

Carbono, Nitrogênio e Abundância Natural de $\delta^{13}\text{C}$ do Solo em Coberturas Florestais

Daniel Costa de Carvalho¹, Marcos Gervasio Pereira¹, Roni Fernandes Guareschi¹,
Cátia Aparecida Simon², Luciano de Oliveira Toledo², Marisa de Cássia Piccolo³

¹Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Seropédica/RJ, Brasil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – IFES, Santa Teresa/ES, Brasil

³Universidade de São Paulo – USP, São Paulo/SP, Brasil

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar e comparar a densidade (Ds), o teor de carbono (C) e de nitrogênio (N), estoque de carbono (EstC) e de nitrogênio (EstN) e a abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ no perfil do solo de uma área de Floresta Estacional Semidecidual (FES) convertida em monocultura eucalipto (*Corymbia citriodora*) (ERN), visando elucidar as mudanças ocorridas nesse ambiente. Para isso, foram coletadas amostras de terra em profundidades de até um metro em cada área de estudo. A conversão da FES para monocultura na área de ERN reduziu a Ds, o N e a EstC na camada superficial, no entanto foi observado um aumento na EstC nas camadas mais profundas do solo. O sinal isotópico de $\delta^{13}\text{C}$ da vegetação que antes ocupava as áreas do plantio *C. citriodora* era semelhante ao encontrado atualmente na área de FES, e a época de conversão foi na profundidade 0,40 m do perfil do solo.

Palavras-chave: matéria orgânica do solo, abundância isotópica, Mata Atlântica, *Corymbia citriodora*.

Carbon, Nitrogen and Natural Abundance of $\delta^{13}\text{C}$ in Forest Cover

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate and compare the density (Ds) and content of carbon (C) and nitrogen (N), carbon (Cstock) and nitrogen stock (Nstock), and the natural abundance of $\delta^{13}\text{C}$ in the soil profile of an area of Semideciduous Forest (SF) converted to eucalyptus monoculture (*Corymbia citriodora*) (ERN) in order to elucidate the changes in these environments. For this purpose, soil samples were collected at depths up to one meter in each study area. The conversion of FES to monocultures reduced Ds, N and EstC in the surface layer. However, there was an increase in EstC in the deeper soil layers. The $\delta^{13}\text{C}$ isotopic signal of the vegetation that once occupied areas of *C. citriodora* plantation was similar to that currently found in the area of SF, and the time of conversion was at the depth of 0,40 m in the soil profile.

Keywords: organic matter of soil, isotopic abundance, Atlantic rain forest, *Corymbia citriodora*.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo da dinâmica espaço-temporal, as paisagens têm seus elementos modificados e transformados. Essas alterações geralmente refletem mudanças nos atributos químicos e físicos do solo. Uma das estratégias utilizadas para avaliar alterações do solo em decorrência do tipo de uso é a comparação dos atributos do solo de uma área manejada com os de áreas sob vegetação nativa (Gama-Rodrigues et al., 2008; Marin-Spiotta et al., 2009; Coutinho et al., 2010; Cook et al., 2014; Loss et al., 2014).

Uma das ferramentas utilizadas na detecção de mudanças ocorridas na paisagem é a avaliação dos teores de carbono (C) e nitrogênio (N) presentes nos solos (Marin-Spiotta et al., 2009; Cook et al., 2014). Na literatura são apresentados alguns trabalhos que identificaram alterações nos teores e/ou estoques de C (EstC) e N (EstN) decorrentes da conversão da vegetação nativa e de pastagens em áreas de plantio de eucalipto na Região Sudeste do Brasil (Gama-Rodrigues et al., 2008; Coutinho et al., 2010).

Ao avaliarem áreas de Mata Atlântica, eucalipto com 3 anos de implantação e pastagem, Coutinho et al. (2010) não constataram diferenças significativas nos valores de EstC e EstN de um Latossolo Vermelho-Amarelo. No entanto, Gama-Rodrigues et al. (2008), em estudos realizados em Argissolo Amarelo com áreas de vegetação nativa e eucalipto no Estado do Espírito Santo, verificaram que a área de Mata Atlântica apresentou maiores teores de C orgânico e nitrogênio total em comparação a área com uma plantação de eucalipto com 7 anos de idade.

Outra técnica muito utilizada na detecção de mudanças na paisagem são as análises isotópicas dos compartimentos de C do solo. No processo de decomposição da matéria orgânica observa-se que praticamente não ocorre mudança do sinal de $\delta^{13}\text{C}$ entre o material de origem e a matéria orgânica do solo (MOS). Assim, com base na análise da variação na abundância de $\delta^{13}\text{C}$ é possível identificar a origem da MOS. Dessa forma, a determinação isotópica da abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ da MOS vem sendo utilizada como um indicador do tipo de vegetação preexistente e das modificações a que uma área foi submetida (Bustamante et al., 2004; Salimon et al.,

2007; Coutinho et al., 2010; Guareschi et al., 2012; Loss et al., 2014).

