

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E MATÉRIA ORGÂNICA EM COMPLEXOS FLORESTAIS
PERIODICAMENTE INUNDADOS NA RESTINGA DA MARAMBAIA - RJ**

**CHEMICAL ATTRIBUTES AND ORGANIC MATTER IN FOREST COMPLEX SEASONALLY
FLOODED IN RESTINGA OF MARAMBAIA, RIO DE JANEIRO STATE**

Ranieri Ribeiro Paula¹ Marcos Gervasio Pereira² Deivid Lopes Machado³

RESUMO

Esse trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades químicas e caracterizar a matéria orgânica de solos sob duas formações florestais periodicamente inundadas, na ilha da Marambaia, RJ. Essas formações apresentam diferenças quanto ao grau de saturação hídrica do solo, causada pela influência do lençol freático, sendo que na formação 1 (F1) o lençol apresenta-se mais próximo à superfície em comparação à formação 2 (F2). Amostras foram coletadas nas camadas 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m. As propriedades edáficas avaliadas foram: pH, $H^+ + Al^{+3}$; Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , P, N, carbono orgânico total (COT) e saturação por bases (V%); carbono da fração humina (C-HUM), carbono da fração ácido húmico (C-FAH) e carbono da fração ácido fúlvico (C-FAF). Valores estatisticamente superiores de pH foram observados para F1. Em F2 verificaram-se maiores valores de Mg^{+2} , P, N e V%. Foi verificada correlação entre os teores de Mg^{+2} , N, ácido húmico e ácido fúlvico em F1 com o lençol freático, e do lençol em F2 com os elementos Na^+ e K^+ . A fração C-HUM foi a mais representativa do carbono orgânico total, seguida por C-FAH e C-FAF. Os teores de COT foram maiores na formação F1. A relação C/N foi menor em F2, com valores variando entre 9 e 12, e em F1 foram verificados maiores valores dessa relação, variando de 9 a 15. Dentre as vias de formação dos solos de constituição orgânicas, em ambas as áreas a principal via de acumulação da matéria orgânica é a de herança.

Palavras-chave: fertilidade natural; carbono orgânico total, substâncias húmicas; saturação hídrica.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate and characterize the chemical properties of soil organic matter under two periodically flooded forest formations on the island of Marambaia, Rio de Janeiro. These formations differ on the degree of soil water saturation, caused by the influence of water table, and in the (F1) formation presents the water table nearer the surface compared to the (F2) formation. Samples were collected in layers from 0.00 to 0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m. The soil properties evaluated were: pH, $H^+ + Al^{+3}$, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , P, N, total organic carbon (TOC) and base saturation (V%), humin carbon fraction (C-HUM), carbon of humic acid fraction (HAF-C) and fulvic acid fraction carbon (FAF-C). Statistically higher pH values were observed for F1. In F2 there are higher values of Mg^{+2} , P, N and V% value. Correlation was found between the concentrations of Mg^{+2} , N, humic acid and fulvic acid with water table in F1, and water table in F2 with Na^+ and K^+ . Fraction C-HUM was more representative of the total organic carbon, followed by C-HAF and C-FAF. The TOC levels were higher in F1. The C / N ratio was lower in F2, with values ranging between 9 and 12, and F1 were found higher values of this relationship, ranging from 9 to 15. Among the pathways of formation of organic soils in both areas it appears that the major route for organic matter accumulation is the inheritance route.

Keywords: natural fertility; total organic carbon; humic substances; hydric saturation.

1 Engenheiro Florestal, Msc., Doutorando em Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias, 11, CEP 13418-900, Piracicaba (SP), Brasil. Bolsista da FAPESP. ranieri@usp.br

2 Engenheiro Florestal, Dr., Professor Associado IV do Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, BR 465, Km 7, CEP 23890-000, Seropédica (RJ), Brasil. Bolsista de Produtividade do CNPq. gervasio@ufrjr.br

3 Engenheiro Florestal, Doutorando em Ciências Florestais pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Fazenda Lageado, Rua José Barbosa de Barros, 1780, Rod. Alcides Soares, Km 3, Caixa Postal 237, CEP 18603-970, Botucatu (SP), Brasil. deivid.machado@ig.com.br

Recebido para publicação em 22/08/2010 e aceito em 20/08/2012

INTRODUÇÃO

Dentre as diversas formações vegetais existentes na restinga da Marambaia, as denominadas florestas periodicamente inundadas possuem uma dinâmica natural influenciada principalmente pelas variações do lençol freático que tem origem marinha (MENEZES e ARAÚJO, 2005).

Devido às condições de alagamento, muito comum nesse tipo de ambiente, ocorre um grande acúmulo de material vegetal, já que as condições de anaerobiose impostas pela ação do lençol freático retardam a velocidade de decomposição do material orgânico depositado (NASCIMENTO et al., 2010), com destaque para a serapilheira. As taxas de decomposição também são influenciadas pela qualidade da serapilheira depositada que, em sua maioria, é composta por estruturas de difícil degradação, como folhas de textura coriácea. Adicionalmente, a atividade dos organismos detritívoros é baixa, em função das condições de anaerobiose impostas pelo lençol freático (SOUZA et al., 2008; PAULA et al., 2009). O metabolismo anaeróbico fornece menos energia para os microrganismos do que a respiração aeróbia, fazendo com que a decomposição da matéria orgânica seja mais lenta, possibilitando, assim, seu maior acúmulo em solos alagados (LIESACK et al., 2000).

