

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

**THAIS MELISSA DIAS DOS SANTOS**

**ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO E EVOLUÇÃO DE  
DIÓXIDO DE CARBONO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE  
MANEJO**

Mundo Novo – MS

Novembro/2017

**THAIS MELISSA DIAS DOS SANTOS**

**ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO E EVOLUÇÃO DE  
DIÓXIDO DE CARBONO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE  
MANEJO**

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

Novembro/2017

**THAIS MELISSA DIAS DOS SANTOS**

**ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO E EVOLUÇÃO DE  
DIÓXIDO DE CARBONO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE  
MANEJO**

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 07 de novembro de 2017

Prof. Dr. Jean Sérgio Rosset - Orientador – UEMS

  
\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Leandro Marciano Marra – UEMS

  
\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Selene Cristina de Pierri Castilho – UEMS

  
\_\_\_\_\_

Dedico este trabalho a minha mãe Rosalina  
e ao meu pai Joseval.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me guiado, ter me dado forças, discernimento e sabedoria para chegar até aqui; principalmente por ter me sustentado até o final de mais este ciclo em minha vida. Realizei meu primeiro sonho de muitos que ainda tenho.

Hoje entendo o “por que” de tudo que aconteceu e o “por que” de ter acontecido; obrigada meu Pai. A Tí toda honra e toda glória para sempre, Amém.

Aos meus queridos pais Rosalina e Joseval, por todos os ensinamentos, educação, caráter e amor que me deram; pelos sacrifícios e esforços que fizeram para que hoje eu possa estar realizando meu sonho; e principalmente a minha mãe por sempre ter me colocado em suas orações a cada viagem de volta pra casa. Serei eternamente grata a vocês.

A todos os professores que me acompanharam nessa caminhada transmitindo seus conhecimentos, vivências e experiências. Em especial ao professor Jean Sérgio Rosset pela orientação, apoio, confiança e por em muitos momentos ter sido mais que um professor, ter sido amigo e conselheiro.

A Francieli Cristina Nunes uma das pessoas mais solidárias que conheci nesta caminhada, sou grata por sua solidariedade em me ajudar a chegar esta cidade, sem você e sua boa vontade em ajudar o próximo mesmo sem conhecer, talvez eu nem estivesse aqui hoje escrevendo tudo isso. Te adoro minha amiga.

Ao meu namorado Rafael de Souza de Araújo, meu muito obrigada por ter sido meu amigo, meu confidente, meu companheiro de caminhada ao longo desses três anos; por ter cuidado de mim, me apoiado nos momentos de angústia, de dúvidas e medo de não conseguir chegar até o fim e principalmente por ter dedicado a mim todo seu carinho, sua paciência, seu amor e por ter feito parte da minha história.

A minha grande amiga, Lucimery Terezinha Gibbert, obrigada por tudo que fez por mim ao longo desses anos, pelos conselhos, pelos puxões de orelha, por ter tido muita paciência comigo, por ter feito por mim o que talvez nenhuma outra pessoa teria feito; você foi à pessoa que teve papel principal na realização desse sonho. Serei eternamente grata a você e sua família por terem me acolhido.

Ao Héric Gregório meu amigo de fé, camarada; por essa nossa amizade verdadeira que vou levar pro resto da vida, pelas conversas, pelos conselhos partilhados,

pelo apoio nas horas difíceis; que você continue sempre acreditando nos seus sonhos, estarei sempre aqui quando precisar.

As minhas lindezas amadas Aline Cristine de Souza e Valéria Pereira dos Santos por sempre me apoiarem, pelos conselhos e por me mostrarem o real significado da amizade verdadeira que mesmo com a distância nada nunca mudou; pelo contrário, a sensação é de que eu nunca sai daí. Amo vocês.

Aos amigos que a UEMS me deu, Mayla, Duda e Guilherme, pelas horas de conversas jogadas fora nas tardes que estávamos cumprindo as horas da Iniciação Científica, pelos conselhos, pela paciência, pelos almoços maravilhosos cheios de alegria, *zueiras*; muitas risadas, angustias entre outros sentimentos partilhados. Adoro todos vocês.

