

FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA EM LATOSSOLO SOB PLANTIO DIRETO COM GRAMINEAS

GRANULOMETRIC FRACTIONS OF ORGANIC MATTER OF A LATOSOL UNDER NO-TILL WITH GRASSES

Fabiana Fonseca do CARMO¹; Cícero Célio de FIGUEIREDO²;
 Maria Lucrecia Gerosa RAMOS²; Lúcio José VIVALDI³; Larissa Gomes ARAÚJO⁴

1. Mestre em Agronomia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - FAV, Universidade de Brasília – UnB, Brasília, DF, Brasil. biagrounb@hotmail.com; 2. Professor, Doutor, FAV - UnB, Brasília, DF, Brasil, cicerocf@unb.br, lucreciaunb@gmail.com. 3. Professor, Doutor, Departamento de Estatística – UnB, Brasília, DF, Brasil. 4. Aluna do Curso de Agronomia da FAV - UnB, Brasília, DF, Brasil.

RESUMO: O estudo da matéria orgânica do solo e de seus compartimentos visa obter informações a cerca da sua estabilidade e localização na estrutura do solo, bem como sua quantidade e qualidade em sistemas de uso do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar as frações da matéria orgânica em solo sob manejo de plantio direto com gramíneas. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com três repetições e cinco tratamentos (sistemas de cultivos), com medidas repetidas no espaço. Os tratamentos constituíram-se de milho em monocultivo; *Brachiaria humidicola*; *Panicum maximum* cv Aruana; milho + *Brachiaria humidicola* e milho + *Panicum maximum* cv Aruana. Foram determinados os teores de carbono orgânico total, carbono orgânico particulado e carbono orgânico associado aos minerais do solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm. Foram também analisados os acréscimos e reduções dos estoques de carbono nas diferentes frações utilizando-se a área de cerrado como referência. Os resultados demonstraram que os sistemas com consorciação de culturas e forragens ocasionaram efeitos nos diferentes compartimentos da matéria orgânica. Devido ao curto período de condução do plantio direto, as alterações promovidas pelas culturas nas frações da matéria orgânica foram mais expressivas nas camadas superficiais do solo. Sob plantio direto, o milho em monocultivo ou consorciado com *Brachiaria humidicola* promoveu aumento nos estoques de carbono orgânico total e nas frações COp e COam, tendo o cerrado nativo como referência. Nos demais sistemas, o uso do solo promoveu aumento dos estoques de COT e COam e redução na fração COp.

PALAVRAS-CHAVE: *Brachiaria humidicola*. *Panicum maximum*. Carbono orgânico.

INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo tem grande importância em regiões de clima quente e úmido, como as que predominam no Brasil (tropical e subtropical), pois este compartimento representa uma importante reserva de carbono (C) no solo. Nessas regiões, com o intenso revolvimento do solo para plantio há rápida mineralização de resíduos vegetais e conseqüente diminuição dos estoques de matéria orgânica do solo (MOS) (JANTALIA et al., 2007; LOSS et al., 2009a; SÁ; LAL, 2009).

Quando há substituição de ecossistemas naturais por sistemas agrícolas, geralmente ocorre o declínio do conteúdo de C do solo (ROSA et al., 2003). Entretanto, sistemas conservacionistas tendem, com o tempo, a apresentar incremento dos teores de matéria orgânica na superfície do solo (CANELLAS et al., 2003; RANGEL; SILVA, 2007).

O sistema de consorciação de culturas, componente básico de um sistema de manejo conservacionista, pode reduzir as perdas de carbono orgânico total (COT) do solo, pela manutenção dos

resíduos vegetais na superfície do solo e proteção física da matéria orgânica em agregados do solo, bem como pela proteção contra a erosão, eliminação de ervas daninhas e preservação da água no solo (SIX et al., 2004; CONCEIÇÃO et al., 2008; ZOTARELLI et al., 2012).

Em estudos com solos agrícolas do Sul do Brasil, tem se obtido uma taxa média de retenção de carbono atmosférico de 0,48 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ em solos manejados sob sistema de plantio direto (Bayer et al., 2006).

A diferentes frações da MOS apresentam características químicas, físicas e morfológicas diferentes entre si, e a distribuição dessas frações no solo pode indicar a qualidade da matéria orgânica. Os sistemas de manejo ao aportarem diferentes quantidades de carbono no solo, alteram a labilidade da MOS, ou seja, a proporção de MOS lábil em relação à não lábil. Neste contexto pode-se utilizar como indicador da mudança de manejo do solo ou da qualidade ambiental, a distribuição das frações de matéria orgânica (RANGEL; SILVA, 2007; DIAS et al., 2007; FIGUEIREDO et al., 2010; SALTON et al., 2011).

O estoque de C do solo compreende frações intimamente associadas aos minerais, até frações mais lábeis, pouco ou não associadas à fração mineral, como os resíduos vegetais existentes entre e dentro dos agregados do solo (ROSCOE; MACHADO, 2002). Essa divisão permite melhor entendimento da dinâmica da MOS, em função dos diferentes sistemas de uso do solo.

