

Estoque de Carbono e Nitrogênio e Abundância Natural de $\delta^{13}\text{C}$ na Estação Ecológica de Pirapitinga, MG

Daniel Costa de Carvalho¹, Marcos Gervasio Pereira¹,
Roni Fernandes Guareschi¹, Deyvid Diego Carvalho Maranhão¹

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

RESUMO

A avaliação integrada dos atributos físicos, estoque de carbono (EstC) e de nitrogênio (EstN) além da abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ do solo se mostram eficazes na detecção de mudanças ocorridas na paisagem. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar e comparar a densidade do solo, EstC, EstN e abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ em perfis de solo de diferentes fitofisionomias da Estação Ecológica de Pirapitinga – EEP visando elucidar as mudanças ocorridas nesse ambiente. Para isso, foram coletadas e analisadas amostras de terra em profundidade de até um metro nas diferentes fitofisionomias da EEP. Os maiores teores de argila do solo e densidade de plantas das fitofisionomias florestais proveram maiores EstC e EstN e menores valores de densidade do solo em comparação às demais vegetações campestres. O $\delta^{13}\text{C}$ revelou que as áreas das fitofisionomias florestais eram antes ocupadas preponderantemente por plantas do ciclo fotossintético C_4 , semelhantes à vegetação campestre encontrada atualmente na EEP.

Palavras-chave: dinâmica da paisagem, matéria orgânica do solo, composição isotópica, fitofisionomias do Cerrado.

Carbon and Nitrogen Stock and Natural Abundance of $\delta^{13}\text{C}$ in the Pirapitinga Ecological Station, MG

ABSTRACT

The integrated assessment of physical attributes, carbon (StockC) and nitrogen (StockN) stock, and natural abundance of $\delta^{13}\text{C}$ are effective in detecting landscape changes. Therefore, this study aimed to evaluate and compare the bulk density, StockC, StockN and natural abundance of $\delta^{13}\text{C}$ in the soil profiles of different vegetation types of the Pirapitinga Ecological Station (EEP), to elucidate the changes in this area. For this, soil samples were collected and analyzed at depths up to one meter in different vegetation types of the EEP. The highest soil clay content and density of plant of forest vegetation promoted higher levels of StockC and StockN and lower bulk density values than the other grassland vegetation. The $\delta^{13}\text{C}$ revealed that the areas of forest vegetation types were previously occupied mainly by plants of the C_4 photosynthetic cycle, similar to grassland currently found in the EEP.

Keywords: dynamics of landscape, soil organic matter, isotopic composition, Cerrado vegetation types.

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado, que ocupa 24,4% do território brasileiro, é um bioma notável por sua grande variação fitofisionômica, apresentando formações florestais, savânicas e campestres (Eiten, 2001). O Cerrado pode apresentar 14 tipos de paisagens e esses ambientes encontram-se distribuídos por todo esse bioma, com as seguintes denominações: Campo Limpo de Cerrado, Campo Rupestre, Campo Sujo, Campo Cerrado, Cerrado Stricto Sensu, Cerradão, Campo de Murundus, Buritizal e Veredas, Campo Úmido, Brejos Permanentes, Pantanal, Mata de Baixa Galeria e Mata Mesofítica (Eiten, 2001).

A distribuição dessas fitofisionomias pode estar associada aos atributos do solo, com destaque para a profundidade efetiva do solo e do lençol freático, bem como à sua fertilidade (Eiten, 2001). Outro atributo do solo muito influenciado pela variação das formações vegetais do Bioma Cerrado são os teores de carbono orgânico, que podem ser influenciados pela quantidade e qualidade da matéria orgânica a ele adicionada (Cremon et al., 2009). O estudo da variação do conteúdo e das formas da MOS nas diferentes fitofisionomias do Bioma Cerrado é extremamente importante, visto que essa é responsável por 75% a 85% da capacidade de troca catiônica dos solos em que esse bioma se desenvolve (Cremon et al., 2009; Skorupa et al., 2012). Trabalhos na literatura têm demonstrado que tais variações na quantidade e qualidade da MOS ocorrem devido a quantidade e qualidade dos resíduos vegetais depositados e/ou diferenças na textura do solo (Siqueira et al., 2009; Cremon et al., 2009; Skorupa et al., 2012). Dessa forma, a análise do estoque de carbono (EstC) e de nitrogênio (EstN) do solo pode auxiliar na verificação de possíveis alterações a que as paisagens foram submetidas.

Outra técnica muito utilizada na detecção de mudanças na paisagem são as análises isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ dos compartimentos de carbono (C) e de nitrogênio (N) do solo da MOS. Durante o processo de decomposição de resíduos vegetais, observa-se que praticamente não ocorrem mudanças do sinal de $\delta^{13}\text{C}$ entre o material de origem e a MOS (Melillo et al., 1989). Assim, com base na análise da variação na abundância de $\delta^{13}\text{C}$ é possível identificar a origem da MOS (Alves et al., 2008; Guareschi et al., 2014) e/ou das modificações a que

uma área foi submetida no passado (Guareschi et al., 2012; Loss et al., 2014).

