

Estoque de carbono no solo ao longo de um gradiente altitudinal em Floresta Ombrófila Densa Montana, ES ⁽¹⁾.

**Kallil Chaves Castro⁽²⁾; Marcos Vinicius Winckler Caldeira⁽³⁾; Diêgo Gomes Júnior⁽⁴⁾
William Macedo Delarmelina⁽⁴⁾; José Renato Azedias Campos⁽⁴⁾; Apeles Costa
Ribeiro⁽⁴⁾**

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos financiado pelo Projeto Universal CNPq nº 475471/2011-3.

⁽²⁾ Doutorado em Ciências Florestais; Universidade Federal do Espírito Santo; Jerônimo Monteiro, Espírito Santo; Kallil_florestal@yahoo.com.br; ⁽³⁾ Professor D.Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; Jerônimo Monteiro, ES; ⁽⁴⁾ Doutorando; Universidade Federal do Espírito Santo; ⁽⁴⁾ Graduandos em Engenharia Florestal; Universidade Federal do Espírito Santo;

RESUMO: Estudos relacionados à dinâmica de matéria orgânica e carbono estocado no solo em ecossistemas naturais, permite uma maior compreensão dos processos que envolvem esses atributos, propiciando o desenvolvimento de técnicas que melhorem o manejo dos solos. Este trabalho teve como objetivo quantificar o estoque de carbono no Solo de uma Floresta Ombrófila Densa Montana, ES. Este estudo foi realizado em sete parcelas instaladas no Parque Nacional do Caparaó. Foram coletadas amostras de solo na camada 0-05 e 05-10 cm de profundidade para análise do teor de carbono, e amostras de 0-10 cm de profundidade para calcular a densidade do solo (Ds). Foi calculado o estoque de carbono para a camada superficial do solo. A diferença entre o estoque de carbono das parcelas foi testada por meio do Teste Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) de probabilidade. Foi utilizada a Correlação de Pearson (r) para relacionar a altitude das parcelas, o teor de matéria orgânica, a densidade do solo e o estoque de carbono. Observou-se diferença na densidade do solo entre as parcelas dois e sete, sendo a densidade negativamente correlacionada com o teor de carbono das parcelas. Não existiu diferença entre o estoque de carbono das parcelas, sendo a sua correlação moderada com a densidade do solo. Concluiu-se que a densidade demonstrou ser um bom atributo para a estimativa do estoque de carbono no solo.

Termos de indexação: Matéria orgânica, Fertilidade do solo, Parque Nacional do Caparaó.

INTRODUÇÃO

Os solos sob vegetações naturais apresentam equilíbrio no estoque de carbono como resultado do balanço entre a entrada de carbono pelo aporte de matéria orgânica e pela saída por decomposição e respiração microbiana, sendo os teores de carbono no solo nestas situações praticamente constantes ao longo do tempo (D'ANDRÉA et al., 2004; COSTA et al., 2006).

Os estudos relacionados a matéria orgânica do solo podem ser utilizados como indicadores de qualidade do ecossistema, permitindo inferir sobre o estoque de carbono do solo, principalmente quando relacionado às mudanças climáticas globais (COSTA et al., 2008).

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo quantificar o estoque de carbono ao longo de um gradiente altitudinal em uma Floresta Ombrófila Densa Montana no Parque Nacional do Caparaó, ES.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudos

A área amostral está localizada na porção sul do Parque Nacional do Caparaó, nas proximidades do município de Ibitirama, ES. O Parque compreende uma área de 318,03 km² sendo localizado entre as coordenadas 20°19' - 20°37' S e 41°43' - 41°53' W, na divisa dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Sua maior extensão está acima de 2.000 m de altitude (MAZINE; SOUZA, 2007) (**Figura 1**).

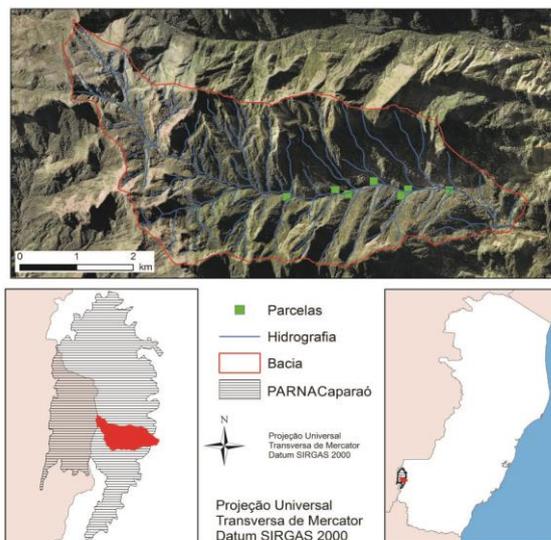


Figura 1 – Área de Estudo no Parque Nacional do Caparaó; delimitação da microbacia, hidrografia, e posição das parcelas, ES. Fonte: Castro (2014).