Em função das condições de anaerobiose, os solos sob essas formações apresentam um grande acúmulo de matéria orgânica na camada superficial, sendo a espessura dessa camada variável em função do gradiente topográfico. Nas partes mais elevadas, onde se tem uma menor influência do lençol freático, uma camada de constituição orgânica com espessura média de 0,20 m é formada, e nas áreas mais baixas, com maior influência do lençol freático, essa camada pode ultrapassar 0,40 m de espessura. Os valores de espessura associados aos elevados teores de carbono orgânico ($\geq 80 \text{ g kg}^{-1}$) podem identificar, respectivamente, horizontes H hístico e Organossolos (EMBRAPA, 2006). A formação desses horizontes e/ou solos está relacionada ao processo conhecido como paludização (PEREIRA et al., 2005), que contribui para a formação de depósitos de material orgânico (MENEZES et al., 2005) e Organossolos.

A composição desses horizontes e/ou solos é influenciada diretamente pela porção mineral, pela natureza do material orgânico, pelo grau de decomposição da matéria orgânica e pela composição química da água de formação, o que contribui

para que ocorra uma ampla variação em sua constituição (ANDRIESSE, 1988; GALVÃO e VAHL, 1996).

Como um dos produtos da decomposição da matéria orgânica, têm-se as substâncias húmicas, que são uma categoria de ocorrência natural, biogênica, composta de substâncias orgânicas heterogêneas e que geralmente se caracterizam por coloração que pode variar de amarelada ou até tons mais escuros, com alto peso molecular e de natureza refratária (AIKEN et al., 1985; BENITES et al., 2003). Define-se ácido húmico como a fração que não é solúvel em água sob condições ácidas, podendo tornar-se solúvel (ou extraível) em valores altos de pH. Ácido fúlvico é a fração que é solúvel em meio aquoso (ou é extraível em meio aquoso), em qualquer valor de pH (MACCARTHY, 2001). Os ácidos húmicos e fúlvicos são responsáveis pela maior parte da capacidade de troca catiônica (CTC) na maioria dos solos tropicais. Já a humina, apesar de apresentar baixa reatividade, é responsável pela agregação das partículas e, na maioria dos solos tropicais, representa boa parte do carbono humificado do solo (BENITES et al., 2003).

O entendimento da dinâmica da matéria orgânica, bem como sua relação com as propriedades químicas dos solos em florestas periodicamente inundadas de restinga, é de grande importância, pois esses ambientes caracterizam áreas de grandes depósitos de carbono, principalmente devido à elevada deposição de serapilheira e à baixa velocidade de decomposição (PAULA et al., 2009).

Dessa forma, os objetivos deste estudo foram à caracterização das propriedades químicas, teores de carbono orgânico e nitrogênio, bem como o fracionamento da matéria orgânica em duas formações florestais periodicamente inundadas na restinga da Marambaia, RJ.

MATERIAL E MÉTODOS

Meio físico

A restinga da Marambaia está localizada, em parte, na zona oeste do município do Rio de Janeiro, estendendo-se através de um cordão arenoso até parte dos municípios de Itaguaí e de Mangaratiba. Os sítios estudados encontram-se na porção denominada Bravo VI (coordenadas 23°03'S e 43°36'W). O clima da região foi classificado segundo Köppen, em macroclima Aw (clima tropical chuvoso com inverno seco), com tempera-

turas médias mensais sempre acima de 20,0°C, e média anual próxima a 23,7°C. A maior temperatura média mensal ocorre em fevereiro (26,8°C) e a menor em agosto (20,9°C). A precipitação anual é de 1239,7 mm. Entre os meses de novembro a março, os índices pluviométricos médios são sempre superiores a 100 mm. O inverno costuma ser mais seco entre julho e agosto, a precipitação média mensal situa-se entre 40 e 55 mm. A umidade relativa do ar durante todo o ano fica próxima a 81%. Esses altos valores de umidade são consequência da posição geográfica, que é influenciada pela proximidade com o mar (MATTOS, 2005).

Para o estudo foram selecionadas duas áreas de florestas periodicamente inundadas, denominadas como formação florestal 1 (F1) e formação florestal 2 (F2). Essas possuem diferenças, principalmente quanto ao grau de saturação hídrica, devido à influência do lençol freático, que nesses ambientes tem origem marinha. Essas diferenças são facilmente percebidas no período chuvoso. Já nos meses mais secos é observada apenas a presença de lâminas de água mais espaçadas, localizadas nos pontos mais baixos do relevo.

Essas florestas periodicamente inundadas são geralmente localizadas nas depressões mal drenadas, onde é comum a ocorrência de Organossolos, sendo encontrados na restinga da Marambaia ao redor das lagoas Vermelha e Lagoinha, podendo, também, ocorrer nas depressões do cordão arenoso interno, formadas pelos arrombamentos causados pelo mar e, neste caso, sendo inundadas pelo afloramento do lençol freático (MENEZES et al., 2005). Nas formações F1 e F2, verifica-se horizonte orgânico com espessura superior a 0,40 m e, abaixo desse, há predomínio de camadas de textura arenosa. Dessa forma, toda dinâmica dos nutrientes nesses solos é dependente da matéria orgânica associada às flutuações no lençol freático.