Inserida nesse contexto de mudanças da paisagem natural está a Estação Ecológica de Pirapitinga (EEP). Essa unidade de conservação foi criada em 1975 como medida compensatória pelo enchimento do reservatório da Usina Hidroelétrica de Três Marias (UHT), em 1962. De acordo com relatos históricos da região, poucos anos após o enchimento do reservatório da UHT ocorreram mudanças significativas da paisagem local, sendo um dos primeiros relatos o surgimento de uma nova fitofisionomia de porte florestal que, no decorrer dos anos, vem se estabelecendo em locais onde não era observada.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar e comparar a EstC, a EstN e a abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ no perfil do solo de diferentes fitofisionomias nativas da EEP no Estado de Minas Gerais, visando elucidar as mudanças ocorridas nesse ambiente.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Estação Ecológica de Pirapitinga entre os municípios de Morada Nova de Minas e Três Marias, MG. A EEP pertence ao arquipélago fluvial das Ilhas das Marias, inseridas no reservatório da Usina Hidroelétrica de Três Marias (Figura 1).

A EEP possui uma área aproximada de 1.180 hectares e perímetro de 20 km, com uma altitude compreendida entre 570 e 630 metros acima do nível do mar. O clima da região foi definido como Aw pela classificação climática de Köppen-Geiger (Kottek et al., 2006), caracterizado por verões quentes e úmidos e invernos frios e secos. O relevo da área é predominantemente suave ondulado, com amplitude da ordem de 50 m (Azevedo et al., 1987). Os solos das áreas foram classificados como Latossolos Vermelhos (Embrapa, 2006).

Foram analisadas quatro unidades de paisagem (Up) na EEP, identificadas em campo como: 1 – Campo Sujo Seco (CSS); 2 – Cerradão (CE); 3 – Cerrado Típico (Ct); e 4 – Mata Seca Sempre Verde (MSSV) (Ribeiro & Walter, 2008). Os parâmetros estruturais das fitofisionomias são descritos em Giacomini (2009) (Tabela 1).

Em cada área de estudo foi demarcada uma gleba representativa de 0,04 ha (20 × 20 m), e em cada uma delas foram abertas três trincheiras de aproximadamente

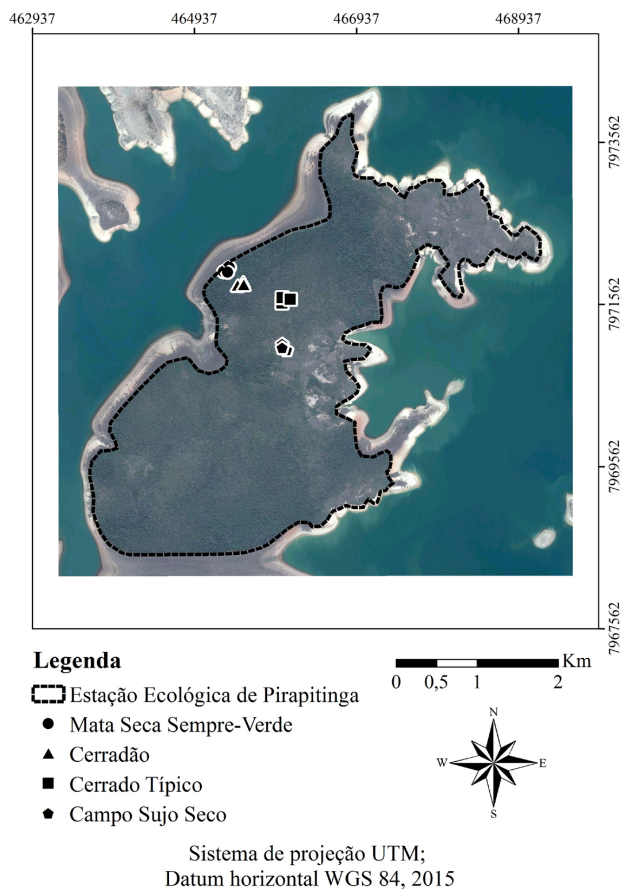


Figura 1. Pontos de coleta nas fitofisionomias da Estação Ecológica de Pirapitinga.
Figure 1. Collection points in their vegetation types of the Pirapitinga Ecological Station.

Tabela 1. Caracterização das fitofisionomias da Estação Ecológica de Pirapitinga, MG.
Table 1. Characterization of the vegetation types of the Ecological Station of Pirapitinga, MG.

| Parâmetros estruturais | *Fitofisionomias | | | |
|--|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | CSS | CE | Ct | MSSV |
| Área basal total (m ² ha ⁻¹) | 6,73 | 21,11 | 22,1057 | 39,3177 |
| Área basal média por indivíduo (m ² h ⁻¹) | 0,0072 | 0,0093 | 0,0161 | 0,0203 |
| Densidade absoluta (ind. ha ⁻¹) | 926 | 1.257 | 1.371 | 1.930 |
| Diâmetro médio (cm) | 9,57 ^(DAS) | 10,90 ^(DAS) | 14,89 ^(DAP) | 16,10 ^(DAP) |
| Altura média (m) | 2,55 | 3,95 | 7,44 | 9,34 |

DAS = diâmetro ao nível do solo; DAP = diâmetro à 1,30 metro em relação ao nível do solo. *CSS – Campo Sujo Seco; CE – Cerradão; Ct – Cerrado Típico; MSSV – Mata Seca Sempre Verde.