O fracionamento granulométrico da MOS consiste na separação de duas frações orgânicas: o carbono orgânico particulado (COP) e o carbono orgânico associado aos minerais (COam) (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992). O COP é a fração da MOS separada por dispersão e peneiramento do solo associada à fração areia (COP > 53 μ m), sendo caracterizado como partículas derivadas de resíduos de plantas e hifas com estruturas celulares reconhecíveis, cuja permanência no solo está condicionada à proteção física desempenhada por agregados (GOLCHIN et al., 1994). O COam é a fração da MOS associada às frações silte e argila (COam < 53 μ m), sendo definida como a fração da MOS que interage com a superfície de partículas minerais, formando os complexos organominerais, estando protegida pelo mecanismo de proteção coloidal (CHRISTENSEN, 1996).

Segundo Rossi (2012) em sistemas onde ocorre o maior aporte de biomassa, o acúmulo de carbono ocorre preferencialmente na matéria orgânica particulada, a qual é mais sensível, do que o carbono orgânico total às alterações no manejo do solo.

Em condições tropicais, estudos sobre usos e manejos que visam a manutenção ou recuperação dos estoques de C no solo são muito importantes para contribuir para a sustentabilidade da produção e redução de problemas ambientais. Este trabalho teve como objetivo avaliar as frações granulométricas da matéria orgânica em solo de Cerrado numa área sob manejo de plantio direto com consorciação de milho e forrageiras.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado no mês de novembro de 2007, e conduzido na Fazenda Água Limpa, campo experimental da Universidade de Brasília (UnB), localizada na Vargem Bonita, porção Sul-Sudoeste da região administrativa do Lago Sul, no DF (15°55'58''S e 47° 51'02''W e altitude de 1080 metros). O clima é do tipo Aw, tropical estacional de savana, de acordo com a classificação de Köppen, apresentando um período chuvoso de outubro a março, e um período de seca de abril a setembro. A região apresenta precipitação anual média de 1550 mm, com umidade relativa do ar entre junho e setembro abaixo de 70%, podendo cair para 16% na estação mais seca do ano. Apresenta temperatura média entre 18 °C e 28,5 °C. Os dados de precipitação média mensal e temperatura do ar (média mensal) do local do experimento, durante o período de estudo, são apresentados na Figura 1.

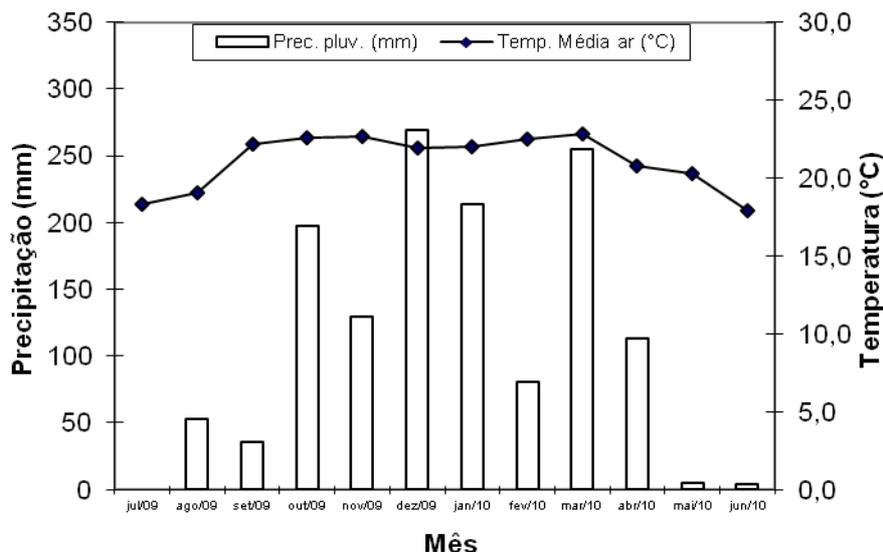


Figura 1. Precipitação média mensal e temperatura do ar (média mensal) da área experimental no período de julho de 2009 a junho de 2010. Dados coletados da estação meteorológica automática da Fazenda Água Limpa – Universidade de Brasília.

O solo da área de estudo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, A moderado, textura argilosa a muito argilosa (EMBRAPA, 2006), e relevo plano, onde os atributos físicos e químicos são: argila (g kg^{-1}) = 525; silte (g kg^{-1}) = 275; areia (g kg^{-1}) = 200; pH (CaCl_2) = 5,1; P (mg dm^{-3}) = 0,7; K^+ (mg dm^{-3}) = 46,1; Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) = 1,4; Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) = 0,8; H + Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) = 3,7; Al^{3+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) = 0,0.

Antes da instalação do experimento a área era mantida com o cultivo de capim *Andropogon gayanus*, variedade Planaltina, por um período de seis anos. Em outubro de 2007 essa área foi preparada com aração e gradagem. Em seguida, de acordo com a análise química de terra, foi realizada a calagem e, em novembro do mesmo ano, foi instalado o experimento.

Foram implantados os seguintes sistemas de uso do solo, que constituíram os tratamentos do experimento, em delineamento em blocos ao acaso, com parcelas de 80 m², sendo um total de 15 parcelas (3 repetições e 5 sistemas de uso do solo), a saber: 1) milho em monocultivo (cultivar BR 2020); 2) milho consorciado com *Brachiaria humidicola*; 3) milho consorciado com capim *Panicum maximum* cv Aruana; 4) *Brachiaria humidicola* e; 5) capim *Panicum maximum* cv Aruana.

