



Fertilidade do solo e nutrientes na serapilheira em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual¹

Tiago de Oliveira Godinho²; Marcos Vinicius Winckler Caldeira³; José Henrique Tertulino Rocha⁴; Jônio Pizzol Caliman⁵; Márcio Viera⁶

Resumo: Objetivou-se com o estudo avaliar a fertilidade do solo de uma Floresta Estacional Semidecidual Submontana em três gradientes topográficos e correlacionar com o aporte e acúmulo desses nutrientes via serapilheira, no Município de Cachoeiro de Itapemirim (ES). As amostras de solo para caracterização das 12 parcelas do estudo foram coletadas na profundidade de 0 – 20 cm. As coletas de serapilheira depositada e acumulada foram realizadas nas mesmas parcelas da coleta de solo. Em cada parcela foram distribuídos cinco coletores de serapilheira, alocados sistematicamente dentro da parcela, sendo um próximo a cada vértice e o último, no centro. Realizaram-se coletas mensais da serapilheira depositada sobre os coletores e da acumulada sobre o piso da floresta, de forma aleatória, com auxílio de um gabarito. Os atributos químicos do solo foram submetidos à análise de variância e posterior comparação de médias utilizando o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foram realizadas análises de correlação de Spearman e modelos de regressão linear múltipla para a avaliação das correlações entre os atributos da serapilheira e do solo. Os solos da área estudada são, em geral, de média a alta fertilidade, apresentando teores médios a altos de matéria orgânica e baixos de fósforo. Os teores de P, Ca e Mg disponíveis no solo apresentaram correlação significativa e positiva com a deposição anual desses nutrientes via serapilheira e o conteúdo médio de nutrientes contidos na serapilheira acumulada se correlacionou apenas com o teor de P disponível no solo.

Palavras - chave: Gradiente topográfico; Ciclagem de nutrientes, Mata nativa; Matéria orgânica.

Soil fertility and nutrients in litter on a Semideciduous Seasonal Forest fragment

Abstract: The objective of the study was to evaluate the soil fertility of a Submontane Seasonal Semideciduous Forest in three topographic gradients and correlate with the production and accumulation of these nutrients by litter, in the municipality of Cachoeiro de Itapemirim (ES). Soil samples for characterization of the 12 plots in the study were collected at a depth of 0 – 20 cm. The collection of production and accumulated litter were conducted on the same plots of soil sampling. In each plot were distributed five litter collectors, systematically allocated within the plot, one near each corner and the last, in the center. Collections were carried out monthly litter deposited on the collectors and accumulated on the floor of the forest, at random, with the aid of a template. The soil chemical properties were subjected to analysis of variance and subsequent comparison of means using the Tukey test at 5% probability. Analyses Spearman correlation and multiple linear regression models to assess the correlations between the attributes of litter and soil. The soils of the study area are generally medium to high fertility, with medium to high levels of organic matter and low phosphorus. The P, Ca and Mg in the soil available showed a significant positive correlation with the annual deposition of these nutrients by litterfall and average content of nutrients in the litter was correlated only with the level of available P in the soil.

Keywords: Topographic gradient; Nutrient cycling; Native forest; Organic matter.

¹ Recebido em 25.06.2013 e aceito para publicação como **artigo científico** em 21.02.2014.

² Engenheiro Florestal, M.Sc., Doutorando em Recursos Florestais, Departamento de Ciências Florestais, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Pesquisador, INCAPER, BR 101 Norte, km151, Caixa Postal 62, CEP: 29915-140, Linhares, ES. E-mail: <godinhoto@hotmail.com>.

³ Engenheiro Florestal, D.Sc. Professor do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, s/n, Guararema - Centro, Caixa Postal 16, CEP: 29500-000, Alegre (ES), Brasil. Bolsista de Produtividade em pesquisa do CNPq. E-mail: <caldeiramv@pq.cnpq.br>.

⁴ Engenheiro Florestal, M.Sc., Doutorando em Recursos Florestais, Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Avenida Pádua Dias, 11, CEP: 13418-900, Piracicaba/SP. Bolsista FAPESP. E-mail: <rocha.jht@gmail.com>

⁵ Engenheiro Florestal, Mestrando em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, CEP: 36570-000, Viçosa-MG. Bolsista CNPq. E-mail: <jpcaliman@gmail.com>.

⁶ Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento Multidisciplinar da Universidade Federal de Santa Maria - Campus Silveira Martins, Rua Francisco Guerino, n.407, CEP: 95105-000, Centro, Silveira Martins-RS. E-mail: <marcio.viera@ufsm.br>.

Introdução

O solo é a base para o crescimento das plantas, pois fornece suporte físico, químico e biológico para o crescimento de comunidades vegetais. Constitui importante compartimento de onde são retirados os nutrientes necessários à sobrevivência das plantas e é fundamental para a regulação da distribuição, armazenamento, escoamento e infiltração da água da chuva e de irrigação, exercendo ação filtrante e protetora da qualidade da água (LARSON e PIERCE, 1994). Para qualquer tipo de vegetação terrestre, o solo constitui-se como fator de abastecimento de água e nutrientes, cuja disponibilidade está na dependência do clima geral, do relevo, dos processos físicos do solo, da matéria orgânica disponível, dos microorganismos existentes e ainda da qualidade química dos minerais do solo.

A interação solo-planta-solo é denominada de ciclo biogeoquímico (SWITZER e NELSON, 1972). Este termo deriva-se do movimento cíclico dos elementos que formam os organismos biológicos e o ambiente geológico e intervêm em uma mudança química, ou seja, é o movimento de um ou mais elementos químicos através da atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera da Terra (TÓTOLA e CHAER, 2002).

A fertilidade de solos mantidos sob florestas é altamente dependente do retorno dos nutrientes absorvidos pelas plantas. Esse retorno se dá por deposição de serapilheira, lixiviação das copas (precipitação interna), renovação e exsudação das raízes, sendo a deposição de serapilheira a mais importante (ATTIWILL, 1995; GODINHO et al., 2013). A produção e decomposição da serapilheira são processos fundamentais, e mais comumente mensurados, do fluxo de matéria orgânica e nutrientes da vegetação para a superfície do solo, sendo vitais para o funcionamento do ecossistema, principalmente, nas florestas tropicais situadas em solos com baixa fertilidade natural (GOLLEY, 1978; GODINHO et al., 2014).

