

Caracterização química e hidrofóbica de Organossolos e solos com horizonte hístico

Arcângelo Loss^{1*}, Marcos Gervasio Pereira², Thiago Andrade Bernini³, Gustavo Souza Valladares⁴

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil

²Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Brasil

³Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Rio de Janeiro, Pinheiral, RJ, Brasil

⁴Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI, Brasil

*Autor correspondente, e-mail: arcangeloloss@yahoo.com.br

Resumo

Este trabalho objetivou realizar o fracionamento químico da matéria orgânica e avaliar o grau de repelência a água de Organossolos e solos com horizonte hístico de diferentes regiões do Brasil. Foram avaliados 16 perfis de Organossolos e um Neossolo, com elevados teores de carbono no horizonte superficial. Quantificou-se o carbono total através de analisador elementar e o carbono das frações húmicas: huminas (C-HUM), fração ácidos húmicos (C-FAH) e fração ácidos fúlvicos (C-FAF). Também se estimou o grau de hidrofobicidade das amostras por meio dos métodos: molaridade de gotas de etanol (MED) e tempo de penetração de gotas de água (WD). Por meio de correlações de Pearson e análises de regressão, verificou-se que na média das triplicatas das amostras realizadas, predomina maiores valores de C-HUM seguido de C-FAH e C-FAF. O somatório dessas frações húmicas representou em média 94% do carbono total (C-CHN), sendo estas duas variáveis altamente correlacionadas. Os resultados obtidos pelos métodos MED e WD demonstram que os solos estudados possuem grau muito severo quanto à repelência a água. O C-FAF e o MED apresentaram o maior valor de correlação em relação à repelência à água. De maneira geral, o método empregado para fracionamento das substâncias húmicas se mostrou adequado, com uma boa repetibilidade e facilidade de execução técnica. Dentre as frações húmicas, o C-FAF pode ser utilizado como parâmetro para a estimativa do grau de repelência à água.

Palavras-chaves: ácido fúlvico, ácido húmico, humina, matéria orgânica, repelência a água

Chemical and hydrophobic characterization of Histosols and soils with histic horizon

Abstract

This work aimed at to accomplish the quantitative fractionating of the organic matter and to evaluate the repellence degree the water of Histosols and soils with histic horizon of different areas of Brazil. They were appraised 17 profiles of Histosols, a Inceptisol and a Entisol, with high tenors of carbon in the surface horizon. The total carbon was quantified through CHN (C-CHN) and the carbon of the fractions humics: humin (C-HUM), humic acid fraction (C-HAF) and fulvic acid fraction (C-FAF). Also, was considered the degree of hydrophobicity of the samples through the methods of molarity of ethanol droplets (MED) and water drops penetration time (WD). Through correlations of Pearson and analyze of regression, it was verified that in the average of the accomplished triplicates, it prevails larger values of C-HUM following by C-HAF and C-FAF. The sum of the humics fractions represented 94% of the total carbon on average, being the two variables highly correlated. The results obtained by the methods MED and WD demonstrate that the studied soils possess very severe degree as for the repellency the water. The C-FAF and MED presented the largest correlation value in relation to repellency to water. In a general way, the employed method for fractionating humics substances was shown appropriate, with a good repeatability and easiness of technical execution. Among the humics fractions, the C-FAF it can be used as parameter for the estimate of the repellency degree to water.

Keywords: fulvic acid, humin, humic acid, Organic matter, water repellency

Recebido: 17 Fevereiro 2013
Aceito: 07 Fevereiro 2015

Introdução

Os Organossolos são definidos, conforme Embrapa (2013) como "grupamento de solos constituído por material orgânico que apresentam horizonte hístico (com teor de carbono orgânico $\geq 80 \text{ g kg}^{-1}$ de terra fina seca ao ar) de coloração preta, cinzenta muito escura ou brunada, resultantes de acumulação de resíduos vegetais, em graus variáveis de decomposição, em condições de drenagem restrita (ambientes mal a muito mal drenados), ou em ambientes úmidos de altitudes elevadas, saturados com água por apenas poucos dias durante o período chuvoso". Conforme Valladares et al. (2008), são mais comuns no Brasil solos com horizontes hísticos com espessuras de até 120 cm a partir da superfície do solo. Os materiais orgânicos podem apresentar grande variação de cor, predominando as escuras, porém cores mais claras (acinzentadas e brunadas) também são observadas, principalmente quando encontram-se pouco decompostos. A estrutura se apresenta muito variável, sendo a maciça e a granular os tipos predominantes (Valladares et al., 2008).

As áreas ocupadas por Organossolos no mundo, geralmente, são utilizadas para extrativismo de produtos florestais, pastejo e usos agrícolas especiais como rizicultura (FAO, 2006; Ebeling et al., 2013). Entretanto, quando esses solos são manejados de forma adequada e com investimento de capital, os mesmos têm potencial para outras lavouras de ciclo curto e horticultura (Pereira et al., 2005). Todavia, devido ao custo ambiental resultante do aumento de perdas da matéria orgânica por mineralização, além do fato de se tratarem de um habitat único para muitas espécies de plantas e animais, têm-se recomendado na América do Norte e em alguns países da Europa que essas áreas sejam destinadas à preservação (Ebeling, 2010).

