

REPELÊNCIA À ÁGUA E FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA EM ORGANOSSOLOS

Rafael Cipriano da **SILVA**

Prof. Dr. Faculdade da Amazônia, FAMA, Vilhena-RO, Brasil

E-mail: ciprorafael@yahoo.com.br

Gustavo Souza **VALLADARES**

Prof. Dr. Universidade Federal do Piauí, UFPI, Coordenação de Geografia, Campus Ministro
Petrônio Portella. Teresina, Piauí, Brasil

E-mail: valladares@ufpi.edu.br

Edilene Pereira **FERREIRA**

Prof. Dr., Faculdade da Amazônia, FAMA, Vilhena-RO, Brasil

E-mail: edilene_agro@yahoo.com.br.

Marcos Gervásio **PEREIRA**

Dr. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Departamento de Solos.
Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: mgervasiopereira01@gmail.com

Lucia Helena Cunha dos **ANJOS**

Dr. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Departamento de Solos.
Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: lanjorural@gmail.com.

RESUMO: Tendo em vista que os teores de matéria orgânica interferem diretamente nas propriedades químicas e físicas do solo, o objetivo deste estudo caracterizar as frações da matéria orgânica de Organossolos e correlaciona-las com a repelência à água e com parâmetros associados ao risco de degradação e subsidência. Foram coletados seis perfis de Organossolos em ambiente de várzea, nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba, totalizando 26 amostras de solo, entre horizontes orgânicos e minerais. O grau de repelência à água foi determinado pelo teste da avaliação do tempo de penetração de gotas de água e pelo teste de penetração de gotas de etanol com diferentes concentrações molares. Com os resultados obtidos das variáveis analisadas foi usado a análise de componentes principais para avaliar a interação entre elas. Os teores de COT foram determinados por dois diferentes métodos e os teores de matéria orgânica (MO) determinados pelo método da mufla. O

fracionamento químico da MO foi realizado para obtenção dos teores de C das frações ácido húmico, ácido fúlvico e humina. Nos Organossolos avaliados predominaram a fração humina em detrimento às demais frações húmicas, com valor máximo de 278,12 e mínimo de 1,93 g kg⁻¹. Já os valores dos ácidos húmicos foram maiores que os de ácidos fúlvicos, variando de 161,76 a 0,32 g kg⁻¹, evidenciando um acúmulo de frações com maior grau de humificação. A hidrofobicidade foi, em grande parte dos horizontes orgânicos, severa ou maior, e os graus variaram tanto em função dos teores de MO como dos teores de C das frações das substâncias húmicas, principalmente a humina. Foi constatada interação entre a hidrofobicidade do solo e parâmetros usados para avaliar o risco de degradação/subsidência em Organossolos, tais como densidade do solo, resíduo mínimo e material mineral.

Palavras-chave: Hidrofobicidade em solos. Horizontes hísticos. Matéria orgânica.

WATER REPELLENCY AND ORGANIC MATTER FRACTIONS IN HISTOSOLS

ABSTRACT; Given that the levels of organic matter directly affect the chemical and physical properties of the soil, the aim of this study was to characterize the organic matter fractions of Histosols (Organossolos) and correlate them with water repellency and parameters associated with the risk of degradation and subsidence. Six Histosol profiles were collected in a lowland environment in the states of Ceará, Rio Grande do Norte and Paraíba, totaling 26 soil samples, between organic and mineral horizons. The degree of water repellency was determined by the water droplet penetration time test and the ethanol droplet penetration test with different molar concentrations. With the obtained results of the analyzed variables the principal component analysis was used to evaluate the interaction between them. The TOC contents were determined by two different methods and the organic matter (OM) contents determined by the muffle method. The chemical fractionation of OM was performed to obtain the C contents of the humic acid, fulvic acid and humine fractions. In the evaluated Histosol the humine fraction predominated over the other humic fractions, with a maximum value of 278.12 and a minimum of 1.93 g kg⁻¹. The values of humic acids were higher than fulvic acids, ranging from 161.76 to 0.32 g kg⁻¹, showing an accumulation of fractions with greater degree of humification. The hydrophobicity was, in most of the organic horizons, severe or greater, and the degrees varied as a function of the MO contents and the C contents of the humic substances fractions, mainly the humine. Interaction between soil

hydrophobicity and parameters used to assess the risk of degradation / subsidence in soil sludge, such as soil density, minimum residue and mineral material, was found.

Keywords: Hydrophobicity in soil. Histic horizons. Organic matter.

INTRODUÇÃO

As substâncias húmicas (SH) compõem o principal reservatório de C orgânico no solo e seus teores variam em função das classes de solos, biomas, do uso e manejo. Nos Organossolos, os elevados teores de C associados às SH conferem a estes solos propriedades diferenciadas das demais classes (FONTANA et al, 2010; SANTOS, LACERDA e ZINN, 2013). Diferenças essas que não expressam somente variações na pedogênese como também promove interações com atributos relevantes na classificação, no manejo da fertilidade e de agroquímicos, na avaliação dos teores de metais pesados, no grau de subsidência e estudos relacionados às condições de drenagem e oscilação do lençol freático (VALLADARES *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2009; FONTANA *et al.*, 2010; EBELING *et al.*, 2011; CAMPOS *et al.*, 2011; EBELING *et al.*, 2013).

As SH consistem de compostos de coloração castanha ou preta, de elevado peso molecular, formados por reações de sínteses secundárias bióticas e abióticas e que possuem estrutura mais complexa e longa persistência no solo (STEVENSON,1994). Alguns destes compostos apresentam características hidrofóbicas (fenóis, hidrocarbonetos, ácidos graxos e quinonas), o que possibilita relacionar os teores de MO e de C das SH com o grau de hidrofobicidade em Organossolos (LOSS *et al.*, 2015; MOORE *et al.*, 2017).

O caráter hidrofóbico tanto pode ser atribuído aos teores e composição da MO como, principalmente, a alterações químicas promovidas pela combustão e, embora a hidrofobicidade seja considerada uma propriedade transitória, seus efeitos podem durar muitos anos (BEATTY; SMITH, 2013; DOERR; SHAKESBY e WALSH, 2000; KING, 1981).

Na prática, a hidrofobicidade reduz a capacidade de infiltração de água no solo, aumentando o fluxo superficial e com isso a suscetibilidade à erosão; resulta em padrões de molhamento irregulares, com o desenvolvimento de fluxo preferencial da água; e a lixiviação de agroquímicos (DOERR; SHAKESBY e WALSH, 2000). De acordo com MOORE *et al.* (2017), áreas de Organossolos podem sofrer combustão espontânea em função da drenagem, aeração e aumento da atividade microbiana promovida pela decomposição acelerada da matéria orgânica. Além do impacto negativo no potencial de armazenamento de C nestes

ecossistemas, a repelência à água pode estar associada à degradação de solos com elevados teores de matéria orgânica.

