

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE MUNDO NOVO
CURSO DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

DOUGLAS TROIAN

**CARBONO ORGÂNICO TOTAL E ESTOQUE DE CARBONO
DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO SOB
SOLO DE TEXTURA MÉDIA**

Mundo Novo – MS

Outubro de 2016

DOUGLAS TROIAN

**CARBONO ORGÂNICO TOTAL E ESTOQUE DE CARBONO
DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO SOB
SOLO DE TEXTURA MÉDIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial, para obtenção do grau de Tecnólogo (a) em Gestão Ambiental, no curso Tecnologia em Gestão Ambiental, da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS)

Orientador: Prof. Dr. Jean Sérgio Rosset

Mundo Novo – MS

Outubro de 2016

DOUGLAS TROIAN

**CARBONO ORGÂNICO TOTAL E ESTOQUE DE CARBONO
DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO SOB
SOLO DE TEXTURA MÉDIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Tecnologia em Gestão Ambiental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Tecnólogo em Gestão Ambiental.

APROVADO EM 31 de OUTUBRO de 2016

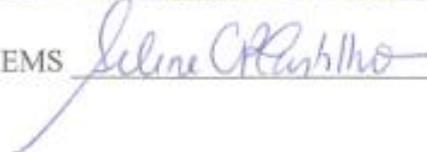
Prof. Dr. Jean Sérgio Rosset - Orientador – UEMS



Prof. Dr. Leandro Marciano Marra – UEMS



Prof. Dr. Selene Cristina de Pierri Castilho – UEMS



AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois é o responsável por todas as conquistas em minha vida.

A instituição UEMS, em especial a todos os docentes do curso de Tecnologia em Gestão Ambiental, por terem sido responsáveis pelo desenvolvimento dos meus conhecimentos.

A minha família, por ser a base de tudo que construí no decorrer da vida, e serem responsáveis por me ensinar a ser correto, ético, e buscar sempre a ser uma pessoa melhor para com o próximo, principalmente a minha mãe, senhora Ivonete Salete Troian, e meu pai, senhor Claci Augusto Troian.

Aos amigos que estiveram do meu lado ao longo desses três anos de estudos, principalmente a amiga, que sempre me incentivou, Carla Aparecida da Silva.

E ao meu orientador, Prof. Jean Sérgio Rosset, que além de orientador, foi amigo e o grande motivador para a realização desse trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os teores de carbono orgânico total (COT) e os estoques de carbono (EstC) em diferentes sistemas de manejo e tempos de implantação na região Sul do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, sendo estudadas quatro áreas com diferentes sistemas de manejo, sendo elas: lavoura em sistema de plantio convencional (SPC), pastagem degradada e eucalipto, além da área de mata nativa sem ação antrópica (representando a condição original do solo). A densidade do solo (Ds), os teores e estoques de COT, e o índice de estratificação foram avaliados nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,1, 0,1-0,2 m. A área de mata apresentou valores de Ds inferiores à todas as áreas manejadas, chegando a $0,97 \text{ Mg m}^{-3}$ na camada de 0-0,05 m. Além disso, a área de mata nativa obteve resultados de teores e estoques de carbono superiores, em todas as camadas, quando comparada todas as áreas manejadas. O índice de estratificação apresentou valores estatisticamente semelhantes entre as áreas manejadas, com todos os valores acima de um, porém com um valor mais elevado para a área de mata (1,60). Contudo, as áreas manejadas não apresentaram valores que beneficiam o acúmulo de matéria orgânica e estocagem de Carbono, indicando assim, falta de um manejo adequado dessas áreas, influenciando a perda da qualidade do solo e por sua vez, a falta de sustentabilidade das atividades praticadas.

Palavras-chave: Estocagem de carbono. Qualidade do solo. Matéria orgânica.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	4
3.1. Localização, Clima e Solo da Área de Estudo	4
3.2. Sistemas Avaliados e Histórico de Uso	4
3.3. Coleta de Amostras de Solo	7
3.4. Análises Realizadas.....	7
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
4.1 Densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (EstC).....	9
4.2 Índice de estratificação de carbono (IE)	13
4.3 Variação no estoque de carbono.....	14
5. CONCLUSÕES	15
REFERÊNCIAS	16

1. INTRODUÇÃO

A transformação de ambientes naturais em ambientes de produção, dependendo do manejo adotado, pode comprometer significativamente a qualidade e as funções do solo (BORGES et al., 2015). O manejo intenso e inadequado do solo promove, entre várias outras consequências, a perda de matéria orgânica do solo (MOS) e surgimento de processos erosivos, levando a uma sequência de estágio de degradação e perda da qualidade (BALOTA et al., 2015).

A MOS e o carbono orgânico total (COT) podem ser utilizados como indicadores da qualidade química, física e biológica dos atributos do solo, principalmente em função de sua relação com os demais atributos edáficos (MAGALHÃES et al., 2016). A MOS é resultante, principalmente da decomposição de resíduos de origem animal e vegetal. Esses resíduos ao serem depositados sobre a superfície do solo são submetidos inicialmente à decomposição parcial por organismos de maior tamanho e, posteriormente, à ação decompositora dos microrganismos. Parte do carbono (C) presente nos resíduos é liberada para a atmosfera como dióxido de carbono (CO₂) (ROSCOE et al., 2006), e o restante passa a fazer parte da matéria orgânica em processo de estabilização química (humificação), como componente do solo (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

Os atributos físico-químicos do solo são muito influenciados pela MOS, a qual corresponde ao maior reservatório de nutrientes para as plantas por estar diretamente relacionada a outras funções no solo, como a fertilidade, especialmente representada em solos arenosos (< 15% de argila) (MAFRA et al., 2008), sendo que, em trabalhos científicos, o conteúdo de MOS, é expresso pelo COT ou carbono total (CT) dependendo da forma de determinação (CHAN et al., 2001).

