

Celeste Q. Rossi¹

Marcos G. Pereira^{1,3}

Simone G. Giácomo¹

Marconi Betta¹

José Carlos Polidoro²

Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em Latossolo Vermelho sob plantio de soja no cerrado goiano

RESUMO

A dinâmica da matéria orgânica influencia os principais processos químicos, físicos e biológicos dos solos, e determina muitas vezes sua fertilidade natural. O objetivo deste estudo foi avaliar as frações orgânicas e o índice de manejo de carbono (IMC) do solo em áreas cultivadas com soja (*Glycine max* L.) sobre palhada de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*) e sobre palhada de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Foram coletadas amostras de um Latossolo Vermelho Distrófico, no município de Montividiu-GO. As amostras foram retiradas em cinco profundidades (0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm) nos seguintes sistemas agrícolas: área com cultivo de braquiária na entressafra da soja (SB); área com o cultivo de sorgo na entressafra da soja (SS); e área sob vegetação nativa na mesma propriedade. Foi realizada a quantificação do carbono orgânico (CO) e o fracionamento físico granulométrico da matéria orgânica do solo. A partir dos valores encontrados foram quantificados os estoques de carbono em cada uma das frações e foi calculado o IMC, que é uma medida relativa das alterações provocadas pelo manejo ao solo, quando comparadas com uma situação considerada original, através das alterações nos estoques de CO e levando em consideração os aspectos da labilidade do CO do solo. Foram verificadas diferenças significativas para os teores de CO e nos respectivos estoques em todas as profundidades avaliadas. A fração particulada da matéria orgânica foi eficaz em demonstrar diferenças de manejo entre os sistemas. O IMC mostrou um efeito positivo nos sistemas SS e SB quando comparadas à área de referência (vegetação de cerrado), mostrando que os sistemas de manejos adotados são eficientes em manter, ou mesmo aumentar, os teores de carbono do solo.

Palavras-chave: fracionamento físico da matéria orgânica do solo, matéria orgânica, solos do cerrado.

Organic fractions and soil organic carbon management index in an Oxisol under soybean cultivation in the cerrado region of Goiás, Brazil

ABSTRACT

Organic matter dynamics influences the main chemical, physical and biological processes in soils, and often determines its natural fertility. The aim of this study was to evaluate the organic fractions and the carbon management index (CMI) of the soil in soy bean areas (*Glycine max* L.) grown on straw from *Brachiaria ruziziensis* and from sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). Samples were collected in an Oxisol at the municipality of Montividiu, Goiás, Brazil. Samples were taken at five depths (0-5, 5-10, 10-20, 20-40 and 40-60 cm) in soils under the following management conditions: area with grass growing after and before soybean crops (SB); area with sorghum crop in soybean off-season (SS); and area under native vegetation. Organic carbon amounts (OC) and soil organic matter particle size fractions were determined. From these values, carbon stocks in each particle size fraction were quantified and the CMI was calculated. The CMI is a relative measure of the changes caused by soil management, in comparison to an original situation, evaluated by the changes in OC stocks and taking under consideration the aspects of the soil OC lability. Significant differences were found in the OC contents and in the respective stocks at all evaluated depths. The particulated organic matter fraction proved to be an effective parameter to demonstrate differences between management systems. The CMI showed a positive effect in SS and SB systems in relation to the natural condition (cerrado), indicating that the carbon management systems studied were effective in maintaining, or even increasing, soil organic carbon contents.

Key words: soil organic matter physical fractionation, organic matter, cerrado soil

1 Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, BR 465, Km 7, CEP 23890-000, Seropédica-RJ, Brasil. Fone/Fax: (21) 3787-3772. E-mail: celestegrossi@yahoo.com.br; gervasio@ufrj.br; sigiacomo@yahoo.com.br; marconibetta@yahoo.com.br

2 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Rua Jardim Botânico, 1024, Jardim Botânico, CEP 22460-000, Rio de Janeiro-RJ, Brasil. Fone: (21) 2179-4535. Fax: (21) 2274-5291. E-mail: polidorojc@gmail.com

3 Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq

INTRODUÇÃO

A busca da sustentabilidade socioeconômica da exploração agrícola é um grande desafio para a sociedade brasileira, que envolve, dentre outros, o manejo adequado do solo, associado a corretas rotações e/ou consorciações culturais (Soares et al., 2005).

A qualidade do solo é, sem dúvida, um aspecto fundamental na avaliação da sustentabilidade de sistemas de produção, o que implica na compreensão desse recurso como um sistema vivo e dinâmico. Embora contribua somente com uma pequena parcela da massa dos solos minerais, a matéria orgânica do solo (MOS) representa um componente básico para a manutenção da qualidade do solo, sendo essencial em diversos processos químicos, físicos e biológicos (Piccolo, 1996; Christensen, 2000; Carter, 2001).

A dinâmica da MOS nos agroecossistemas é influenciada pelo impacto direto dos sistemas de manejo adotados. Sistemas de produção agrícolas capazes de manter e/ou incrementar o conteúdo de carbono orgânico no solo, via de regra, contribuem para a manutenção da capacidade produtiva das áreas cultivadas e diminuição da emissão de dióxido de carbono (CO₂) à atmosfera.

Sistemas conservacionistas bem manejados promovem o aumento do conteúdo de MOS (Sá et al., 2001), contribuindo para que o solo desempenhe funções básicas, como promover o desenvolvimento da vida e garantir a qualidade ambiental.

O conteúdo de matéria orgânica do solo é considerado um dos principais indicadores de sustentabilidade e da qualidade ambiental em agroecossistemas. Mielniczuk (1999) considerou a matéria orgânica como o atributo que melhor representa a qualidade do solo, devido a sua alta sensibilidade às práticas de manejo. O declínio dos estoques de MOS, ao longo do tempo, está intimamente ligado a um manejo inadequado (Castro Filho et al., 1998), conduzindo a exploração agrícola a uma situação insustentável do ponto de vista econômico e ambiental.