Diante o exposto, percebem-se resultados contraditórios no que se refere a alterações nos teores e/ou estoques de EstC e EstN, que podem ser explicados por diferença de tempo de implantação do eucalipto ou das condições edafoclimáticas das áreas de estudo. Isso evidencia a necessidade de estudos que avaliem os teores e/ou estoques de EstC e EstN em áreas de vegetação nativa e plantações de eucalipto com muitos anos de implantação no Estado do Espírito Santo.

Portanto, este estudo fundamenta-se na hipótese de que as conversões de uma floresta nativa para monocultura de pasto (*Brachiaria* sp.) e, posteriormente, para a de eucalipto (*Corymbia citriodora*) ocasionaram mudanças nos teores e estoques de C e N, e a abundância natural de ^{13}C do solo. Para testar essa hipótese, este estudo teve como objetivo avaliar e comparar a densidade (Ds), o teor de carbono (C) e de nitrogênio (N), o estoque de carbono (EstC) e de nitrogênio (EstN) e a abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ no perfil do solo de uma área de Floresta Estacional Semidecidual (FES) convertida em monocultura de pasto (*Brachiaria* sp.) e, posteriormente, na de eucalipto (*C. citriodora*), ao longo 30 anos, no município de Santa Teresa, ES.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo ($40^{\circ}41'0''\text{W}$ - $40^{\circ}40'0''\text{W}$ e $19^{\circ}48'45''\text{S}$ - $19^{\circ}48'0''\text{S}$), localizado no distrito São João de Petrópolis, no município de Santa Teresa, ES (Figura 1). Esse distrito está localizado na porção noroeste do município, inserido na bacia do Rio Doce, com altitude média de aproximadamente 100 m. O clima da região é classificado como temperado úmido com inverno seco e verão quente (Cwa) (Köppen, 1948), com precipitação anual de 1004 mm. As classes de solos mais frequentes da região são Argissolos Vermelhos, Latossolos Vermelhos e Cambissolos Háplicos.

Para o estudo foram selecionadas duas áreas localizadas no IFES-ST: uma possui aproximadamente 55 ha cobertos por povoamento de eucalipto *Corymbia citriodora* (Hook.) K. D. Hill e L. A. S. Johnson (MYRTACEAE), com regeneração de espécies nativas em seu sub-bosque (ERN). A outra possui uma

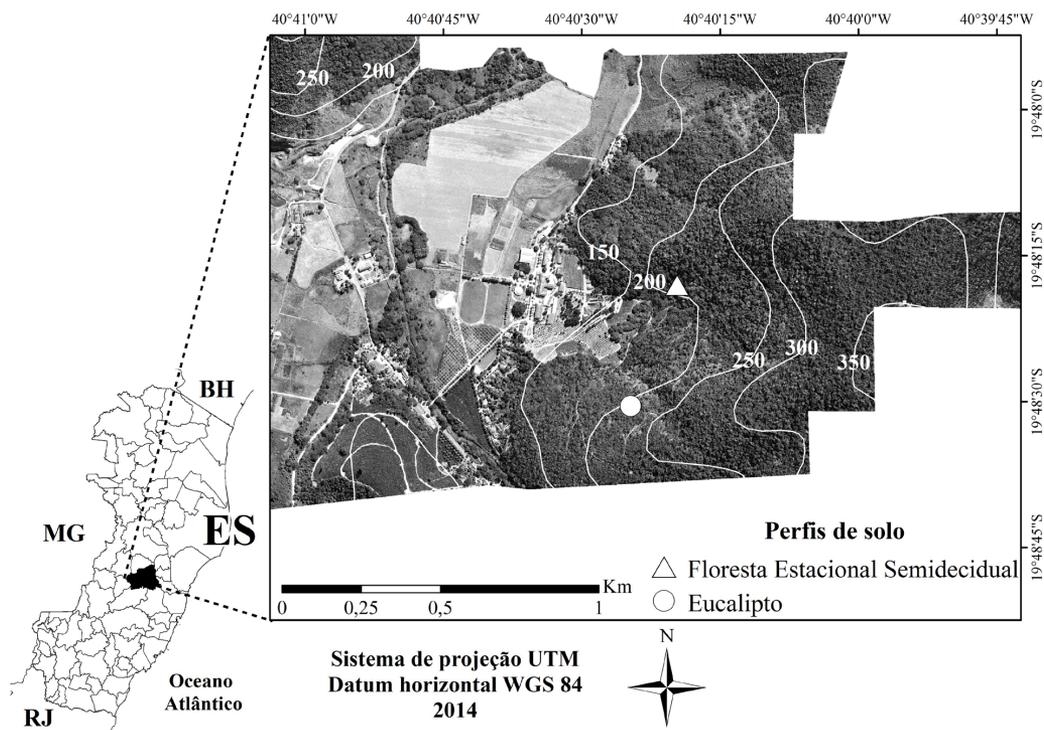


Figura 1. Localização do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Santa Teresa, ES, e dos perfis de solos nas duas áreas de estudo.