A matéria orgânica do solo é importante para

a sua fertilidade, sendo o conhecimento da fertilidade do solo fundamental para o manejo adequado dos sistemas em uso, resultando em preservação da natureza, por evitar tomadas de decisões errôneas, e diminuição de custos (RODRIGUES et al., 2010). Em relação às propriedades químicas, a matéria orgânica do solo tem papel fundamental na sua fertilidade (MIRANDA et al., 2007), principalmente em solos altamente intemperizados, sendo a principal fonte de nutrientes minerais para as plantas (BONINI e ALVES, 2012).

Florestas tropicais são mais exigentes, por exemplo, que as florestas de gimnospermas (DUVIGNEAUD, 1974), a exigência nutricional é parte do nicho ecológico e constitui importante fator para a seleção dos componentes de cada comunidade. Há, portanto, um custo nutricional sem o qual a espécie ou comunidade não poderá se estabelecer.

Estudos da avaliação de atributos químicos, físicos e biológicos do solo são fundamentais no entendimento da funcionalidade e sustentabilidade dos solos. Sabe-se que os nutrientes dos solos florestais constituem-se em primoroso tema de investigações científicas, num valioso instrumento para estudos de diagnose ambiental e avaliação de impactos naturais ou decorrentes das atividades humanas. Nesse sentido, objetivou-se avaliar a fertilidade do solo de uma Floresta Estacional Semidecidual Submontana em três gradientes topográficos e correlacionar com o aporte e acúmulo desses nutrientes via serapilheira.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Cafundó com 517 hectares, situada no município de Cachoeiro de Itapemirim, ES (Figura 1). Este fragmento é coberto pela Floresta Estacional Semidecidual Submontana em cotas de 100 a 150 m de altitude (IBGE, 1987).



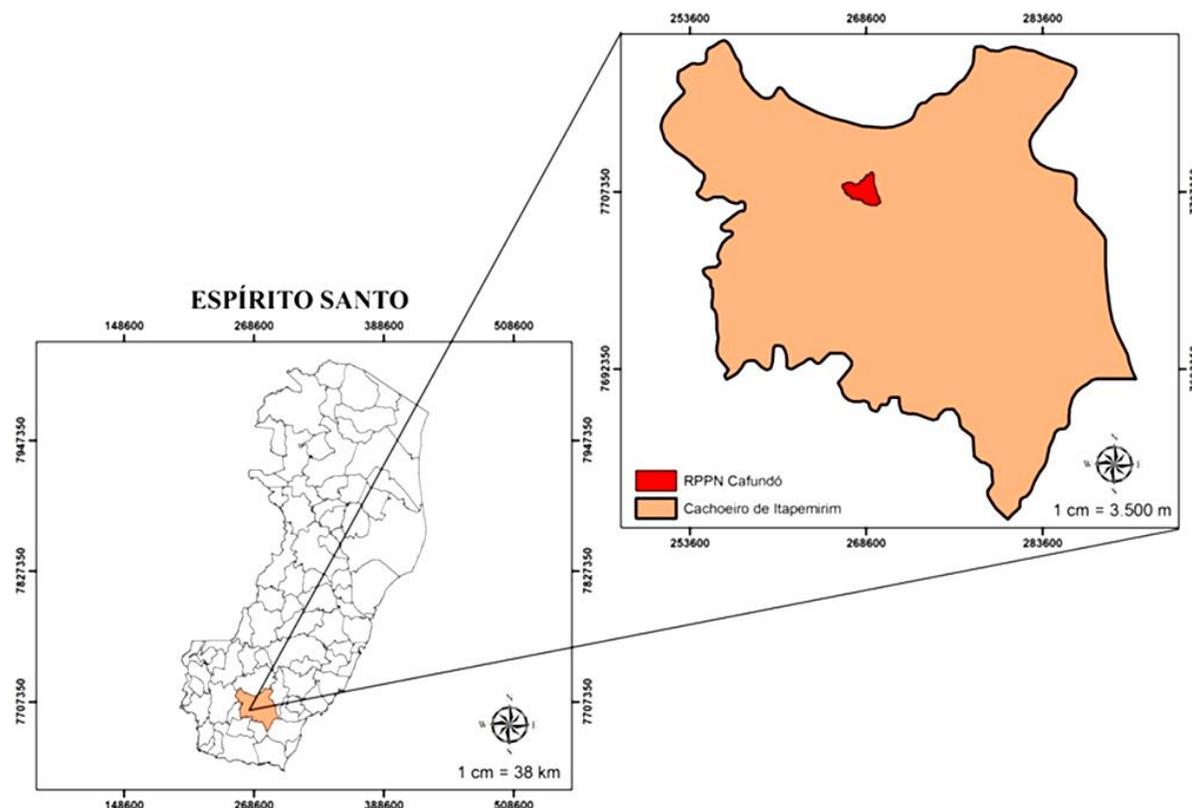


Figura 1 - Localização da Reserva Particular do Patrimônio Natural Cafundó no estado do Espírito Santo, Brasil.

Figure 1 - Location of the Reserva Particular do Patrimônio Natural Cafundó in the state of Espírito Santo, Brazil.

O clima da região enquadra-se no tipo Cwa, de acordo com a classificação de Köppen, apresentando chuva mal distribuída ao longo do ano, com verão chuvoso e inverno seco. A temperatura média das mínimas do mês mais frio é de 11,8 °C, e a média das máximas do mês mais quente de 34 °C (PEZZOPANE et al., 2004). A região do presente estudo apresenta alta sazonalidade climática, estando às estações de baixas e altas pluviosidades bem definidas. O índice médio pluviométrico anual é de 1.293 mm (INCAPER, 2013).