De modo simplificado, a variação anual do estoque de carbono orgânico de um solo é o balanço entre a adição de carbono fotossintetizado pelos vegetais e a sua perda por decomposição, erosão ou lixiviação (Hénin & Dupuis, 1945; Woodruff, 1949; Bayer et al., 2000). Com a conversão dos sistemas naturais em sistemas agrícolas, os processos de decomposição da MOS normalmente excedem sua produção, resultando na redução de carbono do solo (Paustian et al., 1998). Essa redução pode ser atribuída à erosão do solo, aos processos de mineralização da matéria orgânica e à oxidação do carbono. Quando a vegetação nativa é o cerrado “*stricto sensu*”, as reduções de carbono orgânico podem ser menores quando comparadas com solos sob floresta densa perenifólia (Tognon et al., 1997). Nessas áreas, ainda existe a possibilidade de implantação de sistemas peculiares, como pastagens e plantio direto, para aumentar os teores de carbono orgânico no solo, algo distinto dos sistemas convencionais, com revolvimentos sistemáticos do solo, que tendem a atuar no sentido oposto (Corazza et al., 1999).

Em função do acima exposto, existe a necessidade de obtenção de índices que possam avaliar a capacidade do sistema de manejo em promover a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas. O índice de manejo de carbono (IMC), proposto por Blair et al. (1995), é uma medida relativa das alterações provocadas pelo manejo, quando comparadas a uma situação considerada original (solo sob floresta ou pastagem natural). O IMC leva em consideração a labilidade da MOS e busca unir as características quantitativas e qualitativas da MOS, como forma de avaliar o desempenho de um determinado sistema de manejo.

Frações de carbono obtidas por métodos físicos granulométricos têm sido utilizadas preferencialmente para a estimativa deste índice (Diekow, 2003; De Bona, 2005; Nicoloso, 2005; Campos, 2006; Conceição et al., 2007). A fração particulada desempenha uma importante função na ciclagem de nutrientes, sendo considerada uma fração lábil no solo (Conceição et al. 2005).

Este estudo teve como objetivo avaliar as frações orgânicas e o índice de manejo de carbono (IMC) do solo como indicadores de qualidade do solo sob sistema de plantio direto com soja (*Glycine max.* L.) no cerrado goiano.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda Querência das Antas, localizada no município de Montividiu (16°26' de Latitude S e 51°59' de Longitude W Gr.), sul do Estado de Goiás. O clima da região é do tipo Aw (classificação de Köppen) – tropical, com chuvas concentradas no verão e um período seco bem definido durante o inverno (Figura 1). A média anual de precipitação pluvial oscila entre 1.500 a 1.800 mm ano⁻¹, e a temperatura média anual é de 23 °C.

Foram utilizadas três áreas experimentais, a saber: área 1 (SB), soja (*Glycine max* L.)/ braquiária (*Brachiaria ruzizien-*sis)/ soja; área 2 (SS), soja / sorgo (*Sorghum bicolor* L. Mo-

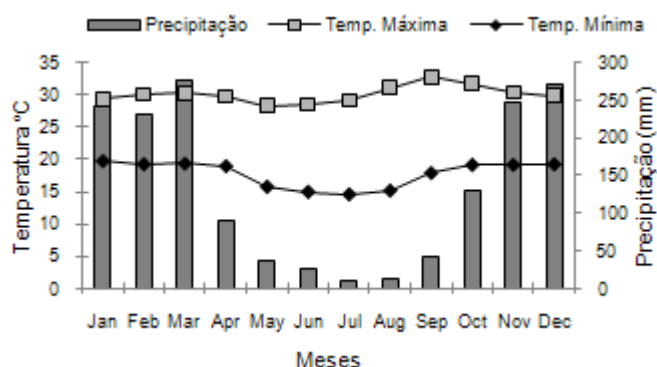


Figura 1. Valores médios de precipitação pluvial e temperaturas máximas e mínimas do ar, ocorridos de 1997 a 2010. Fonte: Estação Meteorológica da Fesurv - Universidade de Rio Verde (17°48'S; 50°55'W, Rio Verde, GO)

Figure 1. Mean values of rainfall and maximum and minimum air temperatures occurring from 1997 to 2010. Source: Meteorological Station of Fesurv - University of Rio Verde (17° 48' S, 50° 55' W, Rio Verde, Goiás, Brazil)

ench) Variedade DKB 599/soja; e área 3 (VN), vegetação nativa de referência, correspondente ao Cerradão (IBGE, 2011). O solo nas três áreas de estudo foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (Embrapa, 2006). Os campos experimentais possuem 2.500 m² (parcelas de 50 x 50 m). Em uma das áreas, no período da entressafra da soja, não é cultivada nenhuma planta de interesse comercial, permitindo-se o estabelecimento da braquiária durante o período seco na região. Na outra área, é realizado o cultivo de sorgo ou milho na entressafra da soja.

A amostragem de solo foi realizada em março de 2007, após a colheita da soja da safra 2006/2007. Nessa mesma época, foi realizada a amostragem na área de referência, sob vegetação nativa. As áreas agrícolas do estudo foram convertidas ao plantio direto em 1994 e foram adubadas com 81,5 kg ha⁻¹ de KCl e 332 kg ha⁻¹ do formulado (NPK) 02-23-08. A produtividade da soja na safra 2006/2007 foi de 3,78 e 3,63 Mg ha⁻¹ para os tratamentos SB e SS, respectivamente.