Aos familiares, amigos e a todos que de alguma forma acreditaram em mim, torceram para que eu concluísse mais uma etapa para alcançar meus objetivos. Valeu a pena toda distância, todo sofrimento, todas às renúncias.

Muito obrigada a todos.

*Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.  
Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.*

(Madre Teresa de Calcuta)

## RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar a dinâmica do carbono orgânico total (COT) do solo em diferentes sistemas de manejo ao longo do tempo de condução na região Cone-Sul do estado de Mato Grosso do Sul. Foram avaliadas duas áreas manejadas além de uma área de referência (mata nativa – MN) sem ação antrópica. As duas áreas manejadas compreenderam: área de pastagem permanente coast-cross (*Cynodon dactylon*), com sinais visíveis de degradação (pastagem – PA) e uma área que se encontrava com as mesmas condições da área de PA, porém em março de 2016 foi isolada, sendo efetuado o plantio de espécies arbóreas nativas (reflorestamento) para recuperação (área em recuperação – AR), perfazendo três sistemas diferenciados analisados em função do tempo de condução em delineamento inteiramente casualizado. Foram realizadas 3 coletas de amostras de solo nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m: tempo zero mês (março/2016), após seis meses (setembro/2016), e após 12 meses (março/2017) (tempo este contado a partir do isolamento e plantio de espécies nativas na AR). Para as três coletas de solo foram avaliadas a densidade do solo (Ds), teores de carbono orgânico total (COT) com posteriores cálculos do índice de estratificação (IE), estoque de carbono (EstC), variação no EstC ( $\Delta$ EstC), além das análises de carbono mineralizável em laboratório. A área de PA apresentou os maiores valores de Ds, chegando a  $1,72 \text{ Mg m}^{-3}$ , evidenciando a presença de camadas compactadas no perfil do solo avaliado. A AR apresentou solos com teores superiores de COT, com destaque para aumento do COT (17,31, 18,70 e  $22,67 \text{ g kg}^{-1}$  no tempo 0, 6 e 12 meses, respectivamente) e, conseqüente aumento do IE em função do tempo de avaliação, além de maiores valores para EstC após 12 meses. Com relação à  $\Delta$ EstC para as duas áreas manejadas, nas três coletas, foram observados valores positivos, além de aumento gradual em relação a área de MN em função do tempo. Houve maior atividade biológica representada pela emissão de C-CO<sub>2</sub> na área em processo de recuperação até seis meses após o isolamento da área, com conseqüente diminuição após 12 meses. As práticas de isolamento e reflorestamento na área em processo de recuperação contribuíram para a melhoria da qualidade do ambiente edáfico em função do tempo em relação à fração orgânica do solo, representada pelos teores de carbono orgânico total e seus respectivos índices.

**Palavras-chave:** Conservação do solo. Dinâmica do carbono orgânico total. Manejo do solo.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>10</b>
2.1 Objetivo geral.....	10
2.2 Objetivos específicos.....	10
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>10</b>
3.1 Localização, Clima e Solo da Área de Estudo .....	10
3.2 Sistemas Avaliados e Histórico de uso .....	10
3.3 Coleta de Amostras de Solo .....	12
3.4 Análises Realizadas .....	13
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>15</b>
4.1 Caracterização física e química das áreas de estudo .....	15
4.2 Densidade do solo .....	15
4.3 Carbono Orgânico Total (COT) .....	17
4.4 Índice de Estratificação de carbono (IE) .....	18
4.5 Estoque de carbono organico total (EstC).....	19
4.6 Variação no estoque de carbono.....	21
4.7 Evolução de dióxido de carbono .....	22
4.8 Acúmulo da emissão de dióxodo de carbono.....	24
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>25</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>26</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A ciclagem de nutrientes e de carbono (C) em ecossistemas naturais e agroecossistemas tem sido amplamente estudada com o intuito de se obter maior conhecimento da dinâmica destes elementos, não só para o estabelecimento de práticas de manejo para recuperação de áreas degradadas e manutenção da produtividade das áreas degradadas em recuperação, mas também na busca de informações para uma melhor compreensão do funcionamento destes ecossistemas (SOUZA; DAVIDE, 2001).