Estes solos ocorrem em locais onde o acúmulo de matéria orgânica no solo é favorecido pela inibição da atividade microbiana, devido às baixas condições de oxigenação, temperatura ou condições de distrofismo. Nos Organossolos, por apresentarem como particularidade elevados teores de material orgânico, torna-se necessário o desenvolvimento de métodos próprios para a sua caracterização, classificação

e recomendações de adubação (Mendonça, 1999; Ebeling et al., 2008; Fontana et al., 2008; Schultz et al., 2011). Nesse contexto, as diferentes frações húmicas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas), que nestes solos são mais elevados devido à sua natureza predominantemente orgânica, devem ser melhor identificadas para posterior compreensão da qualidade desses solos, do seu potencial de degradação e de sua susceptibilidade à subsidência e perda de matéria orgânica solúvel.

O manejo dos Organossolos é bastante complexo, sendo que a primeira prática agrícola realizada nesses solos é a drenagem. A partir do momento em que esta é feita, ocorre a modificação de condições, em geral, anaeróbias, com a entrada de oxigênio no sistema, favorecendo alterações nas características físicas, químicas e biológicas do solo. Ocorre rápida oxidação da matéria orgânica, com diminuição de volume e gradativo aumento da densidade do solo e das partículas, modificando suas características originais, no processo definido como subsidência (Mendonça, 1999; Ambak e Melling, 2000; Morris et al., 2004; Pereira et al., 2005).

Os problemas causados pela subsidência podem diminuir o tempo de uso dos Organossolos e também a eficiência dos sistemas de drenagem (Ebeling, 2010). Andriess (1984) destaca, como particularidade, a desidratação irreversível e formação de compostos hidrofóbicos nesses solos. Segundo Berglund e Persson (1996) e Dekker e Ritsema (2000), muitos horizontes superficiais de Organossolos quando secos são de difícil reumedecimento, sendo que alguns podem apresentar a propriedade de repelir a água, não se molhando facilmente pela chuva ou pela irrigação. Quando se tenta reidratá-los, observa-se, muitas vezes, o desprendimento de partes do material do solo na forma de placas que flutuam pelos canais de drenagem (Pérez et al., 1998). A existência do caráter hidrofóbico nos Organossolos traz aspectos negativos com respeito ao seu uso e manejo, com destaque para a redução da taxa de infiltração, diminuição da quantidade de água disponível e conseqüentemente redução do desenvolvimento vegetal (Bond, 1968; Bond,

1972).

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo realizar o fracionamento químico da matéria orgânica do solo e avaliar o grau de hidrofobicidade a água de Organossolos e solos com horizonte hístico de diferentes regiões do Brasil.

Material e Métodos

Foram coletados dezenove perfis de solos de diferentes regiões edafoclimáticas do Brasil, sendo dezesseis perfis de Organossolos e um de Neossolo, que apresenta horizonte hístico. Os solos foram coletados, descritos e caracterizados segundo Santos et al. (2005) e Embrapa (2013). A Tabela 1 apresenta a localização, a classificação e a altitude dos perfis, sendo todos detalhadamente caracterizados em Valladares

(2003).

O fracionamento químico das substâncias húmicas foi feito em triplicatas, em 49 amostras de horizontes (Tabela 2) provenientes de 18 perfis de solos (Tabela 1), segundo a técnica de solubilidade diferencial estabelecida pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (Swift, 1996), adaptado por Benites et al. (2003). Pesou-se uma massa de solo equivalente a 30 mg de carbono orgânico total (COT), submetendo-se ao contato com 20 ml de NaOH 0,1 mol L⁻¹ por 24 horas. A separação entre o extrato alcalino (EA = carbono da fração ácido fulvico -C-FAF + carbono da fração ácido húmico-C-FAH) e o resíduo (carbono da fração húmica-C-HUM) foi feita por centrifugação a 5000 g (gravidade) por 30 minutos.

Tabela 1. Algumas características dos perfis de solo coletados em diferentes estados do Brasil.

Perfil	Localização	Classificação dos Solos (Embrapa, 2006)	Altitude (m)
AL1	Jequiá da Praia, AL	Organossolo Tiomórfico Fíbrico térreo	3
AL2	Coruripe, AL	Organossolo Tiomórfico Hêmico típico	5
BA2	Ituberá, BA	Organossolo Tiomórfico Hêmico térreo	5
BA3	Arraial D'Ajuda, BA	Organossolo Tiomórfico Hêmico típico	7
DF1	Guaráll, DF	Organossolo Háplico Sáprico típico	800
ES1	Mimoso do Sul, ES	Organossolo Háplico Hêmico típico	15
MG1	Juiz de Fora, MG	Organossolo Háplico Hêmico típico	874
MG2	Coronel Pacheco, MG	Organossolo Háplico Hêmico térreo	432
MS2	Porto Morumbi, MS	Organossolo Tiomórfico Sáprico térreo	280
PR2	Tijucas do Sul, PR	Organossolo Háplico Sáprico típico	850
PR3	Serra da Baitaca, PR	Neossolo Litólico Hístico típico	1330
RJ3	São José da Boa Morte, RJ	Organossolo Háplico Hêmico térreo	40
RJ4	Nova Friburgo, RJ	Organossolo Háplico Sáprico térreo	800
RS3	Cambará do Sul, RS	Organossolo Háplico Sáprico térreo	890
RS4	Viamão, RS	Organossolo Tiomórfico Sáprico típico	20
RS5	Viamão, RS	Organossolo Tiomórfico Sáprico típico	20
SC2	Gov. Celso Portela, SC	Organossolo Tiomórfico Hêmico típico	10
SP1	Taubaté, SP	Organossolo Háplico Sáprico térreo	500

AL=Alagoas; BA=Bahia; DF=Distrito Federal; ES=Espírito santo; MG=Minas Gerais; MS=Mato Grosso do Sul; PR=Paraná; RJ=Rio de Janeiro; RS=Rio Grande do Sul; SC=Santa Catarina; SP=São Paulo.