Em cada um das áreas foram abertas quatro trincheiras com dimensões de 1,0 x 1,0 m e 0,6 m de profundidade. Nas trincheiras foram coletadas amostras indeformadas em três das quatro paredes, nas seguintes profundidades 0-5; 5-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm, totalizando 12 (doze) repetições por profundidade para cada tratamento. Para a caracterização química das áreas foram realizadas as análises de pH, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, P, Al³⁺, H+Al de acordo com Embrapa (1997). A densidade do solo (Ds) foi realizada pelo método do anel volumétrico e o carbono orgânico (CO) segundo a metodologia da Embrapa (1997). O estoque de carbono foi calculado pelo método da camada equivalente, no qual a correção dos estoques de C do solo é realizada levando-se em conta as diferenças entre as massas de solo de cada camada, conforme o método proposto por Sisti et al. (2004).

O fracionamento físico granulométrico da MOS foi realizado segundo Cambardella & Elliot (1992). Foram pesados 20 g de solo (TFSA) adicionando-se 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L⁻¹). As amostras foram homogeneizadas por 16 horas em agitador horizontal. Após esta etapa, foi realizado o peneiramento úmido, utilizando-se peneira com malha de 53 µm. O material retido na peneira consiste no COP (Carbono orgânico particulado), associado à fração areia, enquanto aquele que atravessou a malha de 53 µm (frações silte e argila) é denominado COam (matéria orgânica associada ao silte + argila). O material que ficou retido na peneira foi transferido para placa de petri e seco em estufa a 50°C por 24 horas. Após seco, o material foi moído em gral de porcelana e foi analisado o seu teor de carbono orgânico segundo Embrapa (1997). O teor de CO na COam foi obtido a partir da diferença entre o CO do solo e aquele da COP.

Para a obtenção do IMC (Índice de Manejo de Carbono), necessita-se do índice de estoque de carbono (IEC), sendo este calculado a partir da relação entre os estoques de carbono da área cultivada, em relação ao estoque de carbono da área de referência (Cerrado). A labilidade (L) da MOS foi determinada pela relação entre os estoques de matéria orgânica particulada (EstCOP) e os estoques de matéria orgânica particulada (EstCOam) e os estoques de matéria orgânica associ-

ada à silte + argila (EstCOam), e o índice de labilidade (IL), calculado pela relação entre a L da área cultivada e a L da área de referência. O IMC de cada área foi obtido pela multiplicação entre o IEC e o IL por 100 (Blair et al., 1995).

$$\text{IMC} = \text{IEC} \times \text{IL} \times 100$$

Em que: IEC = índice de estoque de carbono e IL = índice de labilidade.

A estimativa do IMC foi realizada com base na soma dos valores médios das profundidades analisadas e, como condição natural, o solo sob cerrado foi utilizado como referência (IMC = 100).

O IEC, por sua vez, foi calculado pela expressão apresentada a seguir:

$$\text{IEC} = C_t \text{ tratamento} / C_t \text{ referência}$$

Em que: C_t tratamento = estoque de CO no tratamento avaliado, C_t referência = estoque de CO no tratamento de referência (cerrado). O IL é calculado da seguinte forma:

$$\text{IL} = L \text{ tratamento} / L \text{ referência}$$

Em que: L tratamento = Labilidade da MOS no tratamento avaliado (área cultivada), L referência = Labilidade da MOS no tratamento da área de referência. O L é calculado pela expressão apresentada a seguir:

$$L = \text{EstCOP} / \text{EstCOam}$$

Em que: EstCOP = estoque de CO na fração particulada da MOS, EstCOam = estoque de CO na fração associada a silte+argila da MOS.

Assume-se que a amostragem realizada foi representativa da área, sendo dois sistemas de cultivos e uma área de referência sob cerrado (vegetação nativa), cinco profundidades e doze repetições por profundidade. Os resultados dos teores de carbono e das frações granulométricas da MOS obtidos para os diferentes tratamentos estudados foram submetidos aos testes de normalidade de Lilliefors e de Cochran & Bartlett de homogeneidade das variâncias dos erros. Posteriormente, os resultados foram submetidos à análise de variância com a aplicação do teste Tukey a 5% com o auxílio do programa estatístico SAEG versão 9.0 (Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas – Universidade Federal de Viçosa).

Atributos químicos do Solo

Em geral, o sistema SB apresentou maiores valores de Ca²⁺+Mg²⁺, K⁺ e P assimilável. Nos dois sistemas agrícolas foi observada redução dos teores dos nutrientes no solo, abaixo de 5 cm, o que é decorrente da maior extração e exportação de nutrientes pelas culturas. Por se tratar de um cultivo comercial, as áreas recebem adubações periódicas para plantio, o que pode ter contribuído para a heterogeneidade dos dados de fertilidade, não sendo estes submetidos à análise estatística. Os resultados foram usados somente para a caracterização das áreas de estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atributos químicos do Solo

Em geral, o sistema SB apresentou maiores valores de $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$, K^+ e P assimilável. Nos dois sistemas agrícolas foi observada redução dos teores dos nutrientes no solo, abaixo de 5 cm, o que é decorrente da maior extração e exportação de nutrientes pelas culturas. Por se tratar de um cultivo comercial, as áreas recebem adubações periódicas para plantio, o que pode ter contribuído para a heterogeneidade dos dados de fertilidade, não sendo estes submetidos à análise estatística. Os resultados foram usados somente para a caracterização das áreas de estudo.

Em relação aos atributos químicos do solo, foram verificados valores de pH em H_2O entre 3,4 e 5,9 nos sistemas avaliados em todas as profundidades (Tabela 1). Os maiores valores de $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ foram observados na camada de 0-5 cm dos sistemas agrícolas, decrescendo em profundidade. Esse padrão é decorrente do uso de calcário, que promove o suprimento de cálcio e magnésio, além de realizar a correção da acidez do solo (Raij et al., 1997), que não é realizada na área de cerrado. Estudos realizados com a aplicação de diferentes doses de calcário em superfície no sistema de plantio direto (SPD) em Latossolo Vermelho Distrófico com textura média mostraram que a correção da acidez do solo ocorreu tanto em superfície (0-20 cm) quanto na camada de, 20-40 cm (Caires et al., 1999).