Os sistemas de uso do solo foram cultivados anualmente, na área experimental até a safra 2009/2010. A adubação anual nas parcelas com milho foi 30 kg N ha⁻¹ (na forma de uréia), 100 kg ha⁻¹ P₂O₅ (na forma de superfosfato simples), 70 kg ha⁻¹ KCl no plantio e duas aplicações em cobertura com 45 kg N ha⁻¹ (uréia) e 43 kg ha⁻¹ KCl. A primeira aplicação de cobertura foi feita quando a planta de milho apresentava quatro folhas e a segunda, vinte dias após a primeira aplicação de cobertura. Na adubação das forrageiras, foram utilizados 60 kg N ha⁻¹ (uréia), 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (na forma de super simples) e 60 kg ha⁻¹ de K₂O (na forma de cloreto de potássio). As forrageiras foram semeadas pelo processo manual, a lanço, na quantidade de 20 kg ha⁻¹ de sementes, considerando o valor cultural, quando plantadas solteiras ou em consórcio com o milho. O espaçamento utilizado na cultura do milho foi de 0,95 m, com densidade de plantas de sete plantas por metro linear, formando uma população de 74000 plantas/ha.

Foram realizados tratos culturais para o controle de pragas com a aplicação de inseticida do grupo químico Benziluréia, de nome comum Lefenurom, na dose de 300 mL ha⁻¹ nas parcelas de milho. Foi realizada capina manual para conter as plantas daninhas que infestavam a área do

experimento, bem como o controle químico, para conter o crescimento das forrageiras e de outras daninhas presentes na área experimental, com a utilização de herbicida pós-emergente de nome comum Glyphosate, com dose de 3 litros ha⁻¹.

Após a colheita dos grãos, as plantas de milho foram cortadas e deixadas sobre o solo. O cultivo do milho em monocultivo ou consorciado só foi realizado uma vez por ano, ficando a área sob pousio entre os meses de maio e outubro. Nas áreas com forrageiras não havia pastejo animal. Essas plantas eram dessecadas, após a coleta de amostras de terra, e deixadas sobre o solo durante o período de pousio (maio a outubro).

Foram coletadas amostras de solo deformadas em cada parcela experimental após a colheita do milho (abril de 2010), no terceiro ano de instalação do experimento, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 cm, nas entrelinhas de plantio, sendo coletadas três amostras simples por parcela, que se constituíram em uma amostra composta. Após serem destorroadas e homogeneizadas, as amostras foram secas ao ar e peneiradas na malha de 2,0 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA).

O carbono orgânico total (COT) da TFSA foi determinado por oxidação com dicromato de potássio em meio ácido, sem aquecimento externo, conforme descrito em Embrapa (1997).

O fracionamento granulométrico da MOS foi realizado segundo Cambardella e Elliott (1992). Vinte gramas de TFSA foram submetidos à agitação horizontal por 15 horas na presença de 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio na concentração de 5 g L⁻¹. Em seguida, a suspensão foi passada em peneira de 53 µm com o auxílio de jato de água. O material retido na peneira, que consiste no carbono orgânico particulado (COp) associado à fração areia, foi seco em estufa a 60°C, quantificado em relação a sua massa, moído em gral de porcelana e analisado em relação ao teor de carbono orgânico, conforme descrito para o COT. O material que passou pela peneira de 53 µm, que consiste no carbono orgânico associado aos minerais (COam) das frações silte e argila, foi obtido por diferença entre o COT e COp.

Para avaliar os impactos do uso do solo foram determinados os estoques de carbono de COT, COp e COam. Com os valores de estoque de C correspondente à camada de 0-40 cm, em Mg ha⁻¹, obtido pelo método da camada equivalente (BAYER et al., 2000), foi calculado o Delta C (ΔC), tendo como referência o estoque de C obtido na área de Cerrado, contígua à área experimental, cujos valores obtidos, em Mg ha⁻¹, foram: COT = 45,9; COp = 14,4; COam = 31,5. O Delta C foi obtido pela

subtração dos valores de estoque no Cerrado pelo estoque em cada sistema de uso. Quando negativo, os valores indicam que houve redução dos estoques e quando positivo, o sistema promoveu acréscimo nos estoques de carbono, nas diferentes frações.

Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, com três repetições. Cada parcela apresentou dimensão de 80 m², com 0,5 m entre parcelas. Para a análise dos dados foi utilizado o seguinte modelo, conceituado como modelo misto MIXED (LITTELL et al., 1996):

$$y_{ijk} = \mu + t_i + p_k + t_i p_k + b_j + e_{ij} + \varepsilon_{ijk},$$

onde: t_i é o efeito do tratamento i ; p_k é o efeito da profundidade k ; $t_i p_k$ é o efeito da interação tratamento x profundidade; b_j é o efeito do bloco j ; e_{ij} é o erro experimental; ε_{ijk} é o erro gerado pelas profundidades e b_j , e_{ij} e ε_{ijk} são efeitos aleatórios.

Os resultados, após atender as premissas de normalidade e homogeneidade dos dados, foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F, e os valores médios, quando significativos, foram comparados pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Considerou-se a profundidade como medida repetida no espaço. As análises foram realizadas utilizando-se o software SAS, versão 9.1 (SAS, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COam) foram submetidos à análise de variância, onde foram constatados como significantes os efeitos simples (tratamentos e profundidade) e os efeitos da interação (tratamentos x profundidades). Apenas não foi verificado efeito significativo para tratamentos em relação ao COP (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de F da análise de variância para carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COam), relacionado aos cinco tratamentos e quatro profundidades e a interação entre eles.