Em estudo realizado por Archanjo et al. (2012), referente à vegetação arbórea na área do presente estudo, os autores encontraram uma composição florística de 255 espécies, 152 gêneros e 54 famílias. O índice de diversidade (H') foi de 4,13. Os valores de área basal (33,02 m² ha⁻¹) e densidade (1823 ind ha⁻¹) foram próximos aos de outras florestas estacionais semidecíduais da região Sudeste. As espécies

com maior valor de importância (VI) foram *Astronium concinnum* (Engl.) Schott, *Pseudopiptadenia contorta* (DC.) G.P. Lewis & M.P. Lima e *Neoraputia alba* (Nees & Mart.) Emmerich ex Kallunki. O remanescente florestal é composto predominantemente por espécies secundárias tardias, caracterizando-se como fragmento bem preservado, que detém alta diversidade de espécies e com uma flora arbórea peculiar, ressaltando a importância desta área para conservação na região sul do Espírito Santo.

A região é caracterizada por extensas áreas planas com esparsas e suaves elevações, aparecendo afloramentos rochosos em pontos distintos. O material de origem é do tipo granito-gnáissico de origem pré-cambriana (IBGE, 1987). O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico, de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

Amostragem do solo

Foram alocadas 25 parcelas sistematicamente dentro da RPPN Cafundó em inventário realizado por Archanjo et al. (2012). Os autores utilizaram o método de amostragem de parcelas de área fixa (MUELLER-DOMBOIS e ELLEMBERG, 1974), distribuídas de forma sistemática no campo (com uma distância de 350 metros entre cada parcela). As amostras de solo para caracterização das parcelas do estudo foram coletadas na profundidade de 0 – 20 cm, de forma aleatória e com auxílio de enxadão, em dezembro de 2010. Foram coletadas 20 sub-amostras em cada uma das 12 parcelas (20 m x 50 m) (Figura 2), que posteriormente foram homogeneizadas e retirada uma amostra composta por parcela.

Para o estudo dos atributos químicos do solo foram escolhidas nove parcelas, divididas em

três classes distintas por meio de inspeção visual, de acordo com o gradiente topográfico: baixada (parcelas 9, 15 e 16), encosta (parcelas 19, 20 e 22) e topo de morro (parcelas 7, 8 e 21). As demais parcelas (10, 13 e 14) não foram classificadas de acordo com o gradiente topográfico, pois se apresentavam em posições de transição entre os relevos. Contudo essas parcelas foram utilizadas para os estudos de correlações dos teores de nutrientes presentes no solo com os da serapilheira depositada e acumulada.

Foram analisados os seguintes atributos químicos do solo: pH (H₂O), P, K, Na, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, t, T, V, m, ISNa, MO, P-rem, Zn, Fe, Mn, Cu e B segundo a metodologia descrita por EMBRAPA (2009). Os atributos químicos do solo foram interpretados de acordo com a metodologia proposta por Prezotti et al. (2007).

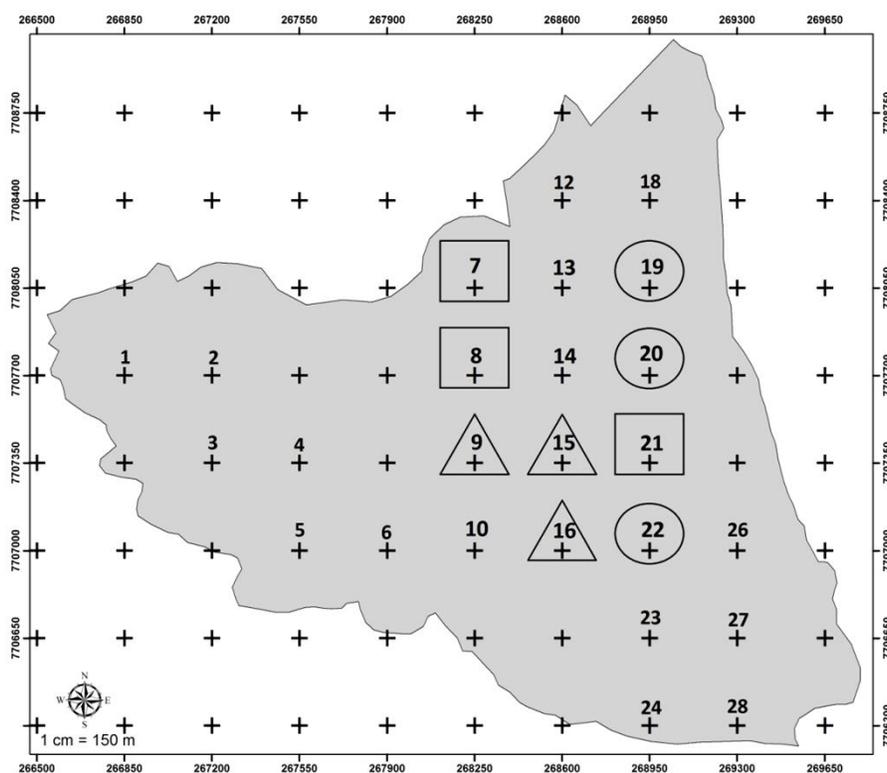


Figura 2 – Localização das parcelas de baixada (Triângulo), encosta (Círculo) e topo de morro (Quadrado), alocadas dentro da Reserva Particular do Patrimônio Natural Cafundó, Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil.

Figure 2 – Location of plots downloaded (Triangle), slope (Circle) and Hill top (Square), allocated within the Reserva Particular do Patrimônio Natural Cafundó, Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brazil.



Serapilheira depositada e acumulada

Para a coleta de serapilheira depositada foram utilizadas as mesmas 12 parcelas escolhidas para a coleta de solo (Figura 2). Em cada parcela foram distribuídos cinco coletores de serapilheira, alocados de forma sistemática dentro da parcela, um próximo a cada vértice e o último, no centro. Estes foram construídos em estrutura de madeira de formato quadrado com 0,5 m de lado e a 0,75 m de altura em relação ao solo, com tela de nylon, em malha de 2 mm, totalizando 60 coletores. Realizaram-se coletas mensais da serapilheira depositada sobre os coletores no período de dezembro de 2009 a novembro de 2010. A serapilheira depositada foi separada em duas frações: (a) galhos: parte da serapilheira constituída apenas de galhos e casca; e (b) folhas/miscelânea: fração da serapilheira constituída de folhas verdes, secas e/ou em estado de decomposição, material reprodutivo, frutos e demais materiais vegetais, os quais não se podiam identificar a origem (GODINHO et al., 2013).