O teor de fósforo (P) assimilável no solo apresentou valores similares aos comumente encontrados para Latossolos na região do Cerrado goiano (Freitas et al., 2000; Santos et al., 2005). Os valores de P assimilável variaram de 5,6 a 0,4 mg kg^{-1} no sistema SB; de 3,3 a 0,3 mg kg^{-1} no sistema SS e de 3,3 a 1,8 mg kg^{-1} na área sob vegetação nativa (Tabela 1). Os baixos valores de P assimilável podem ser decorrentes da adsorção desse elemento pelos óxidos de ferro presentes no perfil, ou pela extração e remoção pelas culturas.

Carbono orgânico

Os maiores valores de CO foram verificados na área de sistema de plantio direto (SPD) da soja com braquiária (SB) em relação ao SPD da soja com sorgo (SS), com valores vari-

ando de 11,9 a 24,9 g kg^{-1} no sistema SB e de 10,5 a 23,9 g kg^{-1} no sistema SS (Tabela 2). Os maiores valores foram observados na camada de 0-5 cm nos sistemas avaliados, sendo verificada redução progressiva dos teores do CO em profundidade (Tabela 2).

A redução do CO em profundidade tem sido reportada em diversos trabalhos, todavia, não são observadas diferenças significativas entre os sistemas utilizados (Freitas et al., 2000; Freixo et al., 2002; D'Andrea et al., 2004).

No sistema que emprega a braquiária na entressafra da soja (SB), os maiores valores de CO nas profundidades avaliadas em comparação ao sistema que utiliza o sorgo (SS) devem estar relacionados ao sistema radicular da braquiária, que além de abundante e volumoso, apresenta contínua renovação, o que contribui para uma elevada adição de material orgânico (Reid et al., 1980; Moreira & Siqueira, 2002).

Em estudos sobre estoque de carbono, nitrogênio e formas de nitrogênio mineral, em um Latossolo Vermelho Distrófico submetido a diferentes sistemas de manejo, em Morrinhos (GO), D'Andréa et al. (2004) constataram que a pastagem, (principalmente *Brachiaria decumbens*) é uma alternativa promissora para promoção de aumentos nos estoques de CO do solo em profundidade. Esta tendência também pode ser verificada no SPD, desde que seja adotada a rotação de culturas.

Os resultados encontrados foram superiores aos verificados por Souza & Alves (2003) que, em trabalhos com solo de cerrado, no Mato Grosso do Sul, observaram valores de CO de 21,6 g kg^{-1} em áreas de SPD (oito anos de implantação) e 21,2 g kg^{-1} em sistemas de cultivo mínimo (oito anos de implantação). Os valores encontrados pelos autores diferem do observado para a área de pastagem de *B. decumbens*, com valores de carbono orgânico na ordem de 12,7 g kg^{-1} (20 anos de implantação). Nesse mesmo trabalho, os autores observaram que os sistemas de plantio direto e cultivo mínimo, além de terem propiciado aumentos significativos no conteúdo de matéria orgânica, também aumentaram os teores de Ca, Mg, P, K, os valores do pH, da CTC e da soma de bases, diminuindo os teores de Al, em relação ao plantio convencional.

Os valores de EstC seguiram o mesmo padrão de distribuição do CO, com valores superiores no sistema SB em relação ao sistema SS (Figura 2). Os valores de EstC variaram

Tabela 1. Propriedades químicas do solo nas áreas avaliadas

Table 1. Soil chemical properties in the evaluated areas

Sistemas ⁽¹⁾	SB	SS	VN	SB	SS	VN	SB	SS	VN	SB	SS	VN	SB	SS	VN	SB	SS	VN			
Prof. (cm)	pH			K ⁺			Ca ²⁺ +Mg ²⁺			Al ³⁺			H+Al			P					
	H ₂ O			(cmol _c dm ⁻³)															(mg kg ⁻¹)		
0 - 5	5,9	5,9	3,5	1,1	0,5	3,8	5,1	4,7	1,0	0	0	0,6	3,3	2,6	2,7	3,5	3,1	2,6			
5 - 10	5,3	5,5	3,4	0,4	0,2	2,5	2,2	2,8	1,0	0	0	0,6	4,5	3,0	3,4	5,6	3,3	3,3			
10 - 20	5,2	5,4	3,8	0,2	0,2	2,6	1,8	2,2	0,9	0	0	0,5	4,3	2,8	2,0	1,9	1,5	2,3			
20 - 40	5,0	5,4	3,9	0,2	0,1	2,9	1,4	1,6	1,2	0	0	0,5	3,1	2,2	1,9	0,4	0,3	1,8			
40 - 60	5,1	5,1	3,7	0,1	0,1	2,6	1,4	1,4	0,9	0	0	0,6	2,5	1,7	2,1	0,4	0,3	1,9			

(1) SB: cultivo de soja no período chuvoso e braquiária no período seco; SS: cultivo de soja na safra e sorgo na safrinha. VN: vegetação natural.