1 × 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; e 0,80-1,0 m. Após a coleta, as

amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2 mm de malha, obtendo-se terra fina seca ao ar (TFSA), na qual foram realizadas as análises, inclusive a caracterização química e a análise granulométrica (Embrapa, 1997) (Tabela 2). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas 4 × 8

Tabela 2. Atributos químicos e análise granulométrica das áreas de estudo.**Table 2.** Chemical properties and particle size analysis of the study areas.

| *Áreas | pH H ₂ O | P mg kg ⁻¹ | Ca | Mg | K | Al | H+Al | T | V | Argila | Silte | Areia |
|-------------|------------------------|--------------------------|--|-----|-----|-----|------|---------------|--------------------------------|--------|-------|-------|
| | | | ----- cmol _c kg ⁻¹ ----- | | | | | ----- % ----- | ----- g kg ⁻¹ ----- | | | |
| 0,0-0,10 m | | | | | | | | | | | | |
| CSS | 5,3 | 6 | 0,1 | 0,9 | 0,5 | 2,1 | 8,4 | 9,9 | 15 | 214 | 438 | 348 |
| CE | 4,9 | 6 | 0,1 | 0,6 | 0,5 | 1,1 | 10,1 | 11,3 | 11 | 300 | 273 | 427 |
| Ct | 4,3 | 11 | 0,1 | 0,7 | 0,3 | 1,7 | 13,7 | 14,8 | 7 | 431 | 199 | 369 |
| MSSV | 4,3 | 11 | 0,1 | 0,4 | 0,3 | 1,2 | 14,6 | 15,4 | 5 | 463 | 156 | 381 |
| 0,10-0,20 m | | | | | | | | | | | | |
| CSS | 5,3 | 6 | 0,1 | 0,6 | 0,4 | 1,8 | 8 | 9,1 | 12 | 244 | 456 | 300 |
| CE | 5 | 4 | 0,1 | 0,5 | 0,4 | 1,1 | 9 | 10,0 | 10 | 321 | 273 | 406 |
| Ct | 4,4 | 5 | 0,2 | 0,4 | 0,2 | 1,5 | 10,6 | 11,4 | 7 | 461 | 223 | 316 |
| MSSV | 4,2 | 10 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 1,2 | 12,7 | 13,4 | 5 | 466 | 192 | 343 |
| 0,20-0,30 m | | | | | | | | | | | | |
| CSS | 4,9 | 3 | 0,1 | 0,7 | 0,1 | 1,2 | 6,9 | 7,8 | 11 | 238 | 531 | 231 |
| CE | 4,9 | 3 | 0,1 | 0,8 | 0,2 | 1,0 | 8,2 | 9,3 | 12 | 306 | 301 | 393 |
| Ct | 4,5 | 3 | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 1,4 | 9,7 | 10,3 | 6 | 476 | 204 | 320 |
| MSSV | 4,5 | 5 | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 1,7 | 11,1 | 11,7 | 5 | 490 | 175 | 335 |
| 0,30-0,40 m | | | | | | | | | | | | |
| CSS | 5 | 3 | 0,1 | 0,6 | 0,1 | 1,3 | 6,7 | 7,5 | 11 | 231 | 578 | 191 |
| CE | 5,3 | 2 | 0,1 | 0,5 | 0,2 | 1,0 | 7,7 | 8,5 | 9 | 336 | 289 | 375 |
| Ct | 4,6 | 3 | 0,2 | 0,5 | 0,1 | 1,4 | 9,3 | 10,1 | 8 | 494 | 223 | 283 |
| MSSV | 4,5 | 3 | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 1,5 | 10,7 | 11,3 | 5 | 496 | 172,3 | 331,7 |
| 0,40-0,50 m | | | | | | | | | | | | |
| CSS | 5,1 | 2 | 0,1 | 0,8 | 0,1 | 1,4 | 6,3 | 7,3 | 14 | 262 | 549 | 189 |
| CE | 4,9 | 12 | 0,1 | 0,7 | 0,2 | 1,0 | 7,4 | 8,4 | 12 | 339 | 295 | 366 |
| Ct | 4,5 | 2 | 0,1 | 0,5 | 0,1 | 1,4 | 8,8 | 9,5 | 7 | 472 | 223 | 305 |
| MSSV | 4,7 | 3 | 0,2 | 0,5 | 0,1 | 1,6 | 9,8 | 10,6 | 7 | 493 | 212 | 295 |
| 0,50-0,60 m | | | | | | | | | | | | |
| CSS | 5,2 | 2 | 0,1 | 1 | 0,1 | 1,7 | 6,5 | 7,7 | 16 | 236 | 615 | 149 |
| CE | 4,8 | 2 | 0,1 | 0,6 | 0,1 | 0,9 | 6,9 | 7,7 | 10 | 341 | 280 | 379 |
| Ct | 4,6 | 1 | 0,1 | 0,5 | 0,1 | 1,3 | 8,6 | 9,3 | 7 | 488 | 204 | 307 |
| MSSV | 4,6 | 3 | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 1,6 | 9,8 | 10,4 | 6 | 506 | 158 | 337 |
| 0,60-0,80 m | | | | | | | | | | | | |
| CSS | 5 | 3 | 0,1 | 0,7 | 0,1 | 1,7 | 6,8 | 7,7 | 12 | 233 | 611 | 156 |
| CE | 4,8 | 2 | 0,1 | 0,6 | 0,1 | 0,8 | 6,7 | 7,5 | 11 | 326 | 319 | 357 |
| Ct | 4,6 | 1 | 0,1 | 0,6 | 0,1 | 1,2 | 8,0 | 8,8 | 9 | 379 | 318 | 303 |
| MSSV | 4,7 | 2 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 1,6 | 9,9 | 10,4 | 5 | 493 | 203 | 304 |
| 0,80-1,00 m | | | | | | | | | | | | |
| CSS | 5,1 | 3 | 0,1 | 1,1 | 0,1 | 1,8 | 7,2 | 8,5 | 15 | 214 | 660 | 125 |
| CE | 4,9 | 2 | 0,1 | 0,5 | 0,1 | 0,7 | 6,2 | 6,9 | 10 | 378 | 290 | 332 |
| Ct | 4,6 | 1 | 0,1 | 0,5 | 0,1 | 1,1 | 7,9 | 8,6 | 8 | 425 | 283 | 292 |
| MSSV | 4,7 | 3 | 0,1 | 0,6 | 0,1 | 1,5 | 9,7 | 10,5 | 8 | 485 | 172 | 343 |