F.V.	G.L	COT	COP	COam
Tratamentos	4	12,62*	2,58 ^{ns}	16,24*
Profundidades	3	270,67*	541,74*	135,91*
T x P	12	7,70*	6,19*	4,70*

F.V – Fonte de variação; G.L – Grau de liberdade; T x P – interação tratamentos e profundidades; * significativo ao nível de 5% de probabilidade no teste F; ^{ns} – Não significativo.

Na Tabela 2 são apresentados os valores de COT dos sistemas nas diferentes profundidades. De maneira geral, os teores de COT variaram de 15,1 a 22,6 g C kg⁻¹ de solo. As maiores diferenças foram encontradas entre as profundidades do solo, com diminuição dos teores de COT conforme aumento da profundidade. Estudos realizados em áreas de consorciação de culturas apontam resultados semelhantes. Loss et al. (2009a) avaliando o carbono orgânico total sob diferentes sistemas de produção orgânica, em Argissolo Vermelho-Amarelo, observaram uma tendência de valores mais elevados na profundidade de 0-5 cm e quando comparado com 5-10 cm, constatando assim que este padrão demonstra a maior influência dos resíduos vegetais deixados na superfície pelos diferentes sistemas de uso do solo analisados.

Tormena et al. (2004) também observaram maiores valores de carbono orgânico na camada superficial do solo, ao estudar a estratificação de carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob sistema de plantio direto com 10 anos de implantação. Os autores verificaram que o sistema utilizado proporciona incremento e manutenção nos teores de carbono orgânico principalmente nas camadas superficiais do solo.

O acúmulo de carbono orgânico no solo no sistema de consorciação de culturas em plantio direto se dá preferencialmente nas camadas mais superiores do solo, em função da decomposição dos resíduos vegetais depositados sobre a superfície. Isto reflete a deposição superficial dos resíduos vegetais, associada à menor taxa de decomposição, pelo não revolvimento do solo, além de maior

concentração de raízes nesta camada, principalmente de gramíneas.

Tabela 2. Teores de carbono orgânico total (COT) nos diferentes sistemas de uso do solo.

Sistemas de uso do solo	Profundidade (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
	g kg ⁻¹			
Milho	22,1 ABa	22,6 Aa	19,7 Ab	16,6 Ac
<i>Brachiaria humidicola</i>	20,8 Ba	20,9 ABa	19,3 Aa	16,0 Ab
<i>Panicum maximum</i> *	20,6 Ba	19,4 BCa	20,0 Aa	15,1 Ab
Milho + <i>P. maximum</i> *	22,6 Aa	18,7 Cb	18,5 Ab	15,4 Ac
Milho + <i>B. humidicola</i>	21,5 ABa	19,9 BCab	18,8 Ab	16,1 Ac

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. * cultivar Aruana

Entre os sistemas de uso do solo, verifica-se que ocorreu diferença estatística apenas nas camadas superficiais 0-5 cm e 5-10 cm. O sistema consorciado milho + *Panicum maximum* cv Aruana apresentou o maior valor de COT quando comparado às forrageiras isoladamente, na camada de 0-5 cm. A associação das raízes finas da forrageira que apresentam relação C:N elevada (LUIZÃO et al., 1999) com as do milho que apresentam baixo valor dessa relação (BORDIN et al., 2008), pode ter favorecido o acúmulo de COT na camada superficial do solo. Eiza et al. (2005) avaliaram o efeito de sete sistemas de cultivo, dentre eles, o sistema plantio direto e o sistema convencional, em solos do sudeste de Buenos Aires, Argentina, em um experimento de longo prazo. Os autores constataram que o COT não respondeu claramente aos efeitos dos sistemas de cultivo, diferindo dos resultados obtidos no presente trabalho, onde foram verificadas diferenças para o COT nas camadas superficiais do solo em função dos sistemas de uso do solo avaliados.

Na camada de 5-10 cm, o *Panicum maximum* cv Aruana, seja exclusivo ou em consórcio com o milho apresentou valores baixos de COT, sendo semelhantes ao milho + *B. humidicola* e inferiores ao milho em monocultivo e *B. humidicola* exclusiva. Essa diminuição nos teores de COT em relação à camada 0-5 cm do *Panicum maximum* cv Aruana pode ser decorrente da distribuição do sistema radicular muito concentrado nas camadas superficiais, resultante da adubação superficial e sua distribuição mais homogênea nas demais profundidades.

Os sistemas de uso do solo não se diferenciaram quanto aos teores de COT nas

camadas de 10 a 30 cm. O pouco tempo da condução do plantio direto pode ser a explicação para pouca alteração da matéria orgânica em profundidade. Nessas camadas, o uso de forrageiras na área no período anterior à implantação do experimento pode ainda estar predominando sobre as entradas de carbono orgânico das novas espécies implantadas.

Os tratamentos que apresentaram menores teores de COT em profundidade foram os sistemas em consorciação e o milho isoladamente. Isto pode ser decorrente do maior incremento de matéria orgânica no solo pela introdução de plantas com sistema radicular abundante. Estima-se que a inclusão de pastagem em consorciação com lavouras amplie o potencial de retenção de C atmosférico no solo devido ao desenvolvido sistema radicular das forrageiras (D'ANDREA et al., 2004).