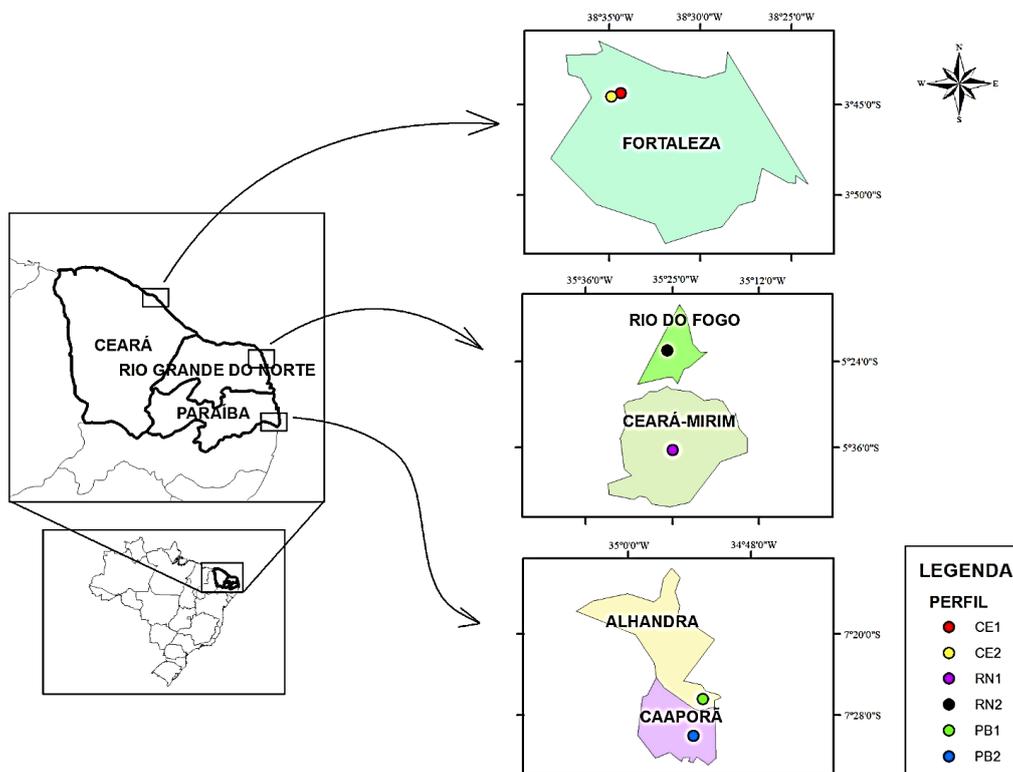
Portanto, torna-se necessário compreender os atributos químicos associados à hidrofobicidade em solos com elevados teores de matéria orgânica, visando tanto buscar práticas de manejo mais adequadas como prever alterações nestes ecossistemas ou mesmo desenvolver planos de recuperação da paisagem em resposta às alterações (KETTRIDGEA *et al.*, 2014; THOMPSON; WADDINGTON, 2013).

O presente trabalho objetiva caracterizar as frações da matéria orgânica de Organossolos e correlaciona-las com a repelência à água e com parâmetros associados ao risco de degradação e subsidência.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletados seis perfis de solos em ambiente de campo hidrófilo de várzea, dos quais dois estão localizados no Ceará (CE1 e CE2: Fortaleza), dois no Rio Grande do Norte (RN1: Ceará-Mirim; e RN2: Rio do Fogo) e dois na Paraíba (PB1: Alhandra; e PB2: Caaporã) (Figura 1).

Figura 1: Localização dos perfis coletados nos Estados do Ceará (CE1 e CE2), Rio Grande do Norte (RN1 e RN2) e Paraíba (PB1 e PB2)



Para a caracterização dos solos foram utilizados dois métodos de determinação dos teores de carbono orgânico total do solo (COT) via oxidação úmida: um proposto pela Embrapa (DONAGEMA *et al.*, 2011), com uso de uma solução de dicromato de potássio $0,167 \text{ mol L}^{-1}$; e outro proposto por Tedesco *et al.* (1995) (modificado de WALKLEY; BLACK, 1934), com o uso de uma concentração maior de dicromato de potássio ($0,20 \text{ mol L}^{-1}$). Também foi determinado os teores de matéria orgânica (MO) pelo método de perda de massa por incineração (método da mufla), sendo este mais indicado para a quantificação dos teores de MO em solos orgânicos (SANTOS *et al.*, 2018; PEREIRA *et al.*, 2006).

Os teores de fibras esfregadas (FE) foram determinados a fim de avaliar o grau de decomposição da matéria orgânica do solo (SANTOS *et al.*, 2018) e, a partir das FE obtidas, foi quantificado os teores de COT, via úmida, pelo método proposto por Tedesco *et al.* (1995) a fim de estimar a contribuição das FE no total de COT do solo. Para a avaliação dos parâmetros associados à degradação em Organossolos foram determinados os valores de densidade do solo (Ds), de resíduo mínimo (RM) e de material mineral (MM) (SANTOS *et al.*, 2018).

A caracterização das substâncias húmicas foi feita por meio do fracionamento químico da MO do solo, utilizando o método adaptado por Benites, Madari e Machado (2003), no qual foi obtido o extrato alcalino (EA) e, por centrifugação (5000 g min^{-1}), separado o resíduo sólido correspondente à fração humina. A acidificação do EA ($\text{pH} = 1 \pm 0,1$) resulta na coagulação da fração ácido húmico (AH), separando-o da fração solúvel (ácido fúlvico; AF). A determinação quantitativa de CO das frações humina (C_HU), ácido fúlvico (C_AF) e ácido húmico (C_AH) foi feita por titulometria, com uso de dicromato de potássio, titulação com sulfato ferroso amoniacal e Ferroin como indicador. Foram calculadas as relações entre o C das frações húmicas, proveniente dos ácidos húmicos e fúlvicos (C_AH/C_AF) e a relação entre o C do extrato alcalino ($C_{EA} = C_{AH} + C_{AF}$) e da fração humina (C_{EA}/C_{HU}).

