of theses, dissertations, journal articles, and abstracts in proceedings, quantitative data on TOC partitioning in humic acids (HA), fulvic acids (FA), and humin (HU), as well as the HA / FA ratio were compiled. The data were sorted according to comparable depths (0-5, 5-10, 0-20, 20-50, 50-100, and >100 cm), biomes (Atlantic rainforest, Cerrado savanna, Amazon rainforest, southern prairies, and Caatinga scrubland), soil order (Ultisols, Oxisols, Inceptisols, Entisols, Histosols and soils with aquic moisture regimes), and land use systems (native forests, prairies, pastures, eucalypt, and annual or perennial crops). Data were analyzed by descriptive statistics, Spearman correlation, and principal component analysis (PCA). In Ultisols, Oxisols, and Histosols, humin accounted for at least half of TOC and tended to decrease with depth. In Oxisols and Histosols, FA tended to increase in depth. In the Entisols, HA increased with depth, but decreased in Histosols and some Ultisols. Generally, the HA / FA decreased in the deeper layers. Results of PCA indicated no effect of biomes and land use systems on the quantitative partitioning of HS, suggesting its low potential as indicator of management effects or environmental conditions, although useful to discriminate humification processes in some soil taxa.

Index terms: humin, humic acids, fulvic acids, biome, land use systems, principal component analysis.

INTRODUÇÃO

A transformação contínua de resíduos orgânicos no solo leva à formação de um complexo de substâncias de elevado grau de alteração, denominado substâncias húmicas (SH). Com base em sua solubilidade em meio aquoso, as substâncias húmicas são classicamente divididas em três categorias: ácidos fúlvicos (AF), solúveis em pH ácido ou alcalino; ácidos húmicos (AH), solúveis em pH alcalino; e humina (HU), insolúvel em qualquer pH. Tradicionalmente, admite-se que esses compostos variam em peso molecular na ordem crescente $AF < AH < HU$ (Zech et al., 1997; Hayes, 1998) e que cerca de 80 % do carbono orgânico do solo está contido nas SHs, em especial na HU (Guerra & Santos, 1999). As SHs têm capacidade de interagir com argilas e alterar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, exercendo papel importante na fertilidade e estrutura do solo, além de imobilizar metais pesados e pesticidas e atuar como fatores de crescimento de brotos e raízes (Bayer & Mielniczuk, 1999).

O estudo das SHs foi iniciado com sua extração de turfas em 1786, por Achard, na Alemanha; em 1797, Vauquelin tentou o mesmo em resíduos de plantas. O termo “húmus”, proveniente do latim e equivalente a “solo”, foi introduzido por Saussure em 1804 para descrever o material orgânico de coloração escura originado do solo. Entre 1826 e 1837, Sprengel buscou compreender a origem e a natureza química das SHs. Berzelius deu contribuições valiosas sobre métodos de extração e conteúdo elementar das SHs (Rocha & Rosa, 2003); em 1919, Oden cunhou a nomenclatura de AF, AH e HU usada até hoje. Em 1960, foi obtido o primeiro

espectro de ressonância magnética nuclear de AH. A maioria dos trabalhos já realizados sobre SH refere-se a solos de países de clima temperado. No Brasil, Volkoff & Cerri (1980) estudaram a química das SHs e sua relação com o ambiente, usando técnicas isotópicas e espectroscópicas. No entanto, em razão do considerável custo e tempo despendido nessas análises qualitativas, atualmente a maioria dos trabalhos sobre SH no Brasil é embasada na quantificação das diferentes frações húmicas e suas proporções como indicadoras de condições ambientais ou alterações por causa do manejo do solo (Lima, 2001; Leite et al., 2003; Cunha et al., 2007). Alguns autores (Valladares et al., 2003; Fontana et al., 2008; Ebeling et al., 2011) inclusive acreditam que a proporção relativa dessas frações pode ser utilizada como atributo para classificação de solos. Apesar desses e muitos outros trabalhos sobre a partição quantitativa das SHs, ainda não há um levantamento sistemático da literatura, embasado por análise estatística abrangente, que permita inferir sobre a validade do uso dessa informação para a compreensão de processos edáficos no Brasil.

Embora estudos recentes tenham questionado a natureza das clássicas frações AH, AF e HU, como possíveis artefatos da extração com NaOH, e proposto alternativamente a existência de compostos mais simples estabilizados por interações supramoleculares (Schmidt et al., 2011), e essa polêmica esteja longe de ser resolvida, isso não invalida a relevância do contingente de trabalhos sobre extrações e partição das SHs. Contudo, é necessário obter uma visão mais ampla dos resultados no Brasil sobre a quantificação de AH, AF, HU e seu significado ambiental e

pedológico. O objetivo deste trabalho foi avaliar a partição quantitativa das frações húmicas em diferentes profundidades, solos, biomas e coberturas vegetais no Brasil, avaliando a adequação de seu uso como indicadores de processos edáficos e efeitos do manejo agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

Revisão da literatura

Foi feita uma revisão da literatura sobre solos brasileiros, incluindo teses, dissertações, artigos de periódicos e resumos em anais de congressos científicos, a fim de reunir dados quantitativos do teor de carbono orgânico total do solo (COT) e partição das SHs pelas frações clássicas de solubilidade. Foram compilados os teores de COT, suas porcentagens como frações AF, AH e HU, bem como a razão AH/AF. Quando não especificamente determinada, a fração HU foi calculada por diferença. Embora esse procedimento esteja sujeito a erro de confundimento com frações não humificadas, como a matéria orgânica particulada, tal erro também pode ocorrer onde a húmica foi quantificada como o COT do solo residual, após a extração alcalina. Como alguns trabalhos seguiram métodos ligeiramente modificados para pré-tratamento e fracionamento de SH, ou utilizaram diferentes meios de análise de COT, tais informações foram também registradas. Uma vez que as camadas e profundidades analisadas em cada trabalho são variáveis, bem como pela tendência geral de o teor de COT diminuir em profundidade, os dados foram agrupados em intervalos comparáveis de profundidades (0-5, 5-10, 0-20, 20-50, 50-100 e > 100 cm), mais próximos da camada analisada. Para que não houvesse superposição, um dado referente a uma camada de 0-6 cm, por exemplo, foi alocado no grupo 0-5 cm, mas não simultaneamente nos grupos 5-10 e 0-20 cm. Os dados foram ordenados pelos cinco biomas (Mata Atlântica, Cerrado, Amazônia, Pampa e Caatinga), definidos de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Para as regiões localizadas em zona de transição de biomas, esses foram classificados considerando-se a vegetação nativa descrita no trabalho.

Os dados foram também estratificados pelas sete ordens de solos mais comuns na base de dados (Argissolo, Latossolo, Cambissolo, Planossolo, Neossolo, Gleissolo e Organossolo), conforme o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (Embrapa, 2006). Os principais usos do solo (florestas nativas, pastagem natural, pastagem plantada, eucalipto, culturas perenes e anuais) foram utilizados como variável de ordenação, para determinar eventuais efeitos do manejo do solo na partição de SH. A categoria “florestas nativas” incluiu tanto matas primárias como as secundárias. As fontes utilizadas, os métodos de estudo das SHs, o teor de COT, as ordens de solos, os biomas e os usos do solo podem ser visualizados no quadro 1.

Análises estatísticas

Para análise dos dados, foi gerada uma matriz de dados (521 x 5), em que as linhas corresponderam aos dados propriamente ditos, ordenados por profundidade, ordem de solo, bioma e uso do solo, e as colunas, às variáveis selecionadas (teor de COT, porcentagens de AH, AF, HU e a razão AH/AF). Quando não expressamente relacionado no trabalho, o teor de HU foi calculado como a diferença entre COT e AH+AF. Para cada variável, foram calculados a distribuição de frequência e o respectivo teste de normalidade pelo método de Shapiro-Wilk, bem como determinadas as medidas de posição e de dispersão (máximo, mínimo, média, mediana e desvio-padrão). Procedeu-se à análise de correlação de Spearman entre a profundidade média de cada camada e as variáveis anteriormente citadas.