Tabela 2. Carbono orgânico, estoque de carbono e densidade do solo nas áreas avaliadas

Table 2. Organic carbon, carbon stock and soil density in the evaluated areas

Sistemas ⁽¹⁾	Profundidade (cm)				
	0 - 5	05 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 60
CO (g kg⁻¹)					
SB	24,90 A	21,30 A	19,70 A	15,00 A	11,90 A
SS	23,90 B	19,00 B	16,70 B	13,40 B	10,50 B
VN	21,80 C	22,60 A	19,70 A	15,10 A	10,80 B
EstC (Mg ha⁻¹)					
SB	13,30 A	11,30 AB	22,90 A	36,80 A	31,80 A
SS	11,60 AB	10,00 B	20,00 B	31,90 B	25,60 C
VN	11,40 B	12,60 A	23,40 A	36,80 A	27,50 B
Ds (kg dm⁻³)					
SB	1,01 B	1,15 B	1,17 C	1,14 C	1,11 C
SS	1,21 A	1,31 A	1,31 A	1,34 B	1,30 B
VN	1,24 A	1,34 A	1,44 A	1,40 A	1,44 A

(1) SB: cultivo de soja no período chuvoso e braquiária no período seco; SS: cultivo de soja na safra e sorgo na safrinha. VN: vegetação nativa. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

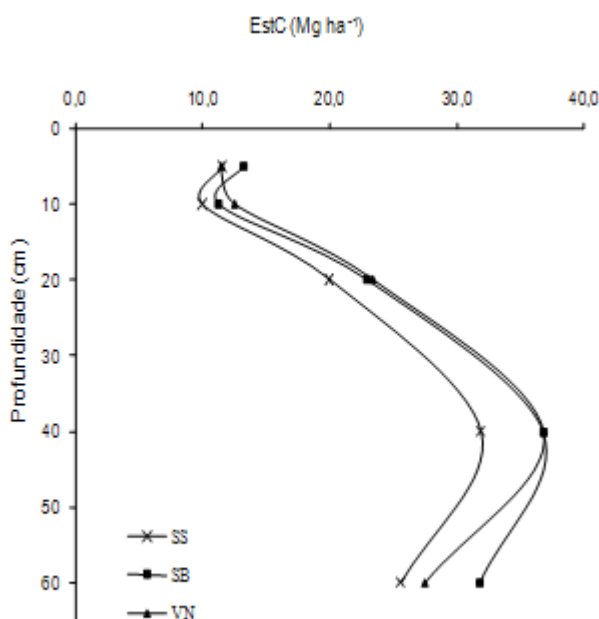


Figura 2. Estoque de carbono (EstC) em Latossolo Vermelho nas diferentes áreas: Soja no período chuvoso e braquiária no período seco (SB); Soja na safra e sorgo na safrinha (SS) e vegetação nativa (VN)

Figure 2. Carbon stocks (EstC) in Oxisol in the different areas: Soybeans in the rainy season and pasture in the dry period (SB); Soybean in season and sorghum in off-season (SS) and native vegetation (VN)

de 11,3 a 36,8 Mg ha⁻¹ no sistema SB e de 10,0 a 31,9 Mg ha⁻¹ no sistema SS. Os valores diferiram significativamente entre os sistemas de manejo nas camadas abaixo de 10 cm de profundidade (Tabela 2), mostrando a eficiência do sistema radicular da braquiária em acumular carbono em profundidade (Moreira & Siqueira, 2002).

Em estudos de estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de um Latossolo Vermelho Distroférico de textura média, no município de Lavras (MG), Rangel & Silva (2007) verificaram que, com exceção da camada de 0-10 cm, o sistema de pastagem com *Brachiaria decumbens* apresentou valores de EstC semelhantes aos da área de mata nativa, com valores superiores nas profundidades de 10-20; 20-40 e 20-40 cm.

Os menores valores de densidade do solo (Ds) foram encontrados nas camadas mais superficiais nas três áreas avaliadas, decorrentes da constante adição de matéria orgânica e do menor revolvimento do solo no SPD. Os sistemas avaliados apresentaram valores médios de Ds variando de 1,00 a 1,44 kg dm⁻³ (Tabela 2).

A Ds nas profundidades de 5-10 e 10-20 cm foi maior ou igual às demais camadas estudadas, independente do sistema de manejo empregado. Em estudos de CO em Latossolos sob diferentes sistemas de manejo, Freitas et al. (2000) constataram Ds médias variando de 1,10 a 1,32 Mg dm⁻³, e também verificaram maior Ds na camada de 10-20 cm quando comparadas às outras profundidades.

Os resultados de Ds evidenciam a presença de uma camada subsuperficial naturalmente mais compactada, de acordo com observações morfológicas dos perfis da região, pela exploração intensiva e inadequada do solo (Blancaneaux et al., 1993).

Quanto ao fracionamento físico granulométrico da MOS, verifica-se que a matéria orgânica particulada (COP) mostrou-se mais eficiente que o CO para evidenciar as diferenças entre os sistemas avaliados (SB, SS e VN) até 20 cm de profundidade (Tabela 3 e Figura 3). Os valores da fração particulada diferiram estatisticamente entre as áreas nas profundidades avaliadas, com valores variando de 10,7 a 15,6 g kg⁻¹ no sistema SB; 5,7 a 11,1 g kg⁻¹ no sistema SS e 2,8 a 10,5 g kg⁻¹ na área de referência. Os maiores valores foram encontrados na camada de 0-5 cm de profundidade nos dois sistemas cultivados (SB e SS), e apresentaram a mesma tendência de diminuição em profundidade. No sistema SB houve um incremento em todas as camadas avaliadas que pode ser atribuído ao sistema radicular da braquiária se distribuir nessa profundidade (Reid et al., 1980; Moreira & Siqueira, 2002), já que a COP está diretamente relacionado ao material vegetal recentemente adicionado ao solo.

Essa característica de acúmulo de carbono na fração particulada está intimamente relacionada ao aporte de resíduos na superfície do solo. Em SPD, os teores de COP são mais de 75% dependentes do C adicionado pelos resíduos vegetais nas camadas de 0-2,5 cm e mais de 50% na camada 2,5-5,0 cm (Sá et al., 2001).