O Parque caracteriza-se por ter um clima da região do tipo Cwb, tropical de altitude/subtropical (ALVARES et al., 2013). As temperaturas médias anuais estão entre 19°C a 22°C. A pluviosidade média varia entre 1.000 a 1.500 mm anuais, concentrada principalmente durante o verão (IBDF, 1981).

Na extensão do Parque são observados solos do tipo: Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, Latossolo Vermelho Distrófico, Latossolo Amarelo Distrófico húmico, Argissolo Vermelho Amarelo, Neossolo Regoítico Húmico Típico, Neossolo Litólicos Húmico Típico, Organossolos Háplico Sáprico Típico, e Cambissolos Húmicos Distróficos Típicos (IBDF, 1981; EMBRAPA, 2013, Rodrigues, 2011).

Na área de estudo encontram-se sete unidades amostrais com dimensões de 20x50m distribuídas ao longo de um gradiente altitudinal (**Tabela 1**).

Tabela 1 – Distribuição altitudinal, declividade e face de exposição das parcelas implantadas em Floresta Ombrófila Densa Montana no Parque Nacional do Caparaó, ES.

UA	Altitude (m)	Declividade média (%)	Declividade média (°)	Face de exposição
P1	1.112	69,55	34,82	NE/L
P2	1.219	58,29	30,24	L/SE
P3	1.302	75,00	36,87	NE
P4	1.319	75,00	36,87	L
P5	1.391	48,24	25,75	N
P6	1.420	73,39	36,27	S/SE
P7	1.550	127,73	51,94	NE

Fonte: Castro (2014).

Amostragem

Para a análise de C_{org} (carbono orgânico) no solo de cada unidade amostral, após a retirada da camada de folhas sobre o solo no local de coleta, procedeu-se com a coleta aleatória de 12 amostras deformadas de solo nas camadas 0-5 e 05-10 cm de profundidades. As amostras de cada parcela por profundidade foram homogeneizadas, dando origem a amostras compostas.

As amostras de solo de cada uma das parcelas foram encaminhadas para o Laboratório de Recursos Hídricos do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA/UFES) com posterior preparo da Terra Fina Seca ao Ar.

A determinação do C_{org} foi realizada segundo metodologia proposta por Yeomans e Bremner (1988) e adaptada por Mendonça e Matos (2005),

sendo feita por meio da oxidação da matéria orgânica por via úmida, utilizando-se solução de $K_2Cr_2O_7$.

Para obter a densidade do solo foram coletadas amostras de solo com estrutura indeformada com um amostrador de Uhland tendo em seu interior anéis de aço com volume interno conhecido.

A amostragem foi realizada na camada superficial do solo, 0-10 cm de profundidade, coletando-se três repetições por parcela.

A determinação da densidade do solo ($g\ cm^{-3}$) foi realizada segundo EMBRAPA (1997), onde as amostras foram secas em estufa a 105 °C por 24 horas, com posterior pesagem em balança de precisão de 0,0001 g. O cálculo da densidade foi feito pela expressão: $Ds = a/b$. Em que: **Ds** é a Densidade do solo ($g\ cm^3$); **a** é a Massa da amostra seca (g); e **b** é o volume do cilindro (cm^3).

Estoque de Carbono

O estoque de carbono (EstC) para a camada 0-10 cm do solo de cada parcela foi calculado pela seguinte equação: $EstC = (C_{org0-5} + C_{org5-10}) * Ds * (e/10)$. Onde: **EstC** = Estoque de Carbono Orgânico na camada 0-10 cm ($Mg\ ha^{-1}$); C_{org0-5} = Carbono Orgânico ($g\ kg^{-1}$) da camada 0-5 cm; $C_{org5-10}$ = Carbono Orgânico ($g\ kg^{-1}$) da camada 5-10 cm; **Ds** = Densidade do solo na camada 0-10 cm ($g\ cm^{-3}$); e **e** = Espessura da camada 0-10 cm.