As interações entre as variáveis foram estudadas por uma técnica matemática de análise multivariada e projeção, a análise de componentes principais (ACP), que considera simultaneamente todas as variáveis e permite visão mais ampla do fenômeno do que a abordagem univariada (Moita Neto, 2006). Em termos geométricos, essa técnica realiza uma rotação rígida no sistema de eixos coordenados, fazendo com que os novos eixos resultantes sejam posicionados no sentido de maior variabilidade (Ferreira, 2011). A principal utilidade da ACP é reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados, retendo tanta informação quanto possível, num menor número de componentes principais. O primeiro componente principal é a combinação das variáveis que explica a maior proporção da variação total dos dados, o segundo define a segunda maior variação e, assim, sucessivamente até o último componente (Silva & Sbrissia, 2010).

Para a aplicação da técnica de ACP, foi realizada a padronização das variáveis, que, por serem originalmente expressas em unidades diferentes ou atingirem várias ordens de grandeza, foram escalonadas pela conversão em unidades Z, conforme a equação 1.

$$Z = (X - X_m) / s \quad (1)$$

em que Z é o valor padronizado da variável; X, seu valor mensurado; X_m , a média da variável; e s, o respectivo desvio-padrão da amostra. Na matriz de dados, foram realizados testes prévios de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e de esfericidade de Bartlett, para avaliar a adequação dos valores de entrada das variáveis para o modelo. A matriz de dados foi considerada adequada para a ACP, de modo que foram realizadas a normalização e ortogonalização dos autovetores extraídos dessa matriz, para garantir solução única e independência mútua às componentes principais. O número total de componentes para o conjunto das variáveis originais foi decidido pela seleção das componentes que sintetizaram variância acumulada em torno de 70 %, conforme Ferreira (1996).

Quadro 1. Bioma, solo, uso do solo e métodos dos trabalhos compilados

Bioma	Solo	Uso do solo	Fonte	Método COT/Pré-tratamento
Mata Atlântica	Latossolo	Ca, Cp, Pp, Fl	Almeida (2009)	
	Cambissolo	Cp, Pp, Fl	Almeida (2009)	
	Neossolo	Cp, Pp, Fl	Almeida (2009)	
	Neossolo	Cp, Fl	Arend (2010)	CS, HCl/NaOH
	Argissolo	Pn	Baldotto et al. (2010)	
	Latossolo	Pn	Baldotto et al. (2010)	
	Neossolo	Cp	Baldotto et al. (2010)	
	Latossolo	Fl, Cp, Pp	Barreto et al. (2008)	
	Organossolo	Pn	Benites et al. (2001)	
	Cambissolo	Pn	Benites et al. (2001)	
	Neossolo	Fl, Pn	Benites et al. (2001)	
	Latossolo	Fl, Cp, Pp	Benites et al. (2010)	
	Neossolo	Pn	Benites et al. (2001)	
	Cambissolo	Fl	Benites et al. (2001)	
	Latossolo	Fl	Benites et al. (2001)	
	Neossolo	Fl	Benites et al. (2007)	
	Organossolo	Pp	Campos et al. (2010)	CS
	Organossolo	Pp	Campos et al. (2009)	CS, H ₃ PO ₄ /Na ₄ P ₂ O ₂
	Argissolo	Pp	Canellas et al. (2000)	CUM, H ₃ PO ₄ /Na ₄ P ₂ O ₂
	Planossolo	Pp	Canellas et al. (2000)	CUM, H ₃ PO ₄ /Na ₄ P ₂ O ₂
	Gleissolo	Pp	Canellas et al. (2000)	CUM, H ₃ PO ₄ /Na ₄ P ₂ O ₂
	Cambissolo	Cp	Canellas et al. (2003)	CUM, H ₃ PO ₄ /Na ₄ P ₂ O ₂
	Argissolo	Ca, Cp, Fl, Pp	Canellas et al. (2004)	CUM, H ₃ PO ₄ /Na ₄ P ₂ O ₂
	Argissolo	Ca	Canellas & Façanha (2004)	CUM, H ₃ PO ₄ /Na ₄ P ₂ O ₂
	Argissolo	Ca, Cp, Cp, Pp	Coelho et al. (2009)	
	Organossolo	Ca, Pp, Cp	Conceição et al. (1999)	CS, H ₃ PO ₄ /Na ₄ P ₂ O ₂
	Argissolo	Pp	Cordeiro (2006)	CS
	Organossolo	Fl, Pp	Ebeling et al.(2011)	CS
	Cambissolo	Cp, Fl, Ca	Fontana et al.(2011)	
	Organossolo	-	Fontana et al. (2010a)	
	Latossolo	Pp, Ca	Fontana et al. (2006)	
	Latossolo	Fl, Ca, Pp	Fontana et al. (2001)	
	Argissolo	Fl, Ca, Pp	Fontana et al. (2001)	
	Latossolo	Fl, Ca, Pp	Fontana et al. (2010a)	CS
	Argissolo	Fl, Ca, Pp	Fontana et al. (2010a)	CS
	Planossolo	Fl, Cp	Giácomo et al. (2008)	
	Latossolo	Fl, Ca	Oliveira Jr & Melo (2000)	
	Latossolo	Fl, Ca, Cp	Lima & Bezerra Neto (2009)	
	Cambissolo	Cp	Loss et al. (2007)	
	Gleissolo	Ca, Cp	Loss et al. (2007)	
	Argissolo	Cp, Ca	Loss et al.(2010)	
	Argissolo	Pp, Ca, Fl	Loss et al. (2006)	
	Argissolo	Cp, Ca	Loss et al. (2008)	
	Cambissolo	Fl	Machado et al. (2010)	
	Cambissolo	Fl	Menezes (2008b)	Cum, HCl
	Neossolo	Ca, Fl	Menezes (2008b)	Cum, HCl
	Cambissolo	Ca, Fl	Menezes (2008a)	
	Gleissolo	Ca	Miranda et al. (2007)	
	Cambissolo	Cp	Miranda et al. (2007)	
	Argissolo	Eu	Miranda et al. (2007)	
Planossolo	Fl, Pp	Moraes et al. (2008)		
Gleissolo	Fl, Pp	Moraes et al. (2008)		
Argissolo	Fl, Pp	Moraes et al. (2008)		
Latossolo	Cp	Partelli et al. (2009)		
Argissolo	Fl, Cp, Pp	Portugal (2008)		
Latossolo	Fl, Pn	Santana (2010)	CS, HCl	
Argissolo	Ca,Fl	Schaefer et al. (2002)		
Cambissolo	Pn, Cp	Schiavo et al. (2007)		
Cambissolo	Eu, Cp, Pn	Schiavo et al. (2009)		

Continua...

Quadro 1. Cont.

Bioma	Solo	Uso do solo	Fonte	Método COT/Pré-tratamento
Mata Atlântica	Latossolo	Fl, Pp	Silva et al. (2010)	
	Latossolo	Fl, Cp	Silva et al. (2000)	CS
	Organossolo	Pn	Silva et al. (2009)	CS
Amazônia	Argissolo	Fl, Pn	Araújo et al. (2011)	CS
	Latossolo	Fl, Pp	Araújo et al. (2011)	CS
	Argissolo	Fl, Pp	Araújo et al. (2004)	
	Argissolo	Fl	Castro (2008)	
	Latossolo	Fl, Ca	Cunha et al. (2007)	CS
	Latossolo	Fl	Cunha et al. (2009)	
	Organossolo	-	Fontana et al. (2010b)	
	Latossolo	Fl	Longo & Espíndola (2000)	
	Cambissolo	Fl, Pp	Loss et al. (2009)	
	Cambissolo	Pn	Melo & Schaefer (2009)	CS
	Gleissolo	Pp	Melo (2002)	
	Argissolo	Fp, Ca, Pp	Melo (2002)	
	Latossolo	Fl	Melo (2002)	
	Argissolo	-	Moreira (2007)	
	Latossolo	-	Moreira (2007)	
	Neossolo	-	Moreira (2007)	
	Cambissolo	-	Moreira (2007)	
	Latossolo	-	Moreira (2007)	
	Argissolo	Ca, Cp	Santos et al. (2009a)	
	Argissolo	Fl, Cp	Santos et al. (2008)	
Cambissolo	Fl, Pp, Cp	Villani et al. (2010)	Cum, NaI	
Caatinga	Neossolo	Pl, Pn	Benites et al. (2001)	
	Neossolo	Fl	Benites et al. (2007)	
	Argissolo	Fl, Cp, Ca	Cunha et al. (2008)	
	Organossolo	-	Fontana et al. (2010b)	
	Organossolo	Ca	Campos et al. (2009)	CS, H ₃ PO ₄ , NA ₄ P ₂ O ₂
	Organossolo	Ca	Campos et al. (2010)	CS
	Latossolo	Fl, Ca	Cunha et al. (2001)	
	Neossolo	Fl	Benites et al. (2007)	
	Organossolo	-	Fontana et al. (2010b)	
	Latossolo	-	Freitas et al. (2009)	
Cerrado	Latossolo	Ca Cp, Fl	Oliveira Jr & Melo (2000)	
	Latossolo	Cp	Marchiori Jr et al. (2008)	
	Latossolo	Fl	Longo & Espíndola (2000)	
	Latossolo	Fl	Machado et al. (2009)	
	Latossolo	Pp, Cp, Ca	Santos et al. (2010)	
	Cambissolo	Pn	Santos et al. (2009b)	
	Organossolo	Pn	Silva et al. (2009)	CS
	Planossolo	Pn, Ca	Farias et al. (2010)	CS, HCl
	Organossolo	-	Fontana et al. (2010b)	
	Neossolo	Fl, Ca	Menezes (2008a)	Cum, HCl
	Neossolo	Fl, Ca	Menezes (2008a)	Cum, HCl
Pampa	Cambissolo	Fl, Ca	Menezes (2008b)	Cum, HCl
	Planossolo	Ca, Pn	Rosa et al. (2008)	
	Argissolo	Eu, Pn	Soares (2009)	
	Neossolo	Eu, Pn	Soares (2009)	
	Cambissolo	Eu, Pn	Soares (2009)	
	Argissolo	Eu, Pn	Soares (2009)	

