

CONVERSÃO DA VEGETAÇÃO DE CERRADO EM PASTAGENS: IMPACTOS AMBIENTAIS E ALTERAÇÕES NO TEOR E NATUREZA DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO

Thalita Mendes RESENDE¹

Vania ROSOLEN²

Resumo

O Cerrado Brasileiro, com sua ampla extensão e heterogeneidade de ecossistemas, abriga uma enorme biodiversidade. Mas as áreas originalmente recobertas com vegetação de Cerrado vêm sendo desmatadas e substituídas por sistemas agropecuários, causando impactos como erosão e alterações no teor e natureza do carbono orgânico do solo. Diante disso, este trabalho objetivou avaliar o teor e a origem do carbono orgânico do solo na Bacia do Ribeirão Bom Jardim (Triângulo Mineiro/MG), após conversão da vegetação de Cerrado em áreas de pastagens manejada e degradada, visando apresentar o potencial de degradação do solo em relação à atividade, ao manejo e ao tempo de uso do mesmo. Os resultados das análises de carbono total (%C) e carbono isotópico ($\delta^{13}\text{C}$) revelaram um gradativo empobrecimento no teor de carbono nas áreas sob pastagem. Além disso, houve uma substituição do C da MOS de espécies C_3 do Cerrado em C de gramíneas C_4 quando comparadas com o solo de remanescente de Cerrado arbóreo.

Palavras-chave: Cerrado brasileiro. Pastagem manejada. Pastagem degradada. Carbono orgânico do Solo.

Abstract

Conversion of Cerrado vegetation in Pasture areas: Environmental Impacts and Changes in the Content and Nature of soil organic carbon

The Brazilian Cerrado, with its wide scope and variety of ecosystems, nestles an enormous biodiversity. But the areas originally covered with Cerrado vegetation have been cleared and replaced by farming systems, causing impacts such as erosion and changes in the content and nature of soil organic carbon. Thus, this study aimed to analyze the content and origin of soil organic carbon in the Basin of Ribeirão Bom Jardim (Triângulo Mineiro / MG), after the conversion of Cerrado vegetation in degraded and managed pasture areas, in order to show the degradation potential of the soil in comparison to activity, the management and its time of use. The results of the analysis of total carbon (%C) and carbon isotope ($\delta^{13}\text{C}$) uncovered a gradual impoverishment in the carbon content of the pasture areas. Furthermore, there was a substitution in MOS C of C_3 species from Cerrado in C_4 grassland C. when compared to the remaining soil of Cerrado's tree area.

Key words: Brazilian Cerrado. Managed Pasture areas. Degraded Pasture áreas. Soil Organic Carbon.

¹ Mestranda no Programa de Pós Graduação em Geografia. Bolsista Capes. Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Av. João Naves de Ávila, 2121. B.Santa Mônica - CEP: 38408-100. Uberlândia / MG. Tel.: +55 34 3239 4169 (ramal 40). E-mail: thalitamresende@yahoo.com.br

² Profa. Dra. do Instituto de Geografia - Universidade Federal de Uberlândia (UFU). E-mail: vrosolen@ig.ufu.br

INTRODUÇÃO

A rápida degradação do solo, especialmente nos países tropicais em desenvolvimento, despertou nas últimas décadas, a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade da exploração agropecuária (SANCHEZ, 1976; LAL; PIRCE, 1991). Em termos de abrangência geográfica, estima-se que a área global ocupada pelos solos degradados seja cerca de 2 bilhões de hectares em virtude das intensas interferências nos ecossistemas. A degradação do solo pode ser entendida como o declínio da qualidade e da capacidade produtiva causada pelo mau uso (SIQUEIRA et al., 1994). Essa qualidade do solo pode ser medida usando vários parâmetros físicos, químicos e biológicos e, dentre eles, carbono orgânico total (COT) ou matéria orgânica do solo (MOS) (LARSON; PIRCE, 1994). A degradação ocorre quando a vegetação nativa e fauna são destruídas, a camada fértil do solo é perdida, removida ou enterrada e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico são alterados causando profundas mudanças no ecossistema e tornando inviável a exploração sócio econômica e ambiental da área (IBAMA, 1990; BRADSHAW, 1997).

O Cerrado brasileiro se destaca pela sua intensa e rápida conversão em áreas agropecuárias, excedendo a região amazônica (NEPSTAD et al., 1997; RATTER et al., 1997; KLINK; MOREIRA, 2002) e é considerado como uma das últimas fronteiras agrícolas do planeta para satisfazer as necessidades crescentes da humanidade. A expansão da ocupação no Cerrado ocorreu a partir do desmatamento indiscriminado da rica vegetação, que resultou em sistemas produtivos de monoculturas em larga escala, mecanizados e altamente dependentes de insumos químicos. Nos vastos espaços do Cerrado que se converteram, desde a década de 1970, em importantes áreas agrícolas, o uso do território como recurso é evidente (SANTOS, 2000). Estima-se que 50% do Cerrado é terra potencialmente arável e que dois terços poderiam ser incorporadas na agricultura / pecuária / produção florestal (LOPES, 1996). As políticas governamentais, programas de incentivo e criação do Centro Nacional de Investigação Agrícola (Embrapa) também têm incentivado a expansão agrícola na região. Sano et al. (2000), utilizando dados do censo de 1995-1996 e do Sistema Geográfico de Informação (GIS), estimaram que 20% do Cerrado brasileiro estão sob pastagens cultivadas e, segundo Barcellos (1996), 80% da área total de pastagens cultivadas estavam degradadas.