A quantificação do carbono orgânico nas frações C-FAF, C-FAH e C-HUM foi feita segundo Yeomans e Bremner (1988). Foram calculadas as relações C-FAH/C-FAF e a EA/C-HUM, conforme Benites *et al.* (2003). O carbono orgânico total (C_{CHN}) foi determinado por combustão a seco em analisador elementar PerKin Elmer 2400 CHNS, na Embrapa Solos (Rio de Janeiro, Brasil).

Para estimar a hidrofobicidade das amostras foram utilizados dois métodos descritos na íntegra em King (1981). As amostras utilizadas foram secas ao ar e passadas por peneira de 2,00

mm de malha, sendo empregados os métodos: molaridade de gotas de etanol ("molarity of ethanol droplets" ou MED), que consiste na aplicação de duas gotas (40µL) de solução aquosa de etanol, de concentração conhecida, e na medição do tempo necessário para a absorção das gotas pelo solo. As concentrações utilizadas foram de 0 a 5 mol L⁻¹, com intervalos de 0,2 mol L⁻¹. A hidrofobicidade é representada pela molaridade da solução etanólica a partir da qual as gotas penetram na superfície da amostra em menos de dez segundos. O outro método, tempo de penetração de gotas de

água ("water drops penetration time" ou WD), baseia-se no tempo gasto para que duas gotas de água (40µL) penetrem na amostra de terra. Com os valores obtidos pelos dois métodos foram definidos os graus de hidrofobicidade à água, segundo a escala proposta por King (1981).

Os teores de carbono nas frações húmicas e seu percentual em relação ao C-CHN foram comparados entre si e entre estes e as demais formas de carbono, utilizando correlações de Pearson e análises de regressão linear.

Resultados e Discussão

Distribuição do carbono nas diferentes frações húmicas do solo

O fracionamento das substâncias húmicas resultou em dados consistentes e de boa reprodutibilidade, considerando-se a complexidade do processo, uma vez que para as repetições dos teores do C-FAF, 23 amostras (47%) apresentaram coeficiente de variação (CV) menor ou igual a 10%, 41 amostras (84%) com CV menor ou igual a 20% e somente uma amostra apresentou CV superior a 30% (Tabela 2). No C-FAH, 31 amostras (63%) apresentaram CV menor ou igual a 10%, 44 amostras (90%) com CV menor ou igual a 20% e somente 2 amostras tiveram CV superior a 30% (Tabela 2). Para o C-HUM, 34 amostras (69%) apresentaram CV menor ou igual a 10%, 46 amostras (94%) com CV menor ou igual a 20% e somente 1 amostra teve CV superior a 30% (Tabela 2). A variabilidade das repetições dos teores das frações húmicas por amostra independe do teor e grau de decomposição do material orgânico, pois o coeficiente de variação não se correlaciona com o teor de carbono e fibras esfregadas (Valladares, 2003).

Considerando-se os valores médios das três repetições de fracionamento químico da matéria orgânica, a humina foi a fração que apresentou a média e desvio padrão mais elevados ($116,4 \pm 85,5 \text{ g kg}^{-1}$). Esta fração foi a predominante na maioria das amostras com valor médio de 43,8% do C total determinado por CHN (C-CHN), com alto CV (74%) e alta amplitude, com valores mínimo e máximo de

3,5 e $281,1 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. O fato dessa fração apresentar maior variabilidade dos dados pode ser devido à sua íntima ligação ao material mineral do solo (Stevenson, 1994). Assim, se o solo não for uniformemente moído pode ocorrer proteção física dessa fração, resultando em maior variabilidade dos resultados. Além disso, segundo Valladares et al. (2008), parte do carbono da fração humina é composto pelo carbono da matéria orgânica leve (fragmentos de fibras e carvão) presente na forma de compostos não humificados. Os maiores teores de C-HUM (Tabela 2) foram encontrados nos Organossolos hêmicos em comparação aos sápricos (Tabela 1), evidenciando diferenças nos teores de fibras esfregadas, assim como no grau de decomposição da MOS.

Em estudo sobre a distribuição das substâncias húmicas em Organossolos de diferentes regiões do Brasil, Ebeling et al. (2013), verificaram que o C-HUM apresentou maior valor médio e desvio padrão mais elevado ($111,94 \pm 94,96$) quando comparado às demais frações. Os autores relataram que, assim como neste estudo, a fração humina foi predominante na maioria das amostras, com valor médio de 59,98% do C total determinado pelo CHN (C-CHN), sendo neste estudo encontrado 43,8% do C total determinado pelo CHN (C-CHN).

Os estudos de Benites (2002), Valladares et al. (2007) e Fontana et al. (2008), todos trabalhando com Organossolos de diferentes regiões do Brasil, também encontraram resultados semelhantes a estes para o C-HUM, demonstrando que mesmo em solos orgânicos há predomínio da fração humina, sendo essa a principal responsável pelo sequestro de carbono nesses solos (Ebeling, 2010).