Nesse mesmo período, em cada uma das 12 parcelas foram coletadas mensalmente sobre o piso da floresta, 12 amostras de serapilheira acumulada, de forma aleatória, com o auxílio de um gabarito de metal de 0,25 m x 0,25 m. O material neste caso não foi separado em frações devido ao avançado estado de decomposição, não sendo possível separar as frações com precisão (GODINHO et al., 2014).

Para a obtenção da massa seca, esse material foi colocado em estufa de circulação e renovação de ar a 65 °C até alcançar massa constante. Para a análise dos nutrientes da serapilheira o material seco foi triturado em moinho do tipo Wiley e passadas em peneiras de malha 1,0 mm (20 mesh) para subsequente análise química (TEDESCO et al., 1995; MIYAZAWA et al., 1999). Para realização das análises químicas do material, em cada mês e em cada parcela, as cinco amostras de serapilheira depositada foram unidas formando uma amostra composta. Para a serapilheira acumulada, as amostras compostas foram formadas pelas 12 amostras simples de cada

parcela.

As análises do N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn e Zn de tecido vegetal foram realizadas por digestão úmida, as análises de B foram realizadas por digestão seca e a de Corg por combustão seca. As análises de N foram realizadas por titulação. O N foi determinado pelo método Kjeldahl, chamado também de digestão sulfúrica usando o destilador de nitrogênio. As amostras de P, S e B foram lidas no espectrofotômetro UV-VIS. No espectrofotômetro de absorção atômica (EAA) foram lidas as amostras de K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn e Zn, conforme metodologia descrita por EMBRAPA (2009) e Tedesco et al. (1995).

Análise dos dados

Os atributos químicos do solo dos diferentes gradientes topográficos foram submetidos à análise de variância e posterior comparação de médias utilizando o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foram realizadas análises de correlação de Spearman entre o total de cada nutriente depositado anualmente via serapilheira e a média anual dos nutrientes mantidos sobre o solo na manta de serapilheira, com os teores desses nutrientes disponíveis no solo. Foram também testados modelos por meio de regressão linear múltipla (método dos mínimos quadrados), avaliando atributos como P remanescente, deposição de serapilheira e o N depositado via serapilheira como indicadores do conteúdo de matéria orgânica do solo. Ambas as análises foram realizadas no software SAS 9.2 for Windows (SAS, 2008).

Resultados e Discussão

Atributos químicos do solo

Os valores de pH encontrados neste estudo para as parcelas de baixada (Tabela 1) variaram entre 6,0 e 6,7 (acidez fraca) e os teores de alumínio trocável foram zero, indicando que solo não é considerado ácido e não apresenta

toxidez de alumínio. Isto pode ser confirmado ao analisar o alto valor da Soma de Bases (SB) (entre 3,9 e 9,8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e o baixo valor da acidez potencial (entre 1,0 e 2,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Uma das hipóteses do alto valor da Soma de Bases pode ser em função da queda da serapilheira, bem como, a sua decomposição. Vários estudos em diferentes tipologias florestais evidenciam que a serapilheira acumulada é a principal via de transferência de N, K e Ca para o solo (BORÉM e RAMOS, 2002; CALDEIRA et al., 2007, 2008). Com o acúmulo de matéria orgânica e no estágio final de sua mineralização, a oxidação libera elétrons, podendo ocasionar um aumento no pH (McBRIDE, 1994).

Ressalta-se os valores de pH das parcelas de encosta variando entre 5,2 (acidez média) e 6,1 (acidez fraca) e os teores de alumínio muito baixos, indicando que na parcela 19 o solo pode ser considerado relativamente ácido, mas não apresenta toxidez por alumínio. Sendo corroborado pelos baixos valores das Somas de Bases (entre 2,1 e 5,4 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e valores mais elevados da acidez potencial (entre 1,4 e 2,7 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Nas parcelas de topo de morro os valores de pH variaram entre 4,8 (acidez elevada) e 5,9 (acidez média) e os teores de alumínio foram muito baixos, indicando que em algumas parcelas o solo pode ser considerado ácido, mas não apresenta toxidez de alumínio. Sendo evidenciado também pelos baixos valores das Somas de Bases (entre 1,6 e 4,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e o alto valor da acidez potencial (entre 1,2 e 3,6 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Estudando um fragmento florestal de Mata Atlântica em sucessão secundária em relevo ondulado e declividade em torno de 35 cm m^{-1} , com espécies em diferentes estágios sucessionais (capoeira), Gama-Rodrigues et al. (2008), observaram um valor de pH de 4,35, resultado inferior aos desta pesquisa. Benites et al. (2010) encontraram um valor de pH de 4,8 em um fragmento de Mata Atlântica (estágio avançado de sucessão), no município de Bom Jardim, RJ, sendo igual ao pH da parcela 7 e inferior às demais.

Com o aumento das chuvas o pH tende a se elevar, pois ocorre maior diluição dos compostos dissolvidos, além de escoamento mais rápido. Isso é causado pelo aumento no volume de água que faz com que a acidez da água diminua (CARVALHO et al., 2000). Dessa forma, como a água tende a se acumular nas áreas de baixada, o pH do solo é geralmente mais elevado que nas parcelas de topos de morro e encostas. Ao estudar uma floresta tropical úmida de terra firme de relevo predominantemente plano com partes suavemente onduladas, no estado de Amapá, Oliveira (2012) verificou correlação negativa entre a declividade do terreno e o pH do solo.