Dentre os diversos impactos ambientais decorrentes da conversão da vegetação original do Cerrado em sistemas agropecuários cita-se o empobrecimento e a mudança da natureza do carbono orgânico do solo. Isto ocorre porque o teor de MOS é muito sensível às práticas de manejo, principalmente nas regiões tropicais, onde nos primeiros anos de cultivo, mais de 50% da MO previamente acumulada é perdida por diversos processos, como a decomposição microbiana e a erosão (SANCHEZ, 1976; DALAL; MAYER, 1986; GREENLAND et al., 1992; ANDREUX, 1996; PICCOLO, 1996). A temperatura elevada e as condições de umidade dos trópicos aceleram os processos bioquímicos do solo e, quando associados a sistemas convencionais de preparo do solo, que diminuem a proteção física da MO (CONCEIÇÃO, 2006), determinam taxas de mineralização maiores em relação às taxas de adição de resíduos orgânicos, diminuindo, portanto, o estoque de MO e contribuindo para a emissão de CO₂ à atmosfera. Inicia-se assim um processo de degradação física, química e biológica do solo com redução da produtividade aumento da erosão, que por sua vez, retroalimenta o processo de degradação (MIELNICZUK, 1988).

Os solos do Cerrado brasileiro estocam aproximadamente entre 4 e 5 Kg C m⁻², apresentando áreas cujos estoques diminuem e variam entre 1,5 e 4 kg C m⁻² (BERNOUX et al., 2002). As mudanças no uso do solo e no manejo podem induzir a diminuição do estoque de carbono e resultar, por exemplo, em aumento da quantidade dos gases do efeito estufa na atmosfera além da perda de fertilidade, aumento das taxas de erosão e comprometimento da quantidade e qualidade dos recursos hídricos. No Brasil, dois terços do total das emissões de CO₂ vêm da agricultura e da mudança do uso da terra e a variação dos teores de carbono do solo é uma função do uso (CERRI et al., 2007).

Este artigo tem como objetivo avaliar mudanças no teor (C%) e na natureza do carbono orgânico do solo ($\delta^{13}\text{C}$) após aproximadamente 30 anos de histórico de conversão da vegetação de Cerrado em áreas de pastagem manejada e degradada na Bacia do Ribeirão Bom Jardim visando avaliar o potencial de degradação do solo em relação à atividade, ao tempo de uso e ao manejo. A área de estudo, situada entre os municípios de Uberlândia e Uberaba – Região do Triângulo Mineiro / estado de Minas Gerais, não é uma exceção quando se analisa a conversão da vegetação natural de Cerrado em sistemas agropecuários. Desde a década de 1970, a vegetação original de Cerrado, que recobria toda a bacia, vem sendo substituída por extensas áreas de monoculturas (milho, soja, cana etc.), pastagens e reflorestamento (BRITO, 2001).

O tema tem relevância científica e prática tendo em vista a escassez de estudos nesta área acerca da relação entre mudanças no uso da terra e a potencialidade de estoque de carbono, e a necessidade de produção agrícola em conformidade com as preocupações ambientais, de forma a elevar o aproveitamento das terras já destinadas à agricultura, assim como promover a preservação das áreas de remanescentes da vegetação nativa, considerando a diminuição da emissão de gases do efeito estufa, o potencial de estoque de carbono e a conservação dos solos e das águas.

LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA

As áreas de coleta de solo localizam-se na Bacia do Ribeirão Bom Jardim, situada entre as porções Sul do município de Uberlândia e Norte do município de Uberaba entre as coordenadas $18^{\circ}58'00''$ - $19^{\circ}20'30''$ Sul e $48^{\circ}04'00''$ - $48^{\circ}18'00''$ Oeste (Figura 1). Os municípios de Uberlândia e Uberaba estão inseridos na Região do Triângulo Mineiro / MG, originalmente recoberta pela vegetação de Cerrado. No entanto, desde a década de 1970 esta região está sendo fortemente desmatada por ser uma área pioneira de expansão do agronegócio.

A área drenada pela bacia é de $398,54 \text{ Km}^2$ e o seu perímetro de $108,848 \text{ Km}$. O ribeirão Bom Jardim nasce nas proximidades da rodovia BR-050 (Uberlândia-Uberaba), no município de Uberaba, percorrendo aproximadamente 40 Km até a sua confluência com o rio Uberabinha, nas proximidades da área urbana de Uberlândia. Este curso d'água constitui-se numa das principais fontes de captação de água para abastecimento urbano da população de Uberlândia.

O clima da região é o tropical, caracterizado pela alternância de estações úmidas e secas, por influência sazonal de massas de ar. As condições climáticas predominantes na área de estudo são bastante semelhantes às encontradas no Brasil Central Tropical, com duas estações bem definidas: uma seca que se prolonga de aproximadamente março a outubro, e a outra chuvosa, que se estende de novembro a fevereiro (FELTRAN FILHO, 1997).

A precipitação atmosférica média dessa região é de aproximadamente 1.550 mm , concentrada nos meses mais chuvosos que são dezembro e janeiro, representando cerca de 41% da precipitação média anual. Os meses menos chuvosos são junho e julho. A temperatura média anual é de 22°C , sendo que os meses mais quentes são fevereiro ($23,5^{\circ}\text{C}$), outubro e novembro ($23,4^{\circ}\text{C}$) e os meses mais frios junho e julho ($18,8^{\circ}\text{C}$) (ROSA et al., 1991).