Pp: pastagem plantada; Pn: pastagem natural; Ca: cultura anual; Cp: cultura perene; Fl: Floresta; Eu: Eucalipto; CS: combustão seca; Cum: combustão úmida. Obs: Todos os autores não fizeram pré-tratamento e usaram o método de combustão úmida para determinar o COT e NaOH para extração das SH, exceto os citados no quadro.

Para obter melhor visualização das variáveis, que representam cada fator, foi realizada uma rotação ortogonal nos eixos fatoriais, que coloca os fatores em posições associáveis somente às variáveis relacionadas ao fator. Nessa solução analítica, as cargas fatoriais são alteradas, enquanto as comunalidades (soma de quadrados das linhas da matriz de cargas) e as proporções das explicações (soma de quadrados de cada coluna tomada em relação à variação total) ficam inalteradas (Ferreira, 2011). Selecionaram-se dois componentes principais derivados por rotação varimax, que é uma transformação ortogonal aplicada à matriz de cargas fatoriais (correlação entre os fatores e variáveis originais). Para a matriz de dados deste estudo, notou-se que o primeiro componente concentrou 37,2 % da variância total e o segundo, 30,8 %, acumulando 68 %. Os fatores obtidos na ACP foram associados às amostras originais, estratificados e identificados pelas diferentes profundidades, pela unidade taxonômica (ordem) de solos, pelos biomas e pelos usos do solo. Todas as operações matemáticas e estatísticas foram realizadas com auxílio do programa SPSS 15.0 (*Statistical Package for Social Sciences*) e das planilhas eletrônicas. A base de dados utilizada está disponível a eventuais interessados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Distribuição de frequência e estatística descritiva

Na figura 1, são apresentadas as distribuições de frequência dos valores de COT, HU, AH, AF e AH/AF compilados da literatura, incluindo todos os dados em suas respectivas profundidades originais. A variável HU foi a única que apresentou distribuição normal ($p=0,157$) (Figura 1b), pois o teste de Shapiro-Wilk evidenciou $p<0,05$ para COT, AH, AF e AH/AF. A distribuição assimétrica à direita dos valores de COT (Figura 1a) indica que a maioria dos solos e das camadas representados apresenta teores entre 0 e 20 g kg⁻¹, refletindo os teores típicos das ordens Latossolo e Argissolo, que representam cerca de 60 % dos dados compilados e o número considerável de camadas subsuperficiais. A distribuição assimétrica de COT reflete ainda a presença de solos com elevados teores de COT (Organossolos), visível como a longa cauda da figura 1a que expõe pequeno número de camadas com teor >500 g kg⁻¹.

Esperou-se que a partição de SH apresentasse distribuição mais próxima da normalidade do que a do teor de COT, por teoricamente sofrer menor efeito da profundidade e evidenciar menor amplitude de variação. De fato, a distribuição das frações AH e AF, embora igualmente não-normais, apresentou menor assimetria à direita do que o COT, com a maior parte dos dados com valores menores do que 25 % (Figura 1c,d). Isso sugere que o teor combinado das

frações AH e AF é, na maioria dos solos brasileiros, menor do que o teor de HU, de acordo com Fontana et al. (2008). Segundo Stevenson (1994), isso é atribuível à maior estabilidade da HU, dentre todas as formas do COT.

Os teores de COT variaram largamente entre 1,14 e 477,0 g kg⁻¹ (Quadro 2), confirmando a ampla representatividade da base de dados, que inclui desde Neossolos Quartzarênicos, com baixíssimos teores de COT em profundidade, até os Organossolos. Tal amplitude ocorre também para a partição das SHs: os percentuais médios da fração AF variaram entre 1,0 e 74,7 %; os da fração AH, entre 0,2 e 61,5 %; e os da fração HU, entre 4,3 e 97,2 % do COT. Para a relação AH/AF, os valores variaram entre 0,02 e 6,55, sendo em geral <1,8. Dessa forma, pode-se considerar que a base de dados é abrangente e variável o suficiente para as análises propostas.

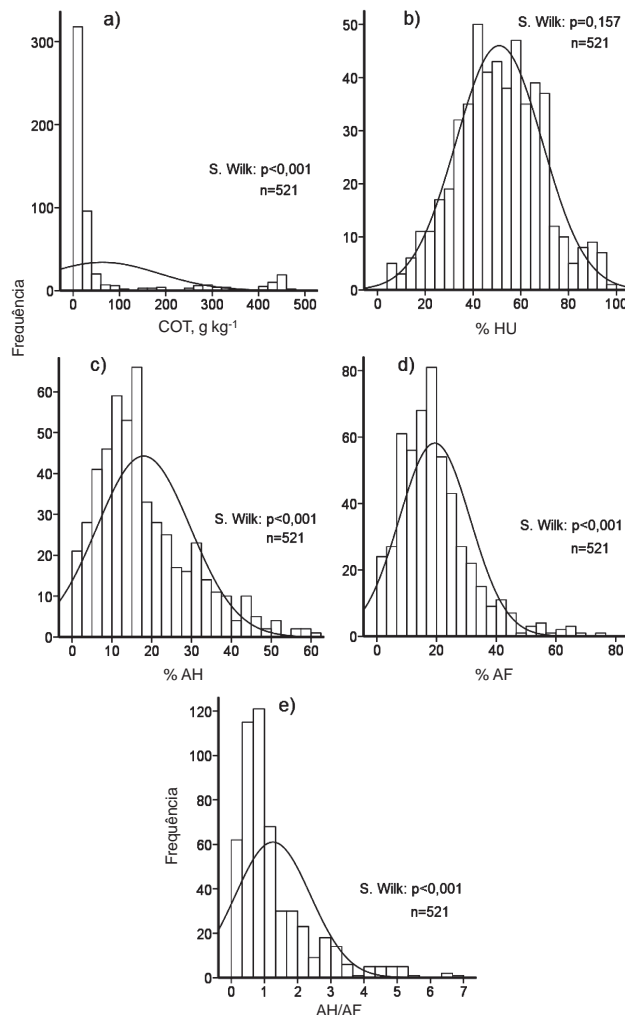


Figura 1. Distribuição geral de frequência de teores de carbono orgânico total (COT) e sua porcentagem na forma de ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF), humina (HU) e razão AH/AF, em todas as profundidades.