*CSS – Campo Sujo Seco; CE – Cerradão; Ct – Cerrado Típico; MSSV – Mata Seca Sempre Verde.

(4 unidades da paisagem e 8 profundidades), com três pseudo-repetições.

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 de N e da Ds, foram calculados os estoques de carbono (EstC) e de nitrogênio (EstN) pelo método de massa equivalente. Esse método preconiza a correção dos estoques de carbono e nitrogênio do solo levando em conta as

diferenças nas massas de cada camada para melhor comparação entre áreas (Sisti et al., 2004). Para o presente estudo consideraram-se como referência as massas de solo das camadas correspondentes da Mata Seca Sempre Verde (MSSV).

A abundância natural do ¹³C foi determinada com o auxílio de um espectrômetro de massa Finnigan Delta Plus, no Laboratório de Isótopos Estáveis (John Day). Os resultados de ¹³C, oriundos de três repetições, foram expressos na forma de 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

A área de MSSV apresentou menores valores de densidade do solo (Ds) quando comparada às áreas de CSS (0,0-1,0 m) e Ct (0,0-0,80 m) (Figura 2). Esse resultado pode ser atribuído aos maiores valores de EstC (Figura 3b) da MSSV em comparação a essas áreas, que pode estar promovendo o aumento na formação e estabilização dos agregados, melhorando a estrutura do solo. De maneira similar, Guareschi et al. (2012) relatam que áreas de Cerrado apresentam menor valor de Ds devido a maior deposição de resíduos vegetais na superfície do solo e, conseqüentemente, maior conteúdo de matéria orgânica. O maior valor de Ds das áreas de CSS e Ct – solos com textura mais arenosa – provavelmente também estão influenciados pelas diferenças na textura do solo em comparação à área MSSV – solos com textura mais argilosa. Esse padrão é atribuído aos solos de textura arenosa apresentarem densidade naturalmente superior em comparação aos de textura argilosa (Resende et al., 2012). A área de CSS apresentou um padrão atípico em relação a seus valores de Ds com o aumento da profundidade, verificando-se a redução do valor desse atributo da primeira camada avaliada para a última. Essa variação pode ser atribuída aos altos teores de silte observados na área de CSS (Tabela 2).

Observa-se também que os valores de Ds da MSSV se aproximaram da área de CE, sendo verificados valores semelhantes nas camadas superficiais (0,0-0,20 m e 0,30-0,40 m) e subsuperficiais (0,80-1,0 m) (Figura 2). Esse padrão ocorre devido à similaridade nos teores e EstC em algumas camadas, bem como a essas áreas apresentarem mesma classe textural (argilosa) (Tabela 2). Conforme discutido anteriormente, a associação desses dois atributos pode acarretar numa melhor agregação do solo e, conseqüentemente, menor densidade. Resultados semelhantes foram observados por Freitas et al. (2014) que, ao avaliarem a Ds sob diferentes florestas nativas, constataram que esse atributo apresentou valor maior nas áreas com menor teor de argila.

A área de MSSV não apresentou variação na Ds conforme a profundidade. Pode-se atribuir esse resultado à maior diversidade de espécies vegetais presentes nessa área (Tabelas 1 e 2), a qual contribui com uma grande variação na profundidade dos sistemas radiculares, que podem aportar mais C em profundidade em comparação com as outras fitofisionomias, ou seja, mantendo uma Ds equilibrada entre as camadas. De acordo com Braida et al. (2006), esse efeito da matéria orgânica sobre a Ds ocorre devido ao efeito amortecedor do impacto

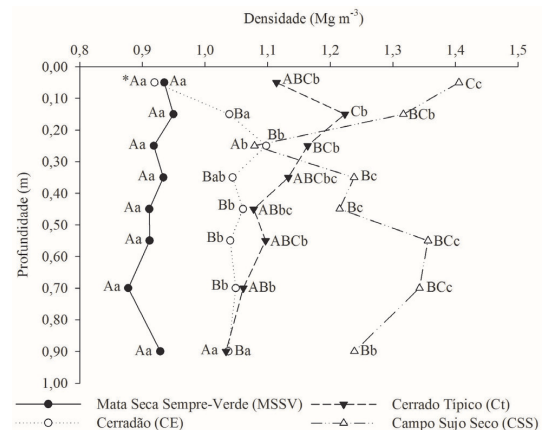


Figura 2. Densidade do solo nas diferentes áreas de estudo. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste t de Student a 5%; Letras minúsculas referem-se à comparação das áreas numa mesma camada, e maiúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento.