Avaliando a qualidade do solo em dois experimentos de longa duração no Sul do Brasil, o primeiro com 10 anos sob SPD e o segundo com 15 anos em rotação de aveia/milho + caupi

Tabela 3. Fracionamento físico granulométrico da MOS nas áreas avaliados

Table 3. SOM particle size fractionation in the evaluated areas

Sistemas ⁽¹⁾	Profundidade (cm)			Profundidade (cm)		
	0 - 5	5 - 10	10 - 20	0 - 5	5 - 10	10 - 20
	COp (g kg ⁻¹)			EstCOp (Mg ha ⁻¹)		
SB	15,6 A	11,1 A	10,7 A	7,9 A	6,2 A	12,4 A
SS	11,1 B	5,8 B	5,7 B	5,6 A	3,7 B	6,6 B
VN	10,5 B	4,4 C	2,8 C	5,3 A	3,1 B	3,7 C
	COam(g kg ⁻¹)			EstCOam (Mg ha ⁻¹)		
SB	9,6 C	10,2 C	9,1 C	4,9 B	5,7 C	10,6 C
SS	11,8 A	13,0 B	11,3 B	6,5 A	7,4 B	13,4 B
VN	11,3 B	18,2 A	17,1 A	5,7 A	9,4 A	20,0 A

(1) SB: cultivo de soja no período chuvoso e braquiária no período seco; SS: cultivo de soja na safra e sorgo na safrinha. VN: vegetação nativa. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

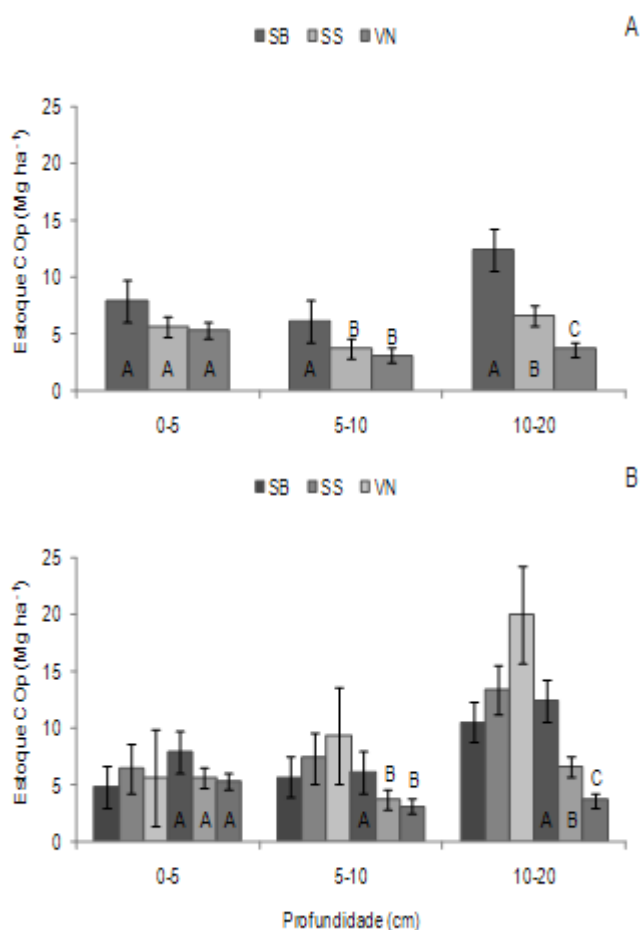


Figura 3. (A) Estoque de matéria orgânica particulada (EstCOp) e (B) Estoque de matéria orgânica associada a silte+argila (EstCOam) nas diferentes áreas: Soja no período chuvoso e braquiária no período seco (SB); Soja na safra e sorgo na safrinha (SS) e (vegetação nativa VN)

Figure 3. (A) Stock of particulate organic matter (EstCOp) and (B) Stock of mineral organic matter (EstCOam) in the different areas: Soybeans in the rainy season and pasture in the dry period (SB); Soybean in season and sorghum in off-season (SS) and native vegetation (VN)

em plantio convencional, Conceição et al. (2005) constataram que a fração COp apresentou as maiores variações nos teores de C em função do manejo adotado, quando comparado ao CO. Estes resultados corroboram com os encontrados neste estudo.

A alta sensibilidade apresentada pela fração particulada da MOS demonstra que esse compartimento pode ser usado como um indicador da qualidade do solo para a avaliação de sistemas de manejo recentes, nos quais as alterações no conteúdo de CO do solo ainda não tenham sido de grande magnitude.

Em comparação ao sistema SS e ao solo sob vegetação nativa (cerrado), houve um efeito positivo da introdução da braquiária sobre o COp (Tabela 3). Este padrão pode estar relacionado à maior adição anual e manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo. Avaliando as taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho em SPD no município de Santo Antônio de Goiás, Kliemann et al. (2006) verificaram produção de palhada de 12,42 Mg ha⁻¹ para braquiária e de 6,75 Mg ha⁻¹ para sorgo.

A matéria orgânica associada às frações silte e argila (COam), a qual apresenta um avançado grau de humificação em relação ao COp (Bayer et al., 2004), normalmente é menos sensível às alterações de manejo, principalmente em curto manejo de carbono, nas três profundidades avaliadas, em comparação com a área de vegetação nativa de cerrado. O sistema que utiliza a braquiária apresentou os maiores valores de IMC em relação às áreas que utilizam o sorgo no período de safrinha.

Índice de manejo de carbono

De modo geral, foram observadas diferenças em todos os parâmetros analisados (Índice de estoque de carbono, Labilidade do carbono e Índice de labilidade do carbono), sendo os maiores valores sempre verificados no sistema SB quando comparados ao sistema SS (Tabela 4). Sabe-se que o IMC mede as alterações nos estoques de CO considerando os aspectos da labilidade do CO do solo (Nicoloso, 2005). Valores de IMC inferiores a 100 indicam práticas prejudiciais à manutenção da matéria orgânica e da qualidade do solo (Blair et al., 1995; De Bona, 2005).