Com o intuito de separar a MO não humificada que persistiu ao processo de fracionamento, as amostras foram processadas para a obtenção do resíduo, que por sua vez foi submetido ao método de fracionamento físico (densimétrico) (SOHI *et al.*, 2001), com uso de uma solução de iodeto de sódio com densidade de 1.800 kg m^{-3} . O material em suspensão, denominado de matéria orgânica leve (MOL), foi retirado com o auxílio de aspirador Millipore® acoplado a uma bomba de vácuo e retido em filtro de fibra de vidro (47 mm). Este

material foi seco em estufa (45 °C) por 24 h e posteriormente determinada a massa seca e os teores de CO por oxidação via úmida da MO.

O resíduo composto por material humificado e não humificado foi denominado fração humina total ($C_{HU_{Total}}$). O compartimento da fração humina associado à MOL foi denominado $C_{HU_{MOL}}$ e o teor de carbono da humina intitulada real ($C_{HU_{Real}}$) foi calculado pela diferença entre os teores de C do resíduo e da matéria orgânica leve ($C_{HU_{Real}} = C_{HU_{Total}} - C_{HU_{MOL}}$).

O grau de repelência à água das amostras de solo foi determinado por meio do teste para a avaliação do tempo de penetração de gotas de água (WDPT = *water drops penetration time*) e do teste de penetração de gotas de etanol com diferentes concentrações molares (MED = *Molarity of ethanol droplets*), ambos propostos por King (1981).

No teste WDPT, uma amostra de solo foi colocada em um béquer de 25 ml e duas gotas de água destilada foram depositadas na superfície das amostras com o auxílio de uma pipeta Pasteur. O tempo que a gota de água levava se infiltrasse totalmente foi marcado com um cronômetro. O tempo médio de infiltração das gotas de água (três repetições) foi usado para classificar a repelência do solo: períodos de tempo inferiores a cinco segundos indicam solos não repelentes; de cinco a 60 s indicam repelência fraca; de 60 a 600 s, solos com forte repelência; de 600 a 3600 s, solos com repelência severa, e tempos superiores a 3600 s solos de repelência extrema (KING, 1981).

No teste MED uma amostra de solo foi colocada em diferentes béqueres e em cada um deles aplicadas duas gotas de uma solução de etanol de concentração conhecida, em ordem crescente, sendo observado com qual concentração de etanol ocorria a infiltração completa em menos de 5 s após a adição das gotas. A repelência da amostra foi representada pela molaridade média da solução de etanol. Contudo, no método proposto por King (1981) foi utilizada a concentração máxima da solução de etanol de 5 mol L⁻¹ e, nesse estudo, as concentrações foram de 0 a 6,5 mol L⁻¹, com intervalos de 0,2 mol L⁻¹, em função da elevada repelência apresentada por alguns horizontes. Valores que representam concentrações de 0 a 1 mol L⁻¹, indicam baixa repelência; de 1,2 a 2,2 mol L⁻¹ indicam repelência moderada; valores de 2,4 a 3,0 mol L⁻¹ indicam repelência severa, e valores maiores que 3,4 mol L⁻¹, solos com repelência muito severa (KING, 1981).

Foi feita a comparação dos atributos dos seis perfis, totalizando 26 amostras (entre horizontes e camadas), com base em técnicas de estatística descritiva, análises de regressão linear simples e correlação de Pearson, testados para os níveis de probabilidade de 0,01 e 0,05, além da análise de componentes principais, realizadas nas principais variáveis

investigadas (teores de MO, Ds, RM, MM, MED e WDPT, teores de C_AH, C_AF e C_HU). Foi usado o programa estatístico XLStat (ADDINSOFT, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Carbono orgânico e substâncias húmicas

O método da mufla (MO_Mufla) foi usado como referência para a classificação dos perfis de Organossolos, havendo maior correspondência dos resultados obtidos por este método com as características morfológicas observadas em campo (CIPRIANO-SILVA *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2018), o que permite a classificação dos horizontes CE1 Hdo2, RN1 Hdp1, PB1 Hd1 e Hd2 como hísticos. Pelos demais métodos de determinação de C, por oxidação via úmida, os horizontes citados não seriam formados por material orgânico, por apresentarem valores de CO inferiores a 80 g kg^{-1} (Tabela 1). Desta forma, a classificação com base nos teores de MO serviu de base para a determinação e análise da repelência à água das amostras de solo.

Apesar das diferenças observadas na classificação dos horizontes, os valores de MO_Mufla possui elevada correlação com o C_Embr ($r = 0,91$) e C_WBmd ($r = 0,87$), indicando que ambos foram adequados para quantificação do C em solos com altos teores de MO. Pereira *et al.* (2006) também verificaram resultados com correlação alta e satisfatória entre os métodos da mufla e de Walkley e Black modificado. Ainda, quando comparados os três métodos (C_Embr e C_WBmd em função de MO_Mufla), foi observada maior variabilidade nas amostras com mais de 250 g kg^{-1} de C (Figura 2).