Figure 2. Bulk density in the different fields of study. *Means followed by the same letter do not differ statistically by Student's t test at 5%. Lower case letters refer to the comparison of the areas in the same layer and upper layers comparing averages of the same treatment.

das gotas de chuva, resultando em dissipação de parte da energia nelas contida. Outro ponto destacado pelos autores é a capacidade de retenção de água da matéria orgânica, desfavorecendo o processo de destruição dos agregados.

Já na área de CE observou-se um aumento da Ds quando comparadas a primeira camada avaliada e a última. Pode-se considerar isso como um efeito natural, pois a densidade do solo tende a aumentar em profundidade no perfil. Tal fato deve-se, provavelmente, a menor teor de matéria orgânica, menor agregação, pequena quantidade de raízes e adensamento causado pela pressão exercida pelas camadas superiores (Reinert & Reichert, 2006).

A área MSSV apresentou maior teor de C em comparação à área de Ct (0,0-0,20 m) e CSS (0,0-0,20 m; 0,30-0,40 m; 0,50-1,0 m) (Figura 3a). Nessa área também foi verificado o maior estoque de carbono (EstC) em comparação à área de Ct (0,0-0,20 m; 0,40-1,0 m) e CSS (0,0-1,0 m) (Figura 3a). Esse resultado pode ser decorrente da maior densidade de plantas e maior teor de argila da área MSSV em comparação a essas fitofisionomias (Tabelas 1 e 2). De acordo com Alcântara et al. (2011), formações florestais do Bioma Cerrado com maior diversidade de plantas e densidade de espécies arbóreas promovem maior aporte de resíduos vegetais ao solo, o que consequentemente aumenta o EstC. Já o menor

teor de argila das áreas de Ct e CSS em comparação à área de MSSV faz com que seus solos apresentem menor capacidade em retenção de carbono (Zinn et al., 2005). Avaliando a textura de solos sob fragmentos de Cerrado e florestas nativas em Minas Gerais, Skorupa et al. (2012) também verificaram correlação entre teor de argila e teor de carbono orgânico do solo. Os autores observaram que as fitofisionomias sobre solos menos argilosos apresentaram menor teor de carbono em comparação às formações vegetais localizadas em solos mais argilosos.

Outro destaque foi para a área de CE, que apresentou teor de C (0,0-1,0 m) e EstC (0,0-0,40 m; 0,50-0,60 m) semelhantes aos da MSSV (Figuras 3a e 3b), bem como maior valor de EstC em comparação com as áreas Ct (0,0-0,20 m; 0,60-0,80 m) e CSS (0,0-1,0 m). Também se pode atribuir esses resultados ao maior conteúdo de argila da área de CE em comparação às áreas de Ct e de CSS, ou seja, o solo da área de CE apresenta maior capacidade de estocar carbono.

Independentemente da fitofisionomia de Cerrado avaliada, verifica-se uma redução nos teores e no EstC em profundidade (Figuras 3a e 3b). Esse efeito é decorrente do menor aporte de material orgânico em subsuperfície (Gazolla et al., 2015).

O padrão observado para os teores de nitrogênio (N) e o EstN foram muito semelhantes aos verificados

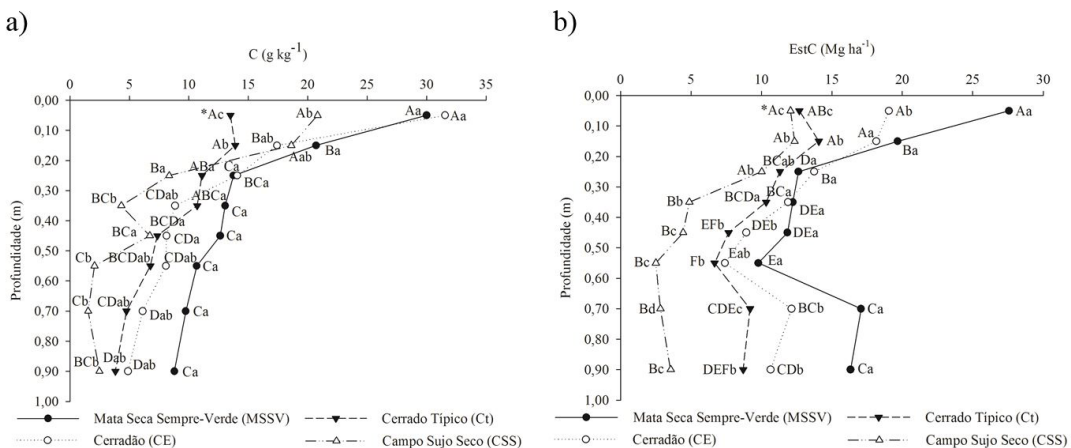


Figura 3. (a) Teor de carbono (C) e (b) estoque de carbono (EstC) do solo das áreas avaliadas. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste t de Student a 5%; Letras minúsculas referem-se à comparação das áreas numa mesma camada, e maiúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento.