A conversão dos ecossistemas naturais em ambientes de cultivo vem alterando a dinâmica de C no solo, sendo que essas modificações frequentemente provocam o declínio no teor de C orgânico do solo, em função da redução do aporte, perdas por erosão e por decomposição da matéria orgânica (HICKMANN; COSTA, 2012). A degradação do solo constitui uma das mais preocupantes ações antrópicas negativas sobre o meio ambiente, visto seu potencial de afetar as atividades humanas (JAKELAITIS et al., 2008).

O uso e manejo inadequado do solo, além de contribuir para a emissão de gases do efeito estufa (GEEs), prejudicando o ambiente, ainda trazem inúmeros problemas relacionados à sua sustentabilidade em razão da degradação da matéria orgânica do solo (MOS), alterando negativamente, por consequência os atributos físicos e químicos do solo, bem como sua biodiversidade. Entretanto, práticas adequadas de manejo, que visam a manutenção ou mesmo o acúmulo de C no sistema solo-planta, podem atenuar os efeitos do aquecimento global (CARVALHO et al., 2010). Os resíduos de matéria seca das plantas, além de promover um incremento no estoque de carbono (EC) do solo, permitem ainda recuperar os teores de MOS a valores próximos ao original (WENDLING et al., 2005).

A manutenção dos resíduos culturais na superfície, deixados por sistemas que contemplam o não revolvimento do solo, proporciona decomposição gradual e acúmulo do material orgânico em todo perfil do solo (FRANZLUEBBERS et al., 2007). A associação desse material com as frações areia, silte e argila do solo favorece o aumento dos estoques de C do ambiente edáfico (SALTON et al., 2008). No entanto, a retenção, e o potencial de fixação e estocagem do C no solo depende das condições climáticas, do tipo e da mineralogia do solo (MADARI et al., 2005), da quantidade e manejo dos resíduos culturais depositados (LOVATO et al., 2004), do manejo da fertilidade e culturas (SANTOS et al., 2009).

Dentre os gases que causam o efeito estufa, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é o que mais contribui para esse fenômeno, devido à sua proporção de emissão na atmosfera, sendo considerado o mais importante GEE antropogênico. As emissões anuais de CO<sub>2</sub> na atmosfera

aumentaram em 80% entre 1970 e 2004 (IPCC, 2007). As principais estratégias adotadas para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> consistem na diminuição da queima de combustíveis fósseis, minimização do desmatamento e queimadas, manejo adequado do solo e, por fim, estratégias de maximização do sequestro de C no solo (CERRI et al., 2007). A produção de CO<sub>2</sub> no interior do solo é basicamente um processo bioquímico diretamente relacionado à atividade biológica, como a respiração de raízes e a decomposição da matéria orgânica pela atividade microbiana, influenciada pela temperatura e umidade (LAL, 2009).

Nas últimas décadas, a preocupação com a avaliação da qualidade do solo (QS) tem merecido destacada atenção, e a quantificação de alterações nos seus atributos, decorrentes da intensificação de sistemas de manejo, têm sido amplamente realizada para monitorar a produtividade e conservação do solo, sendo que, dentre esses atributos, a avaliação dos teores de carbono orgânico total (COT), seus estoques e índices, tem sido amplamente utilizados para a avaliação da QS (NEVES et al., 2007). As inter-relações entre o conteúdo de C e seu estoque no solo com as demais propriedades edáficas tem o potencial de controlar os processos e os aspectos relacionados à sua dinâmica de tal forma que qualquer alteração pode afetar diretamente a estrutura e atividade biológica do solo e, conseqüentemente, sua qualidade (CARNEIRO et al., 2009).

Dentre as mais diversas formas de manejo do solo a nível nacional, as pastagens, em sua maioria, vêm sendo exploradas ao longo dos anos dentro de um sistema extrativista, utilizando-se da fertilidade natural dos solos para implantação, sendo que à medida que esta fertilidade vai diminuindo, o potencial produtivo da forrageira instalada é dirimido, provocando uma queda na capacidade de suporte destas áreas. Devido a esta diminuição da fertilidade do solo e do potencial das forrageiras, muitas vezes abandonam-se as áreas utilizadas e abrem-se novas áreas para a implantação de novos pastos (PEREIRA, 2013).