No presente estudo, a CTC efetiva (t) das parcelas de baixada pode ser interpretada como média para a parcela 15 e alta para as parcelas 9 e 16, variando de 3,9 a 9,8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Entretanto, o teor de matéria orgânica do solo (MOS) foi considerado alto para a parcela 9 (45 g kg^{-1}) e médio para as parcelas 15 e 16 (21 g kg^{-1} e 26 g kg^{-1} , respectivamente). Nas parcelas de encosta a CTC efetiva (t) foi classificada como baixa para a parcela 19 e média para as parcelas 20 e 22, variando de 2,4 a 5,4 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Já o teor de matéria orgânica (MO), para as parcelas 19 e 20, foi considerado médio e, para a parcela 22, foi considerado alto. Para as parcelas de topo de morro a CTC efetiva (t) foi interpretada como média para as parcelas 8 e 21 e baixa para a parcela 7, variando de 2,2 e 4,4 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Já o teor de MO, para as parcelas 7 e 8, foi considerado médio e, para a parcela 21, foi considerado alto.

Em solos de regiões de clima tropical a MOS, mesmo que em pequenas quantidades, contribui com mais de 50% da CTC devido à reduzida atividade das argilas (PREZOTTI et al., 2007). O teor de MOS, assim como o carbono orgânico do solo (COS) tem sido utilizado como indicador de alterações do solo, sendo menor em condições estressantes. Um dos principais motivos da estabilidade dos teores de MOS no presente estudo é principalmente devido à queda de folhas e galhos durante o ano (GODINHO et al., 2013).

Estudando a Floresta Ombrófila Mista



Montana com vegetação densa, pouco degradada e com solos úmidos, em condições de drenagem deficientes, em Irati, PR, Oliveira (2010) verificou um teor de MOS de 53,6 e 42,21 g dm⁻³ nas profundidades de 0 – 5 cm e 15 – 30 cm, respectivamente, sendo estes valores superiores aos da presente pesquisa. Em uma Floresta Densa de Terra Firme Amazônica, com uma composição florística bastante heterogênea, porém com solo ácido e de baixa fertilidade natural, Ferreira et al. (2006) encontraram valores de MOS para as camadas de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm iguais a 4,24 e 2,82 g dm⁻³, respectivamente. Os resultados deste estudo mostram valores de MOS superiores, variando entre 19 e 45 g kg⁻¹. Os teores de MOS mostraram-se bem próximos entre as

parcelas de baixada (média = 31 g kg⁻¹), encosta (média = 24 g kg⁻¹) e topo (média = 28 g kg⁻¹), mas as parcelas de baixada apresentaram, em geral, maiores teores de MOS.

Exceto para fósforo, não houve diferença estatística nos teores disponíveis de macro e micronutrientes nos diferentes gradientes topográficos. Para o fósforo, a maior disponibilidade (p=0,0316) foi observada nas áreas de baixada. Os teores de fósforo encontrados para as parcelas de baixada estão entre 5,0 e 9,0 mg dm⁻³, encosta todos foram de 3,0 mg dm⁻³ e topo de 3,0 a 6,0 mg dm⁻³. Valores esses que são interpretados como sendo de baixo teor.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo para profundidade de 0 – 20 cm das parcelas estudadas na Floresta Estacional Semidecidual Submontana, Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil.

Table 1 - Soil chemical attributes to depth of 0 – 20 cm of the studied plots in the Submontane Seasonal Semideciduous Forest, Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brazil.

Parcela	pH ⁽¹⁾	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	t	T	V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	
	H ₂ O	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³					%			gkg ⁻¹	mg dm ⁻³								
Baixada	9	6,0	9	120	17	7,7	1,7	0,0	2,0	9,8	9,8	11,8	83	0	0,1	45	31	7,9	171	133	1,1	0,55
	15	6,3	5	32	8	3,2	0,6	0,0	1,2	3,9	3,9	5,1	76	0	0,1	21	45	5,3	71	144	0,6	0,26
	16	6,7	7	75	10	4,9	1,1	0,0	1,0	6,2	6,2	7,2	86	0	0,1	26	44	4,5	23	176	0,5	0,47
	Média	6,3 ⁽²⁾	7 ⁽³⁾	76	12	5,3	1,1	0,0	1,4	6,6	6,6	8,0	82	0	0,1	31	40	5,9	88,3	151	0,7	0,43
Encosta	19	5,2	3	66	13	1,5	0,4	0,3	2,7	2,1	2,4	4,9	44	12	0,1	21	40	1,3	74	40	0,6	0,47
	20	5,8	3	62	8	2,1	0,6	0,0	2,0	2,9	2,9	4,9	59	0	0,1	19	44	4,7	73	83	0,7	0,33
	22	6,1	3	81	10	4,0	1,2	0,0	1,4	5,4	5,4	6,9	79	0	0,1	32	44	6,7	14	136	0,5	0,66
	Média	5,7	3 ^b	70	10	2,5	0,7	0,1	2,0	3,5	3,6	5,6	61	4	0,1	24	43	4,2	53,7	86	0,6	0,49
Topo de Morro	7	4,8	3	57	10	1,0	0,4	0,6	3,6	1,6	2,2	5,2	31	27	0,1	26	30	1,1	96	34	0,4	0,30
	8	5,9	6	56	13	3,6	0,7	0,0	1,2	4,4	4,4	5,6	78	0	0,1	24	45	5,7	22	157	0,6	0,26
	21	5,7	3	82	10	3,2	1,0	0,0	2,4	4,5	4,4	6,8	65	0	0,1	34	39	5,6	82	132	0,5	0,41
	Média	5,5	4 ^b	65	11	2,6	0,7	0,2	2,4	3,5	3,7	5,9	58	9	0,1	28	38	4,1	66,7	108	0,5	0,32
Não classificada	10	5,9	6	65	9	2,7	0,8	0,0	1,4	3,7	3,7	5,1	72	0	0,1	26	45	4,9	120	76	0,7	0,29
	13	6,3	18	72	11	2,6	0,6	0,0	1,2	3,4	3,4	4,6	74	0	0,1	24	49	3,2	65	148	0,6	0,27
	14	6,7	33	59	9	3,2	0,4	0,0	0,9	3,8	3,8	4,7	82	0	0,1	16	49	13	15	175	0,9	0,34
	Média	6,3 ⁽⁴⁾	19	65,3	9,7	2,8	0,6	0,0	1,2	3,6	3,6	4,8	76	0	0,1	22	47,7	7	66,7	133	0,7	0,30