Figure 1. Location of the Federal Institute of Education, Science and Technology of the Espírito Santo, Santa Teresa (ES) and soil profiles in both areas.

área de aproximadamente 86 ha, classificada como Floresta Estacional Semidecidual Submontana (FES) (IBGE, 2012). Essa área foi utilizada neste estudo como controle e parâmetro de comparação do estágio original da paisagem local. Ambas as áreas estão sobre solos classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2006), localizadas na posição de terço inferior de encosta.

De acordo com dados da instituição (dados pessoais, não publicados), num passado recente (1975), a área de ERN era semelhante ao fragmento vizinho de FES. Nessa data, a floresta foi convertida – sem nenhum trato cultural – em pastagem (*Brachiaria* sp.) e assim mantida por aproximadamente 5 anos. Em 1980, essa área foi submetida à nova conversão, de pastagem para monocultura de *C. Citriodora*, mantida até os dias atuais. Devido à falta de manejo adequado – retirada de espécies invasoras – desde, aproximadamente, 15 anos, esse povoamento possui atualmente indivíduos arbóreos de *C. citriodora* com cerca de 20 m de altura e uma regeneração de espécies arbóreas/arbustiva nativas em seu sub-bosque (Tabela 1).

A FES possui indivíduos arbóreos com a classe mais frequente de 10 m de altura, com árvores emergentes de até 35 m. As cinco espécies mais representativas do estrato arbóreo da FES são: *Trichilia emarginata*, *Esenbeckia grandiflora*, *Pterocarpus rohii*, *Goniorrhachis marginata* e *Brasiliocroton mamoinha*. Possui sub-bosque bem desenvolvido, com indivíduos arbustivos e arbóreos regenerantes, com altura variando de 1 a 7 m. De acordo com relatos históricos da região, não houve nenhuma intervenção antrópica significativa no fragmento de FES, que sempre esteve presente na paisagem local.

Em cada área de estudo foi demarcada uma gleba representativa de 0,04 ha (20 x 20 m), e em cada uma delas foram abertas três trincheiras de aproximadamente 1 x 1 m de superfície e 1 m de profundidade, em posição aleatória. Em cada uma das trincheiras, nas diferentes áreas, foi realizada a coleta de amostras indeformadas, com auxílio de um anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), nas profundidades de 0,0-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,30 m; 0,30-0,40 m; 0,40-0,50 m; 0,50-0,60 m; 0,60-0,80 m e 0,80-1,0 m. Ressalta-se que foi coletada uma amostra de solo com anel volumétrico

por profundidade, totalizando 3 amostragens por área e por profundidade (Guimarães et al., 2014). Após a coleta, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2 mm de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA), na qual foram realizadas todas as análises, inclusive caracterização química e análise granulométrica (EMBRAPA, 1997) (Tabela 2).

A densidade do solo (Ds) foi determinada através do método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997). Já os teores de C e N foram quantificados por meio de combustão seca por analisador CHNS (Elementar analysensysteme GmbH, Hanau, Alemanha). A partir dos dados dos teores de C e N e da Ds foram calculados os estoques de carbono (EstC) e de nitrogênio (EsTN)

Tabela 1. Caracterização da vegetação do povoamento de eucalipto com regeneração de espécies nativas (ERN), regeneração de espécies nativas no sub-bosque do eucalipto (REG) e da Floresta Estacional Semidecidual (FES), no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Espírito Santo, Santa Teresa, ES.

Table 1. Characterization Eucalyptus with regeneration of native species (ERN), regeneration of native species in the eucalyptus understory (REG) and Semideciduous Forest (SF) at the Federal Institute of Education, Science and Technology of the Espírito Santo, Santa Teresa (ES).

	ERN		FES
	<i>C. citriodora</i>	REG	
Número de indivíduos vivos amostrados	396	600	1.063
Densidade (ind.ha ⁻¹)	427	515	1.330
Área basal média (m ² .ha ⁻¹)	7,52	8,04	23,16
Número de espécies		61	97
Número de espécies de Fabaceae		21	23
Estádio sucessional ¹		Inicial	Avançada
Índice de Diversidade de Shannon (nat.ind ⁻¹)		3,23	3,81
Similaridade florística ²			0,41

¹Brasil (1994); ²Coefficiente de Sorensen.

Tabela 2. Atributos químicos e análise granulométrica nas diferentes camadas do perfil de áreas de Floresta Estacional Semidecidual (FES) e de áreas de eucalipto com regeneração de espécies nativas (ERN).