Estima-se que as pastagens armazenam até 30% do total de C do solo no mundo. O potencial para sequestrar C através da melhoria no manejo destas pastagens é significativo em virtude da grande extensão em área que elas ocupam (FAO, 2009). O IPCC (2007) estima que um melhor manejo das pastagens em países como o Brasil criaria um potencial líquido de estocagem de C de 0,80 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, indicando que as pastagens, quando bem manejadas, oferecem maior potencial de sequestro de C do que as florestas e culturas agrícolas.

A busca desordenada por áreas produtivas para o desenvolvimento da agricultura ocasiona, via de regra, a degradação das áreas sob nativa em vários biomas, já que, via de regra esteve acompanhada pela ausência ou ineficiência de um planejamento ambiental prévio. Por este motivo, áreas florestais importantes ao equilíbrio de ecossistemas e da

propriedade, como as matas ciliares deixaram de ser preservadas. A sua preservação e recuperação são extremamente importantes, tornando-se fundamental o manejo adequado destes ambientes (RODRIGUES; GANDOLFI, 2004).

O desenvolvimento de estudos voltados aos métodos de recuperação de áreas degradadas, que vêm tomando cada vez mais destaque, são imprescindíveis á necessidade da intervenção do homem nos processos para estabilizar e restaurar ecologicamente os ecossistemas naturais, além de reverter o processo da degradação, auxiliando assim a sucessão natural de áreas anteriormente degradadas (RODRIGUES; LEITÃO 2004).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar a dinâmica do carbono orgânico total do solo em diferentes sistemas de manejo ao longo do tempo na região Cone sul do estado de Mato Grosso do Sul.

### **2.2 Objetivos específicos**

Quantificar os teores e estoques de carbono orgânico total em diferentes áreas ao longo do tempo.

Avaliar o índice de estratificação do carbono da camada arável.

Avaliar a variação do estoque de carbono das áreas manejadas em relação à área de mata nativa (referência).

Avaliar a evolução de C-CO<sub>2</sub> (carbono mineralizável) em amostras de solos incubadas em laboratório.

## **3. MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1 Localização, Clima e Solo da Área de Estudo**

Foram coletadas amostras de solo em diferentes áreas no município de Mundo Novo, Mato Grosso do Sul, Brasil. O clima da região é subtropical (Cfa), com período de chuvas de outubro a março. A temperatura média do mês mais frio esta entre 14 e 15°C, com ocorrência de geadas. As precipitações variam de 1.400 a 1.700 mm anuais (SEMAC, 2011). Segundo levantamento detalhado de solos do estado de Mato Grosso do Sul (SEMAC, 2011), as áreas do estudo se encontram sob Argissolo Vermelho-Amarelo, textura arenosa (EMBRAPA, 2013).

### **3.2 Sistemas Avaliados e Histórico de uso**

Foram avaliadas duas áreas manejadas além de uma área de referência (mata nativa - MN) sem ação antrópica, perfazendo três sistemas diferenciados analisados em função do

tempo de condução em delineamento inteiramente casualizado (Figura 1). As duas áreas manejadas compreendem: área de pastagem permanente coast-cross (*Cynodon dactylon*), com lotação de bovinos de corte de 3,5 UA ha<sup>-1</sup>, com de sinais visíveis de degradação (pastagem – PA) e uma área que se encontrava com as mesmas condições da área de PA, porém em março de 2016 foi isolada (cercada – para evitar que os bovinos entrem na área), sendo efetuado o plantio de espécies arbóreas nativas (reflorestamento) para recuperação (área em recuperação – AR) (Figura 2 e Tabela 1).



Figura 1 – Imagem aérea dos diferentes sistemas de manejo. (Fonte: Google Earth).