A estratificação do COT nas áreas com forrageiras foi menor que naquelas com milho em monocultivo ou consorciado. Houve pouca variação nos teores de COT entre as profundidades nos sistemas apenas com forrageiras. A área explorada pelo abundante sistema radicular dessas espécies, maior do que a do milho, pode representar uma excelente opção para a sustentabilidade do sistema plantio direto implantado em áreas do Cerrado.

Os maiores valores de COP foram encontrados nas camadas superficiais do solo, decrescendo significativamente em profundidade, o que evidencia a diferença estatística das camadas superficiais para as camadas mais profundas (Tabela 3). Isto confirma que esta fração da matéria orgânica, introduzida diretamente pelos resíduos vegetais tem sua decomposição realizada nesta camada superficial do solo.

Tabela 3. Teores de carbono orgânico particulado (COP) em sistemas com consorciação e cultura anual. Profundidade (cm)

Sistemas	Profundidade (cm)							
	0-5		5-10		10-20		20-30	
	g kg ⁻¹							
Milho	5,4	Ba	5,3	Aa	1,8	Ab	2,0	Ab
<i>Brachiaria humidicola</i>	6,9	BAa	7,3	Aa	1,6	Ab	1,5	Ab
<i>Panicum maximum</i> *	7,3	Aa	6,5	Aa	2,1	Ab	1,6	Ab
Milho + <i>P. maximum</i> *	8,4	Aa	7,4	Aa	1,9	Ab	1,5	Ac
Milho + <i>B. humidicola</i>	7,9	Aa	6,7	Aa	1,6	Ab	1,7	Ab

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. * cultivar Aruana

Na profundidade de 0 a 5 cm, a introdução de forrageiras no consórcio com o milho elevou o incremento de matéria orgânica no solo, sob a forma de COP. O milho consorciado com *Panicum maximum* cv Aruana ou *Brachiaria humidicola* apresentou maiores teores de COP do que o milho solteiro. Isto indica que a palhada da parte aérea das forrageiras contribuiu para aumentar a matéria orgânica particulada na camada superficial com conseqüências na cobertura do solo e na disponibilidade de substrato para microrganismo, pela sua característica de maior labilidade (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992).

Nas demais camadas de solo não foram encontradas diferenças nos teores de COT entre os sistemas de uso do solo. Este resultado indica que as maiores diferenças do COP são encontradas nas camadas superficiais pelas diferenças na matéria orgânica exógena, principalmente em sistema sob plantio direto com pouco tempo de condução.

Nicoloso (2005), ao estudar a influência do aumento da intensidade de utilização das pastagens de inverno e diferentes sistemas de culturas de verão sobre a dinâmica da matéria orgânica do solo, em Argissolo Vermelho-Amarelo, em áreas de integração lavoura-pecuária sob SPD, constatou que o COP foi mais eficaz na expressão das modificações nos teores de carbono orgânico decorrentes do manejo, nos primeiros centímetros do solo: 0,0–2,5 e 2,5–5,0 cm.

Loss et al. (2009b) observaram teores de COP na camada superficial de 0-5 cm, 26% maiores em sistema de rotação (milho/berinjela) em sistema de plantio direto quando comparado ao sistema de sucessão de culturas (feijão/milho) sob sistema convencional.

De maneira geral, dentro do mesmo sistema de uso, não foram verificadas diferenças nos teores de COP entre as profundidades 0-5 e 5-10 cm, nos diferentes sistemas de manejo. Além da matéria

orgânica da parte aérea, a rizodeposição contribuiu para a formação do COP (PUGET; DRINKWATER, 2001). Neste caso, o fato de todas as espécies serem gramíneas e o pouco tempo de adoção do plantio direto podem explicar a ausência de diferenças em profundidade nessas camadas (0-5 e 5-10 cm). As camadas mais profundas (10-20 e 20-30 cm) apresentaram menores teores de COP do que nas camadas superficiais. Essa estratificação demonstra a grande influência da palhada na formação de COP da matéria orgânica introduzida pela superfície do solo.

As maiores variações nos teores de COP nas camadas mais superficiais do solo reforçam a dependência desta fração da adição de resíduos vegetais para a manutenção de seus valores. Em estudos de Sá et al. (2001), no sistema plantio direto, os teores de COP são mais de 75 % dependentes do carbono adicionado ao solo por resíduos vegetais na camada 0 – 2,5 cm e mais de 50 % na camada 2,5 – 5 cm.

A proporção de COP nos teores do COT (COP:COT), na camada de 0-5 cm, variou de 24,4% (sistema milho em monocultivo) a 37,2% (sistema em consorciação milho + capim *Panicum Maximum* cv aruana). Nessa mesma profundidade, essa relação variou de 9% em solo descoberto a 35% em área sob plantio direto no sul do Brasil (CONCEIÇÃO et al., 2005), demonstrando que o SPD é mais eficiente no aumento dos teores de COP, principalmente quando associado a plantas da família das gramíneas.

Na Tabela 4 são apresentados os teores de COam para os sistemas de manejo nas diferentes camadas estudadas. Entre sistemas de manejo, foi verificada diferença apenas nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm. Nestas camadas, o milho em monocultivo apresentou maior teor de COam do que os demais sistemas. A ausência de diferença entre os sistemas nas demais profundidades mostra que essa

fração da matéria orgânica apresenta-se altamente estabilizada e que pouca alteração sofre entre

sistemas de manejo, conforme destacado por Bayer et al. (2004).

Tabela 4. Teores de carbono orgânico associado aos minerais (Coam) nos sistemas exclusivos e consorciados de gramíneas.