A MOS é o maior reservatório de C terrestre se as reservas fósseis não forem consideradas, representando cerca de duas vezes a quantidade de C da atmosfera e da biomassa vegetal (SWIFT, 2001). Sua constituição é bastante complexa, sendo formada por diversas frações com tempos de residência variando desde semanas, como a biomassa microbiana, até milhares de anos, como a fração humina, na qual é a fração química de maior estabilidade e tempo de permanência no solo. Na maioria dos solos, especialmente os argilosos, as formas mais recalcitrantes, ou seja, mais estáveis são dominantes em termos quantitativos e, portanto, constituem um compartimento que desempenha papel crucial no sequestro do C em formas estáveis, com prolongado tempo de residência no solo (TRUMBORE, 2000).

Nesse contexto, o acúmulo de MOS até níveis capazes de sustentar um fornecimento contínuo de nutrientes e água para a biota é fundamental no desenvolvimento dos ecossistemas/agroecossistemas, pois garante que, mesmo em solos de baixa fertilidade, florestas exuberantes não apresentem sintomas de deficiência nutricionais, uma vez que a ciclagem de nutrientes é praticamente fechada, com a contínua decomposição da serrapilheira, associada a uma pequena perda por lixiviação e absorção de elementos do solo (SILVA; MIELNICZUK, 1997).

A estocagem de C no solo pode variar de acordo com o tipo de manejo e produção existentes em determinados tipos de solo, podendo variar também de acordo com as condições climáticas e relevo existente (RANGEL et al., 2008).

Existe interesse cada vez maior na identificação dos sistemas de manejo que promovam o aumento dos estoques de carbono no solo. Desta forma, estudos visando à identificação da quantidade e também das diferentes formas de COT do solo, sob diferentes sistemas de manejo fornecem subsídios importantes para a avaliação de qualidade do solo e, conseqüentemente para a manutenção/aumento da produtividade das culturas e melhoria da qualidade ambiental (FREITAS et al., 2000). De modo geral, pastagens bem manejadas, têm potencial para aumentar o teor de carbono do solo, pois nessas áreas a deposição de dejetos pelos animais pode constituir um importante fator de reciclagem e de concentração de carbono e nitrogênio no solo (SALTON et al., 2005).

Práticas adequadas de manejo, como o plantio direto, a interação lavoura pecuária ou sistemas agrossilvipastoris, que visam à manutenção ou mesmo o acúmulo de C no sistema solo-planta, podem atenuar os efeitos do aquecimento global por funcionarem como drenos das emissões de dióxido de carbono (CARVALHO et al., 2010).

Os resíduos de matéria seca das plantas, além de promover um incremento no estoque de carbono do solo, permitem ainda recuperar os teores de MOS a valores próximos ao original. Por isso a importância de se manter sistemas de manejo que aportem quantidades expressivas de material vegetal sobre a superfície do solo durante o ano todo (WENDLING et al., 2005). Em área de lavoura, onde se aplica o sistema de manejo convencional (SPC), com o revolvimento do solo, tal atividade conduz a quebra dos agregados do solo e a exposição de MOS, acelerando assim sua oxidação e culminando em menores teores de COT (BRONICK; LAL, 2005). Além disso, alguns fatores são limitantes para a obtenção do potencial máximo de produtividade em áreas de lavoura sob sistemas de manejo convencionais, pois as alterações nos atributos do solo, principalmente a compactação, acabam prejudicando a qualidade do sistema como um todo (CARVALHO et al., 2010).

Em áreas com cultivo de pastagem, as gramíneas apresentam efeito rizosférico intenso em virtude do seu abundante sistema radicular que, ao ser decomposto, libera nutrientes e ainda contribui para o acúmulo de C em subsuperfície, o que, com o passar dos anos favorece, dentre outros atributos do solo, os processos de agregação e estabilização de agregados (SALTON et al., 2005). Quanto maior o teor de MOS, juntamente com a deposição de dejetos animais, maior será a organização das partículas em estruturas mais complexas, ou seja, melhor será a estruturação do solo (TISDALL; OADES, 1982), sendo o C/MOS fundamental para esse processo em alguns tipos específicos de solo (OADES, 1984). Além disso, a grande quantidade de palhada produzida contribui na manutenção do conteúdo de água no solo nos períodos de menor precipitação. Assim, o manejo correto das áreas de pastagem pode influenciar de maneira significativa os índices de estocagem de C para as áreas de solo com boa cobertura vegetal (MIELNICZUK et al., 2008).

O cultivo de florestas manejadas, principalmente nas regiões tropicais, tem sido apontado como meio eficiente no sequestro de C em razão da acumulação deste na madeira e aumento do estoque de matéria orgânica no solo (ALBRECHT; KANDJI, 2003). No Brasil, a maior área de florestas plantadas é constituída por espécies de eucalipto, que, além do suprimento de madeira, contribui para o sequestro de CO₂ da atmosfera (PUROLNIK et al., 2009).

Desta forma, com maior conhecimento sobre os atributos edáficos, a exemplo da quantidade e qualidade do carbono/matéria orgânica do solo sob diferentes formas de manejo e culturas instaladas, é possível identificar sistemas de manejo que contribuem de forma significativa para manutenção/aumento da produtividade das áreas e também que tragam menores impactos ambientais ao sistema solo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente trabalho foi avaliar os teores e estoques de carbono orgânico total em diferentes sistemas de manejo sob solo de textura média no município de Iguatemi, MS.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Relacionar os teores e estoques de carbono orgânico total do solo, com os sistemas de manejo avaliados.

Adquirir conhecimentos sobre os sistemas de manejo em função do índice de estratificação de carbono da camada arável do solo.

Comparar a qualidade ambiental do solo das áreas manejadas em relação a área de referência, mata nativa.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização, Clima e Solo da Área de Estudo

Foram coletadas amostras de solo em diferentes sistemas de manejo explorados comercialmente, e conduzidos em propriedades rurais no município de Iguatemi, região Cone Sul do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil (Figura 1). O clima da região é subtropical (Cfa), segundo classificação de Köppen. Segundo levantamento detalhado de solos do estado de Mato Grosso do Sul, as áreas do estudo se encontram sob Latossolo Vermelho, textura média (EMBRAPA, 2013). As áreas estudadas possuem composição granulométrica na camada de 0-0,2 m de 252, 122 e 626 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente.