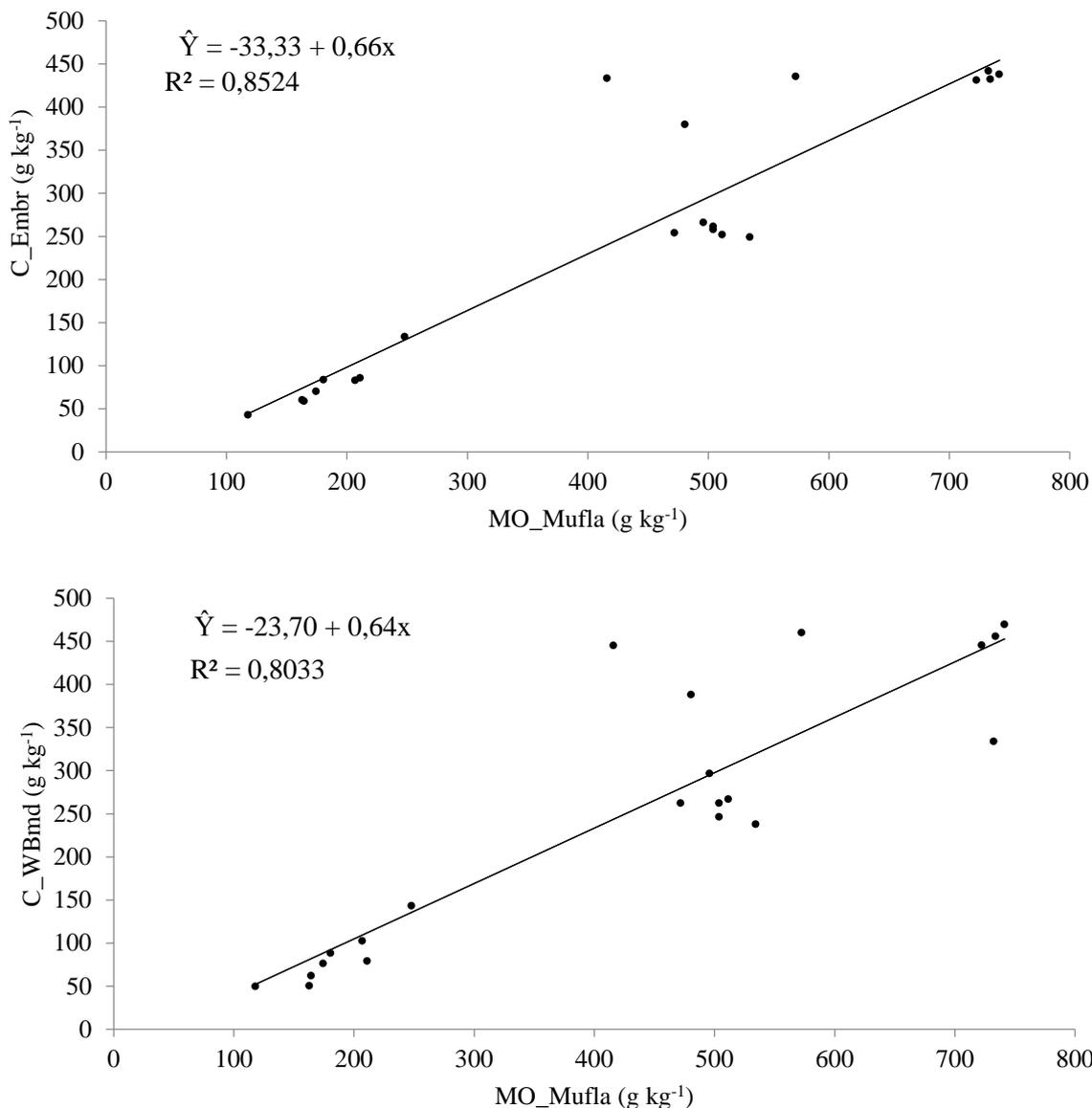
A determinação do C contido nas fibras (C_Fibras; Tabela 1) baseou-se nos percentuais de fibras esfregadas nas amostras. Quanto maior os valores de C_Fibras, maior o valor de FE, ou seja, maior proporção de material em menor grau de decomposição. Esta quantificação foi realizada para avaliar quanto do C nas amostras permanece na constituição de tecidos vegetais. Assim foi possível identificar a quantidade de CO que participa de forma efetiva nas reações de troca de cátions no solo (CTC) e que contribui com o estoque de C no sistema. Os percentuais de contribuição do C_Fibras foram bastante heterogêneos, apresentando variações de 1% (Hdp, perfil PB2) a 95% (Hdo, perfil CE2) e, com exceção do perfil PB1, o teor de C_Fibra aumentou nos horizontes subjacentes ao horizonte superficial, devido a condição de menor drenagem e ambiente anaeróbio em subsuperfície (CIPRIANO-SILVA *et al.*, 2014), implicando na menor decomposição da MO e assim preservação do material de origem.

Tabela 1 - Teores de matéria orgânica, carbono orgânico e carbono das fibras esfregadas em Organossolos coletados em ambientes de várzea nos Estados do Ceará, do Rio Grande do Norte e da Paraíba

Horizontes	Prof. (m)	g kg ⁻¹			
		MO_Mufla	C_Embr	C_WBmd	C_Fibras
CE1 - Organossolo Tiomórfico Hêmico solódico					
Hdo1	0-0,08	504,0	257,86	246,09	110,09 (45)
Hdo2	0,08-0,21	504,0	261,49	261,97	126,42 (48)
Hoj	0,21-0,40	534,5	248,78	237,67	159,47 (67)
Cg1	0,40-0,50	132,0	39,19	39,75	4,51 (11)
Cg2	0,50-0,85 ⁺	94,0	19,37	19,38	-
CE2 - Organossolo Háptico Hêmico térrico					
Agp	0-0,11	118,0	42,52	49,59	7,61 (15)
Hdo	0,11-0,30	164,5	58,56	61,80	56,63 (95)
Ho	0,30-0,47	511,5	251,95	266,51	180,95 (68)
Hd	0,47-0,52	207,0	82,82	102,36	56,72 (55)
Cg	0,52-1,00 ⁺	12,0	4,62	5,34	-
RN1 - Organossolo Háptico Hêmico típico					
Hdp1	0-0,09	174,5	69,81	76,14	3,05 (4)
Hdp2	0,09-0,26	180,5	83,39	88,12	13,68 (16)
Hdo1	0,26-0,50	472,0	253,77	261,97	116,29 (44)
Hdo2	0,50-1,50 ⁺	496,0	266,03	296,40	96,98 (33)
RN2- Organossolo Háptico Fíbrico típico					
Hdp	0-0,13	248,0	133,27	142,94	8,30 (6)
Hdo	0,13-0,26	722,5	430,97	445,20	160,82 (36)
Ho1	0,26-0,57	741,5	437,84	469,30	120,82 (26)
Ho2	0,57-1,00 ⁺	732,5	441,58	333,80	80,31 (24)
PB1 - Organossolo Háptico Sáprico térrico					
Hd1	0-0,20	211,0	85,41	78,97	9,21 (12)
Hd2	0,20-0,40	163,0	59,96	50,00	2,67 (5)
Cg1	0,40-0,60	75,0	5,13	7,42	-
Cg2	0,60-1,00 ⁺	12,5	1,33	2,42	-
PB2 - Organossolo Háptico Hêmico típico					
Hdp	0-0,25	572,5	435,50	459,72	5,21 (1)
Hd	0,25-0,45	480,5	379,74	387,87	10,57 (3)
Hdo1	0,45-0,70	734,0	432,09	455,68	80,14 (18)
Hdo2	0,70-1,00 ⁺	416,0	433,25	444,81	176,16 (40)

MO_Mufla - matéria orgânica determinado pelo método da Mufla;
 C_Embr - carbono orgânico determinado pelo método da Embrapa (1997); C_WBmd: carbono orgânico determinado pelo método de Tedesco *et al.* (1995); C_Fibras: carbono das fibras esfregadas. Valores

Figura 2 - Relação entre os valores de matéria orgânica (MO_Mufla) com os teores de COT pelos métodos da Embrapa (C_Embr) e Walkley-Black modificado (C_WBmd)