Sistemas	Profundidade (cm)							
	0-5		5-10		10-20		20-30	
	g kg ⁻¹							
Milho	16,7	Aab	17,3	Aab	17,9	Aa	14,6	Ab
<i>Brachiaria humidicola</i>	13,9	Bb	13,6	Bb	17,7	Aa	14,5	Ab
<i>Panicum maximum</i> *	13,3	Bb	12,9	Bb	17,9	Aa	13,5	Ab
Milho + <i>P. maximum</i> *	14,2	Bb	11,3	Bb	16,6	Aa	13,9	Ab
Milho + <i>B. humidicola</i>	13,6	Bb	13,2	Bb	17,2	Aa	14,4	Ab

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. * cv. Aruana

O solo analisado apresenta 60% de argila, índice que indica elevada associação com a matéria orgânica do solo. Solos com maior conteúdo de argila têm maior poder de conservação e estabilização da MOS (LEPSCH et al., 1982).

Salton et al. (2002) afirmam que ocorrem aportes diferenciados de resíduos vegetais em sistemas de integrações sob plantio direto tanto na superfície quanto no perfil do solo pelas raízes, comparado a sistemas de plantio exclusivos de culturas graníferas.

Os teores de COam foram semelhantes estatisticamente entre os tratamentos em consorciação. A avaliação desta fração da matéria orgânica nem sempre é um bom indicador do efeito do manejo nas propriedades do solo, uma vez que alterações no estoque deste compartimento da matéria orgânica levam muitos anos para serem detectados. Estudos realizados por Blanco-Canqui et al. (2010) em 33 anos de experimento revelaram baixos efeitos nos valores de matéria orgânica do solo nesta fração do solo.

Com exceção do milho em monocultivo, os demais sistemas apresentaram maiores teores de COam na camada 10-20 cm do que nas demais camadas de solo. A formação de COam é resultado da decomposição de COp (CHAN et al., 2001) e devido à sua associação com a fração argila, a tendência é que esta fração ocorra em camadas mais profundas após sua associação com a superfície dos minerais de argilas, principalmente em solos com alto teor de argila, como ocorre no presente trabalho. Além disso, o sistema radicular das gramíneas forrageiras podem ter liberado mais material orgânico, por rizodeposição, nesta camada, com conseqüente formação de COam.

Diferentemente do que ocorreu no presente estudo, de acordo com Bayer et al., (2004), os estoques de COT são compostos em mais de 80 % pela fração COam. Esta fração apresenta pouca sensibilidade ao manejo em curtos períodos pela sua ciclagem mais lenta (BAYER et al., 2004), interação com a fração mineral do solo e formação de compostos organominerais, num processo de estabilização química (CHRISTENSEN, 1996) e recalcitrância bioquímica (BAYER, 1996).

É desejável que o solo apresente uma quantidade adequada de matéria orgânica particulada para garantir fluxo de carbono e manutenção da atividade biológica. Entretanto, se o solo não dispuser de teores de COam em quantidades suficientes para garantir o suprimento das suas necessidades, os processos de oxidação da matéria orgânica do solo resultarão em diminuição nos estoques de carbono com conseqüente perda e degradação do solo.

Na Figura 2 são apresentados os valores de ΔC em Mg ha⁻¹ para os diferentes sistemas estudados, tendo o solo de Cerrado como referência, representado pelo valor zero. Observa-se que em todos os sistemas estudados houve acréscimo nos teores de COT e COam e redução nos teores de COp para o tratamento com *Brachiaria humidicola*, capim *Panicum maximum* cv Aruana e milho + capim *Panicum maximum* cv Aruana.

O maior teor de ΔCOp no solo foi detectado no sistema sob consorciação milho + *Brachiaria humidicola* com valor de 2,01 Mg ha⁻¹. Esta fração foi a única que apresentou redução quando comparada com o cerrado nativo. Os resultados reforçam a sensibilidade da fração mais lábil na detecção de alterações impostas pelo uso agrícola do

solo, conforme já relatado em outros trabalhos (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992; SÁ; LAL,

2009).