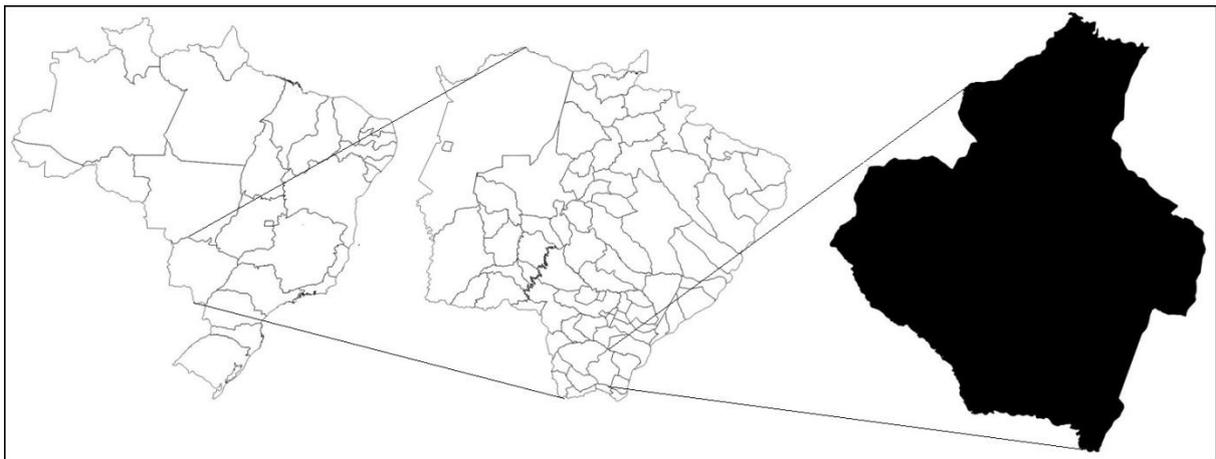


Figura 1 - Localização do município de Iguatemi-MS. Fonte: Google Earth, 2016.

3.2. Sistemas Avaliados e Histórico de Uso

Foram avaliadas três áreas manejadas além de uma área de referência (Mata Nativa/Mata Atlântica – Floresta Estacional Semidecidual) sem ação antrópica, perfazendo quatro sistemas diferenciados analisados em delineamento inteiramente casualizado. As três áreas manejadas compreenderam áreas com diferentes formas de manejo: área de pastagem degradada com a espécie *Brachiaria brizantha*, com sinais visíveis de degradação, como baixo percentual de cobertura do solo, presença de plantas daninhas em área total e erosão do tipo laminar, desde 1990 ocupada por pastagem e sem qualquer tipo de revolvimento do

solo/renovação da pastagem desde o ano de 2002, com 2,5 ha; área de lavoura desde o ano de 2010 alternando os tipos de cultura produzidos, como plantio de milho, mandioca e melancia, com 2,0 ha, manejada sob sistema de plantio convencional (SPC); área de plantio de eucalipto, até o momento da coleta sem qualquer corte das árvores efetuado, espécie *Eucalyptus urophylla*, com 1,0 ha. A descrição das áreas é apresentada na tabela 1 e sua representação temporal detalhada apresentada na figura 2 e representadas por imagens na figura 3.

Tabela 1 – Histórico e descrição das áreas de estudo (sistemas de manejo)

Sistema de manejo	Descrição
Eucalipto	Área de 1,0 ha, com plantio efetuado no ano de 2002, com a espécie <i>Eucalyptus urophylla</i> .
Pastagem Degradada	Área com 2,5 ha, reformada no ano de 2002 com a espécie <i>Brachiaria brizantha</i> , com sinais visíveis de degradação, baixa cobertura de solo, presença de espécies invasoras e erosões na forma laminar. 5 UA ha ⁻¹ (cinco unidades de animal por hectare).
Lavoura	Área com 2 ha, com transição entre pastagem para lavoura no ano de 2010, revolvendo-se o solo anualmente com duas gradagens (aradora e niveladora) e alternando plantações de milho, mandioca e espécies frutíferas, como melancia, abóbora comum, abóbora moranga e melão.
Mata	Área com 20 ha de reserva legal sem qualquer interferência antrópica, utilizada como referencial da condição original do solo.