Table 2. Chemical attributes and particle size analysis in the different layers of the profile areas of Semideciduous Forest (SF) and Eucalyptus with regeneration of native species (ERN).

Camadas (m)	pH H ₂ O	P mg kg ⁻¹	Ca	Mg	K	Al	S	T	V %	Argila	Silte	Areia g kg ⁻¹
0,0-0,10	7,6	13,0	19,0	1,0	0,59	0,0	20,7	22,4	92	440	100	460
0,10-0,20	8,0	6,0	12,9	0,4	0,59	0,0	14,0	14,0	100	340	210	450
0,20-0,30	7,7	3,0	7,0	4,5	0,53	0,0	12,1	12,2	99	390	220	390
0,30-0,40	7,4	3,0	3,3	5,7	0,53	0,0	9,6	9,8	98	490	190	320
0,40-0,50	7,2	6,1	2,4	4,4	0,80	0,0	7,6	8,7	88	580	120	300
0,50-0,60	6,4	9,9	1,8	3,8	0,76	0,1	6,4	7,8	83	550	140	310
0,60-0,80	5,6	11,6	1,2	4,1	0,34	0,1	5,7	7,5	76	520	140	340
0,80-1,0	5,4	20,5	1,0	4,3	0,09	0,1	5,5	7,3	75	550	50	400
							ERN					
0,0-0,10	6,08	1,5	1,00	5,30	0,09	0,00	6,48	9,95	65	300	140	560
0,10-0,20	5,61	0,46	0,70	4,30	0,32	0,00	5,42	8,56	63	350	160	490
0,20-0,30	5,84	0,46	0,80	4,70	0,25	0,00	5,84	8,15	72	400	150	450
0,30-0,40	5,55	0,46	0,70	4,80	0,24	0,15	5,84	7,64	76	510	160	330
0,40-0,50	5,78	0,46	0,80	4,50	0,15	0,00	5,54	7,03	79	510	160	330
0,50-0,60	5,73	0,79	0,90	4,10	0,27	0,15	5,36	6,83	78	610	130	260
0,60-0,80	6,43	1,6	0,60	3,40	0,27	0,00	4,36	5,35	81	580	110	310
0,80-1,0	6,43	1,6	0,60	3,40	0,27	0,00	4,36	5,35	81	580	110	310

pelo método de massa equivalente (Sisti et al., 2004). Consideraram-se como referência para os cálculos de estoque pelo método de massa equivalente as massas de solo das camadas correspondentes da Floresta Estacional Semidecidual, as quais representaram a condição original do solo.

A abundância natural do ¹³C foi determinada com o auxílio do espectrômetro de massa Finnigan Delta Plus, no Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA-USP, em Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil. Os resultados de ¹³C, oriundos de 3 pseudo-repetições, foram expressos na forma de delta-δ¹³C (‰), em relação ao padrão internacional PDB (Belemnitella Americana da formação Pee Dee).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de normalidade da distribuição dos erros (Teste de Lilliefors) e homogeneidade das variâncias dos erros (Teste de Cochran). Atendendo as pressuposições de normalidade e homogeneidade, os valores médios foram comparados por meio do Teste t de Bonferroni a 5% de probabilidade (P < 0,05).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se que, independentemente da profundidade avaliada, a área de eucalipto com regeneração de espécies nativas (ERN) apresentou menores valores de densidade do solo (Ds) em comparação à área com FES (Figura 2). Os menores valores de Ds na área de ERN em comparação à área de FES podem ser atribuídos ao manejo do solo no momento da implantação da pastagem e do eucalipto. Essas atividades de manejo do solo geralmente consistem em aração, que modifica a estrutura do solo, fazendo com que sua densidade diminua. Outro provável fator concorrente para a menor densidade do solo na área de ERN seria o maior aporte de C pelo desenvolvimento radicular das espécies de pastagem e do eucalipto em profundidade (Figuras 2, 3 e 4). De acordo com Prevedello et al. (2013), o preparo da área no momento do plantio do eucalipto proporciona redução na Ds e melhores condições para o aprofundamento e desenvolvimento do sistema radicular. Além disso, a pastagem que antecedeu a implantação do eucalipto pode ter contribuído com