O C-FAF apresentou os menores valores de média e desvio padrão ($20,8 \pm 11,2 \text{ g kg}^{-1}$), representando em média 8% do C total, evidenciando que a maior parte da matéria orgânica dos Organossolos estudados encontra-se em um estágio mais avançado de decomposição com a formação de estruturas mais estáveis. Nesta fração também observou-se a menor variabilidade, com CV de 54% com valor mínimo superior ao mínimo teor do C-HUM ($5,9 \text{ g kg}^{-1}$) e o máximo de $57,3 \text{ g kg}^{-1}$. O C-FAH

Tabela 2. Valores médios dos teores de carbono nas frações húmicas do solo, somatório destas frações (Soma), carbono total (C-CHN), taxa de recuperação do carbono (TxRec) e as relações entre C-FAH/C-FAF e EA/C-HUM de Organossolos de diferentes regiões do Brasil.

Amostra/Horizontes	g C kg ⁻¹ solo				C-CHN	TxRec %	C-FAH/ C-FAF	EA/ C-HUM
	C-FAF	C-FAH	C-HUM	Soma				
AL1 Hop1 ²	39,3 (6)	88,5 (17)	172,7 (11) ¹	300,6	357,8	84	2,25	0,74
AL1 Hop2	10,3 (10)	27,7 (6)	46,5 (9)	84,4	110,4	77	2,69	0,82
AL2 Hdopj	23,9 (3)	131,0 (1)	156,3 (16)	311,2	305,8	102	5,48	0,99
AL2 Hdoj1	24,3 (29)	193,8 (11)	225,6 (14)	443,7	508,1	87	7,99	0,97
AL2 Hdoj2	21,2 (15)	139,7 (4)	232,7 (15)	393,6	454,7	87	6,58	0,69
AL2 Hoj	9,2 (10)	22,0 (35)	79,2 (13)	110,4	120,7	91	2,41	0,39
BA2 Hdj	23,2 (14)	185,7 (9)	252,8 (7)	461,7	525,3	88	8,01	0,83
BA2 Hdoj1	23,8 (1)	188,8 (2)	267,2 (2)	479,8	528,5	91	7,93	0,80
BA2 Hdoj2	16,7 (17)	189,5 (3)	175,8 (24)	381,9	369,9	103	11,37	1,17
BA3 Hdopj1	36,5 (17)	159,5 (5)	184,3 (19)	380,3	387,6	98	4,37	1,06
BA3 Hdopj2	16,2 (29)	198,9 (10)	281,1 (6)	496,2	555,4	89	12,31	0,77
BA3 Hdoj	16,6 (23)	208,4 (13)	247,2 (6)	472,2	508,3	93	12,52	0,91
DF1 Hdp	11,8 (8)	37,8 (13)	38,6 (7)	88,2	101,7	87	3,21	1,29
DF1 Hd1	16,3 (6)	67,3 (7)	43,5 (4)	127,1	132,4	96	4,14	1,92
DF1 Hd2	17,8 (11)	119,4 (27)	35,1 (14)	172,3	196,6	88	6,69	3,91
ES1 Hdp1	19,1 (22)	47,0 (13)	88,0 (13)	154,0	179,8	86	2,46	0,75
ES1 Hdp2	20,1 (13)	53,0 (15)	97,7 (3)	170,7	157,7	108	2,63	0,75
ES1 Hdo	29,3 (12)	84,8 (5)	113,8 (9)	227,9	227,7	100	2,89	1,00
MG1 Hdo	40,0 (5)	65,9 (12)	147,4 (6)	253,4	279,0	91	1,65	0,72
MG1 Hd	23,6 (35)	95,5 (9)	77,6 (5)	196,7	213,7	92	4,05	1,54
MG1 2Hdo	34,7 (4)	142,9 (0)	159,6 (4)	337,2	366,7	92	4,12	1,11
MG2 Hdo1	14,0 (1)	45,1 (21)	61,1 (3)	120,2	114,8	105	3,22	0,97
MG2 Hdo2	11,9 (18)	68,5 (10)	105,7 (6)	186,1	206,4	90	5,77	0,76
MS2 Hdo	20,2 (5)	52,3 (2)	41,4 (2)	114,0	121,1	94	2,58	1,75
MS2 2Hd	7,3 (28)	99,4 (4)	79,6 (4)	186,3	189,3	98	13,66	1,34
PR2 Hdp1	13,1 (8)	89,5 (6)	36,5 (3)	139,2	144,1	97	6,81	2,81
PR2 Hdp2	10,0 (8)	143,4 (10)	30,7 (8)	184,1	192,8	95	14,41	5,00
PR2 Hdp3	21,0 (29)	153,7 (19)	39,6 (12)	214,3	270,0	79	7,31	4,42
PR3 Oo	57,3 (15)	84,2 (37)	235,2 (6)	376,7	418,9	90	1,47	0,60
RJ3 Hdp	35,5 (13)	115,3 (8)	131,8 (6)	282,6	339,8	83	3,25	1,14
RJ3 Hdo1	42,6 (14)	121,2 (1)	139,2 (16)	303,0	314,9	96	2,85	1,18
RJ3 Hdo2	51, (10)	104,8 (4)	99,7 (21)	255,6	332,3	77	2,05	1,56
RJ3 Ho	24,0 (14)	95,2 (12)	184,4 (7)	303,6	288,5	105	3,97	0,65
RJ4 Hdp1	15,6 (10)	30,5 (4)	20,9 (3)	67,1	91,7	73	1,95	2,21
RJ4 Hdp2	17,2 (12)	34,2 (16)	8,9 (5)	60,2	99,5	61	1,99	5,79
RJ4 Cg1	12,7 (20)	22,4 (18)	3,5 (5)	38,6	69,8	55	1,76	9,94
RJ4 Cg2	11,0 (7)	22,1 (10)	6,0 (11)	39,1	44,8	87	2,00	5,56
RS3 Hdo	22,3 (17)	60,9 (2)	70,4 (1)	153,6	158,3	97	2,73	1,18
RS3 Hd1	11,0 (8)	52,8 (4)	45,2 (35)	109,0	110,3	99	4,81	1,41
RS3 Hd2	5,9 (10)	42,3 (9)	15,5 (8)	63,6	69,3	92	7,19	3,11
RS4 Hpj	19,4 (24)	160,7 (21)	199,4 (7)	379,6	425,7	89	8,27	0,90
RS4 Hdj	16,6 (10)	153,7 (2)	240,1 (10)	410,4	482,2	85	9,29	0,71
RS4 Hdoj	12,1 (15)	138,4 (11)	256,3 (2)	406,8	490,0	83	11,49	0,59
RS5 Hdpj	22,3 (5)	164,4 (9)	147,8 (4)	334,5	358,5	93	7,38	1,26
RS5 Hdj	24,4 (4)	134,0 (7)	111,4 (2)	269,9	291,6	93	5,48	1,42
SC2 Hdoj1	30,9 (13)	143,1 (9)	235,6 (9)	409,6	460,0	89	4,63	0,74
SC2 Hdoj2	24,5 (8)	188,4 (6)	260,3 (7)	473,2	528,1	90	7,68	0,82
SP1 Hp1	23,7 (12)	112,8 (13)	53,7 (8)	190,2	207,4	92	4,76	2,54
SP1 Hp2	13,2 (3)	95,1 (6)	17,7 (14)	126,0	144,4	87	7,19	6,12
Média	20,8	99,2	116,4	236,3	259,6	94	5,31	1,84
Desvio padrão	11,2	57,8	85,6	140,2	158,4	20	3,42	1,81