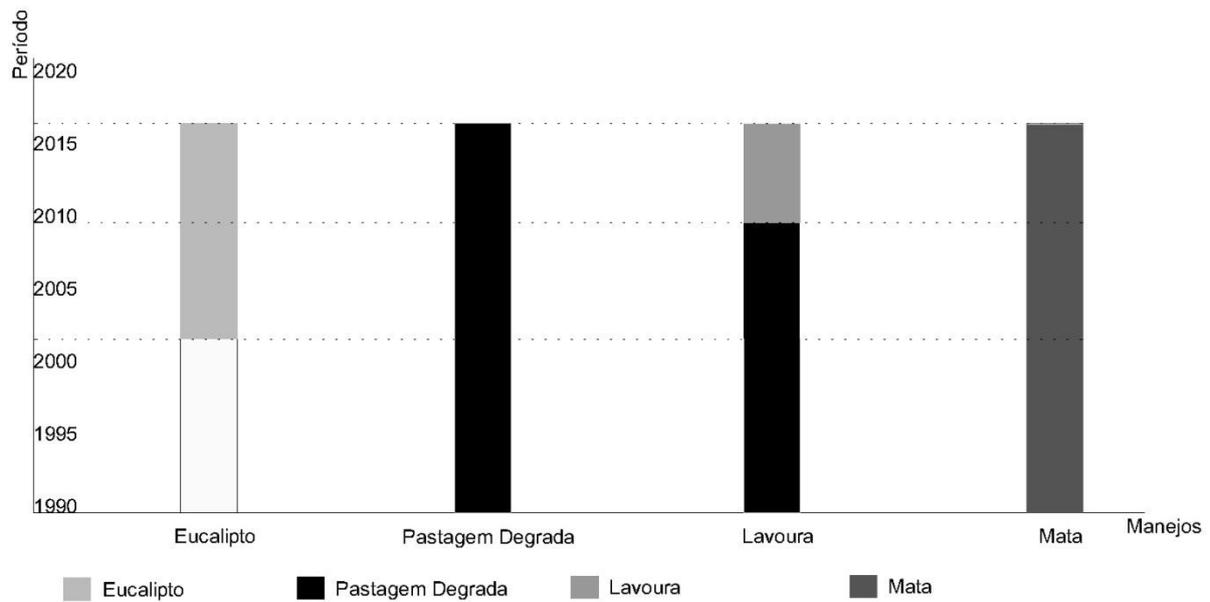


Figura 2 — Histórico do uso das áreas, com as respectivas datas de implantação em cada sistema de manejo.



Figura 3 — Diferentes sistemas de manejo estudados, Iguatemi, MS. A: área de eucalipto, B: pastagem, C: lavoura, D: mata nativa.

Fotos: Douglas Troian.

3.3. Coleta de Amostras de Solo

Em cada área de estudo foram demarcadas quatro glebas de 400 m², nas quais foram realizadas as coletas das amostras de solo, cada gleba representou uma repetição. As amostras foram coletadas em quatro pontos (glebas-repetições), sendo que, cada amostra composta foi representada por dez amostras simples dentro dos quatro sistemas de manejo diferenciados, nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m. Após a coleta, feita nas entrelinhas para as áreas de eucalipto e lavoura, e aleatoriamente para a área de pastagem e mata, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). Também foram coletadas amostras indeformadas com auxílio de anel volumétrico com volume de 48,86 cm³ com quatro repetições em todas as áreas e camadas, para as análises de densidade (Figura 4).



Figura 4 — Coleta de amostra física de solo (anel de Kopeck).

3.4. Análises Realizadas

a) Análises físicas

As análises granulométricas foram realizadas pelo método da pipeta, no laboratório de Física do Solo da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Marechal Cândido Rondon. Já as análises de densidade do solo (Ds) foram realizadas segundo metodologia descrita por Embrapa (1997), pelo método do anel volumétrico no Laboratório de Ensino de Química da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Unidade de Mundo Novo.

b) Carbono orgânico total e estoques de carbono

O carbono orgânico total (COT) foi determinado pela oxidação da matéria orgânica pelo dicromato de potássio, em meio sulfúrico, e titulado com sulfato ferroso amoniacal na presença de difenilamina, sem aquecimento externo, segundo metodologia adaptada de Yeomans e Bremner (1988), no laboratório de ensino de química da UEMS de Mundo Novo (Figura 5). A partir dos resultados obtidos, foram calculados os estoques de carbono orgânico total (EstC) segundo o método da massa equivalente (ELLERT; BETTANY, 1995; SISTI et al., 2004) apresentado na equação (1). Para verificar tendências de acúmulo ou perda de COT em comparação com o sistema de referência (mata nativa), foi calculada a variação do EstC (ΔEstC , $\text{Mg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) em comparação à mata, sendo esse obtido pela diferença entre os valores médios de EstC neste sistema (referência) e em cada um dos demais (áreas manejadas). O valor obtido foi dividido pela espessura (cm) de cada camada.



Figura 5 — Análise de carbono orgânico total (COT) no laboratório de ensino de química, UEMS/Mundo Novo.

$$C_s = \sum_{i=1}^{n-1} C_{ti} + \left[M_{tn} - \left(\sum_{i=1}^n M_{ti} - \sum_{i=1}^n M_{si} \right) \right] * C_{tn} \quad (1)$$

Onde:

C_s = estoque de C total, corrigido em função da massa de solo de uma área de referência (no texto representado como EstC; Mg/ha

$\sum_{i=1}^{n-1} C_{ti}$ = somatório dos estoques de C do solo da primeira à última camada amostrada no tratamento considerado (Mg ha^{-1});

M_{tn} = massa de solo da última camada amostrada no tratamento (Mg ha^{-1});

$\sum_{i=1}^n M_{ti}$ = somatório da massa total do solo amostrado sob o tratamento (Mg ha^{-1});

$\sum_{i=1}^n M_{si}$ = somatório da massa total do solo amostrado na área referência (Mg ha^{-1});

C_{tn} = teor de C do solo na última camada amostrada (Mg C Mg^{-1} de solo).

c) Índice de estratificação do carbono

Com os resultados de COT, foi calculado também o índice de estratificação do carbono (IE) mediante relação entre os teores de COT da camada de 0-0,05 m e à camada de 0,1-0,2 m (camada arável) conforme proposto por Franzluebbers (2002). Valores superiores a 1,00, indicam acúmulo de C na superfície, indicando assim, melhor capacidade de aproveitamento das funções do solo.

Após todas as análises, os resultados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados por meio dos testes de Lilliefors e Cochran e Bartlett, respectivamente. Posteriormente, em delineamento inteiramente casualizado, os resultados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F, e os valores médios comparados entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade com auxílio do programa GENES (CRUZ, 2006).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (EstC)

Para a densidade do solo (Ds) (Tabela 2), pode-se observar que as três áreas manejadas apresentaram maiores valores de Ds quando comparadas a área de mata nativa, porém sendo estatisticamente semelhantes entre si, variando entre 1,40 a 1,72 Mg m^{-3} , nas áreas de lavoura na camada de 0-0,05 m e eucalipto na camada de 0,05-0,1 m, respectivamente. Esses maiores valores de Ds possivelmente estão associados à maior compactação do solo pelo uso de máquinas na área de lavoura e pelo pisoteio animal nas áreas de eucalipto e pastagem (5 UA ha^{-1}).