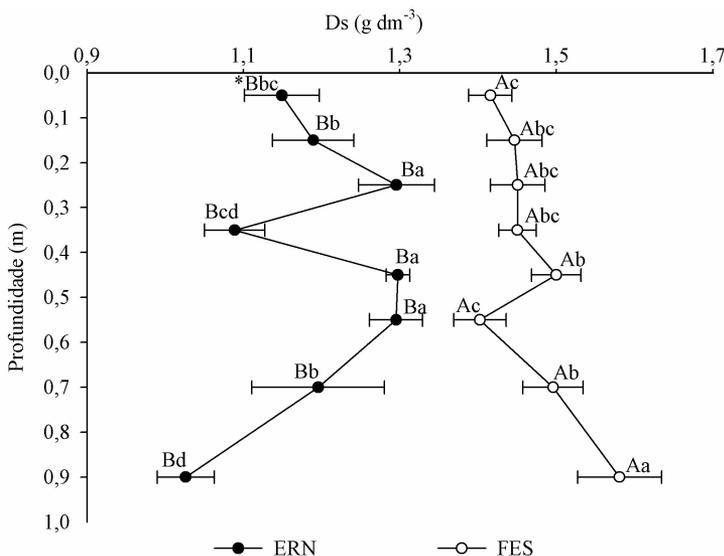


Figura 2. Densidade do solo em diferentes camadas de áreas de Floresta Estacional Semidecidual (FES) e de áreas de eucalipto com regeneração de espécies nativas (ERN). *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste t de Student a 5%; Letras maiúsculas referem-se à comparação das áreas numa mesma camada e minúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento; O coeficiente de variação entre as áreas foi de 10,05%.

Figure 2. Bulk density in different layers areas of Semideciduous Forest (SE) and Eucalyptus with regeneration of native species (ERN). *Means followed by the same letter do not differ statistically by Student's t test at 5%. Upper case letters refer to compare areas of a same layer and lower layers comparing averages of the same treatment. The coefficient of variation between areas was 10.05%.

alta densidade de raízes através dos ciclos de secagem decorrentes da absorção de água. Adicionalmente, a renovação do sistema radicular e a liberação de exsudatos no solo podem ter estimulado a atividade microbiana, cujos produtos atuam na formação e

estabilização dos agregados e, conseqüentemente, na redução da Ds (Silva & Mielniczuk, 1997).

Outro resultado relevante foi a redução da Ds quando comparadas a camada superficial (0,0-0,10 m) à mais profunda (0,8-1,0 m) na área ERN, enquanto

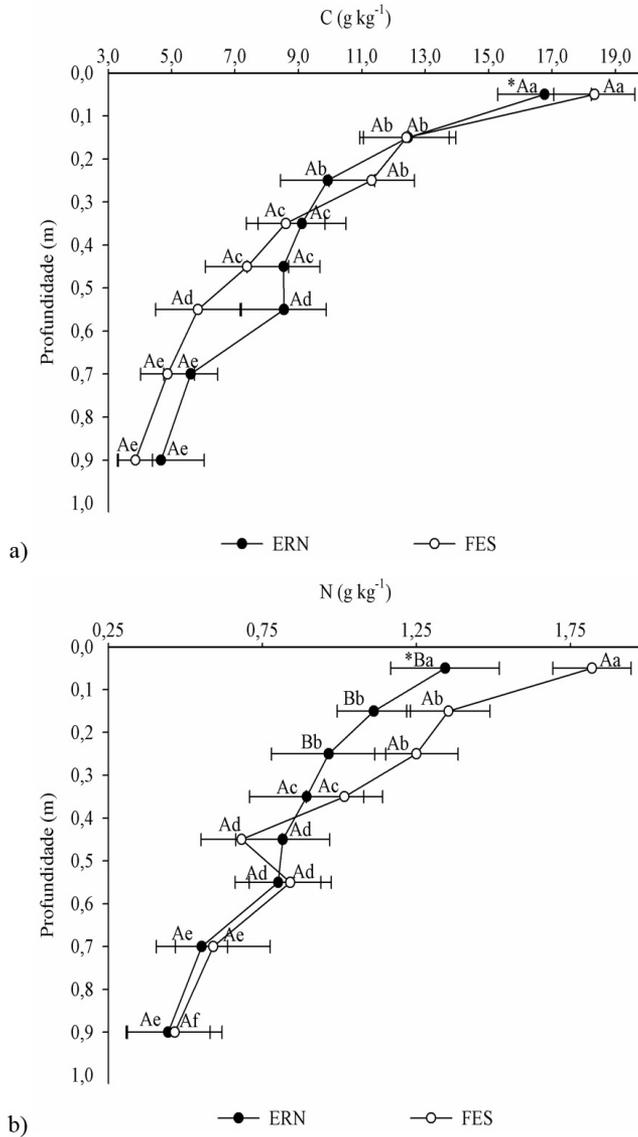


Figura 3. Teores de carbono (C) e nitrogênio total (N) em diferentes camadas do perfil de áreas de Floresta Estacional Semidecidual (FES) e áreas de eucalipto com regeneração de espécies nativas (ERN). *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste t de Student a 5%; Letras maiúsculas referem-se à comparação das áreas numa mesma camada e minúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento; O coeficiente de variação entre as áreas para os dados de C e N foram, respectivamente, de 17,45% e 19,39%.