Figure 3. Carbon content (C) (a) and carbon stock (StockC) (b) soil the evaluated areas. *Means followed by the same letter do not differ statistically by Student's t test at 5%. Lower case letters refer to the comparison of the areas in the same layer and upper layers comparing averages of the same treatment.

para os teores de C e o EstC do solo das áreas: a área MSSV apresentou maiores teores de N em comparação à área de Ct (0,0-1,0 m) e de CSS (0,0-1,0 m) (Figura 4a), além de maior EstN em comparação à área de Ct (0,0-0,20 m; 0,40-1,0 m) e de CSS (0,0-0,20 m; 0,40-1,0 m) (Figura 4b). Também se pode atribuir esse resultado à maior diversidade de plantas e densidade de espécies arbóreas dessa fitofisionomia, as quais resultam em maior quantidade e qualidade de resíduos vegetais no solo, o que, conseqüentemente, aumenta o teor e o EstN do solo. Resultados semelhantes foram apresentados por Cardoso (2006) que, ao avaliar diferentes fitofisionomias de Cerrado, também constatou maior teor de N na área de Mata Semidecídua em comparação a áreas de Cerrado Típico e Campo Sujo. A autora atribuiu esse padrão à vegetação da Mata Semidecídua ser mais densa, com maior conteúdo de nitrogênio nas folhas e serrapilheira, o que, somado às melhores condições de ação dos decompositores, proporciona maior disponibilidade de N no solo.

Mais uma vez, o CE foi a fitofisionomia que mais se destacou depois da MSSV quanto ao teor e EstN, apresentando teor de N (0,0-0,10 m e 0,20-0,40 m) e EstN (0,20-0,40 m) semelhantes à MSSV (Figuras 4a e 4b), bem como maior EstN em comparação à área de Ct (0,0-0,20 m; 0,30-0,40 m) e à área de CSS (0,0-0,80 m). Cardoso (2006), ao avaliar diferentes fitofisionomias também constatou semelhanças quanto ao teor de N

do solo entre áreas de Cerradão e Mata Semidecídua, atribuindo esse resultado à semelhança do porte da vegetação e do aporte de N via folhas e serrapilheira.

De maneira similar ao verificado para os resultados de C, independente da fitofisionomia de Cerrado avaliada, verifica-se que ocorrem reduções no teor e no EstN em profundidade (Figuras 4a e 4b) devido ao menor aporte de matéria orgânica nessas camadas. Esse padrão é muito comum, citado por vários trabalhos sobre o teor de nitrogênio do solo em diferentes fitofisionomias do Cerrado (Cardoso, 2006; Giacomo, 2009).

Através da análise da abundância natural de $\delta^{13}C$ (‰) no perfil do solo verifica-se que na área de CSS existe o predomínio de carbono de plantas C_4 em todas as profundidades examinadas (Figura 5). Esse resultado é concordante com a dinâmica da vegetação, visto que o estrato herbáceo dessa formação sempre foi composto por espécies de gramíneas desse ciclo fotossintético (Figura 5). Durante a fotossíntese, plantas do ciclo C_3 e C_4 discriminam o isótopo $\delta^{13}C$ com diferentes graus de intensidade. Baseando-se na literatura, verifica-se que existem plantas C_3 que apresentam valores $\delta^{13}C$ entre -33‰ e -22‰, enquanto em plantas C_4 tais valores situam-se entre -16‰ e 9‰ (Guareschi et al., 2014).

Resultados semelhantes foram verificados por Marimon & Haridasan (2005) e Skorupa et al. (2012), que observaram o desenvolvimento de uma vegetação

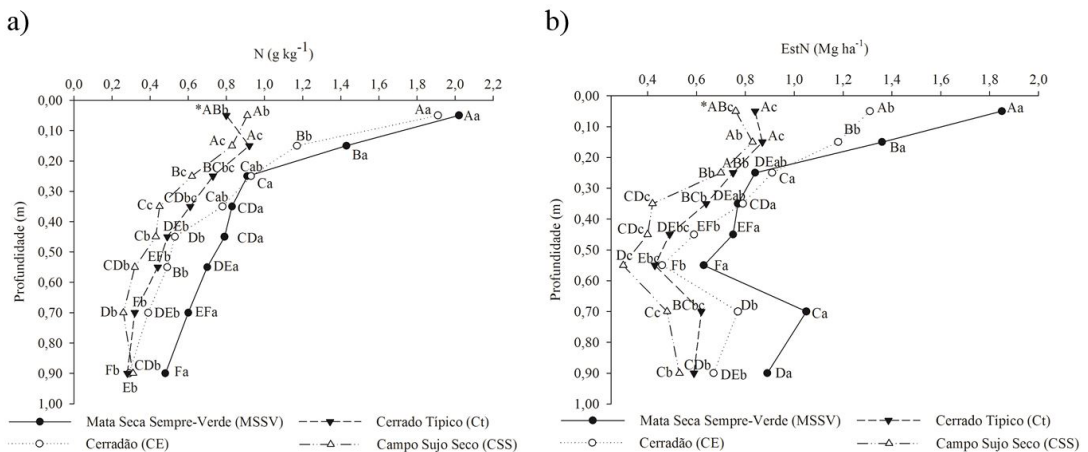


Figura 4. (a) Teor de nitrogênio (N) e (b) estoque de nitrogênio (EstN) do solo das áreas avaliadas. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste t de Student a 5%; Letras minúsculas referem-se à comparação das áreas numa mesma camada, e maiúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento. **Figure 4.** Content of Nitrogen (N) (a) and nitrogen stock (EstN) (b) soil the evaluated areas. *Means followed by the same letter do not differ statistically by Student's t test at 5%. Lower case letters refer to the comparison of the areas in the same layer and upper layers comparing averages of the same treatment.