Nessas formações são verificadas espécies atingindo 20 m de altura, podendo, também, algumas espécies emergentes apresentarem alturas superiores a 25 m. Como características gerais, as formações F1 e F2 possuem as espécies arbóreas de maior valor de importância: *Calophyllum brasiliense* Cambess (90,2 %), *Myrcia acuminatissima* O. Berg (48,2 %), *Tapirira guianensis* Aubl. (36,2 %), *Myrcia multiflora* (Lam.) DC. (28,5 %), *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC. (21,1 %), em F1 e *Calophyllum brasiliense* Cambess (58,5 %), *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC (44,9 %), *Tapirira guianensis* Aubl. (40,9 %), *Diospyros ebenaster*

Retz. (38,0 %), *Myrcia acuminatissima* O. Berg. (28,2 %), em F2.

Coleta de amostras e avaliação da altura do lençol freático

As coletas de solo foram realizadas no início do outono (mês de abril), percorrendo-se as formações F1 e F2. A área amostral, nas duas formações, foi próxima a 1 ha. Foram coletadas três amostras compostas por formação, cada uma formada por dez amostras simples de solo, em três camadas: 0,00 – 0,05; 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m. As amostras de solo foram retiradas com auxílio de um cilindro (diâmetro = 5 cm) de metal graduado. Devido à saturação hídrica do solo, diferente entre as formações (Figura 1), em cada ponto de coleta de solo foi aferida a altura do lençol freático com uso de régua graduada, mensurando a distância da superfície até a lâmina de água.

Caracterização química e avaliação da qualidade da matéria orgânica

Após a coleta, o material foi seco ao ar, destorroado e passado por peneira de 2,00 mm de diâmetro de malha, obtendo-se assim a terra fina seca ao ar (TFSA). Neste material foram analisados os valores de pH em água, e os teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , K^{+1} , $\text{H}^{+} + \text{Al}^{+3}$ e P disponível, além dos teores de N total, segundo EMBRAPA (1997). O carbono orgânico total (COT) foi determinado segundo Yeomans e Bremner (1988).

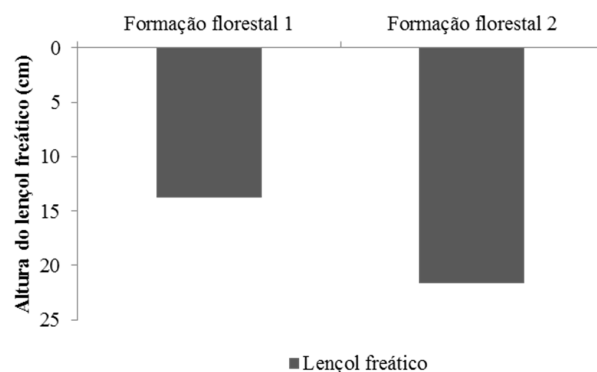


FIGURA 1: Profundidade média (N=30) do lençol freático em duas formações florestais periodicamente inundadas, na ilha da Marambaia, RJ.

FIGURE 1: Average depth (N= 30) of water table in two flooded forest on the island of Marambaia, Rio de Janeiro.

O fracionamento químico quantitativo da fração ácidos húmicos (C-FAH), fração ácidos fúlvicos (C-FAF) e fração humina (C-HUM) foi realizado segundo a técnica de solubilidade diferencial estabelecida pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS), conforme técnica adaptada e apresentada por Benites et al. (2003). Nesta técnica, as amostras de solo são tratadas com NaOH 0,1 mol L⁻¹, em tubos de centrífuga, sendo agitadas manualmente e deixadas em repouso por 24 horas. Após esta etapa, as mesmas foram centrifugadas a 5000 giros por 30 minutos. Esse procedimento foi repetido por mais duas vezes. O pH do extrato alcalino foi ajustado para 1,0 pela adição de H₂SO₄ e deixado para decantar durante 18 horas. O material acidificado foi filtrado e teve o volume aferido para 50 mL com água destilada (FAF). Sobre o precipitado foram adicionados NaOH 0,1 mol L⁻¹ até a lavagem completa do filtro e foi aferido o volume para 50 mL usando água destilada (FAH). O material restante nos tubos de centrífuga foi considerado como a fração humina. A determinação quantitativa do carbono nas frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina foi feita através da oxidação do C com dicromato de potássio e titulação do excesso com sulfato ferroso amoniacal, de acordo com Yeomans e Bremner (1988). Dos teores de cada fração foram calculadas as relações C-HUM/COT; C-FAH/COT; C-FAF-COT; C-FAH/C-FAF; C-HUM/C-FAH + C-FAF; e C-HUM+C-FAH+C-FAF/COT (%) (BENITES et al., 2003).

Avaliação dos dados

As análises estatísticas foram realizadas para verificar diferenças entre as formações F1 e F2 e entre as camadas de coleta (0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m). Inicialmente foram realizadas análises de normalidade (Lilliefors) e homogeneidade das variâncias dos erros pelo Teste de Cochran e Bartlett, com uso do *software* SAEG 9.0. Quando necessário, utilizou-se logaritmo natural ou raiz quadrada na transformação dos dados, para atender às pressuposições da análise de variância. Posteriormente, os resultados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios comparados entre si pelo teste de Duncan a 5 % de significância. A relação entre os atributos químicos e os teores de carbono orgânico foi estudada por meio de correlação de Pearson a 5 e 1 % de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de pH foram baixos nas duas formações, variando entre 3,89 e 4,42, sendo os menores valores ($p \leq 0,05$) observados na área F2 (Tabela 1). Estudando solos de uma floresta inundável em um gradiente fitofisionômico-edáfico em formações florestais de restinga no sudeste do Brasil, Magnago et al. (2010) verificaram baixos valores de pH (valores entre 3,26 e 3,46), caracterizando a área como extremamente ácida. Solos com elevados

TABELA 1: Teores médios de elementos químicos avaliados em duas formações florestais periodicamente inundadas (F1 e F2), nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, na Restinga da Marambaia.