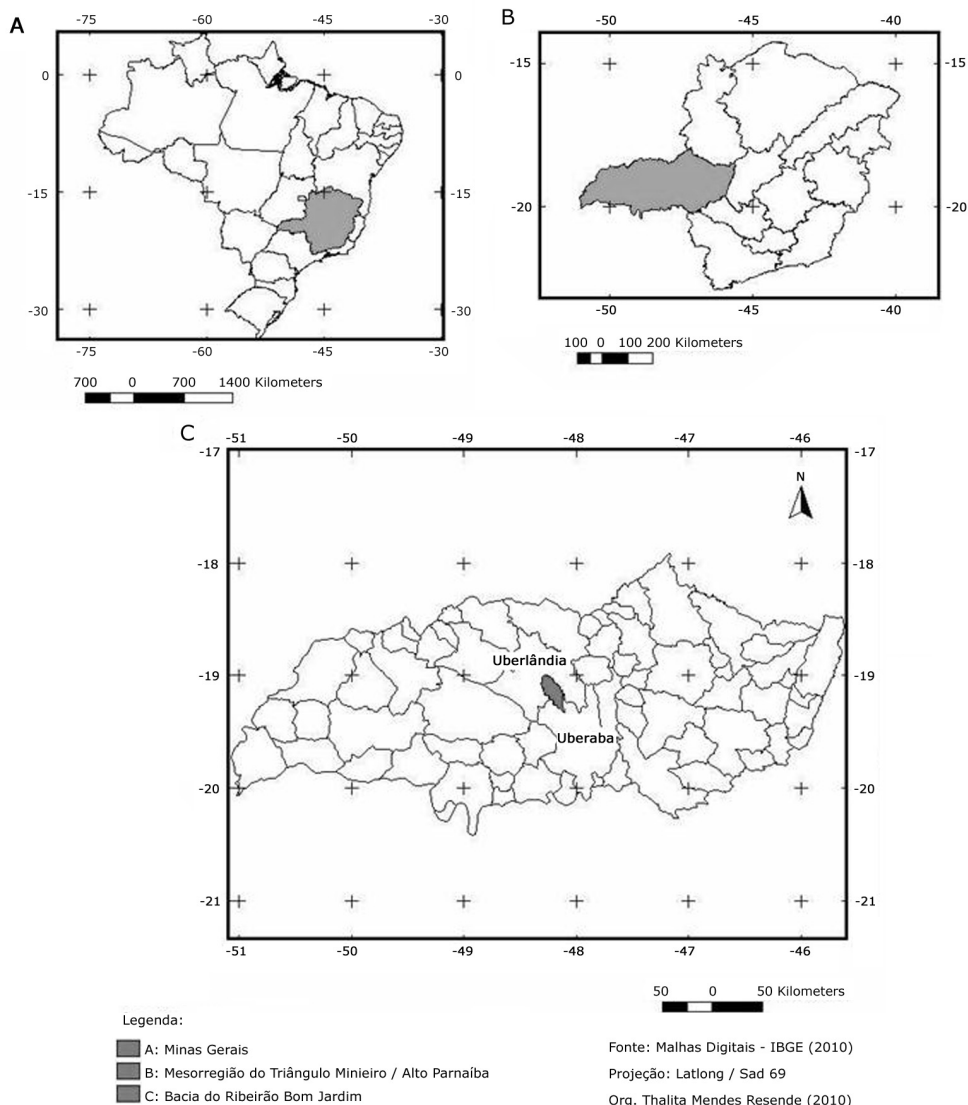


Figura 1 - Localização da Bacia do Ribeirão Bom Jardim nos municípios de Uberlândia e Uberaba, Estado de Minas Gerais, Brasil

O relevo da bacia do Ribeirão Bom Jardim está inserido na grande área denominada Chapadões Tropicais do Brasil Central (AB’SABER, 1971). Ou ainda na região denominada pelo projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1983) de planaltos e chapadas da Bacia sedimentar do Paraná. De acordo com o “Levantamento de reconhecimento de média intensidade de solos e avaliação da aptidão agrícola das terras”, elaborado pela Embrapa e Epamig (1982), foram

encontradas, na área de estudo, as seguintes classes de solos: Latossolo Vermelho-Escuro; Latossolo Vermelho-Amarelo; e Glei Húmico.

METODOLOGIA

Coleta das amostras de solo

Em função da análise do uso atual da Bacia do Ribeirão Bom Jardim foram coletadas 15 amostras, distribuídas em 9 pontos de amostragem. Desse total, 3 pontos de coleta referem-se à uma área remanescente de Cerrado arbóreo denso – Ponto 1 (coordenadas 791.320 E / 7.889.989 N); outros 3 pontos referem-se a uma área de Pastagem Manejada – Ponto 2 (coordenadas 797.739 E / 7.873.718 N), que foi uma área experimental do projeto CIAT - Centro Internacional de Agricultura Tropical da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) que, entre 1995 e 2005, realizou pesquisas sobre melhoramento de forrageiras do gênero *Brachiaria*. Hoje, esta área é adubada convencionalmente e, a cada três anos, é fertilizada com esterco de peru e calagem, e a gramínea cultivada continua sendo a *Bachiaria*; e os outros 3 pontos de coleta trata-se de uma área sob Pastagem Natural Degradada com gramínea original do Cerrado – Ponto 3 (coordenadas 799.739 E / 7.873.718 N).