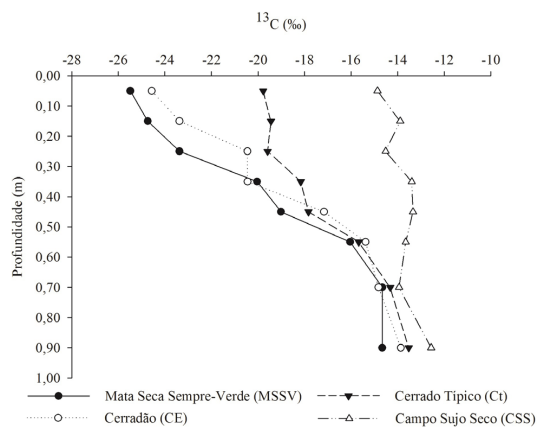


Figura 5. Abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) do solo em diferentes camadas das áreas avaliadas.

Figure 5. Abundance of natural $\delta^{13}\text{C}$ (‰) of soil the evaluated areas.

de maior porte arbóreo em áreas de solos mais argilosos (Cerradão) quando comparadas a áreas de Cerrado Stricto Sensu, nas quais o teor de argila era menor.

Quanto às áreas de MSSV e de CE, observa-se que até 0,40 m de profundidade a origem do carbono está associada à contribuição de resíduos vegetais derivados, principalmente, de plantas C_3 (espécie arbóreas) (Figura 5). De 0,40 m a 1,0 m de profundidade, verifica-se nessas áreas o aumento do sinal de $\delta^{13}\text{C}$, aproximando-se os resultados dos observados na área de CSS nas últimas profundidades (Figura 5). Esse resultado indica que a fitofisionomia que ocupava as áreas de MSSV, de CE e de Ct era composta de plantas do ciclo C_4 , semelhantes à vegetação encontrada atualmente na área de CSS. Dessa forma verifica-se a evolução de uma vegetação de ciclo fotossintético C_4 para C_3 em apenas 53 anos de enchimento da barragem da UHT Três Marias. Pode-se inferir que essas modificações ocorreram devido à textura mais argilosa do solo nessas áreas, a qual influenciou no funcionamento do solo como reservatório e no fluxo de água, e na dinâmica de carbono e nutrientes, tornando-as capazes de atender mais adequadamente a demanda hídrica e nutricional de uma vegetação de maior porte (espécies arbóreas C_3), como a da MSSV e do CE. Resultados semelhantes foram verificados por Marimon & Haridasan (2005) e Skorupa et al. (2012), que observaram o desenvolvimento de uma vegetação de maior porte arbóreo em áreas de solos mais argilosos (Cerradão) quando comparadas a áreas de Cerrado Stricto Sensu, nas quais o teor de argila era menor.

Já a área de Ct também apresentou, na camada 0,40-1,0 m, valores de $\delta^{13}\text{C}$ mais positivos, igualando-se à área de CSS. No entanto, nos primeiros 0,40 m, o sinal de $\delta^{13}\text{C}$ apresentou um caráter intermediário em comparação às demais fitofisionomias (Figura 5). Dessa forma, pode-se inferir que o Ct também evoluiu de uma vegetação de plantas do tipo C_3 para C_4 . No entanto, a vegetação arbórea atual da área de Ct também é dispersa e com presença de gramíneas no sub-bosque, apresentando um sinal de $\delta^{13}\text{C}$ de caráter intermediário entre as outras fitofisionomias, pois apresenta contribuição de C de plantas C_3 e C_4 ao solo. Resultados semelhantes foram apresentados por Silva (2007), que relata que, nos solos de Cerrado, valores intermediários de $\delta^{13}\text{C}$ são consistentes, uma vez que esse ecossistema pode apresentar uma mistura desses dois grupos de plantas. Examinando-se os valores de $\delta^{13}\text{C}$ da MOS ao longo de uma transeção realizada no Pantanal (Victoria et al., 1995), nota-se que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ seguiram os valores isotópicos da vegetação presente. Na parte da transeção dominada por gramíneas (0 a 350 metros), os valores de $\delta^{13}\text{C}$ da MOS foram próximos aos valores isotópicos das gramíneas C_4 , enquanto que na parte dominada por plantas C_3 os valores se mostraram próximos à composição isotópica dessas plantas.

A partir do que foi mencionado foi possível detectar a substituição de algumas fitofisionomias por outras no decorrer dos anos através dos atributos presentes no solo da EEP. A avaliação dos atributos do solo oferece uma visão útil para gestores privados e públicos, informações a considerar no desenvolvimento de estratégias de monitoramento e interação com a mudança ambiental. A geração de informações estruturais sobre o ocorrido no passado é de suma importância para avaliação dos impactos antrópicos, desenvolvimento de técnicas de manejo eficientes e planejamento de ações, em Unidades de Conservação, que visem auxiliar na conservação do Bioma Cerrado.

4. CONCLUSÃO

As análises apresentadas elucidaram as mudanças ocorridas na EEP, fornecendo assim dados relevantes para conservação de ambientes naturais do Bioma Cerrado.