⁽¹⁾pH em água - Relação 1:2,5; P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich-1; Ca - Mg - Al - Extrator KCL - 1mol L⁻¹; H + Al - Correlação com pH SMP; B - Extrator água quente; SB - Soma de bases trocáveis; t - Capacidade de troca catiônica efetiva; T - Capacidade de troca catiônica a pH 7 (CTC); V - Índice de saturação em bases; m = Índice de saturação em alumínio; ISNa - Índice de saturação em sódio; MO - Matéria orgânica (C.org x 1,724); P-rem - Fósforo remanescente ou de equilíbrio; ⁽²⁾Ausência de letras associadas às médias, na coluna, indicam diferença não significativas, pelo teste de Tukey (P>0,05); ⁽³⁾Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05); ⁽⁴⁾As parcelas não classificadas de acordo com o gradiente topográfico não foram utilizadas nas análises estatísticas dos atributos químico do solo.

Estudo realizado por Benites et al. (2010), mostraram que o fragmento de Mata Atlântica (estágio avançado de sucessão), em Bom Jardim, RJ, apresentou teor de fósforo de 4,2 mg kg⁻¹. Já, Rodrigues et al. (2010), ao estudar uma floresta nativa nunca manejada, apresentando dossel denso e bem formado com uma maior camada de serapilheira e uma que sofreu queima e encontra-se no estágio de capoeira na fazenda São Paulo da Serra, em Campo Verde, MT, encontraram teores de fósforo iguais a 2,56 mg dm⁻³ e 2,51 mg dm⁻³, respectivamente.

Os teores do potássio nas parcelas de baixada foram de 32 a 120 mg dm⁻³ (média de 75,7 mg dm⁻³), encosta 62 a 81 mg dm⁻³ (média de 69,7 mg dm⁻³) e topo 56 a 82 mg dm⁻³ (média de 65,0 mg dm⁻³). As parcelas de baixada foram interpretadas como médio teor (parcela 9 e 16) e baixo teor (parcela 15), as de encosta foram todas de médio teor (parcela 19, 20 e 22) e as de topo como de baixo teor (parcela 7 e 8) e médio teor (parcela 21). Alvarenga (1996) observou que ecossistemas que não receberam constante aporte de nutrientes apresentaram propriedades químicas desfavoráveis em relação ao ecossistema original. Oliveira (2010) verificou teores de K variando entre 191 e 113 mg dm⁻³ nas profundidades de 0 – 5 cm e 15 – 30 cm, respectivamente.

A sequência dos teores de macronutrientes, em ordem decrescente, observada nas parcelas de baixada, encosta e topo foi: Ca > Mg > K > P. Já, as sequências dos teores de micronutrientes, em ordem decrescente, observadas nas parcelas de baixada, encosta e topo não foram às mesmas, sendo para as parcelas de baixada: parcela 9 (Fe > Mn > Zn > Cu > B) e parcela 15 e 16 (Mn > Fe > Zn > Cu > B); encosta: parcela 19 (Fe > Mn > Zn > Cu > B), parcela 20 (Mn > Fe > Zn > Cu > B) e parcela 22 (Mn > Fe > Zn > B > Cu); e topo: parcela 7 (Fe > Mn > Zn > Cu > B) e parcela 8 e 21 (Mn > Fe > Zn > Cu > B).

A CTC efetiva (t) ocupada por alumínio, representada pela saturação de alumínio (m), observada na parcela 7 (topo de morro) foi

classificada como média (27%) e na parcela 19 (encosta) foi classificada como baixa (12%), enquanto que nas parcelas de baixada a saturação de alumínio (m) foi igual a zero. Mesmo duas parcelas apresentando valores de m diferente das demais, não houve diferença estatística, pois se considera as médias dos gradientes topográficos e também por haver um alto coeficiente de variação.

A textura do solo pode ser estimada em função do fósforo remanescente (P-rem). Sendo assim, esta pesquisa apresentou os seguintes resultados para a textura do solo nas parcelas de baixada: parcela 9 textura média (31 mg dm⁻³ P-rem) e parcelas 15 e 16 textura arenosa (45 e 44 mg dm⁻³ P-rem, respectivamente); encosta: parcela 19, 20 e 22 textura arenosa (40, 44 e 44 mg dm⁻³ P-rem, respectivamente); e topo; parcela 8 textura arenosa (45 mg dm⁻³ P-rem) e parcelas 7 e 21 textura média (30 e 39 mg dm⁻³ P-rem, respectivamente). A textura, estrutura e porosidade do solo são fatores determinantes para o armazenamento e a mobilidade dos nutrientes no perfil do solo (PREZOTTI et al., 2007).

As parcelas de baixada demonstraram-se mais férteis e menos ácidas, atributos que podem ser devido a um maior acúmulo de água e sedimentos provenientes das partes elevadas do relevo, sendo a maior parte do solo e nutrientes removidos das encostas redistribuídos para as várzeas (SANTOS e SALCEDO, 2010). Essas relações entre atributos do solo com o relevo do terreno é resultado de uma complexa inter-relação, envolvendo características químicas e físicas do solo (RICHTER et al., 2011).

Correlação entre os nutrientes do solo e da serapilheira

Para as análises de correlações, utilizaram-se dados de trabalhos realizados na mesma área do presente estudo. Os dados dos conteúdos dos macro e micronutrientes aportados e acumulados via serapilheira são apresentados na Tabela 2.



Tabela 2 - Conteúdo médio de macro e micronutrientes aportados e acumulados via serapilheira na Floresta Estacional Semidecidual Submontana, Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil.

Table 2 - Average content of macro and micronutrients by addition and accumulated litter in the Submontane Seasonal Semideciduous Forest, Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brazil.