Em cada ponto de amostragem foram abertas trincheiras e coletadas amostras em duas profundidades, entre 0 e 10cm e entre 20 e 30cm. As profundidades escolhidas deve-se ao fato de que os maiores teores de carbono orgânico encontram-se estocados na superfície do solo e que o desflorestamento e perda por mineralização se refletirá de forma mais rápida e acentuada nestas camadas (BERNOUX et al., 2002). Em cada profundidade foram coletadas 3 amostras o que corresponde a 6 amostras em cada categoria de uso. As amostras foram secas inicialmente em condições ambientais de laboratório e, posteriormente em estufa com temperatura de 30°C até atingir peso constante. Em seguida, as amostras foram destorroadas, homogeneizadas e passadas em peneira de 2mm para obter a fração terra fina.

As três áreas de amostragem – Cerrado, Pastagem Manejada e Pastagem Degradada – apresentam solos similares, isto é, Latossolos. A composição mineralógica comum associa caolinita, gibbsita, hematita e goethita e quartzo residual (MACEDO; BRYANT, 1987) sendo que os teores variam de acordo com a litologia e posição topográfica (VOLKOFF, 1985; CURI; FRANZMEIER, 1984).

Análises em laboratório

Após a coleta das amostras de solo realizou-se a análise granulométrica, segundo o método de peneiramento e pipetagem em frações padronizadas (areia, silte e argila) proposto no Manual de Métodos de Análise de solo (EMBRAPA, 1997). 10 gramas de TFSA (terra fina seca ao ar) foram dispersadas acrescentando-se 50 mL de solução dispersante de NaOH 0,1 mol L⁻¹ (hexametáfosfato e hidróxido de sódio) e 150 mL de água deionizada e agitadas mecanicamente (12.000 rpm) durante 15 minutos. Posteriormente, a suspensão foi passada em peneira malha 0,210mm para separar a fração areia grossa, e em peneira malha 0,053mm para separar areia fina. A fração argila foi calculada coletando-se 25 mL da suspensão, decorrido o tempo calculado pela Lei de Stokes. O teor de silte foi calculado pela diferença entre a amostra total e a soma entre as frações areia e argila.

Para determinação do carbono orgânico total (%C) e da natureza do carbono ($\delta^{13}\text{C}$), as amostras de solo foram secas a 50°C até atingir peso constante. Raízes e outros resíduos vegetais foram removidos por catação e peneiramento. Qualquer material vegetal remanescente foi removido por HCl 0,01 M e posterior peneiramento a 210µm. O carbono isótopo ($\delta^{13}\text{C}$) e o carbono orgânico total (%C) foram determinados usando um *Carlo Erba Elemental Analyser* CHN-1110 (Milão, Itália), anexado a um espectrômetro de massa *Thermo Finnigan, Plus Delta* (Bremen, Alemanha). As análises foram realizadas no Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Universidade de São Paulo (USP). As incertezas analíticas foram de 0,3 ‰. Os teores de carbono orgânico total são expressos em percentagem de solo seco (%C) e da razão isotópica do carbono em $\delta^{13}\text{C}$ ‰ (CERRI et al., 1985). O padrão usado na terminação do $\delta^{13}\text{C}$ é o PDB, um carbonato (*Belemnita americana*) da formação *Pee Dee* da Carolina do Sul (EUA). As plantas do ciclo C_4 apresentam concentrações mais elevadas de ^{13}C , com valores entre -9‰ e -20‰, enquanto as plantas do ciclo C_3 tem $\delta^{13}\text{C}$ entre -22‰ e -40‰. A composição isotópica média do ^{13}C da matéria orgânica do solo reflete a da vegetação ou sucessão de vegetações que a produziu (DEINES, 1980).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Composição granulométrica dos solos

A análise granulométrica mostrou variações na quantidade de areia, silte e argila de acordo com o uso estabelecido e a profundidade em que o solo foi coletado. No solo recoberto por Cerrado (Ponto 1), na profundidade de 0-10cm, o teor médio de areia grossa é de 45%, de areia fina 25% e de argila 28%. Na profundidade de 20-30cm o teor médio de areia grossa é de 44%, de areia fina 26% e de argila 28%. Nos solos sob pastagem houve um enriquecimento da fração areia. Na pastagem manejada (Ponto 2) destaca-se a maior concentração de areia fina. O teor médio na profundidade entre 0-10cm foi de 46% e entre 20-30cm de 45%. O teor médio da fração areia grossa foi de 31% entre 0-10cm e de 31% entre 20-30cm enquanto a média dos teores de argila foram de 21% de 0-10cm e 21% de 20-30cm. O solo com pastagem degradada (Ponto 3) evidenciou nítida redução nos teores de argila, que conseqüentemente, pode afetar a capacidade de estoque de carbono. O teor médio de argila foi de 14% na profundidade entre 0-10cm e de 16% entre 20-30cm. Os teores médios de areia grossa foram de 45% e de 49%, as profundidades entre 0-10 e 20-30cm respectivamente e de areia fina de 40% entre 0-10cm e 33% entre 20-30cm (Tabela 1).

Os resultados apresentados indicaram que o manejo causou redução nos teores de argila. Solos similares que sob a vegetação de cerrado eram compostos por uma média de 28% de argila nas profundidades entre 0-10cm resultam em uma quantidade média de 14% quando estão sob pastagem degradada. Tal comportamento pode influenciar na conservação do estoque de carbono do solo. Quando os solos do Cerrado são convertidos em pastagem sem manejo adequado aumenta-se a sua exposição e resulta em rápida degradação macroestrutural fato impulsionado pela alta susceptibilidade de perder argila no horizonte superficial em função da erosão laminar (BALBINO et al., 2002) resultando na perda da fertilidade física e química.