TABLE 1: Average contents of chemical elements evaluated in two flooded forests (F1 and F2), at depths 0,00-0,05, 0,05-0,10 and 0,10-0,20 m in Restinga da Marambaia¹.

Áreas	Camada (m)	pH	H ⁺ +Al ⁺³	H ⁺	Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	P
		(H ₂ O)	-----cmol _c kg ⁻¹ ----- mg kg ⁻¹							
F1	0,00-0,05	4,10Aa	60,5Aa	57,5Aa	2,98Aa	0,65Aa	2,26Ba	0,35Aa	0,65Aa	27,50Ba
F2		3,89Ba	63,4Aa	61,1Aa	2,35Aa	0,55Aa	3,37Aa	0,42Aa	0,52Aa	51,08Aa
F1	0,05-0,10	4,28Aa	58,4Aa	56,1Aa	2,33Aa	0,68Aa	0,94Bb	0,18Aa	0,45Aa	14,30Bab
F2		3,99Ba	56,4Aa	54,3Aa	2,13Aa	0,81Aa	1,13Ab	0,28Aa	0,47Aa	32,83Aab
F1	0,10-0,20	4,42Aa	29,8Aa	29,1Aa	0,73Aa	0,12Aa	0,45Bb	0,05Aa	0,18Aa	9,02Bb
F2		4,10Ba	42,8Aa	41,0Aa	1,85Aa	0,58Aa	1,25Ab	0,28Aa	0,57Aa	25,68Ab

Letras distintas, maiúsculas entre áreas e minúsculas entre camadas na mesma área, nas colunas, indicam respectivamente diferenças estatísticas pelo teste F e Duncan a 5% de significância.

teores de matéria orgânica (MO) apresentam valores mais elevados de H^+ provenientes dos radicais carboxílicos e fenólicos presentes na matéria orgânica (VALLADARES, 2003; PLIESKI et al., 2004). Embora o aporte de serapilheira seja semelhante entre essas duas formações, as taxas de decomposição são mais elevadas em F2 (PAULA et al., 2009) em função do ambiente mais aeróbico devido à profundidade do lençol freático (Figura 1), o que pode estar favorecendo uma maior acidificação em função da liberação de CO_2 , proveniente da decomposição da matéria orgânica.

Em profundidade, embora sem diferenças estatísticas, verificou-se tendência nas duas formações da elevação do pH, o que pode estar associado à decomposição mais lenta da MO, devido à maior saturação hídrica do solo. A decomposição mais lenta reduz os teores de H^+ e $H^+ + Al^{3+}$ no solo. Os altos teores de H^+ em comparação ao Al^{3+} , observados nas formações em estudo, bem como os verificados em outros estudos em solos com elevados teores de matéria orgânica (GALVÃO e VAHL, 1996; PLIESKI et al., 2004; EBELING et al., 2008) demonstram que a acidez nesses solos é altamente dependente do H^+ . Segundo Magnago et al. (2010), em ambientes de restinga há um papel destacado da matéria orgânica na geração de cargas, sendo essa considerada um dos principais responsáveis pela capacidade de troca catiônica desses solos. Este padrão também foi observado por Ruivo et al. (2005) e Guedes et al. (2006) para solos localizados também nesse ambiente. No presente estudo, observou-se correlação dos teores de H^+ e Al^{3+} com o carbono orgânico, sendo 0,79 e 0,94 ($p \leq 0,05$) para F2 e F1 respectivamente.

Os valores de Na^+ , em todas as camadas de solo verificadas neste estudo, foram inferiores àqueles observados por Magnago et al. (2010) em floresta inundável de restinga na camada de 0,00-0,20m; já os valores de K^+ , no presente estudo, foram superiores apenas na camada 0,00-0,05 m. Somente para a formação F1 foram verificadas correlações negativas entre os teores de Na^+ e K^+ e a altura do lençol freático, com coeficiente de correlação de respectivamente -0,65 ($p \leq 0,05$) e de -0,70 ($p \leq 0,05$). Isto confirma que os maiores valores desses elementos encontram-se em regiões com menor influência do lençol freático. Apesar de esses ambientes serem influenciados por águas marinhas, têm-se, provavelmente, processos de perda desses íons, principalmente, por lixiviação. Segundo Galvão e Vahl (1996), apesar da alta capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos orgânicos, sua capacidade de reter

cátions monovalentes é baixa, o que justifica a tendência de menores valores de Na^+ e K^+ , o que foi observado principalmente na área F1.

Foram verificadas diferenças entre as áreas e entre as camadas para os teores de Mg^{+2} , P (Tabela 1) e saturação por bases (V%) (Tabela 2), sendo superiores ($p \leq 0,05$) em F2, em todas as camadas avaliadas, em relação à F1. Teores mais elevados de Mg^{+2} e P na camada superficial indicam significativa participação da MO, depositada via serapilheira, na dinâmica desses nutrientes nessas formações florestais. O Mg^{+2} foi o principal contribuinte para a soma de bases nesses solos, estando relacionado com a proximidade do mar, que contribui com o fornecimento desse elemento, via lençol freático.