Coefficiente de variação entre parêntesis. *Valores médios de triplicatas. AL=Alagoas; BA=Bahia; DF=Distrito Federal; ES=Espírito santo; MG=Minas Gerais; MS=Mato Grosso do Sul; PR=Paraná; RJ=Rio de Janeiro; RS=Rio Grande do Sul; SC=Santa Catarina; SP=São Paulo. H/O=horizonte orgânico histórico, C=horizonte mineral, o=material orgânico mal ou não decomposto, p=aração ou outras pedoturbações, d=acentuada decomposição de material orgânico, j=tiomorfismo, g=glei. *Fonte: Santos et al. (2005).

apresentou valor médio e desvio padrão de $99,2 \pm 57,9 \text{ g kg}^{-1}$, com CV de 58% e representa em média 40% do C total. O valor mínimo também foi superior ao mínimo do C-HUM ($12,5 \text{ g kg}^{-1}$) e o máximo de $208,4 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 2). Portanto, a maior parte da matéria orgânica nos Organossolos encontra-se na forma de huminas e de ácidos húmicos. Resultados semelhantes são elencados por Ebeling (2010), onde o autor observou que o C-FAF correspondeu somente a 6% do C total determinado pelo CHN e apresentou o menor valor médio de C, com $10,99 \text{ g kg}^{-1}$, e também a menor variabilidade, com CV de 43,91%. E, para o C-FAH, o valor médio foi de $48,91 \text{ g kg}^{-1}$ e o CV foi de 55,53%.

De um total de 52 amostras dos perfis coletados neste estudo, 3 apresentaram maiores valores de C-FAF do que de C-HUM, representadas por horizontes com teores de carbono orgânico relativamente baixos, limítrofes para serem classificados como hísticos e com baixos teores de fibras esfregadas (Valladares, 2003), correspondentes aos horizontes Hdp2, Cg1 e Cg2 de um solo hidromórfico da região de Nova Friburgo, RJ, perfil RJ4. Em 21 amostras verificaram-se teores de carbono na fração C-FAH numericamente superiores aos encontrados na fração C-HUM, o que pode estar relacionado aos baixos teores de fibras esfregadas encontradas nestes horizontes (Valladares, 2003). Segundo Stevenson (1994), os ácidos húmicos são compostos recalcitrantes, sendo necessário para a sua formação, maior mineralização da MOS, o que é corroborado pelo menor teor de fibras esfregadas, indicando maior decomposição da MOS e formação de substâncias húmicas, tais como o C-FAH. De acordo com Zech et al. (1997), a intensificação do processo de humificação leva ao enriquecimento das substâncias húmicas em estruturas aromáticas, condensadas e recalcitrantes, o que corrobora a classificação dos perfis DF1, MS2, PR2, RJ4, RS3, RS5 e SP1 como Organossolos sápricos (Tabela 1) a nível de grande grupo e os valores superiores a 1,0 da relação EA/HUM (Tabela 2).

O somatório das frações húmicas representou em média 94% (Tabela 2) do carbono total (C-CHN), sendo as duas variáveis altamente correlacionadas (Valladares, 2003).

O percentual de recuperação teve grande variação, na faixa de 55 a 108%.

Os valores da relação C-FAH/C-FAF variaram de 1,47 a 14,41, indicando predomínio de C-FAH em todas as amostras, destacando que quanto mais alta essa relação maior será o grau de polimerização e, conseqüentemente, apresentará matéria orgânica solúvel mais condensada (Incora, 1974, Canellas, 2005). Percebe-se o aumento desta relação na grande maioria dos perfis de solos em relação à profundidade (Horizonte), efeito inverso ao observado para solos minerais (Benites et al., 2000). Estes valores são consequentes da oxidação periódica dos horizontes superiores dos Organossolos, devido ao rebaixamento do lençol freático, o que favorece a entrada de oxigênio e, posteriormente, a decomposição da MOS via organismo aeróbicos, assim propiciando a formação de compostos orgânicos solúveis. Valores similares para os horizontes hísticos foram observados por Fontana et al. (2008) e Ebeling et al. (2013), estudando horizontes diagnósticos de diferentes classes de solo no Brasil.