Tabela 2 — Densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (EstC) nos diferentes sistemas de manejo sob solo de textura média.

Sistema de manejo	Ds	COT	EstC
	Mg m ⁻³	g kg ⁻¹	Mg ha ⁻¹
		0-0,05 m	
Pastagem Degradada	1,57a	8,76b	4,26b
Eucalipto	1,51a	7,72b	3,74b
Lavoura	1,40a	9,09b	4,41b
Mata	0,97b	21,95a	8,76a
CV(%)	6,0	10,4	11,5
		0,05-0,1 m	
Pastagem Degradada	1,63ab	7,07b	3,99b
Eucalipto	1,72a	6,96b	3,92b
Lavoura	1,47b	8,52b	4,78b
Mata	1,12c	16,34a	7,60
CV(%)	5,5	12,5	19,6
		0,1-0,2 m	
Pastagem Degradada	1,62a	8,22b	9,67b
Eucalipto	1,61a	7,71b	9,04b
Lavoura	1,48a	7,47b	8,78b
Mata	1,18b	13,75a	14,79a
CV(%)	5,4	10,5	10,9

Médias seguidas de letras iguais na coluna, em cada camada, não diferem entre si pelo teste de Tukey($p \leq 0,05$). CV = coeficiente de variação.

Diferente do observado nas áreas manejadas, a área de mata nativa apresentou os menores valores para Ds, especialmente na camada de 0-0,05 m, variando de 0,97 a 1,18 Mg m⁻³. Esse fato deve-se à ausência de qualquer tipo de manejo de solo ou pastejo animal nessa área, e em razão da vegetação existente, que proporciona elevada presença de raízes e MOS. Assis e Lanças (2005) atribuem menores valores de Ds em áreas nativas ao não revolvimento do solo e/ou tráfego de máquinas e animais, o que proporciona, via de regra, aumento dos teores de COT, especialmente em camadas superficiais, melhorando a estruturação do solo pela formação de agregados mais estáveis ao longo do tempo, com consequente aumento do

espaço poroso e diminuição da Ds. Alguns atributos são mais sensíveis a mudanças que ocorrem no solo do que outros, destacando-se, dentre estes, a estabilidade de agregados, densidade do solo, teor de carbono orgânico e estoque de carbono, que são indicadores utilizados para mensurar estas alterações, bem como regular a infiltração, retenção e disponibilidade de água no solo e favorecer as trocas gasosas (LIMA et al., 2013).

Silva e Rosolem (2001) sob diversas condições de solo e sistemas de manejo, estabeleceram o limite crítico de Ds para o desenvolvimento radicular da maioria das espécies vegetais de $1,60 \text{ Mg m}^{-3}$. Neste trabalho, pode-se observar valores acima deste limite nas áreas de pastagem e eucalipto nas camadas de 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m, chegando a $1,72 \text{ Mg m}^{-3}$ na camada de 0,05-0,1 m na área de eucalipto. Carneiro et al. (2009) verificaram em estudo que envolveu diversos sistemas de manejos e usos do solo, que todos eles promoveram aumento na Ds, aumentando em média 7% em relação a área nativa, porém os valores obtidos nos diferentes manejos e uso do solo não atingiram valores impeditivos ao crescimento radicular.

Os resultados obtidos para Ds nas áreas manejadas, apresentam concordância com Calegari et al. (2006) onde observaram que o preparo convencional contribui para a diminuição dos teores de carbono orgânico do solo e menores valores do diâmetro médio dos agregados, com conseqüente adensamento das partículas de solo e aumento da Ds. Nesse contexto, o sistema de plantio direto (SPD) se mostra como alternativa para a redução nas operações de preparo do solo e, conseqüentemente ao longo do tempo, com contribuição para a diminuição dos valores de Ds (CRUZ et al., 2006), quando da sua utilização seguindo seus princípios básicos (ANGHINONI, 2007).

Quando da não utilização de práticas conservacionistas de cultivo do solo, como o SPD, nas áreas de lavoura cultivadas por logo tempo, como observada nesse estudo, o revolvimento mínimo do solo com escarificadores em determinado período de tempo (QUINCKE et al., 2007), pode ter efeito significativo na descompactação do solo nas camadas subsuperficiais compactadas, entre 0,15 a 0,25 m, como relatado no trabalho de Ferreras et al. (2000). Dimassi et al. (2013) observaram valores de Ds superiores em 4% em áreas que não receberam a descompactação periódica em relação as áreas que receberam tal manejo.

Para o COT, foram observados em todas as camadas avaliadas, teores que se assemelham estatisticamente entre as três áreas manejadas, sendo inferiores aos teores obtidos na área de mata nativa, variando de 6,96 a $9,09 \text{ g kg}^{-1}$ nas as áreas manejadas, e 13,75 a $21,95 \text{ g kg}^{-1}$ na área de mata nativa (Tabela 2). Destaca-se o fato de que conforme aumenta à

profundidade das camadas na área de mata, os teores de COT diminuem, tal constatação não se repete quando consideradas as áreas manejadas. A diminuição dos teores de COT em profundidade demonstra a contribuição mais efetiva das entradas de C na camada mais superficial em relação às camadas de 0,05-0,1, 0,1-0,2, fato comum em áreas sem influência antrópica.

Os maiores teores de COT na área de mata se devem ao aporte constante de resíduos vegetais sobre a superfície do solo, e também, a não perturbação do sistema, diferentemente das áreas manejadas, onde houve mobilização do solo em determinados períodos de tempos no momento da modificação dos sistemas de manejo. Tais valores obtidos podem auxiliar na identificação das áreas onde houve maior degradação do solo. De acordo com Salton et al. (2005), mudanças nos sistemas de manejo têm efeito direto no balanço de C do solo.