Análise estatística

A comparação da densidade do solo e do estoque de carbono das parcelas foi realizada por meio de testes não paramétrico de comparações múltiplas de Kruskal-Wallis ao nível de 5% de probabilidade.

Para verificar a existência de correlações entre a densidade do solo, o estoque de carbono, a variação altitudinal, e o teor de carbono, foi realizada a Correlação de Pearson (r). Os valores dos coeficientes de correlações foram classificados segundo propostas de Shimakura (2006) (**Tabela 2**).

Tabela 2 – Classificação do coeficiente de correlação de Pearson.

r^*	Interpretação
0,00 a 0,19	Correlação bem fraca
0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

*Correlação de Pearson em módulo, Fonte: Shimakura (2006)

As análises foram realizadas no programa Assistat versão 7.7.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observando os resultados apresentados na Tabela 3, notou-se diferença significativa para a densidade do solo somente entre as parcelas dois e sete, sendo respectivamente o maior e o menor valor observado para a densidade do solo.

Tabela 3 – Teor de C_{org} , Densidade do solo e estoque de carbono para a camada superficial do solo em gradiente altitudinal em Floresta Ombrófila Densa Montana no Parque Nacional do Caparaó, ES.

Parcela	Altitude (m)	Teor C_{org}	D_s^3	$EstC^4$
		$g\ kg^{-1}$	$kg\ dm^{-3}$	$Mg\ ha^{-1}$
P1	1.112	37,54	0,36ab ¹	13,67 ns ²
P2	1.219	42,54	0,69 a	29,37 ns
P3	1.302	57,9	0,34 ab	19,48 ns
P4	1.319	82,89	0,40 ab	32,85 ns
P5	1.391	97,86	0,24 ab	23,27 ns
P6	1.420	127,11	0,15 ab	18,69 ns
P7	1.550	151,42	0,09 b	13,82 ns
Média			0,32	21,59
*CV%			67,93%	48,77%

(¹) Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Kruskal-Wallis ($p < 0,05$); (²) Não significativo; (³) Valor médio da densidade do solo; (⁴) Valor médio do estoque de carbono. *Coeficiente de variação

Estudando solos altimontanos na Serra da Igreja, Paraná, Scheer et al. (2011), tanto para os solos sobre Campos de Altitude quanto para a Floresta Altimontana, observam valores de densidade do solo para camada superficial bem próximo aos encontrados neste estudo, mas com variação entre 0,07 até 1,17 $g\ cm^{-3}$.

Segundo diversos autores, a redução da densidade dos solos pode estar relacionada ao maior teor de matéria orgânica presente nos mesmos (SÁ; PEREIRA & FONTANA, 2003; ARAÚJO; TORMENA E SILVA, 2004; GUARIZ et al., 2009; RODRIGUES et al., 2012).

Corroborando com esta afirmação, a correlação negativa e forte existente entre a Densidade do solo e o C_{org} (Tabela 4), demonstra que quanto maior o teor de carbono no solo, e conseqüentemente maior teor de matéria orgânica, menor a densidade do solo.

O $EstC$ observado para as parcelas na área de estudo não apresentou diferença entre as médias, sendo o maior valor observado na parcela quatro, e os menores para as parcelas um e sete (Tabela 3).

Tabela 4 – Correlação de Pearson entre a Altitude das parcelas, o teor de carbono orgânico (C_{org}), a densidade do solo (D_s) e o estoque de Carbono

($EstC$), em Floresta Ombrófila Densa Montana no Parque Nacional do Caparaó, ES.

	C_{org}	D_s	$EstC$
Altitude	0,95	-0,73	-0,17
C_{org}		-0,82	-0,28
D_s			0,64

Os valores do estoque de carbono deste estudo tendem a ser superiores aos estudos realizados em fisionomias florestais nativas de caráter montano ou altimontano, entretanto outras fisionomias florestais demonstram ter valores superiores de $EstC$.

No estudo realizado por Scheer et al. (2011), tanto em relação aos Campos Altimontanos, quanto a Floresta Ombrófila Densa Altimontana, foram observados valores do estoque de carbono inferiores a este estudo. Nos Campos Altimontanos, no horizonte superficial, entre 14 e 21 cm de profundidade, o $EstC$ médio foi 9,5 $Mg\ ha^{-1}$, e para a floresta, na camada de 15 cm de profundidade o $EstC$ médio foi 5,19 $Mg\ ha^{-1}$.