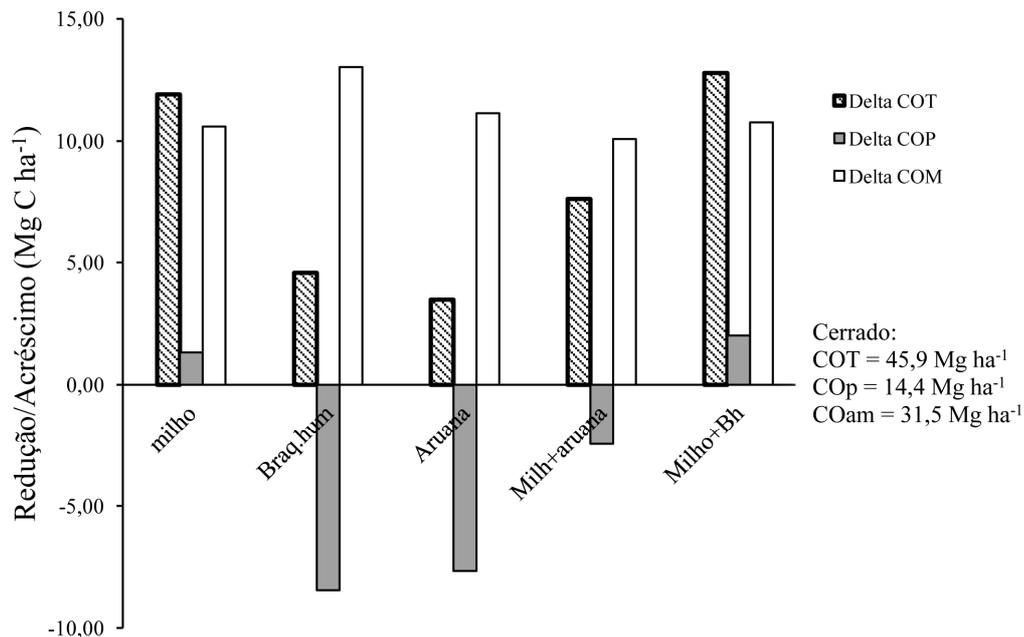


Figura 1. Redução e acréscimo dos estoques de carbono nas diferentes frações da matéria orgânica sob sistemas de uso do solo em relação ao Cerrado nativo.

Os teores Δ COT foram maiores para o sistema em consorciação milho + *Brachiaria humidicola*, o que está relacionado ao maior aporte de fitomassa na superfície e abundante sistema radicular formado pela gramínea. Pode-se atribuir este fato ao manejo adotado, sistema de plantio direto, com menor utilização de implementos agrícolas para o preparo do solo, mantendo a quantidade de matéria orgânica com conseqüente diminuição da sua decomposição, que fica protegida fisicamente nos agregados do solo (JANTALIA et al., 2007).

Os estoques de carbono no solo são determinados pelo balanço das entradas, pelo aporte dos resíduos vegetais e pela aplicação de compostos orgânicos, bem como pelas saídas por meio da decomposição da matéria orgânica do solo (LEITE et al., 2003). Com adoção do plantio direto, a ausência de revolvimento do solo, a rotação de culturas juntamente com a permanência dos resíduos vegetais na superfície, favorece a agregação que protege da mineralização, promovendo o aumento da matéria orgânica do solo (SÁ et al., 2001).

Em estudo realizado por Corazza et al. (1999), em Latossolo Vermelho na região do Distrito Federal, foi obtida uma taxa de acúmulo de C na camada de 0-20 cm de 47,35 Mg ha⁻¹ em sistema de plantio direto comparado com 36,51 Mg ha⁻¹ em sistema utilizando grade pesada. Bayer et al. (2006) observaram valores variando de -0,3 a 8,1 g

m⁻² ano⁻¹ em áreas sob plantio direto na camada de 0-20 cm. Isto indica que o estoque de C no solo pode ser influenciado pelo tipo de solo, manejo adotado, regiões, camadas amostradas entre outros fatores.

Todos os sistemas (em monocultivo ou em consórcio) apresentaram elevação nos teores de COam (acréscimos e Δ COam positivos). Esses resultados reforçam que, mesmo com elevado aporte de matéria orgânica em SPD com gramíneas, o uso agrícola de solos do Cerrado promove transformações que resultam em maior decomposição dos resíduos e transformação de COP em COam. Vários autores (SÁ et al., 2001; LAL, 2004; FEARNSTIDE, 2006) descrevem que os estoques de carbono são menores em sistemas conservacionistas jovens, que ainda estão se estabilizando.

CONCLUSÕES

De maneira geral, os sistemas de manejo se diferenciaram quanto aos teores de carbono nas diferentes frações da matéria orgânica do solo.

Devido ao curto período de condução do plantio direto, as alterações promovidas pelas culturas nas frações da matéria orgânica foram mais expressivas nas camadas superficiais do solo.

Sob plantio direto, o milho em monocultivo ou consorciado com *Brachiaria humidicola*

promoveu aumento nos estoques de carbono orgânico total e nas frações COP e COam, tendo o cerrado nativo como referência. Nos demais sistemas o uso do solo promoveu aumento dos estoques de COT e COam e redução na fração COP.

trabalho, ao REUNI (Programa de Apoio ao Plano de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais) pela concessão da bolsa de mestrado ao primeiro autor, e aos revisores anônimos pelas precisas informações e pelos pertinentes questionamentos que muito contribuíram para a melhoria deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

À FAP-DF(Fundação de Apoio a Pesquisa do Distrito Federal) pelo financiamento deste

ABSTRACT: The study of soil organic matter and its compartments seeks to obtain information about their stability, localization in soil structure as well as their quantity and quality under land use systems. The objective of this study was to evaluate the organic matter fractions in soil under no-till management with grasses. The experimental design was a randomized block, with three replications and five treatments (cropping systems), with repeated measures in space. The treatments consisted of corn; *Brachiaria humidicola*; *Panicum maximum* cv Aruana; corn + *Brachiaria humidicola*, corn + *Panicum maximum* cv Aruana. The concentrations of total organic carbon, particulate organic carbon and organic carbon associated with minerals were analyzed in the soil at depths 0-5, 5-10, 10-20 and 20-30 cm. Increases and reductions of carbon stocks in organic matter fractions, using the Cerrado as a reference, were also analyzed. The results demonstrated that the systems with intercropping and fodder caused different effects on organic matter pools. Because of the short period of no-till the changes promoted by crops in organic matter fractions were more significant in the soil surface layers. Under no-till, maize only or intercropped with *Brachiaria humidicola* promoted an increase in total organic carbon and organic carbon fractions, when the native cerrado soil was used as reference. In other systems, land use increased stocks of OCam and TOC, but promoted reduction in POC stocks.