Quadro 2. Estatística descritiva das variáveis analisadas: carbono orgânico total (COT), ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF), humina (HU) e relação AH/AF. N: número de observações

Variável	Prof.	N	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Desvio-padrão	S. Wilk Prob.
	cm							
COT (g kg ⁻¹)	0-5	114	86,90	5,90	20,11	14,81	13,50	0,001
	5-10	66	98,90	5,30	17,57	11,93	16,90	<0,001
	0-20	109	98,00	5,40	24,49	20,30	17,57	<0,001
	20-50	128	448,00	1,14	42,04	7,55	106,62	<0,001
	50-100	55	452,00	1,50	132,05	4,76	184,24	<0,001
	> 100	35	477,00	1,66	296,09	292,70	152,70	0,002
AH (%)	0-5	114	48,11	2,64	17,75	15,47	8,67	0,001
	5-10	66	27,41	1,85	13,22	14,30	5,97	0,192
	0-20	109	59,18	1,74	20,76	18,54	13,01	0,001
	20-50	128	61,54	1,92	17,11	15,51	12,00	<0,001
	50-100	55	44,37	0,23	14,39	10,40	13,11	<0,001
	> 100	35	50,86	4,32	22,80	27,92	13,10	0,003
AF (%)	0-5	114	52,14	2,40	17,08	15,98	7,78	0,001
	5-10	66	42,50	4,78	16,71	16,67	6,82	0,021
	0-20	109	47,50	3,00	17,69	17,14	9,46	0,009
	20-50	128	62,93	1,40	23,14	22,23	12,16	0,001
	50-100	55	64,44	1,00	17,49	9,47	16,51	<0,001
	> 100	35	74,66	6,03	27,18	20,14	20,48	<0,001
AH/AF	0-5	114	3,25	0,24	1,16	0,91	0,65	0,001
	5-10	66	2,06	0,15	0,85	0,85	0,39	0,006
	0-20	109	6,44	0,25	1,36	1,06	1,00	<0,001
	20-50	128	4,80	0,04	1,02	0,73	0,99	<0,001
	50-100	55	6,55	0,02	1,66	0,81	1,80	<0,001
	> 100	35	5,61	0,15	1,78	0,49	1,76	<0,001
HU (%)	0-5	114	90,98	18,10	54,86	56,32	16,62	0,059
	5-10	66	92,45	12,89	57,96	58,43	18,99	0,244
	0-20	109	97,25	21,57	51,63	48,78	15,62	0,031
	20-50	128	93,75	10,71	45,80	44,23	19,37	0,032
	50-100	55	94,75	6,91	48,60	46,84	17,61	0,005
	> 100	35	60,04	4,26	46,05	54,09	17,69	<0,001

O efeito da profundidade: correlações de Spearman (ρ) e Análise de Componentes Principais

No quadro 2, observa-se aparente aumento dos teores médios e medianos de COT em maiores profundidades, o que não é usual. Uma vez que testes de médias por profundidades não podem ser aplicados à variável COT em razão da não-normalidade dos dados, mesmo ao considerar cada classe de profundidade em separado (Quadro 2), foram realizadas correlações de Spearman entre a profundidade média das camadas e o teor de COT, no todo e separadamente por ordem de solo (Quadro 3). Nota-se que a correlação COT x profundidade em geral não é significativa, porque o teor de COT decrescente em profundidade na maioria dos solos é contrabalançado pela inexistente correlação para os Organossolos, Neossolos e Gleissolos. Assim, embora

os Organossolos compreendam minoria dos solos brasileiros, esses formam 14 % da base de dados por despertarem interesse dos pesquisadores em SH; seus altos teores de COT em profundidade impõem a tendência de aumento do teor de COT (e os desvios-padrão) ao longo do perfil. A super-representação dos Organossolos deve ser considerada na interpretação dos dados sobre COT, mas não necessariamente sobre a partição das SHs. No quadro 2, também estão apresentados os percentuais médios e medianos da fração AF, aparentemente maiores na camada abaixo de 100 cm, o que é confirmado pela correlação de Spearman para as ordens dos Latossolos e Organossolos ($\rho=0,251$ e $\rho=0,364$, respectivamente, $p<0,001$) (Quadro 2). A fração HU ($\rho=-0,192$, $p<0,001$) e a razão AH/AF ($\rho=-0,097$, $p<0,001$) também diminuem em profundidade, enquanto a fração AH se mantém constante ($\rho=0,003$, $p<0,94$).

O efeito da profundidade pode também ser verificado na ACP. Na figura 2, está apresentada a alocação das variáveis COT, AH, AF e HU ao longo dos dois eixos, que é utilizada como referência à interpretação dos dados estratificados na figura 3. A variável AH/AF foi retirada para aumentar a adequação dos dados à análise de componentes principais pelo teste KMO. Além disso, as cargas (*loadings*) da ACP com a variável AH/AF não aumentam a explicação das tendências dos escores, uma vez que essa razão influenciou a dispersão no mesmo sentido que AH e no sentido contrário à variável AF. Assim, de acordo com a figura 2, o fator 1 (eixo horizontal) é mais fortemente controlado pelas frações AF e HU, pois distâncias maiores da origem do eixo indicam maiores valores dessas variáveis, enquanto o fator 2 (eixo vertical) depende mais estreitamente do teor de COT e AH.

A grande dispersão dos dados ordenados por profundidade ao longo dos eixos é apresentada na figura 3. Vários pontos referentes às profundidades abaixo de 20 cm aparecem no topo dos quadrantes superiores; uma vez que essa é a locação da variável COT na figura 2, isso reflete o efeito dos altos teores de COT em camadas profundas dos Organossolos presentes nessa base de dados. Porém, de modo geral, observa-se que a dispersão de pontos de todas as profundidades na direção das demais variáveis AH, AF e HU sugere não existir outra tendência clara de aumento de teores de AF ou AH ao longo dos perfis da maioria dos solos, o que também é verificado no quadro 3.

O efeito do tipo de solo, bioma e uso do solo: Análise de Componentes Principais

Com relação à ordem taxonômica dos solos, observa-se que os pontos representativos dos Organossolos estão situados principalmente nos quadrantes superiores do fator 1 (Figura 3), de acordo com os

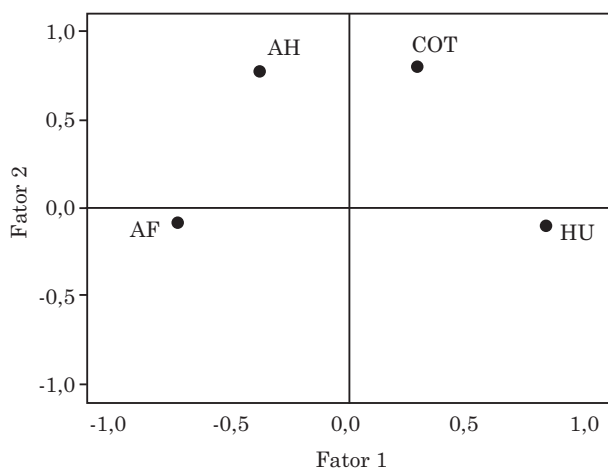


Figura 2. Comportamento das variáveis na análise de componentes principais: carbono orgânico total (COT), ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e humina (HU).

maiores teores de COT observados para essa ordem e evidenciados claramente no quadro 3. Os Planossolos, com menores teores médios de COT (Quadro 4), aparecem dispersos no extremo oposto aos Organossolos na figura 3. Os altos teores médios de AH nos Neossolos (Quadro 4) são evidenciados pelo agrupamento desses pontos rumo à posição AH no quadrante superior esquerdo. No entanto, para as demais ordens, parece não haver nítida discriminação caracterizada apenas pelos teores de COT e partição das SH. O agrupamento das ordens Latossolos e Argissolos, com tendência a apresentarem teores baixos de AH (Figuras 2 e 3), reforça a noção de pouca diferença na partição das SHs nos solos predominantes no Brasil.

Os teores de HU foram em média superiores à combinação AH+AF na maioria das ordens de solos estudados, com exceção para o Cambissolo, Gleissolo, Planossolo e Neossolos (Quadro 4), o que também pode ser visualizado na ACP pelo afastamento dos pontos desses solos da locação HU (Figuras 2 e 3). Segundo Canellas & Santos (2005), tais solos se encontrariam em estágio inicial de humificação, com teores de HU inferiores a 45 %. Os baixos valores de HU nos Neossolos, predominantemente Quartzarênicos, podem ser em razão da maior importância do COT particulado (associado à fração areia) e menor sorção das SHs pelo baixo teor de argila, favorecendo o processo de decomposição e lixiviação, diferente do que ocorre em solos argilosos, onde as SHs são estabilizadas (Zinn et al., 2007). Nota-se que a relação AH/AF apresentou os maiores valores nos Organossolos (2,30) e Neossolos (1,71) (Quadro 4). Canellas & Santos (2005) afirmam que em geral os solos mais arenosos apresentam maiores relações AH/AF por causa da perda seletiva da fração AF, mais solúvel.