Os teores de C nas frações ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina e as relações entre essas frações são apresentados na Tabela 2. O método adaptado para esse estudo permitiu a separação da MOL por diferença de densidade, correspondente à $C_{HU_{MOL}}$, e cujos valores variaram de 0,04 a 218,27 g kg⁻¹. Mesmo havendo a separação da MOL, os valores de humina permanecem elevados, contribuindo com cerca de 95% dos valores de $C_{HU_{total}}$. Apenas os perfis RN2 e PB2 apresentaram horizontes cujos valores de $C_{HU_{MOL}}$ foram elevados e até maiores quando comparados aos valores de $C_{HU_{real}}$, uma vez que nos demais perfis a proporção de $C_{HU_{MOL}}$ em relação a $C_{HU_{real}}$ não ultrapassou 10%. Ademais, os valores de $C_{HU_{MOL}}$ foram bastante heterogêneos, tanto entre horizontes como entre perfis. Durante a

Tabela 2 - Valores de carbono orgânico das frações húmicas de Organossolos coletados em ambientes de várzea nos Estados do Ceará, do Rio Grande do Norte e da Paraíba

Horiz.	C_HU _{Total}	C_HU _{MOL}	C_HU _{Real}	C_AF	C_AH	C_EA	C_AH/ C_AF	C_EA/ C_HU _{Real}
	g kg ⁻¹							
CE1 - ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Hêmico solódico								
Hdo1	215,99	3,17	212,82	14,82	36,00	50,81	2,43	0,24
Hdo2	214,61	2,02	212,59	13,04	39,19	52,22	3,01	0,25
Hoj	199,41	9,46	189,95	13,37	32,49	45,86	2,43	0,24
Cg1	41,38	1,30	40,08	2,72	7,76	10,47	2,86	0,26
Cg2	15,52	0,85	14,67	1,37	6,53	7,90	4,76	0,54
CE2 - ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico térrico								
Agp	39,36	0,61	38,75	5,24	11,89	17,13	2,27	0,44
Hdo	44,48	0,45	44,03	5,01	21,79	26,80	4,35	0,61
Ho	232,53	26,14	206,39	14,37	29,53	43,90	2,06	0,21
Hd	76,89	0,63	76,26	5,67	20,95	26,62	3,69	0,35
Cg	3,31	0,15	3,16	0,64	1,44	2,08	2,24	0,66
RN1 - ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico								
Hdp1	71,21	0,04	71,17	2,47	2,94	5,41	1,19	0,08
Hdp2	76,19	0,11	76,08	2,10	5,51	7,61	2,63	0,10
Hdo1	234,16	21,56	212,60	5,65	24,11	29,76	4,27	0,14
Hdo2	276,43	19,44	256,99	4,93	37,40	42,33	7,59	0,16
RN2- ORGANOSSOLO HÁPLICO Fíbrico típico								
Hdp	82,07	0,46	81,61	6,99	49,65	56,64	7,10	0,69
Hdo	370,46	139,01	231,45	4,86	93,87	98,73	19,31	0,43
Ho1	367,06	142,63	224,43	6,03	42,31	48,34	7,02	0,22
Ho2	299,47	64,99	234,48	7,43	34,02	41,45	4,58	0,18
PB1 - ORGANOSSOLO HÁPLICO Sáprico térrico								
Hd1	75,10	0,40	74,70	4,43	10,58	15,01	2,39	0,20
Hd2	42,19	0,48	41,71	4,05	9,80	13,85	2,42	0,33
Cg1	7,55	0,00	7,55	0,43	0,59	1,02	1,39	0,14
Cg2	1,93	0,00	1,93	0,32	0,32	0,63	1,00	0,33
PB2 - ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico								
Hdp	371,31	143,95	227,36	10,47	63,38	73,84	6,05	0,32
Hd	342,77	64,65	278,12	13,52	87,62	101,14	6,48	0,36
Hdo1	313,43	209,53	103,90	3,01	161,76	164,77	53,71	1,59
Hdo2	338,72	218,27	120,45	3,48	57,01	60,49	16,41	0,50

C_HU_{TOTAL}: carbono da fração humina obtido do fracionamento químico; C_HU_{MOL} - carbono orgânico da matéria orgânica leve, obtido pelo fracionamento químico seguido do fracionamento físico; C_HU_{REAL} - carbono da fração humina "real" (C_HU_{TOTAL} - C_HU_{MOL}); C_AF - carbono da fração ácido fúlvico; C_AH - carbono da fração ácido húmico; C_EA - carbono do extrato alcalino (C_AH + C_AF).

separação da fração MOL foi observada a presença de fragmentos de material orgânico bastante alterados, já em estágio avançado de decomposição, além da presença de compostos não humificados (fragmentos de fibras e carvão), favorecendo o predomínio da humina em detrimento às demais frações. O teor de C da fração humina total ($C_{HU_{Total}}$) foi maior em relação às demais frações, variando de 39,36 a 371,31 $g\ kg^{-1}$ (Tabela 2), em concordância com outros estudos de caracterização de Organossolos (EBELING *et al.*, 2011; EBELING *et al.*, 2013; FONTANA *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2009; VALLADARES *et al.*, 2007).

Nos horizontes estudados os teores da fração C_{AH} variaram de 2,94 a 161,76 $g\ kg^{-1}$, e foram superiores aos teores de C_{AF} (variação de 2,10 a 14,82 $g\ kg^{-1}$). Resultados de comportamento semelhante já foram registrados na literatura para solos brasileiros (VALLADARES *et al.*, 2007) e podem ser usados como indicativo do maior grau de polimerização e condensação dos compostos orgânicos (BENITES, MADARI & MACHADO, 2003; EBELING *et al.*, 2011). O predomínio de C_{AH} culminou em valores da relação C_{AH}/C_{AF} maiores que 1, com média de 3,35. Em horizontes hísticos, elevados valores desta relação indicam a influência das condições anaeróbias sobre o processo de humificação que, neste caso, favoreceu a manutenção do material orgânico do tipo hêmico ou fibrício (SANTOS *et al.*, 2018). Além disso, a elevada porosidade de horizontes com menor decomposição da matéria orgânica facilita a mobilidade dos ácidos fúlvicos e com isso retirada destes da matriz do solo pela movimentação da água (VALLADARES *et al.*, 2007).

Na relação $C_{EA}/C_{HU_{Real}}$ houve predomínio de valores abaixo de 1, com mínimo de 0,08 e mediana 0,3. Apenas o horizonte Hdo1 (PB2) apresentou valor acima de 1 (1,59). Valores menores desta relação evidenciam a translocação ou mesmo perda de compostos mais solúveis das frações químicas e manutenção de compostos insolúveis, com consequente aumento da estabilidade e interação da matéria orgânica com a matriz mineral e íons Ca e, ou, Mg com os grupos funcionais COOH e OH ionizados, indicando o predomínio da humina na composição da matéria orgânica (CANELLAS *et al.*, 2008; FONTANA *et al.*, 2010; KONONOVA, 1966; STEVENSON, 1994).