Tabela 1 - Análise Granulométrica do solo sob diferentes usos da terra e cobertura vegetal – Bacia do Ribeirão Bom Jardim (MG)

Ponto	Identificação (Uso Atual)	Prof.* (cm)	Granulometria			
			Areia Grossa (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)
C-1-1	Cerrado	0-10	43,81	24,47	3,00	28,72
C-1-2	Cerrado	20-30	42,15	27,41	2,12	28,32
C-2-1	Cerrado	0-10	40,18	27,06	1,52	31,24
C-2-2	Cerrado	20-30	45,70	27,38	2,56	24,36
C-3-1	Cerrado	0-10	49,81	24,07	1,16	24,96
C-3-2	Cerrado	20-30	43,74	24,46	1,80	30,00
Média	Cerrado	0-10	44,60	25,20	1,89	28,31
Média	Cerrado	20-30	43,86	26,42	2,16	27,56
PM-1-1	Pastagem Manejada	0-10	31,68	44,14	2,10	22,08
PM-1-2	Pastagem Manejada	20-30	29,95	44,71	2,90	22,44
PM-2-1	Pastagem Manejada	0-10	30,43	45,17	2,60	21,80
PM-2-2	Pastagem Manejada	20-30	31,08	46,52	2,60	19,80
PM-3-1	Pastagem Manejada	0-10	29,83	48,17	2,36	19,64
PM-3-2	Pastagem Manejada	20-30	30,52	43,40	4,72	21,36
Média	Pastagem Manejada	0-10	30,65	45,83	2,35	21,17
Média	Pastagem Manejada	20-30	30,52	44,88	3,41	21,20
PD-1-1	Pastagem Degradada	0-10	43,75	41,45	1,12	13,68
PD-1-2	Pastagem Degradada	20-30	48,37	34,47	0,80	16,36
PD-2-1	Pastagem Degradada	0-10	44,76	40,76	0,32	14,16
PD-2-2	Pastagem Degradada	20-30	50,84	32,44	1,88	14,84
PD-3-1	Pastagem Degradada	0-10	45,93	39,35	0,16	14,56
PD-3-2	Pastagem Degradada	20-30	48,38	33,04	1,50	17,08
Média	Pastagem Degradada	0-10	44,81	40,52	0,53	14,13
Média	Pastagem Degradada	20-30	49,19	33,32	1,39	16,09

*Profundidade.

Comportamento do teor (%C) e origem ($\delta^{13}\text{C}$) da M.O.S

No solo sob vegetação original de cerrado, nas profundidades entre 0-10cm foram determinados teores de carbono (C%) de 1,5 a 2% (média de 1,75%; dp de 0,26) e nas profundidades entre 20-30cm teores de 0,77 a 0,92% (média de 0,86%; dp 0,08). No solo recoberto com pastagem manejada, entre 0-10 cm, C% variou entre 0,91 e 1,43% (média de 1,13%; dp 0,27) e entre 20-30cm C% variou de 0,67 a 0,75% (média de 0,7%; dp 0,04). A perda média aproximada de carbono nas camadas de solo de pastagem manejada em relação às camadas do solo do cerrado foi de aproximadamente 22% nos primeiros 10cm de profundidade e de 19% entre 20 a 30 cm. No solo recoberto com pastagem degradada houve nitidamente um empobrecimento de C tanto em superfície quanto em subsuperfície (63,43% e 50%, respectivamente). Nas profundidades de 0-10cm os teores de C variou de 0,61 a 0,66% (média de 0,64%; dp 0,03) e, entre 20-30cm variou de 0,41 a 0,45% (média de 0,43%; dp 0,02) (Tabela 2).

Tabela 2 - Análise do Teor e Origem do Carbono sob diferentes usos da terra e cobertura vegetal – Bacia do ribeirão Bom Jardim (MG)

Ponto	Identificação (Uso Atual)	Prof. ** (cm)	Teor e origem do Carbono	
			C total (g/100g)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
C-1-1	Cerrado	0-10	1,74	-26,08
C-1-2	Cerrado	20-30	0,92	-25,04
C-2-1	Cerrado	0-10	2,01	-26,18
C-2-2	Cerrado	20-30	0,90	-24,84
C-3-1	Cerrado	0-10	1,50	-26,33
C-3-2	Cerrado	20-30	0,77	-24,44
Média	Cerrado	0-10	1,75	-26,20
DP*			0,26	0,13
Média	Cerrado	20-30	0,86	-24,77
DP*			0,08	0,31
PM-1-1	Pastagem Manejada	0-10	0,91	-13,34
PM-1-2	Pastagem Manejada	20-30	0,69	-13,05
PM-2-1	Pastagem Manejada	0-10	1,06	-13,36
PM-2-2	Pastagem Manejada	20-30	0,67	-13,17
PM-3-1	Pastagem Manejada	0-10	1,43	-13,39
PM-3-2	Pastagem Manejada	20-30	0,75	-12,85
Média	Pastagem Manejada	0-10	1,13	-13,37
DP*			0,27	0,03
Média	Pastagem Manejada	20-30	0,70	-13,03
DP*			0,04	0,16
PD-1-2	Pastagem Degradada	0-10	0,63	-13,93
PD-2-1	Pastagem Degradada	20-30	0,45	-14,62
PD-2-2	Pastagem Degradada	0-10	0,61	-13,96
PD-2-2	Pastagem Degradada	20-30	0,41	-14,38
PD-3-1	Pastagem Degradada	0-10	0,66	-14,57
PD-3-2	Pastagem Degradada	20-30	0,44	-13,50
Média	Pastagem Degradada	0-10	0,64	-14,15
DP*			0,03	0,36
Média	Pastagem Degradada	20-30	0,43	-14,17
DP*			0,02	0,59

* Desvio Padrão; ** Profundidade.