	Macronutrientes				Fonte	
	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹					
	P	K	Ca	Mg		
Conteúdo depositado	8,91	67,66	216,91	27,33	Godinho et al., 2013	
Conteúdo acumulado	4,14	14,03	161,03	12,10	Godinho et al., 2014	
	Micronutrientes					Fonte
	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹					
	Fe	Cu	Mn	B	Zn	
Conteúdo depositado	2,3206	0,0555	2,0540	0,5147	0,2402	Godinho, 2011
Conteúdo acumulado	7,0686	0,0400	1,6170	0,2091	0,1712	

O teor de matéria orgânica do solo das áreas de estudo não se correlacionou com a biomassa de serapilheira depositada ($r=0,413$), com a biomassa de serapilheira acumulada ($r=-0,046$), e nem com a relação C/N da serapilheira depositada e acumulada ($r=0,293$ e $0,198$ respectivamente). Porém analisando a biomassa e o conteúdo de N depositado via serapilheira juntamente com o P remanescente por uma análise de regressão linear múltipla, observa-se que esses atributos explicam satisfatoriamente ($r^2=0,789$, $p<0,005$) as variações dos teores de matéria orgânica do solo dentro da faixa estudada, podendo ser modelado por meio da Equação 1.

$$\text{MOS} = 54,131 - 1,135 \text{ Prem} + 0,008 \text{ SERdep} - 0,290 \text{ Ndep eq. (1)}$$

Sendo: MOS – matéria orgânica do solo; Prem – fósforo remanescente; SERdep – massa da serapilheira depositada; Ndep – nitrogênio depositado via serapilheira.

O teores de P, Ca e Mg disponíveis no solo apresentaram correlação significativa e positiva com a deposição anual desses nutrientes via serapilheira. Já os teores de K, Fe, Cu, Mn, B e

Zn disponíveis no solo não se correlacionaram. O conteúdo médio de nutrientes contidos na serapilheira acumulada sobre o solo se correlacionou apenas com o teor de P disponível no solo, não se correlacionando com nenhum dos demais nutrientes (Tabela 3).

Assim como evidenciado por Espig et al. (2008), os nutrientes contidos na manta orgânica acumulada sobre o solo não se correlacionaram com os teores de nutrientes disponíveis na camada de 0 – 20 cm do solo, exceto para P. Porém quando analisado os teores dos nutrientes depositados anualmente sobre o solo via serapilheira com os disponíveis no solo melhores correlações são encontradas. Esse fato é justificado, pois a dinâmica de mineralização de cada nutriente é distinta, e a serapilheira acumulada sobre o solo encontra-se em diferentes estágios de decomposição. A esse respeito tem-se o exemplo do K que, por não fazer parte de nenhum composto dentro das plantas, tem-se sua liberação iniciada antes mesmo da queda do tecido.

Tabela 3 - Coeficiente de correlação de Spearman dos teores de nutrientes do solo com o total de nutrientes depositados via serapilheira e média do conteúdo de nutrientes acumulados na serapilheira (n=12).

Table 3 - Spearman correlation coefficient of the nutrient content of the soil with the total deposited nutrients by litter and average nutrient content accumulated in the litter (n=12).

Serapilheira	Solo								
	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	B	Zn
Acumulada	0,745 **	0,392 ns	0,387 ns	0,382 ns	0,469 ns	0,065 ns	-0,448 ns	0,470 ns	-0,203 ns
Depositada	0,756 **	0,441 ns	0,585 *	0,582 *	0,028 ns	0,068 ns	-0,301 ns	0,168 ns	0,266 ns

ns = não significativo, ** = significativo a nível de 1% de probabilidade e * = significativo a nível de 5% de probabilidade.

Este comportamento é compreensível, pois este elemento encontra-se nos vegetais principalmente na forma iônica, sendo, portanto, altamente suscetível ao processo de lavagem (ARCOVA e CICCIO, 1987; VITAL et al., 2004). Fato esse que justifica a ausência de correlação significativa com a biomassa acumulada e depositada.

Outra justificativa para a ausência de correlação dos nutrientes contidos na serapilheira acumulada com os teores de nutrientes disponíveis na camada de 0 – 20 cm do solo seria a grande quantidade de raízes que se desenvolvem entre o solo e a manta orgânica. Essas raízes presentes na manta orgânica absorvem os nutrientes assim que eles são mineralizados, não chegando a se tornarem disponíveis no solo. Menezes et al., (2010) estimou a biomassa de raízes finas ($\leq 2,0$ mm de diâmetro) na camada de 0 – 10 cm do solo em três estádios de floresta secundária, e verificou no período chuvoso, uma biomassa de $1,74 \text{ Mg ha}^{-1}$ (inicial), $1,48 \text{ Mg ha}^{-1}$ (médio), $2,61 \text{ Mg ha}^{-1}$ (avançado) e no período seco uma biomassa de $2,14 \text{ Mg ha}^{-1}$ (inicial), $2,37 \text{ Mg ha}^{-1}$ (médio) e $3,69 \text{ Mg ha}^{-1}$ (avançado).

Agradecimentos

Aos proprietários da Reserva Cafundó, em especial ao Sr. Luiz Soares Nascimento. Ao chefe do Centro Regional de Desenvolvimento Rural – Centro Serrano do INCAPER, Dr. Mauro de Sousa Balbino e ao responsável pelo Laboratório de Análises de Solos e Plantas do INCAPER, Dr. Luiz Carlos Prezotti, pela concessão das análises de tecido vegetal e solo. Aos amigos que pude fazer no laboratório, João, Carlos, Alvim e Ézio, suas ajudas foram essenciais para a realização desse trabalho. A Fíbria S/A e a CAPES pela concessão de bolsas.

Conclusões

Os solos da Floresta Estacional Semidecidual

apresentam, em geral, média a alta fertilidade na camada de 0 – 20 cm, apresentando teores médios a altos de matéria orgânica e baixos teores de fósforo. Exceto para fósforo não houve diferença na disponibilidade de nutrientes em função do gradiente topográfico, apresentando as maiores disponibilidades nas parcelas de baixada.