Foram constatadas diferenças significativas nos atributos do solo entre as fitofisionomias avaliadas.

O maior teor de argila do solo e maior densidade de espécies vegetais da Mata Seca Sempre Verde e do Cerradão favoreceram maior teor e estoque de carbono e de nitrogênio no solo em comparação com as demais fitofisionomias.

A análise da abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ revelou que as áreas de Mata Seca Sempre Verde, de Cerradão e de Cerrado Típico eram antes ocupadas por uma vegetação semelhante ao Campo Sujo Seco encontrado atualmente na EEP.

STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 30 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

- Alcântara FA No, Leite LFC, Arnhold E, Maciel GA, Carneiro RFV. Compartimentos de carbono em latossolo vermelho sob cultivo de Eucalipto e fitofisionomias de Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2011; 35(3): 849-856. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000300019>.
- Alves BJR, Oliveira OC, Boddey RM, Urquiaga S. Métodos isotópicos. In: Santos GA, Silva LS, Canellas LP, Camargo FAO, editores. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais*. 2. ed. Porto Alegre; 2008.
- Azevedo LG, Babosa AAA, Bedretchuk AC, Oliveira ALC, Gorgonio AS, Siqueira FB et al. *Ensaio Metodológico de Identificação e Avaliação de Unidades Ambientais: a Estação Ecológica de Pirapitinga, MG*. Belo Horizonte: Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente; 1987.
- Braida JA, Reichert JM, Veiga M, Reinert DJ. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2006; 30(4): 605-614. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000400001>.
- Cardoso E. *Dinâmica de nutrientes em fitofisionomias do domínio dos cerrados na Estação Ecológica de Panga, Região do triângulo mineiro* [tese]. Brasília: Universidade de Brasília; 2006.
- Cremon C, Mapeli NC, Franco PP, Silva WM. Atributos do solo em diferentes fitofisionomias do Cerrado Matogrossense. *Agrarian* 2009; 2(6): 47-59.
- Eiten G. *Vegetação natural do Distrito Federal*. 1. ed. Brasília: Universidade de Brasília; 2001.
- 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.
- Freitas L, Casagrande JC, Oliveira VMR, Oliveira IA, Moreti TCF. Avaliação de atributos químicos e físicos de solos com diferentes texturas sob vegetação nativa. *Enciclopédia Biosfera* 2014; 10(19): 523-534.
- Gazolla PR, Guareschi RF, Perin A, Pereira MG, Rossi CQ. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. *Semina: Ciências Agrárias* 2015; 36(2): 693-704.
- Giácómo RG. *Fitossociologia, aporte de serapilheira, estoques de carbono e nitrogênio em diferentes formações vegetais na Estação Ecológica de Pirapitinga – MG* [dissertação]. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; 2009.
- 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>.
- Guareschi RF, Pereira MG, Perin A. Carbono, nitrogênio e abundância natural de ^{13}C e ^{15}N em uma cronossequência de agricultura sob plantio direto no Cerrado goiano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2014; 38(1): 1135-1142. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000400009>.
- Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 2006; 15(3): 259-263. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>.
- 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.
- Marimon H Jr, Haridasan M. Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um Cerradão e um Cerrado sensu stricto em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. *Acta Botanica Brasílica* 2005; 19(4): 913-926. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062005000400026>.
- Melillo JM, Aber JD, Linkins AE, Ricca A, Fry B, Nadelhoffer KJ. Carbon and nitrogen dynamics along the decay continuum: Plant litter to soil organic matter. *Plant and Soil* 1989; 115(4): 189-198. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02202587>.

- Reinert DJ, Reichert JM. *Propriedades físicas do solo*. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2006.
- Resende TM, Moraes RM, Franco FO, Arruda EM, Araújo JR, Santos DS et al. Avaliação física do solo em áreas sob diferentes usos com adição de dejetos animais no bioma Cerrado. *Bioscience Journal* 2012; 28(Supl 1): 179-184.
- Ribeiro JF, Walter BMT. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: Sano SM, Almeida SP, Ribeiro JF, editores. *Cerrado: ecologia e flora*. Brasília: Embrapa; 2008.
- Silva LCR. *Dinâmica de transição e interações entre fitofisionomias florestais e formações vegetacionais abertas do bioma cerrado* [dissertação]. Brasília: Universidade de Brasília; 2007.
- Siqueira M No, Piccolo MC, Scopel E, Costa C Jr, Cerri CC, Bernoux M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. *Acta Scientiarum: Agronomy* 2009; 31(4): 709-717.
- 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>.
- Skorupa ALA, Guilherme LRG, Curi N, Silva CPC, Scolforo JRS, Sá JGMM. Propriedades de solos sob vegetação nativa em Minas Gerais: distribuição por fitofisionomia, hidrografia e variabilidade espacial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2012; 36(1): 11-22. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000100002>.
- Victoria RL, Fernandes F, Martinelli LA, Cassia Piccolo M, Camargo PB, Trumbore S. Past vegetation changes in the Brazilian Pantanal arboreal-grassy savanna ecotone by using carbon isotopes in the soil organic matter. *Global Change Biology* 1995; 1(3): 165-171. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.1995.tb00018.x>.
- Zinn YL, Lal R, Resck DVS. Texture and organic carbon relations described by a profile pedotransfer function for Brazilian Cerrado soils. *Geoderma* 2005; 127(4): 168-173. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.02.010>.