Considerando a relação uso do solo e empobrecimento de C, as menores taxas de concentração foram determinadas sob solo de pastagem degradada nas duas profundidades analisadas. As pastagens naturais do bioma cerrado, formadas após o corte e queima da vegetação original, é de baixa qualidade e quantidade e não cobre toda a superfície do solo. Nestas regiões de contrastes climáticos sazonais com chuvas concentradas de verão e forte insolação a dessecação torna os solos expostos altamente susceptíveis, refletindo diretamente nos teores de C (BROSSARD; LÓPES-HERNÁNDES, 2005). Em vários ecossistemas e, especialmente, nos agroecossistemas, a formação e a destruição dos macroagregados que acompanham a variação da dinâmica sazonal ocorrem em um ritmo mais rápido do que a entrada de um novo C proveniente da cultura (PLANTE et al., 2002; SIX et al., 2004). Também, o aumento do teor da MOS em solos lateríticos constituídos por argila de atividade baixa é determinada pela relação carbono e argila e, esta relação, pode equalizar os teores obtidos em solos cultivados com aqueles de vegetação nativa (FELLER et al., 1991). As altas

concentrações de óxido de ferro nos solos do Cerrado propiciam as ligações de troca entre os íons férricos e as superfícies dos grupos funcionais da matéria orgânica, interferindo na decomposição da matéria orgânica e redução da sua biodisponibilidade (OADES et al., 1989; BALEDSENT et al., 2000; BAYER et al., 2006). Mineralogia e textura estão relacionadas aos gradientes de teor de MOS (BROWN; LUGO, 1982; FELLER; BEARE, 1997; KRULL; SKJEMSTAD, 2003) e respondem pela conservação do C e pelo fracionamento isotópico.

Além do manejo não adequado, a textura reflete no resultado do C. O solo de pastagem degradada possui elevados teores de areias grossa e fina (83% nos horizontes superficial e subsuperficial). Esta constituição inibe a formação de agregados estáveis e contribui para a diminuição do teor de C. Parte da MOS está protegida nos agregados e eleva sua proteção contra a biodegradação. A proteção aumenta com o aumento de argila e com a ausência de cultivo assim como com a frequência na qual os agregados são susceptíveis de serem destruídos *in situ* pelo cultivo ou ainda em relação à sua intrínseca estabilidade em água (BALEDSENT et al., 2000). Na área de estudo, o empobrecimento de C nos primeiros 30cm do solo parece refletir o que Balesdent et al. (2000) denominaram como as três maiores ações que comandam a dinâmica da MOS: mudanças microclimáticas do solo, incorporação da MOS na matriz do solo e periódica quebra da estruturas pedológicas. Desta forma, nesta área de pastagem degradada a estabilização da MOS fica comprometida pelo tipo de solo e pela susceptibilidade às condições sazonais.

Finalmente quando se comparam os dois tipos de pastagem, manejada e degradada, determinou-se empobrecimento menos acentuado no solo da pastagem manejada em relação ao solo sob vegetação original de Cerrado e maior incorporação de C quando comparado com a pastagem degradada.

Em relação à origem do carbono, o enriquecimento ou empobrecimento no solo está acompanhado de mudanças da assinatura isotópica ($\delta^{13}\text{C}$). Na área de estudo, a história vegetativa é bem conhecida e, desta forma, as mudanças na assinatura $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica originada de diferentes tipos de vegetação (C_3 e C_4) foram usadas para descrever a perda do C da vegetação nativa e a acumulação de C derivado da nova vegetação de acordo com o proposto por Cerri et al. (1985) e Feller; Beare (1997). A vegetação do Cerrado brasileiro é composta predominantemente por espécies arbóreas C_3 e gramíneas C_4 . Na área de estudo, a MOS da área recoberta por Cerrado apresentou $\delta^{13}\text{C}$ entre -26,08 e -26,33‰ na profundidade entre 0-10cm (média de -26,20‰, dp. 0,13) e entre -24,44 e -25,04‰ entre 20-30cm (média de -24,77‰, dp. 0,31). Os valores obtidos estão de acordo com aqueles determinados para as espécies arbóreas típicas do Cerrado com assinatura isotópica de -27,76‰ (HOFFMANN et al., 2005).

O $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica dos solos atualmente usados com pastagem manejada e pastagem degradada diferem daqueles determinados sob Cerrado e indicam clara tendência de alteração da decomposição e incorporação da MOS nas áreas convertidas. Observou-se mudança nítida de incorporação de plantas C_4 originadas da gramínea forrageira *Brachiaria spp* no solo convertido em pastagem manejada (15 anos de conversão) que apresentou $\delta^{13}\text{C}$ entre -12,85 a -13,39‰ (média de -13,37‰ entre 0-10cm e de -13,03‰ entre 20-30cm de profundidade). Assinatura isotópica similar foi determinada no solo com pastagem degradada (40 anos de conversão) que apresentou $\delta^{13}\text{C}$ entre -13,50 e -14,62‰ (média de -14,15‰ entre 0-10cm e de 14,17‰ entre 20-30cm de profundidade). Os resultados indicaram que após 15 e 40 anos de conversão do cerrado arbóreo em pastagens resultaram em modificações relacionadas ao decréscimo do teor e a substituição do C derivado MOS de espécies arbóreas C_3 pelo C da MOS derivado de gramíneas C_4 cultivadas ou não.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Áreas sob vegetação natural geralmente acumulam carbono orgânico no solo e o desmatamento causa profundas alterações no fluxo e transformações deste carbono e ruptura do ciclo dos elementos e fluxo hídrico no solo, podendo levar à degradação. O desmatamento além de aumentar o estoque de C da atmosfera, interrompe a deposição de material orgânico e aumenta a decomposição da MOS estocada no solo, resultando em grande emissão de C e outros gases. Portanto, como foi demonstrado nos resultados apresentados, mudanças no uso da terra podem causar perdas do estoque de Carbono do solo que, em sua grande maioria, se perde para a atmosfera. Podem ocorrer reduções de 60 a 75% do estoque original de MOS em poucos anos de atividade agrícola (LAL, 2004).