A soma de bases variou de 0,80 a 4,86 $cmol_c kg^{-1}$ nas camadas avaliadas. Estudando Organossolos em diferentes regiões do Brasil, Valladares (2003) verificou para a soma de bases, valores médios da ordem de 13,1 $cmol_c kg^{-1}$. Neste estudo observaram-se menores valores médios, sendo estes mais elevados na camada de 0,00-0,05 m, variando de 3,92 e 4,86 $cmol_c kg^{-1}$, respectivamente em F1 e F2. Esses valores são concordantes com os observados por Magnago et al. (2010), em que os autores encontraram valores variando entre 3,89 e

TABELA 2: Valores médios dos atributos químicos avaliados em duas formações florestais periodicamente inundadas (F1 e F2), nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, na Restinga da Marambaia¹.

TABLE 2: Mean values of chemical attributes evaluated in two flooded forests (F1 and F2), at 0,00-0,05, 0,05-0,10 and 0,10-0,20 m in Restinga da Marambaia.

Áreas	Camada (m)	Valor S	Valor T	Valor V
		----- $cmol_c kg^{-1}$ ----		%
F1	0,00-0,05	3,92Aa	64,42A	6,08Ba
F2		4,86Aa	68,25A	7,11Aa
F1	0,05-0,10	2,25Aab	60,65A	3,70Bb
F2		2,70Aab	59,10A	4,56Ab
F1	0,10-0,20	0,80Ab	30,60A	2,60Bab
F2		2,68Ab	45,48A	5,89Aab

Letras distintas, maiúsculas entre áreas e minúsculas entre camadas na mesma área, nas colunas indicam respectivamente diferenças estatísticas pelo teste F e Duncan a 5% de significância.

4,07 cmol_c kg⁻¹ para a camada de 0,00-0,20 m. Os menores valores de soma de bases em profundidade sugerem a influência do lençol sobre teores de bases, atuando tanto na entrada de íons no sistema, como Mg²⁺, Na⁺ e K⁺, quanto em sua perda, principalmente, por lixiviação (K⁺ e Na⁺).

Os teores de nitrogênio (Tabela 3) foram mais elevados ($p \leq 0,05$) na camada de 0,00-0,05 m, com valores variando entre 37,17 e 40,32 g kg⁻¹, respectivamente para as áreas F1 e F2, e com decréscimo em profundidade. Em F1 verificou-se um pequeno aumento de N na camada de 0,10-0,20 m. Maiores teores de N na camada superficial podem ser atribuídos ao aporte de serapilheira. Paula et al. (2009) verificaram que o N foi o elemento aportado em maior quantidade nas mesmas formações florestais deste estudo, com valores de 129,7 e 128,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente em F2 e F1. Não foram observadas diferenças para os teores de N entre as formações florestais.

Os teores de carbono orgânico total (COT) nas formações em estudo foram eleva-

dos (COT > 80 g kg⁻¹) e podem ser atribuídos principalmente ao aporte de serapilheira, sendo que essa é constituída por folhas com texturas coriáceas (PAULA et al., 2009), mais ricas em lignina. Desta forma, as características do material depositado associadas à influência do lençol freático fazem com que a decomposição do material ocorra de maneira mais lenta, favorecendo, assim, seu acúmulo. Os teores de COT na formação F1 variaram de 346,21 g kg⁻¹ a 327,09 g kg⁻¹, respectivamente para as camadas de 0,00-0,05 e 0,10-0,20 m. Já para a F2, esses valores estiveram entre 376,38 g kg⁻¹ e 313,45 g kg⁻¹, respectivamente nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m. Caracterizando a matéria orgânica de Organossolos de diferentes regiões do Brasil, Fontana (2006) verificou grande variação entre os horizontes analisados, com teores variando entre 114,3 e 568,8 g kg⁻¹ (média de 351,3 g kg⁻¹), demonstrando a heterogeneidade do material de origem dos solos analisados. Couto e Resende (1985), em estudos de caracterização da MOS de solos orgânicos e gleizados do Sudoeste da Bahia, observaram de um universo de 59 amostras de solos, que os teores médios ficaram em torno de 369 g kg⁻¹. Os altos teores de COT associados à vegetação arbórea existente nessas formações (SOUZA et al., 2008) demonstram a importância da conservação desses ambientes, principalmente por constituírem sumidouros de carbono.

Verificaram-se nos solos de ambas as áreas, que a principal via acumulação de matéria orgânica é a de herança (evolução direta dos compostos insolúveis lignificados da matéria orgânica pouco transformada), já que as outras vias de formação, e em especial a de neossíntese microbiana (DABIN, 1981), são desfavorecidas em função das condições de anaerobiose.

A relação C/N variou de 8,83 a 12,06 na área F2. Na área F1 essa relação apresentou valores maiores, entre 9,94 e 13,58 (Tabela 3). Para as camadas subsuperficiais, os valores dessa relação foram maiores, demonstrando menor grau de humificação. Valores mais elevados aos verificados neste estudo, quanto à relação C/N (14-18), foram observados em Organossolo cultivado com milho após drenagem artificial (EBELING et al., 2004). Porém, a relação C/N é influenciada pela natureza do material orgânico que está sendo aportado, além de fatores como o material de origem e aspectos climáticos. Valladares (2003) relata que os valores da relação C/N variaram, para horizontes hísticos, de 5 a 99, com média de 19,9, sendo esses superior-

TABELA 3: Teores médios de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio (N) e relação C/N em duas formações florestais periodicamente inundadas (F1 e F2), nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, na Restinga da Marambaia.