Esses resultados são corroborados pelos observados por De Bona (2005), em estudos dinâmica da MOS em sistemas irrigados por aspersão sob SPD e preparo convencional, no município de Eldorado do Sul –(RS), e por Nicoloso (2005), em estudos de dinâmica da MOS em áreas de integração lavoura-pecuária sob SPD, no município de Jarí - RS, em que os autores observaram maiores alterações no índice de labilidade do carbono (ILC) decorrente do manejo adotado, comparativamente ao índice de estoque de carbono (IEC) e labilidade do carbono (LC).

Nas profundidades avaliadas (0-5; 5-10 e 10-20 cm) verificou-se um efeito positivo no aumento do carbono no solo, com maiores valores de IMC quando comparados aos da área de referência (vegetação nativa) (Tabela 4), mostrando que os sistemas avaliados estão sendo eficientes na manutenção dos estoques de carbono.

Salton (2005), estudando a matéria orgânica e agregação do solo em rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical sob Latossolo Vermelho Distroférico no município de Dou-

Tabela 4. Índice de manejo, índice de labilidade, labilidade e índice de estoque de carbono em função dos sistemas de cultivo avaliados**Table 4.** Management index, lability index, lability and carbon stock index (CMI) as a function of the evaluated cropping systems

Sistemas ⁽¹⁾	IEC	LC	ILC	IMC
0 - 5 cm				
SB	1,0	1,6**	1,7**	159,8*
SS	1,1*	1,0	1,1	113,7
VN		0,9	1,0	100,0
5 - 10 cm				
SB	0,8 ^{ns}	1,2**	4,9**	387,9**
SS	0,8 ^{ns}	0,5	2,4	194,4
VN		0,2	1,0	100,0
10 - 20 cm				
SB	0,8 ^{ns}	0,9**	11,2**	905,4**
SS	0,8 ^{ns}	0,5	5,7	448,2
VN		0,1	1,0	100,0

⁽¹⁾ SB: cultivo de soja no período chuvoso e braquiária no período seco; SS: cultivo de soja na safra e sorgo na safrinha; VN: vegetação nativa (área de referência). **Significativo pelo teste F a 1%. IEC=índice de estoque de carbono; LC=labilidade do carbono; ILC=índice de labilidade do carbono, IMC= índice de manejo do carbono.

rados – MS, verificou valores de IMC superiores nos sistemas com a presença de pastagem, com valores de IMC de 137 para sistema de pastagem permanente (*Brachiaria decumbens*) e 104 para sistema lavoura-pecuária (soja-braquiária), os quais superaram a área de referência e os sistemas apenas com lavouras anuais com IMC de 82 (SPD) e 71 (SPC).

CONCLUSÕES

A introdução de braquiária na entressafra do cultivo da soja, em sistema de plantio direto, apresentou um efeito positivo, favorecendo o acúmulo de carbono orgânico no solo e, conseqüentemente, dos estoques de carbono nas profundidades de 0 a 60 cm.

Os sistemas de plantio direto com soja sobre palhada de braquiária ou sorgo apresentaram efeito positivo no índice de manejo de carbono, nas três profundidades avaliadas, em comparação com a área de vegetação nativa de cerrado. O sistema que utiliza a braquiária apresentou os maiores valores de IMC em relação às áreas que utilizam o sorgo no período de safrinha.

LITERATURA CITADA

- Bayer, C.; Mielniczuk, J.; Amado, T.J.C.; Martin-Neto, L.; Fernandes, S.A. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*. v. 54, n.1-2, p.101-109, 2000. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016719870000908>>. doi:10.1016/S0167-1987(00)00090-8. 12 Jul. 2011.
- Bayer, C.; Mielniczuk, J.; Martin-Neto, L.; Pavinato, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da material orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.7, p.677-683, 2004. <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v39n7/21310.pdf>>. doi:10.1590/S0100-204X2004000700009. 12 Jul. 2011.
- Blair, G. J.; Lefroy, R. D. B.; Lisle, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.46, n.7, p.1459- 1460, 1995. <http://www.planta.cn/forum/files_planta/soil_carbon_fractions_based_on_their_degree_of_oxidation_135.pdf>. 07 Jul. 2011.
- Blancaneaux, P.H.; Freitas, P.L. de; Amabile, R.F.; Carvalho, A.M. de. Le semis direct comme pratique de conservation des sols des Cerrados du Brésil Central. *Cahier ORSTOM, Série Pédologie*, v.28, n.2, p.245-267, 1993. <http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cahiers/PTP/10009095.PDF>. 07 Jul. 2011.
- Caires, E.F.; Fonseca, A.F.; Mendes, J.; Chueiri, W.A.; Madruga, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, n.2, p. 315-327, 1999. <<http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v23n2a16.pdf>>. 15 Mai. 2011.
- Cambardella, C.C.; Elliott, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, v.56, n.3, 777-783, 1992. <<https://www.soils.org/publications/sssaj/abstracts/56/3/SS0560030777>>. doi:10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x07. Jul. 2011.
- Campos, B. C. Dinâmica do carbono em Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo de solo e de culturas. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2006. 180p. Tese Doutorado.
- Carter, M. R. Organic matter and sustainability. In: Rees, R. M.; Ball, B. C.; Campbell, C. D.; Watson, C. A. (Eds.). *Sustainable management of soil organic matter*. New York: CABI Publishing, 2001. p. 9 22.
- Castro Filho, C.; Muzilli, O.; Podanoschi, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, p.527-538, 1998. <<http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v22n3a19.pdf>>. 30 Jun. 2011.
- Christensen, B. T. Organic matter in soil: structure, function and turnover. Tjele: Dias, 2000. 95 p. (DIAS Report. Plant Production, 30).
- Conceição P. C.; Amado T. J. C.; Mielniczuk J.; Spagnollo E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, n.5, p.777-788, 2005. <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v29n5/27889.pdf>>. doi:10.1590/S0100-06832005000500013. 11 Jul. 2011.