Mesmo que, num primeiro momento, o teor de carbono no solo não seja importante para a produtividade das culturas, será significativo na melhoria da qualidade do solo em relação à preservação do ambiente, pela retenção de cátions (CTC), agregação, resistência à erosão, infiltração e retenção de água e retirada de CO₂ da atmosfera (LAL, 1997). A melhoria desses atributos terá efeitos significativos para a produtividade das culturas, reduzindo os custos de produção e de descontaminação ambiental para o futuro. A sustentabilidade de um sistema agrícola dificilmente poderá ser conseguida com um único atributo (SYERS et al., 1995); porém, o declínio do teor de matéria orgânica no solo indica algum erro no sistema de manejo adotado: baixa fertilidade, baixa produção de resíduos, excesso de revolvimento, erosão acelerada, etc. A persistência no erro inevitavelmente conduzirá num sistema agrícola insustentável do ponto de vista econômico ou ambiental.

Sistemas de produção agrícola sustentáveis têm que ser capazes de pelo menos manter o teor de MOS, do contrário a exploração levará à degradação. Do mesmo modo, intervenções recuperadoras precisam ser capazes de elevar os teores de MOS no solo. Em áreas de degradação, os níveis de MOS são geralmente baixos e isso representa uma perda das funções vitais do solo, comprometendo sua qualidade e capacidade de produzir alimentos e biomassa.

Na área de estudo, os solos que originalmente eram recobertos com a vegetação original de Cerrado foram substituídos por pastagens sem técnicas de manejo, resultaram em uma diminuição do teor de C e a substituição do C da MOS de espécies C₃ do Cerrado em C de gramíneas C₄. Além do manejo, textura e mineralogia dos solos parecem ter influenciado a dinâmica do C.

Embora a microbacia estudada não possa ser considerada como representativa da imensa área das savanas brasileiras, os resultados apresentados podem servir como indicadores da dinâmica do %C e C isotópico do solo quando os ecossistemas naturais são convertidos em sistemas agropecuários.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa de mestrado e a FAPEMIG (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo financiamento do projeto de Pesquisa (SHA-APQ-02901-09).

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Contribuição à geomorfologia da área dos Cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 1., 1971, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EDUSP, 1971. p. 97-103.
- ANDREUX, F. Humus in world soils. In: PICCOLO, A. (Ed.). **Humic substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, 1996. p. 45-100.
- BALBINO, L. C.; BROSSARD, M.; LEPRUN, J. C.; BRUAND, A. Mise en valeur des Ferralsols de la région du Cerrado (Brésil) et évolution de leurs propriétés physiques: une étude bibliographique. **Étude et gestion des sols**, v. 9, p. 83-104, 2002.
- BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, B. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil & Tillage Research**, v. 53, p. 215-230, 2000.
- BARCELLOS, A. O. Sistemas extensivos e semi-intensivos de produção pecuária bovina de corte nos cerrados. In: PEREIRA, R.C.; NASSER, L.C.B. (Ed.). SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, Agosto, 1996, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA-CPAC, 1996. p.130-136.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, v. 86, p. 237-245, 2006.
- BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Brazil's soil carbon stocks. **Soil Science Society American Journal**, v. 66, p. 88-896, 2002.
- BRADSHAW, A. Restoration of mined lands – using natural process. **Ecological Engineering**, v. 8, p. 255-269, 1997.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL: Levantamento de Recursos Naturais**. Rio de Janeiro: Divisão de publicação do projeto RADAMBRASIL, 1983, 768p. (Folha SE 22 Goiânia, v.31). (escala 1:100.000).
- BRITO, J. L. S. **Adequação das potencialidades do uso da terra na Bacia do ribeirão Bom Jardim no Triângulo Mineiro (MG):** Ensaio de Geoprocessamento. 2001. 184p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo: USP/FFLCH, 2001.
- BROSSARD, M.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. Des indicateurs d'évolution du milieu et des sols pour rendre durable l'usage des savanes d'Amérique du Sud. **Natures Sciences Sociétés**, v. 13, p.266-278, 2005.
- BROWN, S.; LUGO, A. E. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. **Biotropica**, v. 14, p.161-187, 1982.
- CERRI, C.; FELLER, C.; BALESDENT, J.; VICTORIA, R.; PLENECASSEGNE, A. Application du traçage isotopique naturel en ^{13}C , à l'étude de la dynamique de la matière organique dans les sols. **C.R. Acad. Sci. Paris**, v. 11, n. 9, p. 423-428, 1985.
- CERRI, C. E. P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. **Sci. Agri.**, v. 64, n.1, p.83-99, 2007.
- CONCEIÇÃO, P. C. **Agregação e proteção da matéria orgânica em dois solos do Sul do Brasil**. 2006. 138f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2006.
- CURI, V.; FRANZMEIER, D. P. Toposequence of oxisols from the Central Plateau of Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, n. 2, p. 341-346, 1984.
- DALAL, R. C.; MAYER, R. J. Long-term trends in fertility of soil under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland: II. Total organic carbon and its rate loss from soil profile. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 24, p. 281-292, 1986.