KEYWORDS: *Brachiaria humidicola*. *Panicum maximum*. Organic carbon.

REFERÊNCIAS

- BAYER C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas de manejos de solos**. 1996. 240f. Tese (Doutorado em Ciência do solo) – Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- 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 and Tillage Research*, Amsterdam, v. 54, p. 101-109, 2000.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis na matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L. MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soil under no-till. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006.
- BLANCO-CANQUI, H.; STONE, L. R.; STAHLMAN, P. W. Soil response to long term cropping systems on an Argiustoll in the central great plains. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 11, n. 2, p. 602-611, 2010.
- BORDIN, I.; NEVES, C. S. V. J.; MEDINA, C. C.; SANTOS, J. C. F.; TORRES, E.; URQUIAGA, S. Matéria seca, carbono e nitrogênio de raízes de soja e milho em plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 12, p. 1785-1792, 2008.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n 2, p. 777-783, 1992.

- CANELLAS, L. P.; VELOSSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E. & SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhço e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 935-944, 2003.
- CHAN, K. Y.; BOWMAN, A. & OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture ley. **Soil Science**, New Brunswick, v. 166, p. 61-67, 2001.
- CHRISTENSEN, B. T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. IN: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (Eds.). **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Lewis, 1996, p. 97-165.
- CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistema de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n.5, p. 777-788, 2005.
- CONCEIÇÃO, P. C.; BOENI, M.; DIECKOW, J. BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 541-549, 2008.
- CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Compartimento de diferentes sistemas de manejo como fonte e depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 425-432, 1999.
- DIAS, B. O.; SILVA, C. A.; SOARES, E. M. B.; BETIOL, W. Estoques de carbono e quantificação de substâncias húmicas em Latossolo submetido à aplicação contínua de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n.4, p. 901-911, 2007.
- D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N. & GUILHERME, L. R. G. Estoques de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n.2, p. 179-186, 2004.
- EIZA, M. J.; FIORITI, N., G.; STUDDERT, G. A.; ECHEVERRIA, H. E. Fracciones de carbono orgánico em la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y fertilización nitrogenada. **Revista Ciencia del Suelo**, Buenos Aires, v. 23, n.1, p. 59-67, 2005.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- FEARNSIDE, P. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 36, n.3, p. 395-400, 2006.
- FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; CARNEIRO, M. A. C. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 907-916, 2010.
- GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O., CLARKE, P. Soil structure and carbon cycling. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 32, n. 5, p. 1043-1068, 1994.
- JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soy bean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, n. 2, p. 97-109, 2007.

- LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate Changes. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, n. 2, p.1-12, 2004.
- LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; & GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de C orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 821-832, 2003.
- LEPSCH, I. F.; SILVA, N. M. & ESPIRONELO, A. Relação entre matéria orgânica e textura de solos sob cultivo de algodão e cana-de-açúcar, no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 41, p. 231-236, 1982.
- LITTELL, R. C., MILLIKEN, G. A., STROUP, W. W. **SAS system for mixed models**. Cary, NC: SAS Institute Inc., 1996, 633p.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 4, p.1077-1082, 2009a.
- LOSS, A., PEREIRA, M. G; FERREIRA, E. P. SANTOS, L. L; BEUTLER, S. J; FERRAZ-JUNIOR, A. S. L. Frações oxidáveis do carbono orgânico do solo em sistemas de aléias sob Argissolo Vermelho Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 867-874, 2009b.
- LUIZÃO, R. C. C.; COSTA, E. S.; LUIZÃO, F. J. Mudanças na biomassa microbiana e nas transformações de nitrogênio do solo em uma sequência de idades de pastagens após derruba e queima da floresta na Amazônia central. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 29, n.1, p. 43-56, 1999.
- NICOLOSO, R. S. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema de plantio direto**. 2005. 149f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Curso de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2005.
- PUGET, P.; DRINKWATER, L. E. Short-term dynamics of root- and shoot-derived carbon from a leguminous green manure. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 65, p.771-779, 2001.
- RANGEL, O. L. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1609-1623, 2007.
- ROSA, M. E. C.; OLSZEVKI, N.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M. & CORREIA, J. R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n.5, p. 911-923, 2003.
- ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Embrapa Agropecuária Oeste/ Embrapa Solos, Dourados, MS/ Rio de Janeiro, RJ, 86p, 2002.
- ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 38-46, 2012.
- SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENSKE-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**, Madison, v. 65, n. 5, p. 1486-1499, 2001.
- SÁ, J. C. M.; LAL, R. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, n. 1, p. 46-56, 2009.

SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A.C.; MACHADO, L. A. Z.; OLIVEIRA, H. Pastoreio de aveia e compactação do solo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 69, n. 48, p. 32-34, 2002.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1349-1356, 2011.

SAS Institute. User's Guide. versão 9.1.3, versão para Windows. Cary, NC, USA, - 2008.

SIX, J.; AGLE, S. M.; BREIDT, F. J.; CONANT, R. T.; MOSIER, A. R.; PAUSTIAN, K. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practiced in the long term. **Global Change Biology**, Urbana, v. 10, n. 2, p. 155-160, 2004.

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n.6, p. 1023-1031, 2004.

ZOTARELLI, L.; ZATORRE, N. P.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; FRANCHINI, J. C.; ALVES, B. R. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**, In Press, Corrected Proof, 2012.