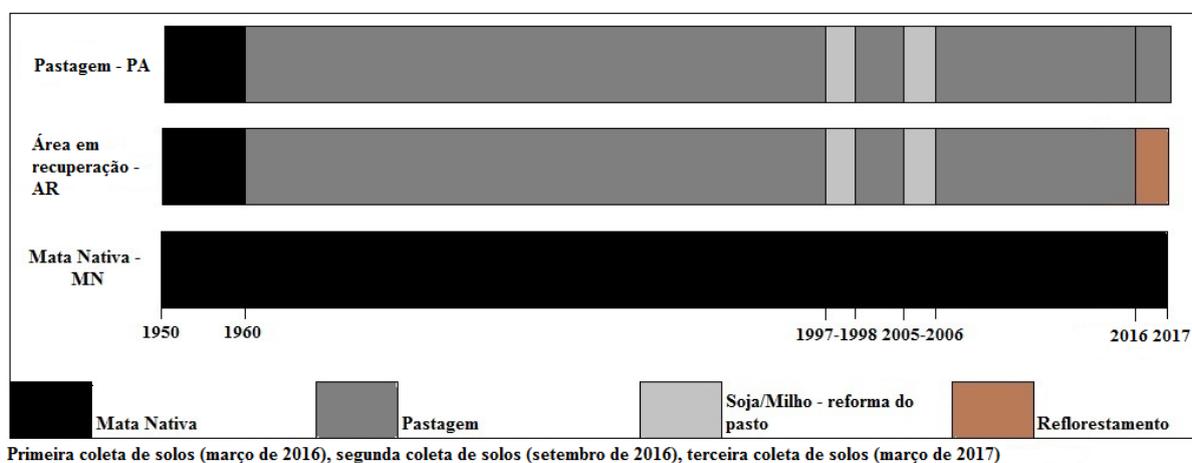


Figura 2 - Histórico dos usos e mudanças do uso das áreas, com as respectivas datas de modificação e coletas de solo.

Tabela 1 - Histórico, descrição e localização das áreas de estudo

Sistema de manejo	Descrição
Pastagem - PA	14 ha; 299 m de altitude, 23°56'052'' S e 54°17'058'' O; permanente com coast-cross ( <i>Cynodon dactylon</i> ).
Área em recuperação - AR	0,5 ha; 298 m de altitude, 23°56'051'' Sul (S) e 54°17'057'' Oeste (O).
Mata Nativa - MN	2 ha; Área sob vegetação nativa (Mata Atlântica – Floresta Estacional Semidecidual), 293 m de altitude, 23°56'048'' S e 54°17'033'' O, utilizada como referencial.

### 3.3 Coleta de Amostras de Solo

Em cada área de estudo foram demarcadas quatro glebas de 400 m<sup>2</sup>, nas quais foram realizadas as coletas das amostras de solo no tempo zero (0) meses (março de 2016), após seis (6) meses (setembro de 2016) e doze (12) meses (março de 2017), conforme Figura 3; (tempo este, sendo considerado em função do momento do isolamento e da prática do reflorestamento da AR, que ocorreu em março de 2016), cada gleba representou uma repetição. As amostras foram coletadas em quatro pontos (glebas-repetições), sendo que, cada amostra composta foi representada por cinco amostras simples dentro das áreas de estudo, nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m. Após a coleta, parte das amostras deformadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA) para análises de COT. Outra parte das amostras deformadas foram colocadas sob refrigeração para posteriores análises de evolução de carbono mineralizável (C-CO<sub>2</sub>). Também foram coletadas amostras indeformadas com auxílio de anel volumétrico com volume de 48,86 cm<sup>3</sup> com quatro repetições em todas as áreas e camadas.