Figure 3. Carbon tenors (C) and total nitrogen (N) in different layers of the profile areas of Semideciduous Forest (SF) and Eucalyptus with regeneration of native species (ERN). *Means followed by the same letter do not differ statistically by Student's t test at 5%. Upper case letters refer to compare areas of a same layer and lower layers comparing averages of the same treatment. The coefficient of variation among the data areas C and N was respectively 17.45% and 19.39%.

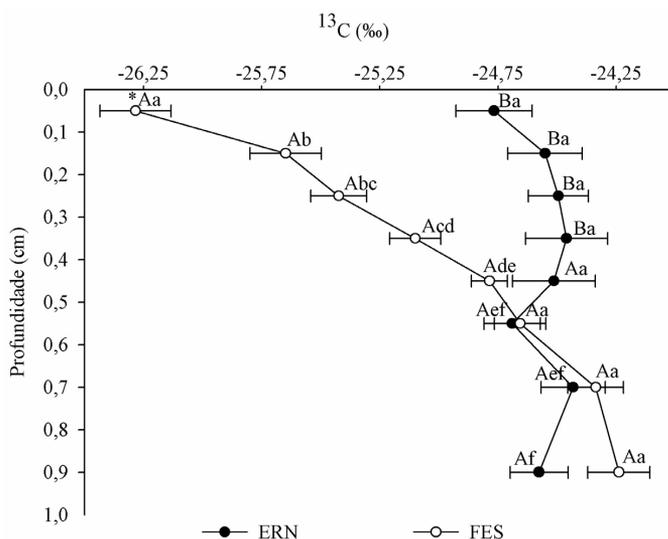


Figura 4. Abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) de áreas de Floresta Estacional Semidecidual (FES) e áreas de eucalipto com regeneração de espécies nativas (ERN). *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste t de Student a 5%; Letras maiúsculas referem-se à comparação das áreas numa mesma camada e minúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento; O coeficiente de variação entre as áreas foi de 3,55%.

Figure 4. Natural abundance of $\delta^{13}\text{C}$ (‰) areas of Semideciduous Forest (SF) and Eucalyptus with regeneration of native species. *Means followed by the same letter do not differ statistically hair Student t test at 5%. Capital letters refer is directed to the comparison of the areas in same layer sensitive compare averages hum layers EVEN treatment. The coefficient of variation between areas was 3.55%.

na área FES foi observado padrão inverso, ou seja, aumento da Ds entre essas duas camadas (Figura 2). Esse aumento da Ds em profundidade é um padrão frequentemente observado, sendo influenciado por vários fatores, tais como teor reduzido de matéria orgânica, menor agregação, maior compactação e carga exercida pelas camadas superiores (Araújo et al., 2007; Prevedello et al., 2013). Já na área ERN, como discutido anteriormente, o aumento de EstC devido ao melhor desenvolvimento radicular em profundidade da pastagem e do eucalipto provavelmente reduziu a Ds em profundidade (Tabela 3).

Quanto aos teores de C, não foram constatadas diferenças significativas entre as áreas avaliadas, sendo apenas verificada redução em profundidade (Figura 3a). Verifica-se que 30 anos de implantação de eucalipto não alteraram os teores de C quando esses valores são comparados aos quantificados na área de FES, no entanto, a diferença nos valores de Ds e no aporte de resíduos orgânicos via serapilheira e raízes entre as áreas contribuíram para diferenças significativas na EstC (Tabela 3). Resultados semelhantes foram observados por Coutinho et al. (2010), que ao avaliarem áreas de

eucalipto e floresta nativa também não constataram diferenças nos teores de C entre as áreas, observando apenas redução do teor de C e N em profundidade.

Os teores de N da FES foram superiores aos quantificados na área ERN até a profundidade de 0,3 m. Seguindo o padrão observado para o C, verificou-se também redução dos teores de N em profundidade (Figura 3b). Os maiores teores de N na área de FES (0,0-0,30 m) podem ser atribuídos aos teores de N da serapilheira aportada e também devido a maior concentração de leguminosas arbóreas (Carvalho, 2012). Corroborando, Carvalho (2012), verificou que a FES aporta ao solo $73,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N através da serapilheira na fração folhas, enquanto na área de ERN são depositados apenas $21,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N, ou seja, 71% menos de N retornam ao solo. Gama-Rodrigues et al. (2008) também verificaram que a área de Mata Atlântica apresentou maiores teores de nitrogênio total em comparação a uma plantação de eucalipto com 7 anos de idade no norte do Espírito Santo. Diante do exposto, percebe-se que áreas de Mata Atlântica podem aportar ao solo um maior conteúdo de N do que plantações de eucalipto.

Tabela 3. Estoque de C (EstC) e de nitrogênio (EstN) em diferentes camadas do perfil de áreas de Floresta Estacional Semidecidual (FES) e áreas de eucalipto com regeneração de espécies nativas (ERN).