TABLE 3: Average contents of total organic carbon (TOC) and nitrogen (N) and C/N ratio in two flooded forest (F1 e F2), at 0,00-0,05, 0,05-0,10 and 0,10-0,20 m, in Restinga da Marambaia¹.

Áreas	Camada (m)	Teores médios dos elementos analisados		
		Nitrogênio (g kg ⁻¹)	Carbono orgânico total (g kg ⁻¹)	Relação C/N
F1	0,00-0,05	37,17Aa	346,21Aa	9,94
F2		40,32Aa	333,99Aa	8,83
F1	0,05-0,10	22,68Aab	346,12Aa	13,35
F2		37,17Aab	376,38Aa	10,21
F1	0,10-0,20	24,57Ab	327,09Aa	13,58
F2		26,46Ab	313,45Aa	12,06

Valores médios de três repetições. Letras distintas, maiúsculas entre áreas e minúsculas entre camadas na mesma área, nas colunas indicam respectivamente diferenças estatísticas pelo teste F e Duncan a 5% de significância.

res aos encontrados nesse estudo. O autor encontrou correlação negativa ($r = -0,56$; $p \leq 0,01$) entre os valores dessa relação com o pH em água, mencionando que quanto mais ácido for o solo, maiores serão os valores para essa relação. Esse padrão não foi observado neste estudo, no entanto, verificou-se em F1 e F2 aumento do pH e da relação C/N em profundidade, indicando que podem existir outros fatores interferindo nessa correlação em função das condições de saturação hídrica do solo. Na camada superficial existe deposição de MO mais rica em N, influenciando na diminuição da relação C/N. Todavia, a adição de material vegetal não humificado (serapilheira) pode favorecer a acidificação parcial do solo. Em profundidade, as variações do lençol podem favorecer a perda de N e, consequentemente, diminuição da acidez do solo (Tabelas 1 e 3).

As substâncias húmicas, caracterizadas nesses ambientes, têm importante papel em solos sujeitos à saturação hídrica. Essas substâncias possuem mineralização mais lenta, corroborando na diminuição das perdas de nutrientes. Não foi verificada diferença estatística entre as formações florestais e as camadas analisadas, quanto aos teores das frações da matéria orgânica húmica (C-HUM), ácido húmico (C-FAH) e ácido fúlvico (C-FAF) (Tabela 4). Verificou-se decréscimo dos teores das frações

orgânicas em profundidade, exceto para C-FAF na formação F2. Maiores valores de C-HUM foram observados para as duas formações em estudo, quando comparados ao C-FAH e C-FAF, sendo observada tendência de teores mais elevados em F2, com teores médios mais elevados na camada de 0,00-0,05 m, da ordem de $224,93 \text{ g kg}^{-1}$, o que representa 66,38% de participação no COT. Valladares (2003) e Conceição et al. (1999) observaram mesmo padrão em estudos com Organossolos, em que o C-HUM foi predominante na maioria das amostras estudadas. Este padrão também foi verificado por Silva et al. (2009), avaliando a influência da drenagem na composição elementar e substâncias húmicas de Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional, MG.

Os teores de C-FAH foram mais elevados que os de C-FAF (Tabela 4). Segundo Stevenson (1994), os ácidos húmicos são compostos estáveis, ou seja, recalcitrantes. Verificou-se que as condições de drenagem estão contribuindo para a formação desta fração em detrimento à fração ácido fúlvico.

A fração C-FAF representou os menores teores e contribuições relativas no COT nas duas formações em estudo, sendo o menor valor encontrado em F1 na camada de 0,10-0,20 m ($2,64 \text{ g kg}^{-1}$) e em F2 na camada de 0,00-0,05 m ($3,62 \text{ g kg}^{-1}$). Resultados semelhantes, com relação à baixa contri-

TABELA 4: Teores médios de carbono das substâncias húmicas (g kg^{-1}) (C-HUM, C-FAH e C-FAF) e a relação (%) entre o carbono de cada fração e o carbono orgânico total em duas formações florestais periodicamente inundadas (F1 e F2), nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, na Restinga da Marambaia.

TABLE 4: Average contents of carbon in humic substances (C-HUM, C-HAF and C-FAF) and the ratio (%) between the carbon of each fraction and total organic in two forest periodically flooded (F1, F2), in the depths 0,00-0,05, 0,05-0,10 and 0,10-0,20 m, in Restinga da Marambaia.

Camada (m)	Formação Florestal 1			Formação Florestal 2		
	C-HUM	C-FAH	C-FAF	C-HUM	C-FAH	C-FAF
0,00-0,05	199,10	50,40	6,03	224,93	47,31	3,62
0,05-0,10	197,79	37,23	4,80	217,36	46,73	5,15
0,10-0,20	146,65	27,28	2,64	185,00	37,98	5,51
CV%	36,21	41,34	41,47	35,95	48,50	57,54
	C-HUM/COT	C-FAH/COT	C-FAF/COT	C-HUM/COT	C-FAH/COT	C-FAF/COT
0,00-0,05	56,06	14,36	1,74	66,38	13,99	1,16
0,05-0,10	56,30	11,23	1,45	56,07	11,53	1,35
0,10-0,20	44,63	8,14	0,82	57,06	12,10	1,74

Em que: C-HUM = húmica; C-FAH = ácido húmico; C-FAF = ácido fúlvico.

buição relativa da fração C-FAF, foram verificados por Valladares et al. (2008) estudando Organossolos de planície litorânea no ES e RJ, com valores na ordem de respectivamente 1,27 e 0,12 g kg⁻¹.