Os valores médios (incluindo todas as profundidades) de COT, AH, AF, HU e AH/AF estratificados pelos biomas são apresentados no quadro 3, enquanto a alocação dos pontos pela ACP pode ser observada na figura 3. O bioma Mata Atlântica apresentou aparentemente os maiores teores médios de COT na base de dados. Embora os pontos referentes a este bioma sejam os mais espalhados ao longo dos eixos, pode ser evidenciado na figura 3 um agrupamento de pontos próximo à locação da variável COT nos quadrantes superiores, referentes aos Organossolos lá existentes. Os teores médios de COT em solos da Caatinga e Amazônia foram os menores (Quadro 3), o que também pode ser visto na ACP pelos pontos nitidamente afastados da posição COT. Muitos pontos referentes ao bioma Pampa estão alinhados entre o centro e a posição AH da figura 2, de acordo com os aparentemente maiores teores médios dessa fração (Quadro 4).

Quando os dados foram ordenados por uso do solo (Figura 3), observou-se que os pontos referentes a pastagens naturais concentraram-se no alto do quadrante superior direito, isto é, em direção que demonstra altos teores de COT nos Organossolos.

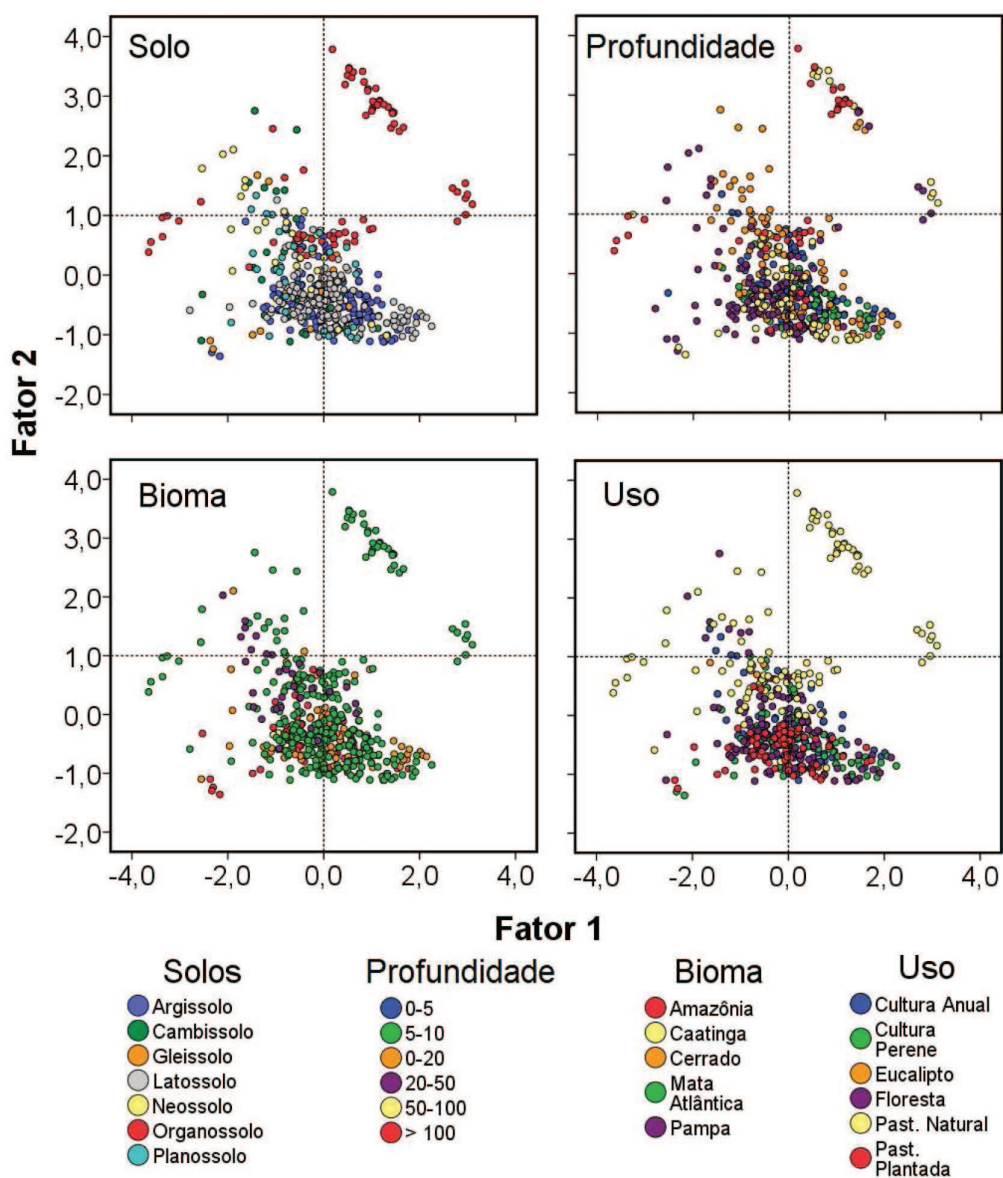


Figura 3. Escores das frações percentuais das SHs e dos teores de COT pela análise de componentes principais, estratificados por profundidade, bioma, ordem de solo e uso do solo.

Quadro 3. Coeficientes de correlação de Spearman (ρ) entre a profundidade dos solos e os teores de carbono orgânico total (COT), ácido húmico (AH), ácido fúlvico (AF), húmica (HU) e relação ácido húmico/ácido fúlvico (AH/AF)

Solo/Profundidade	n	COT	AH	AF	AH/AF	HU
Argissolo	163	-0,534**	-0,102	0,115	-0,171*	-0,327**
Cambissolo	40	-0,381*	-0,181	0,114	-0,166	-0,022
Gleissolo	16	-0,393	-0,558*	0,472	-0,467	-0,769**
Latossolo	170	-0,702**	0,072	0,251**	-0,164*	-0,238**
Neossolo	28	-0,275	0,461*	0,153	0,405*	-0,693**
Organossolo	73	0,023	0,142	0,364**	-0,124	-0,367**
Planossolo	31	-0,831**	-0,645**	-0,172	-0,496**	0,067
Total	521	-0,053	-0,038	0,109*	-0,097*	-0,192**

* e ** significativo a 0,05 e 0,01, respectivamente.

Quadro 4. Valores médios de carbono orgânico total (COT), ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF), humina (HU) e razão AH/AF, ordenados por bioma, ordem de solos e uso da terra, incluindo todas as profundidades (desvio-padrão entre parênteses). n: número de observações