Table 3. Stock of C (CStock) and nitrogen (NStock) in different layers of the profile areas of Semideciduous Forest (SF) and Eucalyptus with regeneration of native species (ERN).

Camadas (m)	----- Terço inferior -----			
	EstC (Mg ha ⁻¹)		EstN (Mg ha ⁻¹)	
	FES	ERN	FES	ERN
0,0-0,10	19,44 Aa	14,40 Bb	1,75 Aa	1,63 Aa
0,10-0,20	13,03 Abc	13,68 Ab	1,29 Abc	1,28 Ab
0,20-0,30	13,35 Ab	12,84 Ab	1,42 Abc	1,20 Abc
0,30-0,40	10,28 Acde	11,62 Ab	1,21 Abc	1,02 Acd
0,40-0,50	7,94 Bef	12,40 Ab	0,90 Ad	0,96 Ad
0,50-0,60	6,44 Bf	12,63 Ab	0,75 Ad	1,04 Acd
0,60-0,80	11,89 Bbcd	23,00 Aa	1,43 Ab	1,26 Abc
0,80-1,00	9,26 Bde	20,29 Aa	1,19 Ac	0,86 Ad

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste t de Student a 5%; Letras maiúsculas referem-se à comparação das áreas numa mesma camada e minúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento; O coeficiente de variação entre as áreas para os dados de EstC e de EstN foram, respectivamente, de 20,67% e 16,64%.

Na camada superficial (0,0-0,10 m), a área de FES apresentou maiores EstC do que a área ERN, no entanto, para as profundidades de 0,40 a 1,0 m, na área ERN foram observados maiores valores desse atributo em comparação à área de FES (Tabela 3). Esse padrão é decorrente de a área FES ser um sistema sem ação antrópica, com constante aporte de resíduos vegetais de diferentes qualidades na superfície do solo. Maiores valores de EstC na camada superficial do solo também foram encontrados em áreas de Floresta Estacional Semidecidual em relação a pastagens (Loss et al., 2006; Guareschi et al., 2014) e áreas com eucalipto (Gama-Rodrigues et al., 2008). Quanto a variação dos valores de EstC em profundidade nas diferentes áreas, foram observados padrões distintos, com redução na área de FES e aumento em ERN (Tabela 2). Esse padrão é decorrente da variação da Ds, como explicado anteriormente. O preparo da área no momento do plantio do eucalipto e da pastagem pode ter proporcionado melhores condições para o desenvolvimento do sistema radicular, bem como maior aporte de C via raízes.

Verifica-se que não houve diferença estatística no estoque de nitrogênio (EstN) entre as áreas avaliadas, sendo observada a redução desse atributo em profundidade (Tabela 3). Rangel & Silva (2007) e Coutinho et al. (2010) também não encontraram diferenças no EstN entre áreas de floresta estacional semidecídua e plantações de eucalipto, bem como verificaram que o EstN reduziu-se em profundidade.

A redução do EstN em profundidade está relacionada ao menor aporte de resíduos orgânicos nas camadas mais profundas em relação às superiores.

Na profundidade 0,0-0,40 m, constata-se maiores valores da abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) da área ERN em comparação à área FES, o que indica uma contribuição de C oriundo dos cinco anos de pastagem que antecederam o cultivo do eucalipto, pois valores mais positivos de $\delta^{13}\text{C}$ podem indicar a contribuição de plantas do ciclo fotossintético C_4 durante algum período de tempo de uso do solo (Figura 4). Já na profundidade 0,40-1,0 m, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ foram similares entre as áreas, demonstrando que nessa camada a contribuição de C da Floresta Estacional Semidecidual e/ou eucalipto é maior (Figura 4).

Foi possível inferir que o aumento do EstC no intervalo de profundidade 0,40-1,0 m na área de ERN em comparação à área FES pode ser justificado (Figura 4). A semelhança do sinal de ^{13}C entre as áreas de ERN e FES demonstra que o C está sendo estocado por plantas do ciclo fotossintético C_3 , confirmando o potencial de a cultura do eucalipto estocar C em profundidade e diminuindo a participação das raízes de pastagem, visto que essas só interferiram no aporte de C até os 0,40 m do perfil do solo. Resultados semelhantes são apresentados por Coutinho et al. (2010), que também constataram que a pastagem não modificou os estoques de C derivados da floresta original abaixo de 0,40m, e manteve a incorporação de C apenas nas camadas mais superficiais.

4. CONCLUSÃO

A metodologia utilizada neste trabalho foi suficiente para detecção das mudanças ocorridas nos atributos físicos e químicos do solo ao longo do tempo entre as duas áreas de estudo. Nas condições deste trabalho, a conversão da Floresta Estacional Semidecidual para 5 anos de pastagem e posteriores 30 anos de cultura de *C. citriodora* alteraram os atributos químicos e físicos na camada superficial do solo, além de aumentarem a incorporação de carbono em camadas mais profundas do solo.