DEINES, P. The isotopic composition of reduced organic carbon. In: FRITZ, P.; FONTES, J. C. (Ed.). **Handbook of Environmental Isotope Geochemistry**. Amsterdam: Elsevier, 1980. p.329-406.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS – EPAMIG. **Levantamento de reconhecimento de média de intensidade de solos e avaliação da aptidão agrícola das terras no Triângulo Mineiro**, Rio de Janeiro: Embrapa/SNLCS. 1982. 526p. (Boletim de Pesquisa, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FELLER, C.; FRITSCH, E.; POSS, R.; VALENTIN, C. Effects de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques quelques sols ferrugineux et ferralitiques (Afrique de l'Ouest, en particulier). **Cah. ORSTOM, sér. Pédologie**, v. 26, p. 25-36, 1991.

FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v. 79, p. 69-116, 1997.

FELTRAN FILHO, A. **A estruturação das paisagens nas chapadas do Oeste Mineiro**. 1997. 251p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo: USP/FFLCH, 1997.

GREENLAND, D. J.; WILD, A.; ADAMS, D. Organic matter dynamics in soils of the tropics – From myth to complex reality. In: LAL, R. et al. (Ed.). **Myths and science of soil in the tropics**. Madison: ASA/SSSA, 1992, p.17-33.

HOFFMANN, W. A.; FRANCO, A. C.; MOREIRA, M. Z.; HARIDASAN, M. Specific leaf area explains differences in leaf traits between congeneric savanna and forest trees. **Functional Ecology**, v. 19, p. 932-940, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília, 1990. 96p.

KLINK, C. A.; MOREIRA, A. G. Past and current human occupation and land use. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Ed.). **The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**. New York: Columbia University Press, 2002. p. 69-88.

KRULL, E.; SKJEMSTAD, J. O. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ profiles in ^{14}C - dated Oxisol and Vertisols as a function of soil chemistry and mineralogy. **Geoderma**, v. 112, p. 1-29, 2003.

LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO_2 – enrichment. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 43, p. 81-107, 1997.

_____. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v. 123, p. 1-22, 2004.

LAL, R.; PIRCE, F. J. The vanishing resource. In: LAL, R.; PIRCE, F. J. (Ed.). **Soil management for sustainability**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1991. p.1-5.

LARSON, W. E.; PIRCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W. et. al. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: ASA/SSSA, 1994. p. 37-51.

LOPES, A. S. Soils under Cerrado: a success story in soil management. **Better Crops Int.**, v. 10, p. 9-15, 1996.

MACEDO J.; BRYANT R. B. Morphology, Mineralogy, and Genesis of a hydrosequence of Oxisols in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, p. 690-698, 1987.

- MIELNICZUK, J. Desenvolvimento de sistemas de culturas adaptadas à produtividade, conservação e recuperação de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 1988, Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro: SBSCS, 1988.
- NEPSTAD, D.; KLINK, C. A.; UHL, C.; VIEIRA, I. C.; LEFEBEVRE, P.; PEDLOWSKI, M.; MATRICARDI, E.; NEGREIROS, G.; BROWN, I. F.; AMARAL, E.; HOMMA, A.; WALKER, R. Land use in Amazonia and the Cerrado of Brasil. **Ciência & Cultura**, v. 49, p. 73-86, 1997.
- OADES, J. M.; GILLMAN, G. P.; UEHARA, G. Interactions of soil organic matter and variable-charge clays. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (Ed.). **Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems**. Honolulu: Hawaii Press, 1989. p. 69-95.
- PICCOLO, A. Humus and soil conservation. In: PICCOLO, A. (Ed.). **Humic substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, 1996. p.225-264.
- PLANTE, A. F.; FENG, Y.; MCGILL, W. B. A modeling approach to quantifying soil macroaggregate dynamics. **Can. J. Soil Sci.**, v. 82, p. 181-190, 2002.
- RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, v. 80, p. 223-230, 1997.
- ROSA, R.; LIMA, S. C.; ASSUNÇÃO, W. L. Abordagem preliminar das condições climáticas de Uberlândia – MG. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 3, n. 5 e 6, p. 91-108, Jan/Dez. 1991.
- SANCHEZ, P. A. **Properties and management of soils in the tropics**. New York: John Wiley, 1976. 618p.
- SANO, E. E.; CHAVES, J. M.; BEZERRA, H. S.; FEITOZA, L. Identificação dos principais tipos de pastagens cultivadas do Cerrado a partir de Sensoriamento Remoto. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM: Soil Functioning under Pastures in Intertropical Areas, 2000, Brasília. **Anais...** Brasília: Embrapa Cerrados - IRD, 2000.
- SANTOS, M. **Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal**. Rio de Janeiro: Record, 2000.174p.
- SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. **Microorganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília: EMBRAPA, 1994. 142p.
- SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYSE, S.; DENEFF, K. A history of research of the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil & Tillage Research**, v. 79, p. 7-31, 2004.
- SYERS, J. K.; HAMBLIN, A.; PUSHPARAJAH, E. Indicators and thresholds for the evaluation of sustainable land management. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, p. 423-428, 1995.
- VOLKOFF, B. Organisations régionales de la couverture pédologique du Brésil. Chronologie des différenciations. **Cah. Orstom, sér. Pédologie**, v.XXI, p. 225-236, 1985.

Recebido em outubro de 2010

Aceito em março de 2011