Classificação	n	COT	AH	AF	AH/AF	HU
Solo						
Argissolo	163	11,2 (7,3)	15,4 (8,8)	18,3 (9,8)	0,98 (0,64)	55,0 (16,1)
Cambissolo	40	41,1 (50,3)	19,2 (14,3)	21,9 (13,2)	1,11 (1,14)	40,22 (13,0)
Gleissolo	16	15,9 (15,8)	19,0 (14,3)	23,2 (14,8)	1,19 (0,92)	39,6 (18,9)
Latossolo	170	18,2 (15,2)	15,0 (7,3)	18,7 (9,4)	0,99 (0,72)	54,0 (16,9)
Neossolo	28	34,7 (21,6)	31,0 (16,4)	19,0 (9,5)	1,71 (1,00)	36,6 (16,9)
Organossolo	73	340,9 (116,5)	23,2 (14,7)	22,5 (19,0)	2,30 (1,98)	53,8 (20,9)
Planossolo	31	11,0 (9,7)	21,9 (14,4)	16,9 (9,8)	1,46 (0,97)	37,8 (12,6)
Profundidade (cm)						
0-5	114	20,1 (13,5)	17,7 (8,7)	17,1 (7,8)	1,16 (0,65)	54,9 (16,6)
5-10	66	17,6 (16,9)	13,2 (6,0)	16,7 (6,8)	0,84 (0,39)	58,0 (19,0)
0-20	123	53,3 (92,1)	21,9 (13,5)	17,7 (9,3)	1,46 (1,16)	51,2 (15,8)
20-50	128	42,0 (106,6)	17,1 (12,0)	23,1 (12,2)	1,02 (0,98)	45,8 (19,4)
50-100	55	132,0 (184,2)	14,4 (13,1)	17,5 (16,5)	1,66 (1,80)	48,6 (17,6)
> 100	35	296,0 (152,7)	22,8 (13,0)	27,18 (20,4)	1,78 (1,75)	46,0 (17,7)
Biomas						
Amazônia	79	13,0 (7,9)	14,3 (7,5)	22,7 (11,9)	0,76 (0,48)	48,6 (18,9)
Caatinga	6	8,0 (1,4)	13,7 (4,6)	20,8 (7,3)	0,66 (0,27)	41,3 (11,8)
Cerrado	81	29,0 (67,7)	15,6 (9,1)	17,9 (11,7)	1,28 (1,07)	54,6 (18,1)
Mata Atlântica	325	89,3 (144,4)	18,1 (12,1)	18,7 (12,1)	1,33 (1,25)	51,6 (17,8)
Pampa	30	19,1 (11,4)	33,8 (10,8)	22,4 (9,6)	1,80 (0,87)	41,3 (16,2)
Uso do solo						
Cultura anual	93	12,4 (9,7)	17,9 (9,7)	15,3 (6,3)	1,41 (0,97)	54,8 (16,3)
Cultura perene	99	14,5 (8,2)	14,7 (9,8)	16,5 (9,4)	0,96 (0,54)	53,4 (18,0)
Eucalipto	6	17,6 (5,6)	31,8 (12,0)	31,4 (11,5)	1,21 (0,75)	53,5 (8,7)
Floresta	144	21,6 (29,3)	16,6 (10,3)	21,2 (10,3)	0,89 (0,59)	49,3 (17,5)
Pastagem natural	110	238,1 (174,0)	25,9 (14,6)	21,6 (16,6)	2,17 (1,77)	49,0 (20,4)
Past. plantada	69	14,9 (16,7)	11,8 (6,0)	20,8 (12,9)	0,76 (0,52)	48,4 (17,5)
Total	521	63,4 (121,8)	18,0 (11,7)	19,4 (11,9)	1,25 (1,13)	50,9 (18,1)

Simultaneamente, as pastagens naturais ocuparam pontos no quadrante superior esquerdo, na direção centro-AH, evidenciando os altos valores médios de AH também apresentados no quadro 3. Freitas et al. (2009) propõem que os altos teores de COT frequentemente encontrados em pastagens naturais se devem à incorporação da abundante biomassa radicular no solo na fração HU. No entanto, não somente é possível que parte da matéria orgânica particulada não-humificada seja computada como humina em muitos estudos, como também os pontos referentes a pastagens naturais também se espalham por outras áreas do gráfico, o que dificulta a identificação de eventual partição preferencial de SH nesse uso do solo.

Da mesma forma, o agrupamento central dos demais usos do solo não permite distinguir, na figura 3, tendências específicas em teores de COT e partição

das SHs. Cerri & Volkoff (1988), ao estudar os solos de todo Brasil, observaram que apenas o húmus do horizonte A está em equilíbrio com a atual vegetação do solo, enquanto o que está em maior profundidade não é influenciado pelo uso do solo, parecendo ter reflexo nessa base de dados que utiliza muitas camadas subsuperficiais. Igualmente, Nascimento et al. (1993), comparando Cerrado nativo e áreas cultivadas (12-20 anos), e Antunes et al. (2009), em solo cultivado por até 14 anos no norte de Minas Gerais, não encontraram diferenças na partição das SHs, concluindo que o processo de humificação independe do uso do solo. Canellas & Santos (2005) ressaltam ainda a limitação do uso de SH como indicadores da qualidade do solo, já que os processos envolvidos são lentos, nem todos os resíduos dos processos de decomposição são convertidos em SH e nem todas as SHs recentes são retidas no solo. Embora alguns autores como Teixeira et al. (2010) proponham o uso de teores de AF, AH e

HU como indicadores edáficos de mudanças no uso do solo, tal proposição não encontrou apoio neste trabalho e nas referências supracitadas. Tal aparente insensibilidade das SHs talvez se deva ao fato de o cultivo interferir principalmente na matéria orgânica particulada ou leve, ainda pouco alterada, ou porque as SHs sejam efetivamente estáveis ao cultivo ou influenciadas similarmente por práticas agrícolas.

CONCLUSÕES

1. A fração humina, nos Argissolos, Latossolos e Organossolos, contribuiu com pelo menos metade do COT e tendeu a diminuir em profundidade. Para os Latossolos e Organossolos, a fração AF apresentou tendência de aumento em profundidade. Em Neossolos, a fração AH aumentou em profundidade, mas diminuiu nos Gleissolos e Planossolos. De maneira geral, a razão AH/AF diminuiu com a profundidade.

2. Os resultados da ACP sugeriram que os diferentes biomas e usos do solo, embora apresentem algumas diferenças importantes nos teores de COT, não interferiram consistentemente na partição quantitativa das SHs nas frações AH, AF e HU.

3. A ACP auxiliou na identificação das diferenças mais evidentes entre teores de COT entre ordens de solo, onde são perceptíveis os baixos teores de COT, em Latossolos e Argissolos, e altos teores, em Organossolos. Foi possível identificar os baixos teores de HU em Neossolos e Gleissolos.

4. Parece haver baixo potencial de uso da mera partição quantitativa das SHs como indicador sintético e consistente de efeitos do manejo agrícola ou de ambientes. No entanto, a partição das SHs retém potencial para discriminar processos pedogenéticos em algumas ordens taxonômicas de solos.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à FAPEMIG, pelas bolsas de mestrado e doutorado concedidas. Ao CNPq, pelos recursos utilizados (projeto CNPq 474045/2010-2). A um revisor anônimo e ao editor associado, pelo trabalho minucioso que resultou em melhoria expressiva deste manuscrito.

LITERATURA CITADA

ALMEIDA, L.G.F. Caracterização do solo com diferentes usos e composição florística no Vale do Mucuri-MG. Diamantina, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. 2009. 75p. (Dissertação de Mestrado)

ANTUNES, R.C.C.; PEGORARO, R.F.; GONÇALVES, C.; DIAS, D.G.; FIGUEIREDO, L.H.A.F. & FALCÃO, G. Estoque de carbono e nitrogênio nas substâncias húmicas de solos submetidos a diferentes cultivos no Norte de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., Fortaleza, 2009. Anais... Fortaleza, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. CD-ROM

ARAÚJO, E.A.; LANI, J.L.; AMARAL, E.F. & GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de um Argissolo Amarelo distrófico na Amazônia Ocidental. R. Bras. Ci. Solo, 28:307-315, 2004.

ARAÚJO, E.A.; KER, J.C.; MENDONÇA, E.S.; SILVA, I.R. & OLIVEIRA, E.K. Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. Acta Amaz., 41:103-114, 2011.

AREND, K. Substâncias húmicas e formas de cobre em solos de áreas de videira. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2010. 116p. (Tese de Doutorado)

BALDOTTO, M.A.; CANELA, M.C.; CANELLAS, L.P.; DOBBS, L.B. & VELLOSO, A.C.X. Redox index of soil carbon stability. R. Bras. Ci. Solo, 34:1543-1551, 2010.

BARRETO, A.C.; FREIRE, M.B.G.S.; NACIF, P.G.S.; ARAÚJO, Q.R.; FREIRE, F.J. & INÁCIO, E.S.B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. R. Bras. Ci. Solo, 32:1471-1478, 2008.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Gênese, 1999. p.9-26.

BENITES, V.M.; SCHAEFER, C.E.R.G.; 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. R. Bras. Ci. Solo, 25:661-674, 2001.

BENITES, V.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SIMAS, F.N.B. & SANTOS, H.G. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. R. Bras. Bot., 30:569-577, 2007.

BENITES, V.M.; MOUTTA, R.O.; COUTINHO, H.L.C. & BALIEIRO, F.C. Análise discriminante de solos sob diferentes usos em área de mata atlântica a partir de atributos da matéria orgânica. R. Árvore, 34:685-690, 2010.

CAMPOS, J.R.R.; SILVA, A.C.; VASCONCELOS, L.L.; SILVA, D.V.; ROMÃO, R.V.; SILVA, E.B. & GRAZZIOTTI, P.H. Pedochronology and development of peat bog in the environmental protection area Pau-De-Fruta – Diamantina, Brazil. R. Bras. Ci. Solo, 34:1965-1975, 2010.