O sinal isotópico de $\delta^{13}\text{C}$ da vegetação que antes ocupava as áreas do plantio *C. citriodora* era semelhante ao encontrado atualmente na área de Floresta Estacional Semidecidual. A época de conversão da Floresta Estacional Semidecidual por monocultura foi detectada na profundidade 0,40 m do perfil do solo.

STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 16 dez., 2015

Aceito: 28 ago., 2016

AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

Marcos Gervasio Pereira

Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, BR 465, Km 7, CEP 23890-000, Seropédica, RJ, Brasil
e-mail: mgervasiopereira01@gmail.com

REFERÊNCIAS

Araújo R, Goedert WJ, Lacerda MPC. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2007; 31(5): 1099-1108. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000500025>.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. *Resolução nº 29, de 7 de dezembro de 1994. Define vegetação primária e secundária nos estágios inicial, médio e avançado de regeneração da Mata Atlântica, considerando a necessidade de definir o corte, a exploração e a supressão de vegetação secundária no estágio inicial de regeneração no Estado do Espírito Santo*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF (1994 dez.).

Bustamante MMC, Martinelli LA, Silva DA, Camargo PB, Klink CA, Domingues TF et al. ^{15}N natural abundance in woody plants and soils of central Brazil savannas (cerrado).

Ecological Applications 2004; 14(sp4): 200-213. <http://dx.doi.org/10.1890/01-6013>.

Carvalho DC. *Fitosociologia, aporte de serapilheira, estoques de carbono e nitrogênio sob plantio de Corymbia citriodora com regeneração natural e Floresta Estacional Semidecidual, Santa Teresa, ES* [dissertação]. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; 2012.

Cook RL, Binkley D, Mendes JCT, Stape JL. Soil carbon stocks and forest biomass following conversion of pasture to broadleaf and conifer plantations in southeastern Brazil. *Forest Ecology and Management* 2014; 324: 37-45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2014.03.019>.

Coutinho RP, Urquiaga S, Boddey RM, Alves BJR, Torres AQA, Jantalia CP. Estoque de carbono e nitrogênio e emissão de N_2O em diferentes usos do solo na Mata Atlântica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 2010; 45(2): 195-203. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2010000200011>.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro; 1997.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2. ed. Rio de Janeiro; 2006.

Gama-Rodrigues EF, Barros NF, Viana AP, Santos GA. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da Região Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2008; 32(4): 180-195. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000400013>.

Guareschi RF, Pereira MG, Anjos LHC, Menezes CEG, Correia MEF. Atributos químicos e físicos do solo sob pastagem e estádios sucessionais de floresta estacional. *La Plata* 2014; 113(2): 1-24.

Guareschi RF, Pereira MG, Perin A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2012; 36(2): 909-920. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000300021>.

Guimarães DV, Gonzaga MIS, Araújo EM, Melo JO No, Tínel JI Jr. Impacto do cultivo de citros sobre a qualidade física de um Argissolo amarelo em Sergipe. *Revista Caatinga* 2014; 27: 183-189.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Manual técnico da vegetação brasileira*. 2. ed. Rio de Janeiro; 2012.

Köppen W. *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. Ciudad del México: Fondo de Cultura Económica; 1948.

Loss A, Pereira MG, Brito RJ. Distribuição das substâncias húmicas em solos de tabuleiros sob diferentes coberturas vegetais. *Revista Universidade Rural* 2006; 26: 57-69.

Loss A, Pereira MG, Perin A, Anjos LHC. Abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ em sistemas de manejo conservacionista no cerrado. *Bioscience Journal* 2014; 30(3): 604-615.

Marin-Spiotta E, Silver WL, Swanston CW, Ostertag R. Soil organic matter dynamics during 80 years of reforestation of tropical pastures. *Global Change Biology* 2009; 15(6): 1584-1597. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01805.x>.

Prevedello J, Kaiser DR, Reinert DJ, Vogelmann ES, Fontanela E, Reichert JM. Manejo do solo e crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em Argissolo. *Ciência Florestal* 2013; 23(1): 129-138. <http://dx.doi.org/10.5902/198050988447>.

Rangel OJP, Silva CA. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes

sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2007; 31(6): 1609-1623. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000600037>.

Salimon CI, Wadt PGS, Melo AWF. Dinâmica do C na conversão de floresta para pastagens em Argissolos da formação geológica Solimões, no sudoeste da Amazônia. *Revista de Biologia e Ciências da Terra* 2007; 7: 29-38.

Silva IF, Mielniczuk J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 1997; 21: 113-117.

Sisti CPJ, Santos HP, Kohhann R, Alves BJR, Urquiaga S, Boddey RM. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil & Tillage Research* 2004; 76(1): 39-58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2003.08.007>.