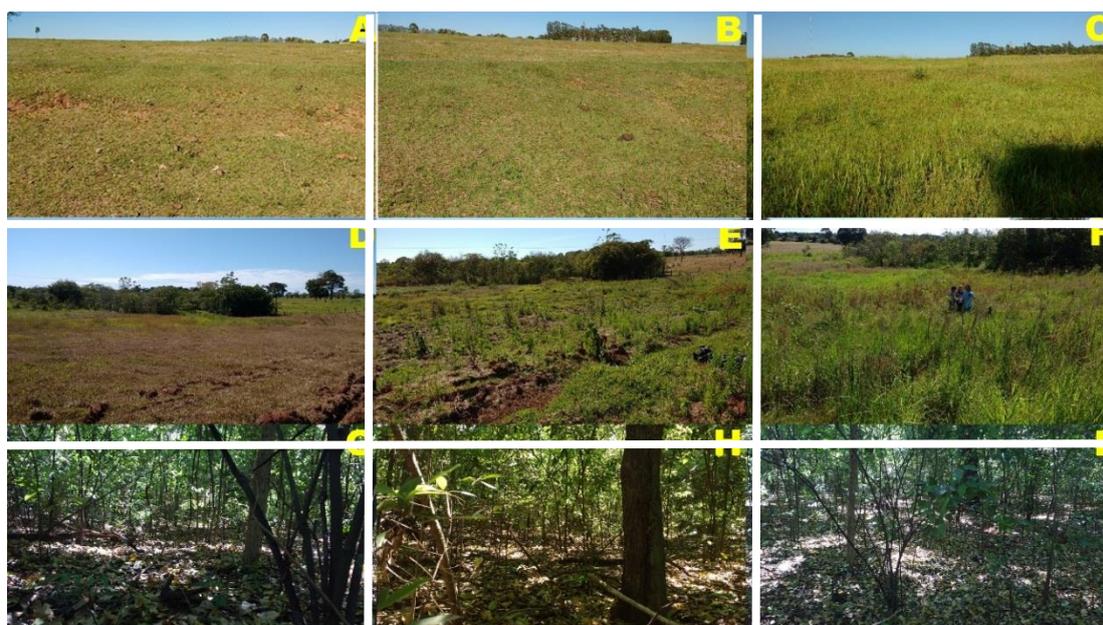


Figura 3 - Diferentes áreas estudadas. A, D e G: áreas de PA, AR e MN (tempo zero); B, E e H: áreas de PA, AR e MN (6 meses) e C, F e I (12 meses).

### 3.4 Análises Realizadas

As análises foram realizadas nos três tempos de coleta (zero, seis e doze meses), com exceção das análises granulométricas que serviram somente para caracterização das áreas de estudo. Além disso, no início do experimento (março de 2016), foram coletadas amostras de solo nas três áreas na camada de 0-0,2 m com o intuito de caracterização química e física das áreas de estudo. Estas amostras foram enviadas para laboratório específico de análise de rotina e o resultado de caracterização das áreas se encontra na tabela 2.

As demais análises foram efetuadas no Laboratório de Ensino de Química da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Unidade de Mundo Novo. As análises de densidade do solo (Ds) foram realizadas segundo metodologia descrita por Embrapa (1997). O carbono orgânico total (COT) foi determinado pela oxidação da matéria orgânica pelo dicromato de potássio ( $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ ), em meio sulfúrico, com aquecimento externo e titulado com sulfato ferroso amoniacal ( $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ ) na presença do indicador Ferroin (YEOMANS; BREMNER, 1988).

A partir dos resultados de COT obtidos, foram calculados os estoques de carbono orgânico total (EstC) segundo o método da massa equivalente (ELLERT; BETTANY, 1995; SISTI et al., 2004) como apresentado na equação (1).

$$Cs = \sum_{i=1}^{n-1} Cti + [Mtn - (\sum_{i=1}^n Mti - \sum_{i=1}^n Msi)] * Ctn \quad (1)$$

onde:

$Cs$  = estoque de C total, corrigido em função da massa de solo de uma área de referência (no texto representado como ECOT);

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

$Mtn$  = massa de solo da última camada amostrada no tratamento ( $\text{Mg ha}^{-1}$ );

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

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

$Ctn$  = teor de C do solo na última camada amostrada ( $\text{Mg C Mg}^{-1}$  de solo).

Para verificar tendências de acúmulo ou perda de COT em comparação com o sistema de referência (mata nativa), foi calculada a variação do EstC ( $\Delta\text{EstC}$ ,  $\text{Mg ha}^{-1} \text{cm}^{-1}$ ), sendo esse obtido pela diferença entre os valores médios de EstC neste sistema (referência) e em cada um dos demais, sendo o valor obtido foi dividido pela espessura (cm) de cada camada. Além disso, com os resultados de COT, foi calculado o índice de estratificação do carbono (IE) mediante relação entre os teores de COT da camada de 0-0,05 m em relação à camada de 0,1-0,2 m (camada arável) conforme proposto por Franzluebbers (2002).