CAMPOS, J.R.R.; SILVA, A.C.; TORRADO, P.V.; VASCONCELOS, L.L.; SILVA, D.V.; ROMÃO, R.R. & BISPO, F.H.B. Distribuição das substâncias húmicas na Turfeira da APA Pau-de-Fruta em Diamantina, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., Fortaleza, 2009. Anais... Fortaleza, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. CD-ROM

- CANELLAS, L.P.; BERNER, P.G.; SILVA, S.G.; SILVA, M.B. & SANTOS, G.A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma toposequência no Estado do Rio de Janeiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:133-143, 2000.
- CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; RESENDE, C.E. & SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:935-944, 2003.
- CANELLAS, L.P.; ESPINDOLA, J.A.A.; REZENDE, C.E.; CAMARGO, P.B.; ZANDONADI, D.B.; RUMJANEK, V.M.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G. & BRAZ FILHO, R. Organic matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes. *Sci. Agric.*, 61:53-61, 2004.
- CANELLAS, L.P. & FAÇANHA, A.R. Chemical nature of soil humified fractions and their bioactivity. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:233-240, 2004.
- CANELLAS, L.P. & SANTOS, G.A. Humosfera: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes, 2005. 345p. Disponível: <UENF: <http://www.uenf.br/Uenf/Pages/CCTA/Lsol/>>. Acesso em: 19 abril de 2012.
- CASTRO, G.C. Carbono orgânico nas frações granulométricas e húmicas em solos de diferentes texturas sob floresta da região Noroeste Matogrossense. Cuiabá, Universidade Federal de Mato Grosso, 2008. 46p. (Dissertação de Mestrado)
- CERRI, C.C. & VOLKOFF, B. Matéria orgânica de três solos dos campos inundáveis da Ilha de Marajó/PA. *R. Bras. Ci. Solo*, 12:93-100, 1988.
- CONCEIÇÃO, M.; FREIXO, A.A.; ARAÚJO, W.S.; CUNHA, T.J.F.; MARTIN NETO, L.M. & SAAB, S.C. Caracterização das substâncias húmicas em solos orgânicos do Estado do Rio de Janeiro, sob diversas atividades agrícolas. Rio de Janeiro, 1999. 6p. (Serie Embrapa - Pesquisa em Andamento, 5)
- CORDEIRO, F.C. Atributos edáficos em áreas de pastagem plantada em relevo movimentado no noroeste do Estado do Rio de Janeiro. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006. 103p. (Dissertação de Mestrado)
- COELHO, M.S.; MENDONÇA, E.S.; CARDOSO, I.M.; LIMA, P.C.; BARBOSA, I.P. & FRÁGUAS, L.M. Estoque de carbono e nitrogênio nas frações húmicas de solos sob adubação verde em cultivo orgânico de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., Fortaleza, 2009. Anais... Fortaleza, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. CD-ROM
- CUNHA, T.J.F.; MACEDO, J.R.; RIBEIRO, L.P.; PALMIERI, F.; FREITAS, P.L. & AGUIAR, A.C. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob cerrado. *Ci. Rural*, 31:27-36, 2001.
- CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; CANELLAS, L.P.; RIBEIRO, L.P.; BENITES, V.M. & SANTOS, G.A. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (terra preta de índio) in the Brazilian Amazon basin. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:85-93, 2009.
- 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 Amaz.*, 37:91-98, 2007.
- EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREZ, D.V.; PEREIRA, M.G. & GOMES, W.F. Atributos químicos, carbono orgânico e substâncias húmicas em Organossolos háplicos de várias regiões do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:325-336, 2011.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema brasileiro de classificação de Solos. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- FARIAS, M.O.; LIMA, C.L.R.; SANTOS, D.C.; KUNDE, R.J. & PILLON, C.N. Estudo da matéria orgânica em um Planossolo Háptico submetido a diferentes sistemas de manejo. Pelotas, Embrapa Clima Temperado, 2010. 36p. (Série Embrapa - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 116)
- FERREIRA, D.F. Estatística multivariada. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2011. 676p.
- FERREIRA, D.F. Análise Multivariada. Lavras, Universidade Federal de Lavras. Departamento de Exatas, 1996. 400p.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; NASCIMENTO, G.B.; ANJOS, L.H.C. & EBELING, A.G. Matéria orgânica em solos de tabuleiros na região Norte Fluminense-RJ. *Flor. Amb.*, 8:114-119, 2001.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; CUNHA, T.J.F. & SALTON, J.C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 41:847-853, 2006.
- 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, 2008.
- FONTANA, A.; BRITO, R.J.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A. & BENITES, V.M. Caracterização de substâncias húmicas da camada superficial do solo sob diferentes coberturas vegetais. *Magistra*, 22:48-55, 2010a.
- 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, 2010b.
- FONTANA, A.; SILVA, C.F.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; BRITO, R.J. & BENITES, V.M. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica. *Acta Sci. Agron.*, 33:545-550, 2011.
- FREITAS, I.C.V.; SILVA, F.N.; SILVA, R.R.P.S. & COTTA, A.P. Substâncias húmicas e fúlvicas em diferentes sistemas de uso e manejo do solo em bioma Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., Fortaleza, 2009. Anais... Fortaleza, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. CD-ROM
- GIÁCOMO, R.G.; PEREIRA, M.G. & BALIEIRO, F.C. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição das frações húmicas no solo sob diferentes coberturas florestais. *R. Bras. Ci. Agron.*, 3:42-48, 2008.