Ao analisar o EstC, verifica-se que os valores apresentados para as áreas manejadas foram semelhantes entre si para todas as camadas, com valores que variaram de 3,74 a 9,67 Mg ha⁻¹ na área de eucalipto na camada de 0-0,05 m e na área de pastagem na camada de 01-0,2 m, respectivamente (Tabela 2). De maneira geral, os valores obtidos nas áreas manejadas aumentaram gradativamente conforme maior profundidade. Sistemas de manejo com lavouras, pastagens e cultivos florestais, quando manejados corretamente, podem beneficiar as entradas de C no sistema, conseqüentemente aumentar os EstC, com conseqüentes melhoras em função do tempo para os atributos químicos, físicos e biológicos do solo (BELL; MOORE, 2012), uma vez que a quantidade de resíduos que entra no sistema influencia a taxa de adição de C ao solo (JOHNSTON et al., 2009). A frequência e tamanho desse processo depende da quantidade e também da qualidade dos resíduos depositados sobre a superfície do solo (PAUL et al., 2013), além do tempo de manejo e condições climáticas (SALTON et al., 2005).

A substituição de ambientes de floresta nativa por áreas manejadas, associado ao mau manejo destas áreas, pode levar a importantes mudanças no EstC do solo e conseqüentemente na ciclagem desse elemento. A eliminação da vegetação florestal e sua substituição por agroecossistemas, via de regra, produzem efeitos negativos no ciclo de C, mediante a liberação simultânea de grandes quantidades de C acumuladas nos ecossistemas florestais ao longo do tempo (APPS, 2007). Em sistemas agrícolas, os estoques de C são também influenciados pelo manejo adotado, com a adição diferenciada de resíduos ao solo, devem-se ter diferentes estoques de carbono (SOUZA et al., 2009). Um manejo do solo inadequado resulta em um rápido declínio do estoque de carbono, promovendo aumento de emissões de gás carbônico (KAISER; GUGGENBERGER, 2003).

Para a área de mata nativa, observa-se valores de EstC que variam de 7,60 a 14,79 Mg ha⁻¹, com valor superior encontrado na camada de 0,1-0,2 m (Tabela 2). Vale ressaltar que em todas as camadas analisadas, os valores de EstC obtidos na área de mata foram superiores aos valores obtidos nas três áreas manejadas. A conversão da vegetação nativa em pastagem (derrubada das árvores, queima do material e preparo do solo) e, principalmente, o uso e manejo subsequente, são fatores que controlam a redução, o aumento ou a manutenção dos EstC no solo (MURTY et al., 2002). Assim, devido ao fato de que na área de mata a decomposição da matéria orgânica e a ausência de ação antrópica, entre elas a queimada dos materiais em decomposição e compactação do solo, favorecem o encontro de maiores valores de EstC.

Tanto para os teores de COT quanto para os EstC, quando comparada a área de mata, a área de lavoura em SPC não foi eficiente em acumular C no solo mesmo nas camadas mais superficiais, como na camada de 0-0,05 m (Tabela 2), como geralmente acontece em áreas cultivadas com SPD ao longo do tempo (ANGHINONI, 2007). Além do sistema de manejo aqui adotado (SPC) com intenso revolvimento do solo, as condições climáticas locais favoreceram a rápida decomposição desses resíduos. Isso indica a importância da utilização de culturas com maior relação carbono/nitrogênio (C/N), para favorecer a formação de palhada e tentativa de aumentar os teores de COT ao longo dos anos de cultivo.

4.2. Índice de estratificação de carbono (IE)

Com relação ao índice de estratificação (IE) do carbono orgânico, verificam-se, em todas as áreas estudadas, valores acima da 1,00, o que segundo Franzluebbbers (2002), indicam melhor qualidade do solo. Além disso, pode-se observar na Figura 6, a variação de valores entre as áreas avaliadas, destacando a não diferença estatística entre elas, com valores variando de 1,01 a 1,22, sendo estas, diferentes da área de mata nativa, que apresentou valor para o IE de 1,6. Tal semelhança estatística do IE para as áreas manejadas pode ser influenciada pelo fato de que as concentrações de C nas áreas manejadas foram também semelhantes, isso também considerando o padrão de distribuição do perfil de 0-0,2 m (Tabela 2). Esse aumento de valor observado na área de mata é devido a maiores concentrações de C existente na camada de 0-0,05 (21,95 g kg⁻¹) (Tabela 2). Em trabalho em área nativa de Cerrado em Mato Grosso do Sul, Salton (2005) observou valor de IE chegando a 3,05, ou seja, muito elevado. Além disso, o autor destacou que a utilização deste indicador possui como vantagem a facilidade de sua obtenção, dependendo apenas de valores para COT em

duas camadas de solo, o que potencializa sua utilização como indicador de qualidade do solo, como proposto por Franzluebbbers (2002).

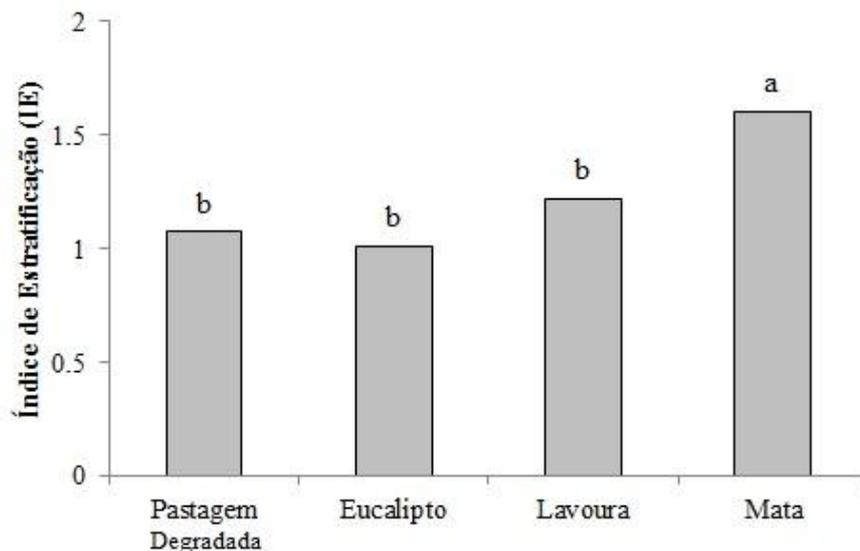


Figura 6 — Índice de estratificação (IE) do carbono orgânico total em função dos diferentes sistemas de manejo sob solo de textura média.