REPELÊNCIA À ÁGUA

Algumas amostras de horizontes hísticos apresentaram tempo de infiltração da gota de água (WDPT; Tabela 3) superior ao limite estimado pelo método, que foi de 3600 s, com tempos superiores a 24 h (86400 s), a exemplo do perfil PB2.

Para ambos os testes, os horizontes superficiais dos perfis CE2 (Agp e Hdo) e RN1 (Hdp1) e as camadas Cg dos perfis CE1, CE2 e PB1 não apresentaram graus de repelência à

água, indicando que, de fato, a matéria orgânica interfere na repelência destes solos. Cerca de 65% dos 26 horizontes avaliados apresentaram grau de repelência, no mínimo, moderado. Dentre os perfis, PB2 foi o que apresentou maior grau de repelência pelos dois métodos avaliados em todos seus horizontes (Tabela 3).

Ambos os métodos de avaliação do grau de repelência em Organossolos tiveram elevada correlação entre si ($r = 0,88$). Comparando as variáveis relacionadas à caracterização da MO com a repelência à água, MED (molaridade de gotas de etanol) apresentou correlação positiva com os teores de MO_Mufla ($r = 0,45$) e com os teores de C_WBmd ($r = 0,55$) (Tabela 4). Para a variável WDPT, os valores de correlação foram maiores tanto para MO_Mufla como C_WBmd, de 0,68 e 0,79, respectivamente ($p < 0,005$). Tanto WDPT como MED não tiveram correlação tanto com o percentual de fibras esfregadas como com os teores de C das fibras (C_Fibras), indicando que as características hidrofóbicas nestes perfis estão mais relacionadas aos teores de COT do que com o grau de decomposição do material orgânico, implícito nos teores de C_FE, por exemplo.

Avaliando o grau de repelência em diferentes solos, Burguet *et al.* (2016); Doerr *et al.* (2007); Kettridgea *et al.* (2014) e Thompson e Waddington (2013) afirmam que o grau de repelência está associado não somente com os teores de CO, mas também com a qualidade, ou natureza deste material e tipos de manejo. A partir desta afirmação foi verificada correlação positiva entre MED com os teores de C_AF ($r = 0,63$), C_AH ($r = 0,40$) e com a C_HU ($r = 0,64$) (Tabela 4). Para o tempo de penetração da gota de água (WDPT), os valores das correlações com os ácidos fúlvicos, húmicos e humina foram de 0,55; 0,60 e 0,70, respectivamente. Dessa forma, mesmo havendo correlação entre os testes usados para avaliar a repelência ($r = 0,88$), o tempo de penetração da gota de água foi quem apresentou maiores valores de correlação com o ácido húmico e humina, sendo aqui os valores de humina tratados como sendo o C_HU_{TOTAL}.

Tabela 3 - Medidas de repelência (MED: Molaridade de gotas de etanol; WDPT: Tempo de penetração de gotas de água) obtidas de amostras dos horizontes de Organossolos coletados em ambientes de várzea nos Estados do Ceará (CE), do Rio Grande do Norte (RN) e da Paraíba (PB)

Horizontes	MED	WD	Grau de repelência
	mol L ⁻¹	s	
CE1 - ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Hêmico solódico			
Hdo1	5,75	24000	Muito Severa
Hdo2	5	27600	Muito Severa
Hoj	2,25	151	Moderada
Cg1	0	0	Não-significante
Cg2	0	0	Não-significante
CE2 - ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico térrico			
Agp	0	0	Não-significante
Hdo	0	1	Não-significante
Ho	6,25	86400	Muito Severa
Hd	3,5	4080	Muito Severa
Cg	0	0	Não-significante
RN1 - ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico			
Hdp1	0	1	Não-significante
Hdp2	1,5	3	Baixa a moderada
Hdo1	3,5	64800	Muito Severa
Hdo2	3,25	600	Muito Severa
RN2- ORGANOSSOLO HÁPLICO Fíbrico típico			
Hdp	2,5	325	Severa
Hdo	2	1680	Moderada a severa
Ho1	2,25	2760	Severa
Ho2	2,25	100	Moderada
PB1 - ORGANOSSOLO HÁPLICO Sáprico térrico			
Hd1	4	480	Muito Severa
Hd2	0	0	Não-significante
Cg1	0	0	Não-significante
Cg2	0	0	Não-significante
PB2 - ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico			
Hdp	5	86400	Muito Severa
Hd	6,5	86400	Muito Severa
Hdo1	4	86400	Muito Severa
Hdo2	5	7800	Muito Severa

Tabela 4 – Matriz de correlação de Pearson das variáveis: matéria orgânica determinado pelo método da mufla (MO_Mufla) e C orgânico total pelos métodos da Embrapa (C_Embr) e modificado de Walkley; Black(C_WBmd); C das fibras esfregadas (C_Fibras); C das frações humina total (C_HU), ácido fúlvico (C_AF) e ácido húmico (C_AH); molaridade de gotas de etanol (MED); e tempo de penetração das gotas de água (WDPT), analisadas dos horizontes de Organossolos em ambientes de várzea nos Estados do Ceará (CE), do Rio Grande do Norte (RN) e da Paraíba (PB)

	MO_Mufla	C_Embr	C_WBmd	C_Fibras	C_HU	C- AF	C- AH	MED
C_Embr	0,91							
C_WBmd	0,87	0,98						
C_Fibras	0,53	0,43	0,43					
C_HU	0,74	0,69	0,67	0,40				
C-AF	0,29	0,20	0,17	0,27	0,58			
C-AH	0,62	0,67	0,72	0,14	0,24	0,01		
MED	0,45	0,40	0,55	0,23	0,64	0,63	0,40	
WDPT	0,68	0,79	0,64	0,35	0,70	0,55	0,60	0,88