- GUERRA, J.G.M. & SANTOS, G.A. Métodos químicos e físicos. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Gênese, 1999. 49p.
- HAYES, M.H.B. Humic substances: Progress towards more realistic concepts of structures. In: DAVIES, G. & GHABBOUR, E.A., eds. Humic substances: Structures, properties and uses. Cornwall, MPG Books, 1998. p.1-27.
- OLIVEIRA JR, M.M. & MELO, W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. Pesq. Agropec. Bras., 35:1177-1182, 2000.
- MARCHIORI JR, O.A.C.; SILVA, C.A.; CURI, N.; GUILHERME, L.R.G. & RANGEL, O.J.P. Indicadores químicos de qualidade da matéria orgânica de solo da sub-bacia do Rio das Mortes sob manejos diferenciais de cafeeiro. Quím. Nova, 31:1733-1737, 2008.
- LIMA, H.N. Gênese, química e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 176p. (Tese de Doutorado)
- LIMA, P.C. & BEZERRA NETO, E.B. Carbono orgânico total e substâncias húmicas em Latossolo sob diferentes manejos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., Fortaleza, 2009. Anais... Fortaleza, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. CD-ROM
- LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L.; MACHADO, P.L.O. & 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. R. Bras. Ci. Solo, 27:821-832, 2003.
- LONGO, R.M. & ESPÍNDOLA, C.R. Carbono orgânico, nitrogênio total e substâncias húmicas do solo sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria* sp) em áreas de Cerrado e floresta Amazônica. R. Bras. Ci. Solo, 24:723-729, 2000.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G. & BRITO, R.J. Distribuição das substâncias húmicas em solos de tabuleiros sob diferentes coberturas vegetais. R. Univ. Rural Série Ci. Vida, 26:57-69, 2006.
- LOSS, A.; TEIXEIRA, M.B.; OLIVEIRA, A.B.; LIMA, F.M.; CRUZ, R.B.; FONTANA, A. & PEREIRA, M.G. Fracionamento químico da matéria orgânica do solo em áreas sob diferentes coberturas vegetais e manejo agroecológico. R. Bras. Agroecol., 2:1389-1393, 2007.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H. C. & SILVA, E.M.R. Substâncias húmicas do solo sob manejo agrícola em diferentes sistemas de produção orgânico. In: FERTBIO, Londrina, 2008. Anais... Londrina, 2008. CD-ROM
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; FERREIRA, E.P.; SANTOS, L.L. & FERRAZ JÚNIOR, A.S.L. Carbono das frações húmicas de Argissolo Vermelho-Amarelo sob sistemas de cultivo em aléias, São Luis, MA. R. Bras. Ci. Solo, 4:2455-2459, 2009.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C. & SILVA, E.M.R. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. Bragantia, 69:913-922, 2010.
- MACHADO, D.L.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, R.G. & SANTOS, L.L. Fertilidade do solo e caracterização da matéria orgânica em áreas sob Latossolo Vermelho na Estação Ecológica de Pirapitinga (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., Fortaleza, 2009. Anais... Fortaleza, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. CD-ROM
- MACHADO, D.L.; PEREIRA, M.G.; CORREIA, M.E.F.; SANTOS, L.L.; DINIZ, A.R. & MENEZES, C.E.G. Caracterização das frações físicas e químicas da matéria orgânica do solo em diferentes estádios sucessionais, Brasil. In: FERTBIO, Guarapari, 2010. Anais... Guarapari, 2010. CD-ROM
- MELO, V.F. Solos e indicadores de uso agrícola em Roraima: Áreas Indígena Maloca Flechal e de colonização do Apiaú. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 145p. (Tese de Doutorado)
- MELO, V.F. & SCHAEFER, C.E.G.R. Matéria orgânica em solos desenvolvidos de rochas máficas no Nordeste de Roraima. Acta Amaz., 39:53- 60, 2009.
- MENEZES, C.E.G. Integridade de paisagem, manejo e atributos do solo no médio Vale do Paraíba do Sul. Pinheiral, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008a. 175p. (Tese de Doutorado).
- MENEZES, F.P. Substâncias húmicas em solos de diferentes feições geomorfológicas no rebordo do Planalto do Rio Grande do Sul. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2008b. 112p. (Dissertação de Mestrado)
- MIRANDA, C.C.; CANELLAS, L.P. & NASCIMENTO, M.T. Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de mata atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. R. Bras. Ci. Solo, 31:905-916, 2007.
- MORAES, L.F.D.; CAMPELLO, E.F.C., PEREIRA, M.G. & LOSS, A. Características do solo na restauração de áreas degradadas na reserva biológica de Poço das Antas, RJ. Ci. Flor., 18:193-206, 2008.
- MOREIRA, A. Fertilidade, matéria orgânica e substâncias húmicas em solos antropogênicos da Amazônia Ocidental. Bragantia, 66:307-315, 2007.
- MOITA NETO, J.M. Estatística multivariada. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí. 2006. Disponível em: <<http://www.fapepi.pi.gov.br/novafapepi/ciencia/documentos/multivariada.PDF>>. Acesso em: 15 dez. 2011.
- NASCIMENTO, V.N.; ALMENDROS, G. & FERNANDES, F.M. Evolution patterns of the soil organic matter in some agricultural systems in the Brazilian "Cerrado" region. Eur. J. Soil. Biol., 29:177-182, 1993.
- PARTELLI, F.L.; BUSATO, J.G.; VIEIRA, H.D.; VIANA, A.P. & CANELLAS, L.P. Qualidade da matéria orgânica e distribuição do fósforo no solo de lavouras orgânicas de café Conilon. Ci. Rural, 39:2065-2071, 2009.
- PORTUGAL, A.F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C.E.G.R. & WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho-Amarelo. R. Bras. Ci. Solo, 32:2091-2100, 2008.

- ROSA, C.M.; CASTILHOS, R.M.V.; DICK, D.P.; PAULETTO, E.A. & GOMES, A.S. Teor e qualidade de substâncias húmicas de Planossolo sob diferentes sistemas de cultivo. *Ci. Rural*, 38:1589-1595, 2008.
- SANTANA, G.S. Compartimento químico e físico da matéria orgânica de Latossolo em sistemas de manejo e pastagens dos Campos de Cima da Serra, RS. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010. 81p. (Dissertação de Mestrado)
- SANTOS, L.L.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; FERREIRA, E.P. & FERRAZ JÚNIOR, A.S.L. Carbono das frações húmicas de Argissolo Vermelho-Amarelo sob sistemas de cultivo em Aléias, São Luis, MA. *R. Bras. Agron.*, 4:2455-2459, 2009a.
- SANTOS, L.L.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; BERNINI, T.A.; ANJOS, L.H.C.; MORAES, A.G.L. & WADT, P.G.S. Distribuição das substâncias húmicas de horizontes superficiais em topossequências sob floresta no Acre. In: FERTBIO, Londrina, 2008. Anais... Londrina, 2008. CD-ROM
- SANTOS, L.L.; MACHADO, D.L.; PEREIRA, M.G. & GIÁCOMO, R.G. Fertilidade do solo e caracterização da matéria orgânica em áreas sob Cambissolo Háplico na Estação Ecológica de Pirapitinga (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32-Fortaleza, 2009. Anais... Fortaleza, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009b. CD-ROM
- SANTOS, L.L.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A. & ANJOS, L.H.C. Carbono das substâncias húmicas em Latossolo sob sistema plantio direto com integração lavoura-pecuária. In: FERTBIO, Guarapari, 2010. Anais... Guarapari, 2010. CD-ROM
- SCHAEFER, C.E.R.; SILVA, D.D.; PAIVA, K.W.N.; PRUSKI, F.F.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. & ALBUQUERQUE, M.A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37:669-678, 2002.
- SCHIAVO, J.A.; CANELLAS, L.P. & MARTINS, M.A. Revegetação de cava de extração de argila com *Acacia mangium*. I - atributos químicos do solo, ácidos fúlvicos e húmicos. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1153-1162, 2007.
- SCHIAVO, J.A.; BUSATO, J.G.; MARTINS, M.A. & CANELLAS, L.P. Recovery of degraded areas revegeted with *Acacia mangium* and *Eucalyptus* with special reference to organic matter humification. *Sci. Agric.*, 66:353-360, 2009.
- SCHMIDT, M.W.I.; TORN, M.S.; ABIVEN, S.; DITTMAR, T.; GUGGENBERGER, G.; JANSSENS, I.A.; KLEBER, M.; KOGEL-KNABNER, I.; LEHMANN, J.; MANNING, D.A.C.; NANNIPIERI, P.; RASSE, D.P.; WEINER, S. & TRUMBORE, S.E. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*, 478:49-56, 2011.
- STEVENSON, F.J. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. 2.ed. New York, Wiley, 1994. 512p.
- SILVA, A.C.; HORÁK, I.; TORRADO, P.V.; CORTIZAS, A.M.; RACEDO, J.R. & CAMPOS, J.R.R.C. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional – MG II – Influência da drenagem na composição elementar e substâncias húmicas. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1399-1408, 2009.
- SILVA, C.A.; ANDERSON, S.J. & GUILHERME, L.R.G. Uso da cromatografia de exclusão por tamanho na caracterização de substâncias húmicas de Latossolo Vermelho-Escuro sob efeito da calagem. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:495-503, 2000.
- SILVA, R.C.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G. & MENEZES, C.E.G. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em solos da região do Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral, RJ. In: FERTBIO, Guarapari, 2010. Anais... Guarapari, 2010. CD-ROM
- SILVA, S.C. & SBRISSIA, A.F. Análise de componentes principais entre características morfogênicas e estruturais em capim-marandu sob lotação contínua. *Ci. Rural*, 40:690-693, 2010.
- SOARES, E.M.B. Frações da matéria orgânica e composição molecular de substâncias húmicas de solos sob cultivo de eucalipto em biomas distintos. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2009. 136p. (Tese de Doutorado)
- ROCHA, J.C. & ROSA, A.H. Substâncias húmicas aquáticas – interações com espécies metálicas. São Paulo, UNESP, 2003. 110p.
- TEIXEIRA, R.S.; SILVA, I.R.; SOARES, E.M.B.; FIALHO, R.C.; BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F. Impacto do cultivo do eucalipto nas substâncias húmicas em solos de texturas distintas no leste do Rio Grande do Sul. In: FERTBIO, Guarapari, 2010. Anais... Guarapari, 2010. CD-ROM
- 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)
- VILLANI, F.T.; RIBEIRO, G.A.A.; ALFAIA, S.S. & VILLANI, E. Fracionamento químico e físico da matéria orgânica e estoque de carbono e nitrogênio em solos de sistemas agroflorestais e outras coberturas vegetais em comunidades indígenas no Alto Solimões-Amazonas. In: FERTBIO, Guarapari, 2010. Anais... Guarapari, 2010. CD-ROM
- ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIAN, T.M.; MILTNER, A. & SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, 79:117-161, 1997.
- ZINN, Y.L.; LAL, R.; BIGHAM, J.M. & RESCK, D.V.S. Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian Cerrado: Soil texture and mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 71:1204-1214, 2007.