4.3. Variação no estoque de carbono

As alterações da vegetação, além das práticas de manejo, influenciam os EstC, pois podem alterar as taxas de adição e perda da MOS ao longo do tempo de cultivo, também em função de outras características, como climáticas (PLAZA-BONILLA et al., 2010). Na figura a seguir (Figura 7), podem-se interpretar os resultados obtidos referentes à variação do EstC, em um comparativo de cada camada distinta, observando de maneira específica cada área manejada em relação à área de mata, observando também os mesmos em uma seção que abrange a camada de 0-0,2 m.

Através da Figura 7, observou-se redução acentuada nos EstC em todas as áreas manejadas nas camadas superficiais, especialmente na camada de 0-0,05 m em relação à área de mata nativa, o que indica a maior susceptibilidade da oxidação do COT nesta camada do solo submetidos a certos sistemas de manejo, sejam eles com revolvimento do solo (SPC) ou pastejo excessivo (pastagem em processo de degradação). Em sistemas de manejo de regiões tropicais, existe maior dificuldade em aumentar os teores e EstC (Tabela 2) do solo (BLAIRD et al., 2000). Essa variação negativa nos EstC na camada de 0-0,05 m é mais evidente na área de eucalipto seguido das áreas pastagem e lavoura.

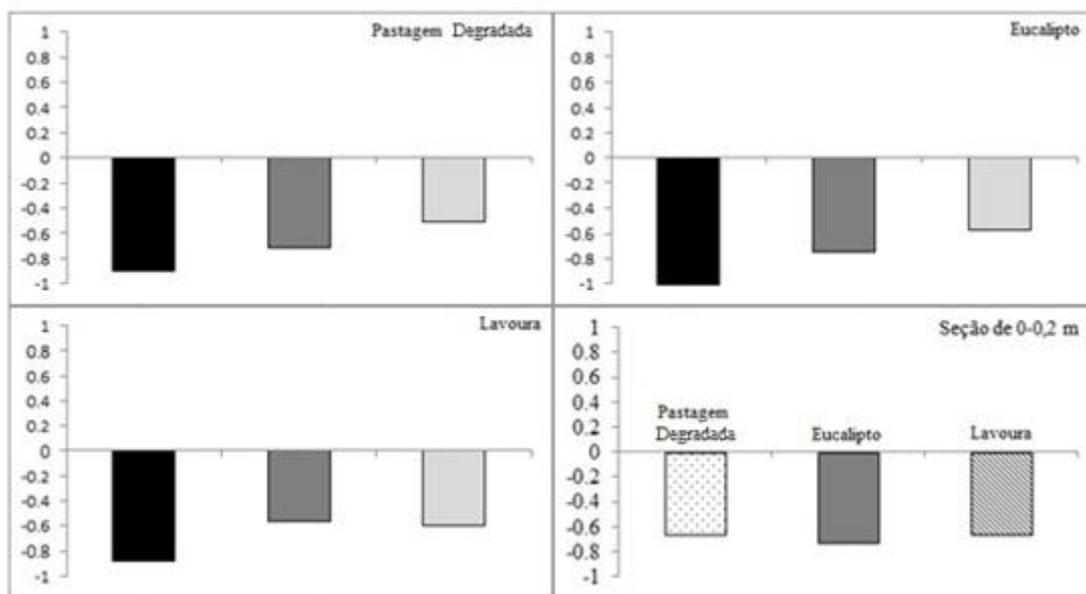


Figura 7 — Variação do estoque de COT (ΔEstC) das áreas manejadas nas camadas de 0-0,05 m (■), 0,05-0,1 m e (■), 0,1-0,2 m (■) em relação à área de mata nativa, e na seção de 0-0,2 m sob solo de textura média.

Avaliando o perfil de 0-0,2 m, ou seja, quando se considera os EstC em todas as três camadas estratificadas avaliadas conjuntamente, também houve variação negativa nos EstC, sendo mais acentuada na área de eucalipto, devido aos números maiores de densidade, em função da grande quantidade de animais que circulam pelo local, seguida das áreas de lavoura e pastagem (Figura 7). Pastagens degradadas ou áreas de lavoura com baixa produtividade (geralmente em SPC mal manejado) adicionam baixa quantidade de resíduos vegetais na superfície, além de comprometerem o bom desenvolvimento do sistema radicular das plantas devido à baixa produção de fotoassimilados, que são importantes fatores no processo de acúmulo de C no solo (SIQUEIRA NETO et al., 2009). A alteração das áreas nativas para a produção agrícola, associadas às práticas inadequadas de manejo, tem resultado na diminuição dos EstC do solo, o que ocorre em função do aumento do processo erosivo, aceleração da decomposição da matéria orgânica do solo e redução no aporte de material vegetal, influenciando de maneira significativa a variação negativa de EstC, quando comparado com as áreas de mata nativa (ARAÚJO et al., 2007), como demonstrado nessa figura 7 em todas as áreas manejadas.

5. CONCLUSÕES

As áreas manejadas apresentam menores teores e estoques de carbono orgânico total, além de maiores valores de densidade do solo.

Solos com revolvimento intensivo (SPC), áreas de eucalipto com presença constante de animais e também pastagens degradadas, possuem solo exposto, perda de material orgânico influenciando diretamente nos teores de COT, como também nos valores de EstC.

Os valores para o índice de estratificação das áreas manejadas foram inferiores a área de mata nativa.