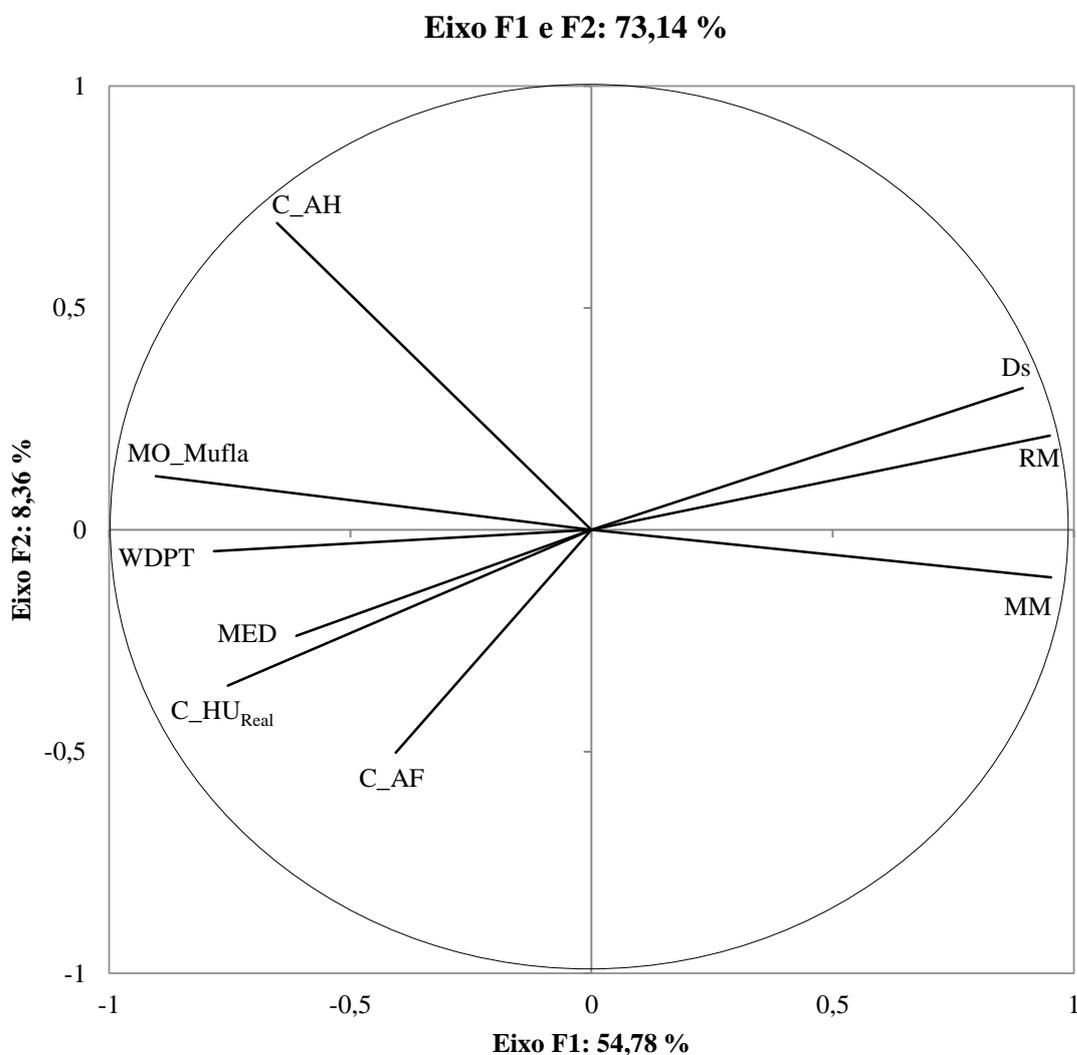
Estes resultados permitem afirmar que o caráter hidrofóbico está associado aos teores de CO das substâncias húmicas no solo, havendo maior contribuição da fração humina, que também está em maior proporção comparada às demais frações das SH. Existem compostos de estruturas ambifílicas, que possuem grupamentos polares (hidrofílica) e apolares (hidrofóbica). De acordo com Bastos et al. (2005) e Doerr et al. (2007), isso se deve ao fato de a porção hidrofílica da matéria orgânica se ligar à fração mineral do solo, orientando-se na direção do interior do agregado, de forma que a porção hidrofóbica se orienta na face externa do agregado, promovendo a repelência da água de contato.

Dos horizontes constituídos por material mineral, isto é, com CO inferior a 80 g kg⁻¹ (SANTOS et al., 2018), todos tiveram grau de repelência considerado não significante. Nos horizontes hísticos os materiais sápricos tiveram 50,0% dos horizontes com grau muito severo de repelência, enquanto os hêmicos tiveram 62,5% e os fíbricos somente 25%. Os resultados indicam que o menor grau de decomposição gera menor repelência a água.

O diagrama da análise de componentes principais foi gerado afim de relacionar a repelência (WDPT e MED) com algumas variáveis associados à degradação em Organossolos, tais como: densidade do solo (Ds), resíduo mínimo (RM) e material mineral (MM) (Figura 3). As variáveis apresentaram maior contribuição para o eixo F1, que sozinho

explica 54,78% das variações, enquanto somados, os dois principais eixos das componentes (F1 e F2) explicam 73,14% das variações. Somente as variáveis WDPT e MED tiveram menor comprimento dos vetores, que implica na menor contribuição com F1 comparado aos demais vetores. Além disso é confirmada a maior interação entre a fração húmica ($C_{HU_{Real}}$) com MED enquanto MO_Mufla apresentou maior interação com WDPT.

Figura 3 - Diagrama de ordenação produzido por análise de componentes principais dos atributos do solo: molaridade de gotas de etanol (MED), tempo de penetração de gotas de água (WDPT), densidade do solo (Ds), resíduo mínimo (RM), material mineral (MM), e matéria orgânica (MO_Mufla), carbono da fração ácido húmico (C_AH), fúlvico (C_AF) e húmica ($C_{HU_{real}}$)



Os vetores de Ds, RM e MM permaneceram em quadrantes opostos tanto às variáveis de repelência quanto às relacionadas à MO e às SH, ou seja, demonstraram haver um comportamento inverso, na qual o aumento dos valores de Ds, de RM e MM está diretamente associados à subsidência de Organossolos, resultando na diminuição da repelência do solo.

CONCLUSÕES

Os valores de C da fração humina foram maiores em detrimento às demais frações húmicas. A separação da fração matéria orgânica leve da fração humina indicou a presença de fragmentos de material em decomposição, além da presença de carvão. Os teores de C da fração ácido húmico foram superiores aos da fração ácido fúlvico, indicando maior grau de polimerização e condensação dos compostos orgânicos

Os métodos de avaliação do grau de repelência em Organossolos tiveram relação entre si, com amostras apresentando graus de repelência nos horizontes hísticos de não significante a muito severa;

O aumento da repelência à água está relacionado com o aumento dos teores de matéria orgânica e com a quantidade de C das frações húmicas, principalmente para a fração humina, por isso materiais hêmicos e sápricos tiveram maior repelência do que materiais fíbricos;

A diminuição do caráter hidrofóbico está associada não somente à redução dos teores de C orgânico, mas também com o aumento grau de degradação do solo, aqui mensurados pelos valores de densidade do solo, material mineral e resíduo mínimo. Sob outra ótica solos com maior grau de repelência tendem a ter maior fragilidade e risco de degradação.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelas bolsas de produtividade em pesquisa concedidas aos segundo, terceiro e quinto autores do trabalho, a Capes (PROCAD-NF 064/2010) pela bolsa concedida e financiamento de parte da pesquisa e aos Programas de Pós-Graduação em Agronomia-SNP da UFC e Agronomia- Ciência do Solo da UFRRJ.