Em F1 observou-se correlação negativa ($p \leq 0,05$) entre as frações C-FAF e C-FAH com o lençol freático, sendo maior para C-FAF (-0,78) e menor para C-FAH (-0,63), não sendo verificada correlação para essas frações em F2. Esse padrão indica que em F1 os teores dessas substâncias tendem a diminuir nas regiões onde o lençol se encontra mais elevado, contribuindo em maior perda dessas frações por lixiviação. Essas duas frações podem complexar cátions metálicos e, desta forma, favorecer a lixiviação dos mesmos. Isto poderia ser uma das causas para os menores teores de bases na área F1 (Tabelas 1 e 2). Segundo Fontana et al. (2010), valores maiores que 1 para a relação C-FAH/C-FAF estão diretamente relacionados ao potencial de lixiviação.

A relação C-FAH/C-FAF (Tabela 5), segundo Labrador Moreno (1996), pode ser utilizada como indicadora de condensação da matéria orgânica solúvel no solo. Essa relação foi avaliada nas duas formações em estudo. Para as formações nas diferentes camadas, os valores para essa relação foram superiores a 7, indicando haver predomínio da fração C-FAH. Verificou-se que quanto mais alta essa relação, maior será o grau de polimerização (VALLADARES, 2003), sugerindo uma evolução no processo de transformação da matéria orgânica.

Diferindo dos altos valores da relação C-FAH/C-FAF observados no presente estudo, Valladares et al. (2008), verificaram em Organossolos, valores variando de 2,66 e 3,03. Entretanto, Fontana (2006) verificou para a ordem dos Organossolos valores dessa relação entre 1,91 e 16,94. Segundo esse autor, o acúmulo dos ácidos húmicos deve estar mais relacionado à via de síntese das substâncias húmicas em condições de constante alagamento, do que com as próprias condições de solubilidade dos mesmos. Quanto à relação C-HUM/C-FAH+C-FAF que, segundo Canellas et al. (2005), indica estabilidade estrutural da matéria orgânica, verificaram-se valores bem próximos entre as formações nas diferentes camadas, sendo ligeiramente maiores nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m para a F2.

A relação entre o somatório das três frações orgânicas avaliadas e o COT indica o grau de humificação da matéria orgânica (Tabela 5). Segundo Labrador Moreno (1996), valores quantificados, que se enquadram na faixa de 65 até 92 %, sugerem que a matéria orgânica no solo se encontra em processo de humificação, ao passo que, valores inferiores podem indicar resíduos orgânicos recém-adicionados ao solo que ainda não tiveram tempo para evoluir, e valores mais elevados indicam solos empobrecidos, sem aportes de matéria orgânica. Diante disso, na maioria das camadas avaliadas, exceto a camada de 0,10-0,20 m na F1 (53,58), observam-se valores que se enquadram na faixa de humificação, sendo estes de 68,95 a 81,54%.

TABELA 5: Relação entre a fração ácido húmico e ácido fúlvico (C-FAH/C-FAF), entre a fração humina e somatório de ácido húmico e ácido fúlvico (C-HUM/C-FAH + C-FAF) e somatório das frações humina, ácido húmico e ácido fúlvico em relação ao carbono total (C-HUM+C-FAH+C-FAF/COT), em duas formações florestais periodicamente inundadas (F1 e F2), nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, na Restinga da Marambaia.

TABLE 5: Relationship between humic acid and fulvic acid (C-FAH/C-FAF), between the humin fraction and the sum of humic acid and fulvic acid (C-HUM / C-FAH+C-FAF) and sum of humin fractions, humic acid and fulvic acid in relations to total carbon (C-HUM+C-FAH+FAF/COT), in two forest periodically flooded (F1, F2) at 0,00-0,05, 0,05-0,10 and 0,10-0,20 m in Restinga da Marambaia.

Áreas	Camada (m)	C-FAH/C-FAF	C-HUM/C-FAH+ C-FAF	C-HUM+C-FAH+C-FAF/COT %
F1	0,00-0,05	8,36	3,42	72,16
F2		7,16	4,38	81,54
F1	0,05-0,10	8,02	5,48	68,97
F2		8,09	5,89	68,95
F1	0,10-0,20	10,84	5,63	53,58
F2		7,81	4,33	70,91

CONCLUSÕES

Para os solos de ambas as áreas de florestas periodicamente inundadas, a principal via de acumulação da matéria orgânica é a de herança.

A maior influência do lençol freático na formação florestal F1 contribui para a menor mineralização da matéria orgânica e a maior lixiviação de bases.

Os maiores valores de pH e maior relação C/N observados na formação florestal F1 indicam que está havendo um processo mais lento de decomposição da MO.

A menor influência do lençol freático favorece os teores de P, a CTC e a soma de bases na formação florestal F2.