A relação EA/C-HUM também teve grande variação, com valores entre 0,36 e 9,94. Porém 79% das amostras apresentaram valores inferiores a 2. Essa relação fornece informações sobre a gênese do solo, identificando zonas de movimentação ou acúmulo de carbono (Benites et al., 2000). Estudando a distribuição das frações orgânicas de horizontes orgânicos, Fontana et al. (2008) encontraram valores da relação EA/HUM menores que 2 para a maioria dos horizontes orgânicos, semelhantes aos observados neste estudo.

Nos perfis estudados não há predominância de acréscimo ou decréscimo dessa relação com a profundidade (horizonte), indicando que, nesses solos, vários podem ser os fatores que influenciaram na proporção de compostos alcalino-solúveis ou insolúveis, incluindo vegetação original, uso do solo, ambiente de formação e clima, conforme consta na Tabela 1. Resultados similares ao deste estudo foram encontrados por Fontana (2006) avaliando as substâncias húmicas de Organossolos de diferentes regiões do Brasil. O autor encontrou valores variando de 1,91 a 16,94

para a relação C-FAH/C-FAF e 0,41 a 7,24 para a relação EA/C-HUM.

No Perfil RJ4, que é um Organossolo Háplico formado sob condições de hidromorfismo e com elevados teores de material mineral, com uso atual de pastagem, ocorreu um pico da relação EA/C-HUM no 3º horizonte (Cg1), que coincide com o aumento do % de material mineral, demonstrando alta interação das frações húmicas alcalino solúveis com a matriz mineral do solo. O perfil PR3, formado por um único horizonte assentado diretamente sobre a rocha, em ambiente de relevo montanhoso e boa drenagem apresentou baixa relação

EA/C-HUM, evidenciando a exportação das frações húmicas mais solúveis (FAF e FAH) e a manutenção das frações insolúveis.

Caracterização hidrofóbica dos horizontes hísticos

Os resultados obtidos pelo teste MED variaram entre 3,2 mol L⁻¹ (RS H1) e 5,0 mol L⁻¹ (SC H2). Já para o teste WD, todas as sete amostras apresentaram um tempo de penetração da gota de água superior a 260 segundos, indicando repelência à água (Tabela 3). Os resultados obtidos pelos dois métodos demonstram que todos os solos estudados possuem grau muito severo quanto à repelência a água.

Tabela 3. Repelência à água determinada através do método gotas de etanol (MED) e do método do tempo de penetração de gotas de água (WD) em Organossolos.

Horizonte/ Amostra	Localização (Município/Estado)	MED (mol L ⁻¹)	WD (s)	Grau de repelência
H1 (1)	Ituberá (BA)	3,6	>260	Muito severo
H2 (2)	Ituberá (BA)	4,0	>260	Muito severo
H2 (3)	Viamão (RS)	4,0	>260	Muito severo
H1 (4)	Cambará do Sul (RS)	3,2	>260	Muito severo
H2 (5)	Governador Celso Portela (SC)	5,0	>260	Muito severo
H3 (6)	Governador Celso Portela (SC)	4,2	>260	Muito severo
H4 (7)	Governador Celso Portela (SC)	4,4	>260	Muito severo

Os solos estudados apresentaram um maior grau de repelência quando comparados aos de Pérez et al. (1998) onde os autores verificaram classes de repelência variando desde muito baixa a moderada. Uma possível explicação pode ser atribuída à textura das amostras, já que todas possuíam teores de carbono orgânico ≥ 80 g kg⁻¹, sendo definidos como textura orgânica (Valladares, 2003), e no trabalho de Pérez et al. (1998) apresentavam textura arenosa.

Essa repelência do solo à água seria causada pelo recobrimento das partículas do solo por substâncias orgânicas hidrofóbicas, embora isso não signifique que o grau de repelência esteja relacionado somente com o teor de matéria orgânica, uma vez que Wallis et al. (1993) relatam que o maior grau de repelência à água também ocorre em solos com menores teores de carbono orgânico. Desta forma, conclui-se que o caráter hidrofóbico está relacionado com a qualidade, e não com a quantidade das substâncias orgânicas com ação de repelência à água (Pérez et al., 1998;

Harper et al., 2000).

Foi verificada elevada correlação entre o valor do MED e o C-FAF ($r=0,91$, $P>0,01$) demonstrando que a FAF parece contribuir ativamente com o fenômeno da repelência à água (Figura 2). Também foram observadas correlações significativas entre o C-FAH ($r=0,64$), C-CHN ($r=0,65$) e a repelência a água, indicando que estes atributos também contribuem para o aumento da hidrofobicidade (Figura 3 e 4). De todas as frações, o C-HUM foi a que apresentou os menores valores de correlação ($r=0,45$, $P>0,01$) (Figura 5), indicando menor participação no fenômeno da repelência a água.