Os teores de P, Ca e Mg disponíveis no solo apresentaram correlação significativa e positiva com a deposição anual desses nutrientes via serapilheira e o conteúdo médio de nutrientes contidos na serapilheira acumulada sobre o solo se correlacionou apenas com o teor de P disponível no solo.

Referências

ALVARENGA, M. I. N. **Propriedades físicas, químicas e biológicas de um Latossolo Vermelho-Escuro em diferentes ecossistemas.** 1996. 211f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 1996.

ARCHANJO, K. M. P. A. et al. Estrutura do componente arbóreo da Reserva Particular do Patrimônio Natural Cafundó, Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo, Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 145-160, 2012.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Fluxo de nutrientes através da precipitação interna e escoamento pelo tronco em floresta natural secundária no Parque Estadual da Serra do Mar, Núcleo Cunha, SP. **Boletim Técnico do Instituto Florestal**, São Paulo, v.41, n.1, p.37-58, março, 1987.

ATTIWILL, P. M. Forest nutrient cycling. In: NIERENBERG, W. A. (Ed.) **Encyclopedia of Environmental Biology**, San Diego, p. 625-39. Academic Press, 1995.

BENITES, V. M. et al. Análise discriminante de solos sob diferentes usos em área de mata Atlântica a partir de atributos da matéria orgânica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 4,



p. 685-690, 2010.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C. Qualidade física de um Latossolo Vermelho em recuperação há dezessete anos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 4, p. 329-336, 2012.

BORÉM, R. A. T.; RAMOS, D. P. Variação estacional e topográfica de nutrientes na serapilheira de um fragmento de mata atlântica. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 42-59, 2002.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Quantificação de serapilheira e de nutrientes – Floresta Ombrófila Mista Montana – Paraná. **Revista Acadêmica**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 101-116, 2007.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 53-68, 2008.

CARVALHO, A. R.; SCHLITTLER, F. H. M.; TORNISIELO, V. L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 5, p. 618-622, 2000.

DUVIGNEAUD, P. A **Síntese Ecológica**. Ed. Socicultur, 1974. 165p.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ª ed. rev. ampl. – Brasília: Embrapa informação Tecnológica, 2009. 627p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

ESPIG, S. A. et al. Distribuição de nutrientes entre a vegetação florestal e o solo em fragmento de mata Atlântica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 3, n. 2, p. 132-137, 2008.

FERREIRA, S. J. F. et al. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia Central submetida à extração seletiva de madeira. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 1, p. 59-68, 2006.

GAMA-RODRIGUES, E. F. et al. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1521-1530, 2008.

GODINHO, T. de O. et al. Biomassa, macronutrientes e carbono Orgânico na serapilheira depositada em trecho de floresta Estacional Semidecidual Submontana, ES. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 131-144, 2013.

GODINHO, T. de O. et al. Quantificação de biomassa e de nutrientes na serapilheira acumulada em trecho de floresta estacional semidecidual submontana, ES. **Cerne**, Lavras, v.20, n.1, p., No prelo 2014.

GODINHO, T. de O. **Quantificação de biomassa e de nutrientes na serapilheira em trecho de floresta estacional semidecidual submontana, Cachoeiro de Itapemirim, ES**. 2011 114f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo; Jerônimo Monteiro. 2011.

GOLLEY, F. B. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida**. São Paulo, EPU: EDUSP, 1978. 256p.

IBGE. **Projeto RADAM**. V. 34. Folha SE 24 Rio Doce. Rio de Janeiro, 1987. 540p.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. Disponível em: <http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/caracterizacao/cacho_itap_carac.php> Acesso em: 15 jan. 2013.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. **The dynamics**

- of soil quality as a measure of sustainable management.** In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F. STEWART, B. A. (Ed.) *Defining soil quality for a sustainable environment.* Madison, Soil Science Society of America, Special Publication Number 35, 1994. p. 37-51.
- McBRIDE, M. B. **Environmental chemistry of soils.** New York, Oxford University Press, 1994. 406p.
- MENEZES C. E. G. et al. Aporte e decomposição da serapilheira e produção de biomassa radicular em florestas com diferentes estádios sucessionais em Pinheiral, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 439-452, 2010.
- MIRANDA, C. C.; CANELLAS, L. P.; NASCIMENTO, M. T. Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de Mata Atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 905-916, 2007.
- MIYAZAWA, M. et al. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F.C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília: Embrapa Solos, 1999. p. 171-223.
- MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLEMBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology.** New York: J. Wiley Sons, 1974. 547 p.
- OLIVEIRA, L. L. **Interações da estrutura da vegetação com a topografia e solo na Floresta Nacional do Amapá.** 2012. 103 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade Tropical) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Macapá. 2012.
- OLIVEIRA, L. P. **Carbono e nutrientes no solo e na serapilheira em Floresta Ombrófila Mista Montana e plantio de Pinus elliottii Engelm.** 2010. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati. 2010.
- PEZZOPANE, J. E. M. et al. Espacialização da temperatura do ar no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 12, n. 1, p. 151-158, 2004.
- PREZOTTI, L. C. et al. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª aproximação.** Vitória, ES, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.
- RICHTER, R.L. et al. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um latossolo sob plantio direto influenciados pelo relevo e profundidade de amostragem. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 13, p. 1043-1059, 2011.
- RODRIGUES, A. B. C. et al. Atributos químicos em solo sob floresta nativa e capoeira. **Uniciências**, v. 14, n. 1, p. 23-38, 2010.
- SANTOS, A. C.; SALCEDO, I.H. Fertilidade nas áreas de várzea e topo de em função do uso do solo e posição do relevo. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v. 10, n. 2, p. 83-90, 2010.
- SAS Institute Inc. 2008. **SAS/STAT® 9.2 User's Guide.** Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SWITZER, G. L.; NELSON, L. E. Nutrient accumulation and cycling in Loblolly Pine (*Pinus taeda*) plantation ecosystems: The first 20 years. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 36, p. 143-147, 1972.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2. ed. Ver. E ampl. - Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: **Tópicos em Ciências do Solo**, Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, v. 2,



2002. p. 195-276.

VITAL, A. R. T. et al. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, p. 793-800, 2004.