Rangel e Silva (2007) observaram valores superiores a este estudo, sendo 33,95 $Mg\ ha^{-1}$ no estoque na camada 0-10 cm de profundidade em uma Floresta Estacional Semidecidual. Em áreas do Pantanal Sul-Mato-Grossense, Cardoso et al. (2011) relatam que o $EstC$ da Floresta Estacional Semidecidual foi superior a demais formações nativas estudadas por ele, 22,04 $Mg\ ha^{-1}$ na camada 0-10 cm de profundidade, seguida pelo Cerradão, que apresentou 16,75 e 10,99 $Mg\ ha^{-1}$, áreas de pastagens nativas ou cultivadas tiveram menores estoques, variando entre 6,38 e 16,67 $Mg\ ha^{-1}$. Assim como os valores observados por Cardoso et al. (2010), D'Andréa et al. (2004) também relatam $EstC$ semelhantes a este estudo para Cerrado *stricto sensu* na camada de 0-10 cm de profundidade, onde o valor encontrado foi 22,61 $Mg\ ha^{-1}$.

A formação de solos, em conjunto com a evolução do carbono, está relacionada com as interações dos fatores de formação, como material de origem e a estrutura do solo, saturação de água e temperatura. A análise destes fatores isoladamente se torna difícil, pois a variação de um, afeta o outro. Dessa maneira, a grande variabilidade desses fatores e suas relações geram uma variabilidade nos teores de carbono no solo (BALDOCK; NELSON, 2000).

Corroborando com as afirmações citadas, os resultados demonstram que, apesar de não serem observados os maiores teores de C_{org} para as parcelas dois e quatro, foram elas que apresentaram o maior estoque de carbono, isso ocorre porque o próprio acúmulo de matéria orgânica diminui a densidade do solo.



CONCLUSÕES

O aumento no teor de carbono orgânico em função da matéria orgânica do solo proporcionou menores valores de densidade do solo.

Pode-se concluir que para o estudo em questão, a densidade do solo é o principal fator que influencia o estoque de carbono, sendo o teor de carbono dos solos um fator secundário, entretanto sua variação não foi refletida no estoque de carbono.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq edital nº 475471/2011-3 pelo financiamento do projeto.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, 22(6):1-18, 2013.

BALDOCK, J.A. & NELSON, P.N. Soil organic matter. In: *Handbook of Soil Science*. CRC Press, Boca Raton, USA, 2000. p. 25-84.

CASTRO, K.C. Serapilheira e estoque de carbono ao longo de um gradiente altitudinal na Floresta Ombrófila Densa, no Parque Nacional do Caparaó, ES. 27p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. 2014.

COSTA, F.S.; GOMES, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Métodos para avaliação das emissões de gases de efeito estufa no sistema solo-atmosfera. *Revista Ciência Rural*, 36(2): 693-700, 2006.

CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FREITAS, D.A.F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, Viçosa, 35: 613-622, 2011.

ARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; SILVA, C.A.; CURI, N.; FREITAS, D.A.F. Estoques de carbono e nitrogênio em

solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(9): 1028-1035, 2010.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, Viçosa, 32: 323-332, 2008.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, 26: 913-923, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. EMBRAPA-CNPQ, Rio de Janeiro, Brasil, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL (IBDF). Plano de Manejo para o Parque Nacional do Caparaó. Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza. Doc. Tec. n. 8. Brasília, 1981. 139p.

MAZINE, F.F. & SOUZA, V.C. Myrtaceae dos campos de altitude do Parque Nacional do Caparaó – Espírito Santo/Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia*, Piracicaba, 59(1): 57-74, 2008.

MENDONÇA, E. S. & MATOS, E. S. Matéria orgânica do solo; métodos de análises. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005, 107p.

RANGEL, O.J.P. & SILVA C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 31(2): 1609-1623, 2007.

RODRIGUES, K.R., Geoambientes e solos em ambientes altimontanos nos Parque Nacionais de Itatiaia e Caparaó-MG. 2011, 132f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil.

RODRIGUES, V.A.; FENNER, P.T.; SANSIGOLO, C.A.; MORAES, M.H. Estimativa da água no solo em floresta de *Eucalyptus grandis*. *Irriga*, Botucatu, 17: 523 - 533, 2012.

SÁ, R. C.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Características físicas e químicas de solos de tabuleiros em Sooretama (ES). *Floresta e Ambiente*, Seropédica, 10(2): 95-99, 2003