Segundo Ritsema et al. (1998) e Yang et al. (1996), solos que apresentam hidrofobicidade possuem camadas finas de matérias orgânicas adsorvidas às superfícies das suas partículas, destacando-se os ácidos húmicos e fúlvicos, os quais revestem essas partículas dos solos e ocasionam a hidrofobicidade natural de um solo. Entretanto, neste estudo observou-se que além dos ácidos húmicos e fúlvicos, a fração húmica também acarreta em maior grau de

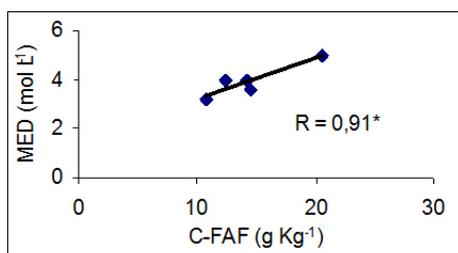


Figura 1. Correlação entre o valor de MED e a fração C-FAF.

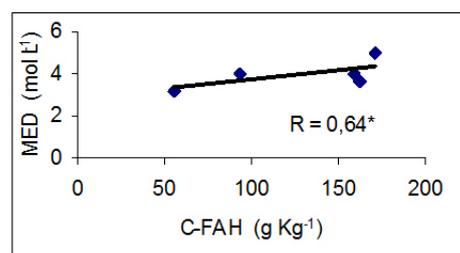


Figura 2. Correlação entre o valor de MED e a fração C-FAH.

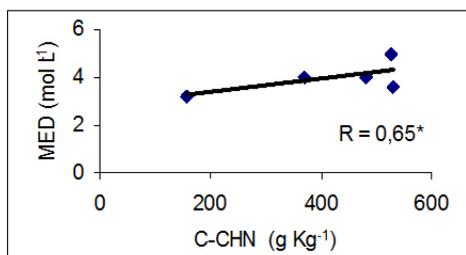


Figura 3. Correlação entre o valor de MED e a fração C-CHN.

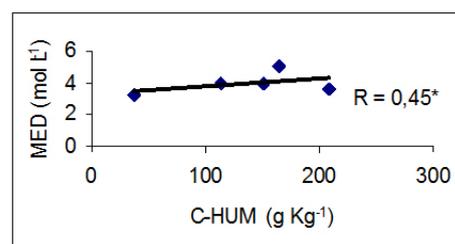


Figura 4. Correlação entre o valor de MED e o teor de C-HUM.

hidrofobicidade nos Organossolos estudados.

Resultados semelhantes ao deste estudo são relatados por Cipriano-Silva (2012). O autor avaliou o grau de hidrofobicidade de Organossolos da região Nordeste (CE, RN e PB) pelos mesmos métodos (teste MED e WD) e encontrou valores para o MED (mol L^{-1}) variando de 3,5 a 6,25 (CE); 3,25 a 3,5 (RN) e 4 a 6,5 (PB); para o WS (s), todos apresentaram tempo superiores a 260 segundos, sendo todos os horizontes classificados com grau de repelência à água muito severa para ambos os testes.

Cipriano-Silva (2012) também encontrou valores de correlação significativa e positiva entre as substâncias húmicas e o MED, sendo $r=0,65$ para C-FAF, $r=0,44$ para C-FAH e $r=0,64$ para C-HUM.

Conclusões

O método empregado para fracionamento das substâncias húmicas se mostrou adequado, com uma boa repetibilidade e facilidade de execução técnica, sendo indicado para fazer parte da rotina de laboratórios, na análise de Organossolos e outros solos com elevados teores de matéria orgânica.

Para os Organossolos, de maneira geral, predomina o carbono da fração húmica e dos ácidos húmicos em maior proporção quando

comparado à fração ácidos fúlvicos.

Todas as amostras apresentaram grau de repelência à água muito severo. O C-FAF foi à fração que apresentou a maior correlação com o valor de MED, sendo que esta fração pode ser utilizada como parâmetro para a estimativa do grau de repelência à água.

Referências

- Ambak, K., Melling, L. 2000. *Management practices for sustainable cultivation of crop plants on tropical peatland*. Proceedings of the International Symposium on Tropical Peatlands Bogor, Indonesia, Hokkaido University & Indonesian Institute of Sciences, p.119-134.
- Andriesse, J. 1984. *Uso de solos orgânicos em condições tropicais e subtropicais aliado às possibilidades brasileiras*. In: Simpósio Nacional de Solos Orgânicos, Curitiba, Anais. Curitiba: MA / Provárzeas Nacional, Embrater, SEAG - Paraná e Acarpa / Emater - Paraná. v.1. p.11-34.
- Benites, V.M, Schaefer, C.E.R.G., Mendonça, E.S, Martin Neto, L. 2001. Organic matter characterization and micromorphology of soils under "campos de altitude" at Serra do Brigadeiro State Park, Minas Gerais - Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 25: 661-674.
- Benites, V.M. 2002. *Caracterização de solos e das substâncias húmicas em Complexo Rupestre de Altitude*. 83p. Tese de Doutorado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG.
- Benites, V.M., Ker, J.C., Mendonça, E.S. 2000.