REFERÊNCIAS

ADDINSOFT. XLSTAT-Pro, Core Statistical Software, 2017.

BASTOS, R. S.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. V. H.; CORREA, M. M. Formação e estabilização de agregados do solo decorrentes da adição de compostos orgânicos com

diferentes características hidrofóbicas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, p. 21-31, 2005. DOI: 10.1590/S0100-06832005000100002.

BEATTY, M. S.; SMITH, J. E. Dynamic soil water repellency and infiltration in post-wildfire soils. *Geoderma*, v. 192, p. 160-172, 2013. DOI: 10.1016/j.geoderma.2012.08.012

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

BURGUET, M.; TAGUAS, E. V.; CERDÀ, A.; GÓMEZ, A. J. Soil water repellency assessment in olive groves in Southern and Eastern Spain. *Catena*, v. 147, p. 187-195, 2016. DOI: 10.1016/j.catena.2016.07.005

CAMPOS, J. R. R.; SILVA, A. C.; FERNANDES, J. S. C.; FERREIRA, M. M.; SILVA, D. V. Water retention in a peatland with organic matter in different decomposition stages. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 1217-1227, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000400015

CANELLAS, L.P.; MENDONÇA, E.S.; DOBBS, L.B.; BALDOTTO, M.A.; VELLOSO, A.C.X.; SANTOS, G.A.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, G.A.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais & subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.45-64.

CIPRIANO-SILVA, R.; VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Caracterização de Organossolos em ambientes de Várzea do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v., 38, p. 26-38, 2014. DOI: 10.1590/S0100-06832014000100003

DOERR, S. H.; RITSEMA, C. J.; DEKKER, L. W.; SCOTT, D. F.; CARTER, D. Water repellence of soils: new insights and emerging research needs. *Hydrological Process*, v. 21, p. 2223–2228, 2007. DOI: 10.1002/hyp.6762

DOERR, S. H.; SHAKESBY, R. A.; WALSH, R. P. D. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth-Science Reviews*, 51 (1–4), 33-65, 2000. DOI: 10.1016/S0012-8252(00)00011-8

DONAGEMA, G. K., CAMPOS, D. V. B., CALDERANO, S. B., TEIXEIRA, W. G., VIANA, J. H. M. Manual de métodos de análise de solos, segunda ed, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2011.

EBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; VALLADARES, G. S.; PÉREZ, D. V. Substâncias húmicas e suas relações com o grau de subsidência em Organossolos de

diferentes ambientes de formação no Brasil. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, p. 225-233, 2013.

EBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C.; PÉREZ, D. V.; PEREIRA, M. G.; Gomes F. W. F. Atributos químicos, carbono orgânico e substâncias húmicas em Organossolos Háplicos de várias regiões do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 325-336, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000200004

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. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 1241-1257, 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000400023

GONDAR, D.; LOPEZ, R.; FIOL, S.; ANTELO, J. M.; ARCE, F. Characterization and acid–base properties of fulvic and humic acids isolated from two horizons of an ombrotrophic peat bog. *Geoderma*, v. 126, p. 367 – 374, 2005. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.10.006

KETTRIDGE, N.; HUMPHREY, R. E.; SMITH J. E; LUKENBACH, M. C.; DEVITO, K.J.; PETRONE, R.M.; WADDINGTON, J.M. Burned and unburned peat water repellency: Implications for peatland evaporation following wildfire. *Journal of Hydrology*, v. 513, p. 335-341, 2014. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.03.019

KING, P. M. Comparison of methods for measuring severity of water repellence of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement. *Australian Journal of Soil Research*. v.19, p. 275-285, 1981.

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

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BERNINI, T. A.; VALLADARES, G. S. Caracterização química e hidrofóbica de Organossolos e solos com horizonte hístico. *Comunicata Scientiae*. v.6, n.1, p. 113-122, 2015. DOI: 10.14295/cs.v6i1.407

MOORE, P.A.; LUKENBACH, M. C.; KETTRIDGE, N.; PETRONE, R. M.; DEVITO, K.J.; WADDINGTON, J. M. Peatland water repellency: Importance of soil water content, moss species, and burn severity. *Journal of Hydrology*, 554, 656-665, 2017. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.09.036

PEREIRA, M. G.; VALLADARES, G. S.; ANJOS, L. H. C.; BENITES, V. M.; ESPÍNDULA JR. A.; EBELING, A. G. Organic carbon determination in Histosols and soil horizons with high organic matter content from Brazil. *Scientia Agricola*, v. 63, n. 2, p. 187-193, 2006. DOI: 10.1590/S0103-90162006000200012

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.;

OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5 ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 353p.

SANTOS, L. L.; LACERDA, J. J. J.; ZINN, Y. L. Partição de substâncias húmicas em solos brasileiros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, p. 955-968, 2013. DOI: 10.1590/S0100-06832013000400013

SILVA, A. C.; HORÁK, I.; VIDAL-TORRADO, P.; CORTIZAS, A. M.; RACEDO, J. R.; CAMPOS, J. R. R. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional-MG. II - Influência da drenagem na composição elementar e substâncias húmicas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1399-1408, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000500031.

SOHI, S.; MAHIEU, N.; ARAH, J. R. M.; POWLSON, D. S.; MADARI, B.; GAUNT, J. L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. *Soil Science Society of America Journal*, v. 65, p. 1121-1128, 2001. DOI: 10.2136/sssaj2001.6541121x

STEVENSON, F. J. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. 2. ed. USA: John Wiley & Sons, 1994. 496 p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2 ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

THOMPSON, D. K.; WADDINGTON, J. M. Wildfire effects on vadose zone hydrology in forested boreal peatland microforms. *Journal of Hydrology*, v. 486, p. 48–56, 2013. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.01.014

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; BENITES, V. M.; EBELING, A. G.; MOUTA, R. O. Humic substance fractions and attributes of Histosols and related high-organic-matter soils from Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 38, p. 763-777, 2007. DOI: 10.1080/00103620701220759

VALLADARES, G. S. GOMES, E. G.; MELLO, J. C. C. B. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; EBELING, A. G.; BENITES, V. M. Análise dos componentes principais e métodos Multicritério ordinais no estudo de Organossolos e solos afins. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 285-296, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000100027

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method *Soil Science*, v. 37, n. 1, p. 29-38, 1934.