A fração humina é a de maior representatividade no COT, seguida pelas frações ácido húmico e ácido fúlvico, nas duas formações em estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIKEN, G. R et al. **Humic substances in soil, sediment and water: Geochemistry, isolation and characterization**. New York: John Wiley & Sons, 1985. 692 p.
- ANDRIESE, J. P. **Nature and management of tropical peat soils**. Rome: FAO, 1988. (FAO SOILS BULLETIN 59).
- BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: Um procedimento simplificado de baixo custo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2003. 7 p. (Comunicado Técnico).
- CANELLAS, L. P.; BUSATO, J. G.; CAUME, D. J. O uso e manejo da matéria orgânica humificada sob a perspectiva da agroecologia. In.: CANELLAS, L. P. ; SANTOS, G. A. **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos dos Goytacazes, 2005. p. 244-267.
- CONCEIÇÃO, M. et al. **Caracterização das substâncias húmicas em solos orgânicos do estado do Rio de Janeiro, sob diversas atividades agrícolas**. Pesquisa em Andamento, n.5, p.1-6, 1999.
- COUTO, E. G.; RESENDE, M. Caracterização da matéria orgânica de alguns solos orgânicos e gleizados do sudoeste da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 9, n. 3, p. 185-191, 1985, set./out, 1985
- DABIN, B. Les matières organiques dans les sols tropicaux normalement drainés. **Cahiers ORSTOM. Série Pédologie**, v. 28, p. 197-215, 1981.
- EBELING, A. G. et al. Propriedades químicas como indicadores ambientais em organossolos no estado do Rio de Janeiro. **Revista Universidade Rural, Série Ciências da Vida, Seropédica**, v. 24, n. 1, p. 1-6, jan./jun., 2004.
- EBELING, A. G. et al. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p.429-439, abr./jun., 2008.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997, 212 p.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, Embrapa solos. 2006, 306 p.
- FONTANA, A. et al. Quantificação e utilização das frações húmicas como característica diferencial em horizontes diagnósticos de solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1241-1257, jul./ago. 2010
- FONTANA, A. **Caracterização química e espectroscópica da matéria orgânica em solos do Brasil**. 2006. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Ciência do Solo)- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.
- GALVÃO, F. A. D.; VAHL, L. C. Propriedades químicas dos solos orgânicos do litoral do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 2, p. 131-135, maio/ago., 1996.
- GUEDES, D.; BARBOSA, L. M.; MARTINS, S. E. Composição florística e estrutura fitossociológica de dois fragmentos de floresta de Restinga no Município de Bertiooga, SP, Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, v. 20, n. 2, p. 299-311, abr./jun., 2006.
- LABRADOR MORENO, J. **La matéria orgânica en los agrosistemas**. Madri, Ministério Agricultura, 1996. 176 p.
- LIESACK, W.; SCHNELL, S.; REVSBECH, N. P. Microbiology of flooded rice paddies. **FEMS Microbiology Reviews**, Cambridge, v. 24, p. 625-645, 2000.
- MACCARTHY, P. **The principles of humic substances**. Soil Science, v. 166, p. 738-751, 2001.
- MAGNAGO, L. F. S. et al. Gradiente fitofisionômico-edáfico em formações florestais de Restinga no Sudeste do Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 734-746, jul./set., 2010.
- MATTOS, C. C. L. V. Caracterização climática

- da Restinga da Marambaia. In: MENEZES, L. T, PEIXOTO, A. L.; ARAÚJO, D. S. D. **Historia Natural da Marambaia**. EDUR- UFRRJ, Seropédica, 2005, p. 55- 66.
- MENEZES, L. F. T.; ARAÚJO, D. S. D. Formações Vegetais da Restinga da Marambaia. In: **Historia Natural da Marambaia**. Rio de Janeiro: Ed. da Universidade – UFRRJ, 2005. p. 67-120.
- MENEZES, L. T.; PEIXOTO, A. L.; ARAÚJO, D. S. D. **História Natural da Marambaia**. Seropédica, RJ: EDUR, 2005, 288 p.
- NASCIMENTO, P. C. et al. Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. p. 339-348, mar./abr., 2010.
- PAULA, R. R.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, L. F. T. Aporte de nutrientes e decomposição da serapilheira em três fragmentos florestais periodicamente inundados na ilha da Marambaia-RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 139-148, abr./jun., 2009.
- PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; VALLADARES, G. S. Organossolos: Ocorrência, gênese, classificação, alterações pelo uso agrícola e manejo. In: TORRADO, P.V.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P.; CARDOSO, E.J., eds **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. v. 4. p. 233-276.
- PLIESKI, G. L. A. et al. Avaliação de métodos analíticos para determinar acidez em solos com alto teor de matéria orgânica. **Revista Universidade Rural**, Seropédica, v. 24, n.2, p. 15-21, jul./dez., 2004.
- RUIVO, M. L. P. et al. Caracterização química da manta orgânica e da matéria orgânica leve em diferentes tipos de solo em uma topossequência na ilha de Algodual/Maiandeuá, PA. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências Naturais**, v. 1, n. 1, p. 227-234, jan./abr., 2005.
- SILVA, A. C. et al. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional - MG: II - Influência da drenagem na composição elementar e substâncias húmicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1399-1408, set./out. 2009.
- SOUZA, R. C. et al. Estrutura da comunidade da fauna edáfica em fragmentos florestais na Restinga da Marambaia, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 3, n. 1, p. 49-57, jan./mar., 2008.
- STEVENSON, F.J. **Humus Chemistry: genesis, composition, reactions**. 2nd ed. New York: Wiley, 1994, 496 p.
- VALLADARES, G. S. **Caracterização de Organossolos: auxílio à sua classificação**. 2003. 129 f. Tese (Doutorado em Agronomia- Ciência do Solo)- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2003.
- VALLADARES, G. S. et al. Multicritério ordinais no estudo de Organossolos e solos afins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.1, p.285-296, jan./fev., 2008.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.