- Fracionamento quantitativo de substâncias húmicas como auxiliar na identificação de diferentes solos da região Sul do Brasil – VI RCC.* p.184-192. In: Guia de excursão de estudos de solos nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. EMBRAPA Florestas, Colombo, PR.
- Benites, V.M., Madari, B., Machado, P.L.O.A. 2003. *Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo.* Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 7p. (Comunicado Técnico, 16).
- Berglund, K., Persson, L. 1996. Water Repellence of Cultivated Organic Soils. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science* 46:145-152.
- Bond, R.D. 1968. *Water repellent soil sands.* In: International Congress of Soils Science, Adelaide. Transactions. Amsterdam, International Society of Soil Science, p.339-347.
- Bond, R.D. 1972. Germination and yield of barley when grown in a water-repellence sand. *Agronomy Journal* 64: 402-403.
- Canelas, L.P., Guridi, F., Velloso, A.C.X., Santos, G.A. 2005. *Isolamento, purificação e métodos químicos de análise de substâncias húmicas.* In: Humosfera – Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes, UENF, 309p.
- Cipriano-Silva, R. 2012. *Gênese e classificação de solos em ambientes de planícies da região Nordeste do Brasil.* 162f. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.
- Dekker, L.W., Ritsema, C.J. 2000. Wetting patterns and moisture variability in water repellent Dutch soils. *Journal of Hydrology* 231-232: 148-164.
- Ebeling, A.G., Anjos, L.H.C., Pereira, M.G., Valladares, G.S., Pérez, D.V. 2013. Substâncias húmicas e suas relações com o grau de subsidência em Organossolos de diferentes ambientes de formação no Brasil. *Revista Ciência Agronômica* 44: 225-233.
- Ebeling, A.G. 2010. *Características estruturais da matéria orgânica em Organossolos Háplicos.* 142f. (Tese de Doutorado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.
- Ebeling, A.G., Anjos, L.H.C., Perez, D.V., Pereira, M.G., Valladares, G.S. 2008. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. *Bragantia*, 67: p.261-266.
- Embrapa. 2013. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.* Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 353 p.
- FAO. 2006. *World Reference Base for Soil Resources. A framework for international classification correlation and communication,* World Soil Resources Reports, n.103.
- Fontana, A. 2006. *Caracterização química e espectroscópica da matéria orgânica em solos do Brasil.* Seropédica. 60f. (Tese de Dissertação). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.
- Fontana, A., Pereira, M.G., Anjos, L.H.C., Benites, M.B. 2008. Distribution of organic carbon in the humic fractions of diagnostic horizons from Brazilian soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 39: 951-971.
- Harper, R.J.; Mckissock, I.; Gilkes, R.J.; Carter, D.J.; Blackwell, P.S. 2000. A multivariate framework for interpreting the effects of soil properties, soil management and landuse on water repellency. *Journal of Hydrology* 231/232: 317-383.
- Incora. 1974. Instituto Colombiano de la Reforma Agraria. *Mapificación caracterización Y clasificación de los suelos organicos del Valle de Sibundoy.* INCORA. Bogotá.
- King, P.M. 1981. Comparasion of methods for water repellence of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement. *Australian Journal of Soil Research* 19: 275-285.
- Mendonça, M.M. 1999. *Diagnóstico de propriedades edáficas em áreas agrícolas e de floresta com elevado teor de matéria orgânica no município do Rio de Janeiro.* 195f. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.
- Morris, D.R., Gilbert, R.A., Reicosky, D.C., Gesch, R.W. 2004. Oxidation potentials of soil organic matter in Histosols under different tillage methods. *Soil Science Society of American Journal* 68: 817-826.
- Pereira, M.G., Anjos, L.H.C., Valladares, G.S. 2005. Organossolos: Ocorrência, gênese, classificação, alterações pelo uso agrícola e manejo. *Tópicos Especiais em Ciência do Solo* 4: 233-276.
- Pérez, D.V., Simão, S.M., Salatino, A. 1998. Identificação e caracterização da repelência à água em alguns solos brasileiros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 22: 197-207.
- Ritsema, C.J., Dekker, L.W., Nieber, J.L., Steenhuis, T.S. 1998. Modeling and field evidence offinger formation and finger recurrence in a repellent sandy soil. *Water Resources Research* 34: 555-567.
- Santos, R.D., Lemos, R.C., Santos, H.G., Ker, J.C.,

Anjos, L.H.C. 2005. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 5a ed. Viçosa. 92p.

Schultz, N., Pereira, M.G., Beutler, S. J., Loss, A., Zonta, E. 2011. Produção de biomassa e acúmulo de nutrientes no feijoeiro em função da calagem em Organossolos. *Revista Ciência Agronômica* 42: 285-291.

Swift, R.S. 1996. *Organic matter characterization*. In: *Methods of soil analysis*. Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, p.1011-1020.

Valladares, G.S., Pereira, M.G., Anjos, L.H.C., Benites, V. M., Ebeling, A. G., Mouta, R. O. 2007. Humic substance fractions and attributes of Histosols and related high-organic-matter soils from Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38: 763-777.

Valladares, G.S., Pereira, M.G., Anjos, L.H.C., Ebeling, A.G. 2008. Caracterização de solos brasileiros com elevados teores de material orgânico. *Magistra* 20:95-104.

Valladares, G.S. 2003. *Caracterização de Organossolos, auxílio à sua classificação*. 129p. (Tese de Doutorado) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

Wallis, M.G., Horne, D.J., Papmer, A. S. 1993. Water repellency in a New Zealand development sequence of Yellow Brown Sands. *Australian Journal of Soil Research* 31: 641-65.

Yang, B. J., Blackwell, P. S., Nicholson, D. F. 1996. A numerical model for heat and water movement in furrow sown water repellent sandy soils. *Water Resources Research* 32: 3051-3061.

Yeomans, J.C., Bremner, J. M. 1988. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communication of Soil Science and Plant Analysis* 19: 1467-1476.

Zech, W.; Senesi, N.; Guggenberger, G.; Kaiser, K.; Lehmann, K.; Miltner, A.; Miano, T.M., Schroth, G. 1997. Factors controlling humification and mineralizing of soil organic matter in the tropics. *Geoderma* 79:117-161.