REFERÊNCIAS

ALBRECHT, A.; KANDJI, S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agric. Ecosystems & Environment*, Ottawa, v. 1, n. 99, p. 15-27, 2003.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo no sistema plantio direto. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa; SBCS, 2007, cap. 6, p. 873-928.

APPS, M. J. Forests, the global carbon cycle and climate change. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p.10-13, 2007.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 1099-1108, 2007.

ASSIS, R. L.; LANÇAS K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo vermelho distroférrico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 515-522, 2005.

BALOTA, E. L.; YADA, I. F. U.; AMARAL, H. F.; NAKATANI, A. S.; HUNGRIA, M.; DICK, R. P.; COYNE, M. S. Soil quality in relation to forest conversion to perennial or annual cropping in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 1003-1014, 2015.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Eossistemas tropicais e subtropicais**, Porto Alegre, 2. ed, p. 7-18, 2008.

BELL, L. W.; MOORE, A. D. Integrated crop-livestock systems in Australian agriculture: trends, drivers and implications. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 111, n. 7, p. 1-12, 2012.

BLAIR, J.; LEFROY; 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**, Collingwood, v. 46, n. 7 p. 1459-1466, 2000.

BORGES, C.; RIBEIRO, B. T.; WENDLING, B.; CABRAL, D.A. Agregação do solo, carbono orgânico e emissão de CO₂ em áreas sob diferentes usos no Cerrado, região do Triângulo Mineiro. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 10, n. 3, pag. 26-28, 2015.

BRONICK C. J.; LAL R.. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, Amsterdam v. 124, n. 1-2, p. 3-22, 2005.

CALEGARI, A.; CASTRO FILHO, C. de; TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. de F.: **Ciências Agrárias**, Londrina, v.27, n. 2, p. 147-158, 2006.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R.. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CARVALHO J.L.N; AVANZI J.C; SILVA M.L.N; MELLO C.R; CERRI C.E.P. Potencial Sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira Ciência de Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 27-38, 2010.

CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxycpaleustalf under different pasture ley. **Soil Science**, Philadelphia, v. 166, n. 1, p. 61-67, 2001.

CRUZ, C. D. **Programa genes: biometria**. Ed. Viçosa: UFV. p. 382, 2006

CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; NOVOTNY, E. H.; PEREIRA-FILHO, I. A.; SANTANA, D. P.; PEREIRA, F. T. F.; HERNANI, L. C. **Cultivo do milho**. 2. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, P. 4, 2006.

DIMASSI, B.; COHANB, J. P.; LABREUCHE, J.; MARY, B. Changes in soil carbon and nitrogen following tillage conversion in a long-term experiment in Northern France. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 169, n. 1, p. 12-20, 2013.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal Soil Science**, Ottawa, v. 75, n. 4, p. 529-538, 1995.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, p. 712, 1997.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, p. 353 2013.

FERRERAS, L. A.; COSTA, J. L.; GARCIA, F. O.; PECORARI, C. Effects of no tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampa" of Argentina. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, n. 1-2, p. 31-39, 2000.

FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 66, n. 2, p. 95-106, 2002.

FREITAS, P. L.; BLANCANEAUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY, M.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 157-170, 2000.

JOHNSTON, A. E.; POULTON, P. R.; COLEMAN, K. Soilorganicmatter: its importance in

sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. **Advances in Agronomy**, Amsterdam, v. 101, n. 1, p. 1-57, 2009.

KAISER, K.; GUGGENBERGER, G. Mineral surfaces and soil organic matter. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 54, n. 2, p. 219-236, 2003.

LIMA, C. L. R. et al. Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 199-205, 2003.

MAFRA, A. L.; GUEDES, S. F. F.; FILHO, O. K.; SANTOS, J. C. P.; ALMEIDA, J. A.; DALLA ROSA, J. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 217- 224, 2008.

MAGALHÃES, S.S.A.; RAMOS, F.T.; WEBER, O.L.S. Carbon stocks of an Oxisol after thirty-eight years under different tillage systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 85-91, 2016.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 8-10, 2008.

MURTY, D.; KIRSCHBAUM, M.U.F.; MCMURTRIE, R .E.; MCGILVRAY, H. Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? **A review of the literature. Global Chang. Biol.**, Amsterdam, v. 8, p. 105–123, 2002

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability, mechanisms and implications for management. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 76, n. 1-3, p. 319-337, 1984.

PLAZA-BONILLA, D.; CANTERO-MARTÍNEZ, C.; ÁLVARO-FUENTES, J. Tillage effects on soil aggregation and soil organic carbon profile distribution under Mediterranean semi-arid conditions. **Soil Use Management**, Oxford, v. 26, n. 4, p. 465-474, 2010.

PULROLNIK, K.; BARROS, F. N.; SILVA, R. I.; NOVAIS, F. R.; BRANDANI, B. C. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no vale do Jequitinhonha – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 3, pag. 3, 2009.

QUINCKE, J. A.; WORTMANN, C. S.; MAMO, M.; FRANTI, T.; DRIJBER, R. A. Occasional tillage of no-till systems: carbon dioxide flux and changes in total and labile soil organic carbon. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, n. 4, p. 1158-1168, 2007.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; GUILHERME, L. R. G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 429-437, 2008.

ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados, cap. 1, p. 17-42, 2006.

SILVA, R. H; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 253-260, 2001.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C. **Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 58 p. (Embrapa Agropecuária Oeste, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 29).

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, n. 4, p. 113-117, 1997.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1829-1836, 2009.

SWIFT, R. S. Method for extraction of IHSS soil fulvic and humic acids. **Soil Science Society of America Books**, Madison, v. 76, p. 1018-1020, 1996.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates. **Journal of Soil Science**, San Francisco, v. 33, n. 2, p. 141-163, 1982.

TRUMBORE S. E. Constraints on below-ground carbon from radiocarbon: the age of soil organic matter and respired CO₂, **Ecological Applications**, Washington, v. 10, n. 10, pag. 399-411, 2000.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. de S.; NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005

YEOMANS, A.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication Soil Science Plant Analysis**, New York, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.