- Conceição, P.C.; Bayer, C.; Castilhos, Z.M.S.; Mielniczuk, J.; Guterres, D.B.. Estoques de carbono orgânico num Chernossolo Argilúvico manejado sob diferentes ofertas de forragem no Bioma Pampa Sul-Riograndense. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31., Gramado, 2007. Anais. Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. CD-Rom.
- Corazza, E.J.; Silva, J.E.; Resck, D.V.S.; Gomes, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, n.2, p.425-432, 1999. <<http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v23n2a25.pdf>>. 10 Jul. 2011.
- D'Andréa, A.F.; Silva, M.L.N.; Curi, N. Guinarães, L.R. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.2, p.179-186, 2004. <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v39n2/19853.pdf>>. doi:10.1590/S0100-204X2004000200012. 12 Jul. 2011.
- De Bona, F.D. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 154p. Dissertação Mestrado.
- Diekow, J. Estoque e qualidade da matéria orgânica solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 60p. Tese Doutorado.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solos. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 312p.
- Freitas, P. L.; Blancaneaux, P. H.; Gavinelli, E.; Larré-Larrouy, M. C.; Feller, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, n. 1, p. 157-170, 2000. <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v35n1/6910.pdf>>. doi:10.1590/S0100-204X2000000100018. 12 Jul. 2011.
- Freixo, A.A.; Canellas, L.P.; Machado, P.L.O.A. Propriedades espectrais da matéria orgânica leve livre e leve intra-agregado de dois Latossolos sob plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, n.2, p. 445-453, 2002. <<http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v26n2a18.pdf>>. 07 Jun. 2011.
- Hénin, S.; Dupuis, M. Essai de bilan de la matière organique du soil. *Annales Agronomiques*, v.15, n.1, p. 17-29, 1945.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Mapa de Biomas do Brasil. Escala 1:5.000.000. <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. 15 Mai. 2011.
- Kliemann, J. H, Braz, A.J.P.B., Silveira, P.M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 36, n. 1 p. 21-28, 2006. <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/2165/2116>>. 07 Jun. 2011.
- Mielniczuk, J. Importância do estudo de raízes no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. In: Workshop sobre Sistema Radicular: metodologias e estudo de caso, 1999, Aracaju. Anais. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p.13-17.
- Moreira, F.M. De S.; Siqueira, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: UFLA, 626p. 2002.
- Nicoloso, R.S. Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 150p. Dissertação Mestrado.
- Paustian, K.; Elliott, E.T.; Carter, M.R. Tillage and crop management impacts on soil C storage: use of long-term experimental data. *Soil & Tillage Research*, v. 47, n.3-4, p.R7-R12, 1998.
- Piccolo, A. Humus and soil conservation. In: Piccolo, A. (Ed.). *Humic substances in terrestrial ecosystems*. Amsterdam: Elsevier, 1996. p. 225 264.
- Raij, B. V.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A.; Furlani, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo, Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. 285p.
- Rangel, O. J.P.; Silva, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 609-1623, 2007. <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n6/37.pdf>>. doi:10.1590/S0100-06832007000600013. 12 Jul. 2011.
- Reid, J.B., Goss, M.J. Changes in the aggregate stability of a sandy loam effected by growing roots of perennial ryegrass (*Lolium perene*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 31, n.3, p. 325-328, 1980. <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.2740310320/pdf>>. doi:10.1002/jsfa.2740310320. 17 Jun. 2011.
- Sá, J.C.M.; Cerri, C.C.; Dick, W.A.; Lal, R.; Venzke Filho, S.P.; Piccolo, M.C.; Feigl, B.E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Science Society of America Journal*, v.65, n.5, p.1486-1499, 2001. <<https://www.soils.org/publications/sssaj/abstracts/65/5/1486>>. doi:10.2136/sssaj2001.6551486x. 17 Jun. 2011.
- Salton, J. C. Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura pastagem em ambiente tropical. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 158p. Tese Doutorado.
- Santos, E.A.; Kliemann, H.J. Disponibilidade de fósforo de fosfatos naturais em solos de cerrado e sua avaliação por extratores químicos. *Revista Agropecuária Tropical*, v. 35, n.3, p.139-146, 2005. <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/download/2214/2170>>. 12 Jun. 2011.
- Sisti, C. P. J.; Santos, H. P.; Kohhan, R.; Albes, B.J.R.; Urquiaga, S.; Bodey, R.M.. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, v.76, p.39-58, 2004. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016719870300196X>>. doi:10.1016/j.still.2003.08.007. 07 Jun. 2011.

- Soares, J.L.N.; Espíndola, R.C.; Castro, S.S. Alteração física e morfológica em solos cultivados sob sistema tradicional de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n.6, p.1005-1014, 2005. <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v29n6/28969.pdf>>. doi:10.1590/S0100-06832005000600018. 08 Jul. 2011.
- Souza, Z.M.; Alves, M.C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distroférico de cerrado sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.1, p.133-139, 2003.
- Tognon, A.A.; Demattê, J.A.M.; Mazza, J.A. Alterações nas propriedades químicas de Latossolos roxos em sistemas de manejo intensivos e de longa duração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, n.2, p.271-278, 1997.
- Woodruff, C.M. Estimating the nitrogen delivery of soil from the organic matter determination as reflected by Sanborn field. *Soil Science Society of America Journal*, v. 14, p. 208-212, 1949.