Para avaliação da evolução de C-CO<sub>2</sub> (carbono mineralizável) em laboratório, as amostras de solo para cada uma das três coletas, previamente acondicionadas sob refrigeração foram destorroadas e passadas em peneira 2 mm constituindo a TFSA (EMBRAPA, 1997). Para a avaliação do C-CO<sub>2</sub> liberado em laboratório, foi utilizado o método proposto por Mendonça e Matos (2005), em que 50 g de solo da camada de 0-0,05 m foram colocados em recipientes de plástico de 5000 cm<sup>3</sup>, fechados hermeticamente. Os recipientes de plástico (4 repetições por sistema de uso do solo) foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado em laboratório. A cada recipiente foi adicionado um frasco contendo 30 mL de solução de NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>, para capturar o C-CO<sub>2</sub> e outro contendo 30 mL de H<sub>2</sub>O (para manter a umidade constante).

As medições de C-CO<sub>2</sub> foram feitas em intervalos de 24 h nos primeiros 7 dias, de 48 h entre o 8º e 17º dia e de 96 h até o 49º dia conforme efetuado por Loss (2011). Ao abrir os recipientes, foi retirado o frasco contendo NaOH, tomando-se o cuidado para deixar cada recipiente aberto por aproximadamente 15 minutos para que ocorresse a troca do ar. Decorrido o tempo, foi colocado outro frasco contendo 30 mL de NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>, e fechando hermeticamente o recipiente para nova incubação. De cada recipiente foram pipetados 10 mL da solução de NaOH (previamente incubada com o solo) para erlenmeyer de 125 mL, sendo em seguida adicionado 10 mL de solução de BaCl<sub>2</sub> 0,05 mol L<sup>-1</sup> e três gotas de fenolftaleína 1%, sendo a amostra titulada em seguida com HCl 0,25 mol L<sup>-1</sup> (Figura 4). O cálculo do C-CO<sub>2</sub> evoluído foi apresentado em mg de C-CO<sub>2</sub>/50 g de solo, durante o intervalo utilizado no monitoramento da amostra, conforme apresentado na equação 2 a seguir:

$$\text{C-CO}_2 \text{ (mg)} = (\text{B-V}) \times \text{M} \times 6 \times (\text{V}_1/\text{V}_2) \quad (2)$$

onde:

B = volume de HCl gasto na titulação do branco (mL); V = volume de HCl gasto na titulação da amostra (mL); M = concentração real do HCl (mol L<sup>-1</sup>); 6 = massa atômica do carbono (12) dividida pelo número de mols de CO<sub>2</sub> que reagem com o NaOH (2); V<sub>1</sub> = volume total de NaOH usado na captura do CO<sub>2</sub> (mL); V<sub>2</sub> = volume de NaOH usado na titulação (mL).

Apos todas as análises realizadas e os dados tabulados, em delineamento inteiramente casualizado, os resultados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F, e os valores médios foram comparados entre si pelo teste de Tukey a 5% com auxílio do programa GENES (CRUZ, 2006).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização física e química das áreas de estudo

As três áreas estudadas apresentaram teor de argila menor que 150 g kg<sup>-1</sup>, sendo consideradas de textura arenosa (Tabela 1). Destaca-se também valores de pH de solo menores que 5,0 nas áreas de PA e MN. A AR apresentou teor de matéria orgânica superior as demais áreas, 25,42 g dm<sup>-3</sup>, sendo também a única que não apresentou teores de alumínio trocável. Todas as três áreas apresentaram saturação por bases inferior a 60%, no qual segundo Oliveira et al. (2017) é o valor mínimo para o desenvolvimento da maioria das culturas no estado de Mato Grosso do Sul.

Tabela 2 - Caracterização física e química das áreas estudadas

AE	Areia	Silte	Argila	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V
	-----g kg <sup>-1</sup> -----			CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							%
PA	772	116	112	4,99	18,86	1,36	0,08	2,4	1,2	0,08	3,0	3,68	6,68	55,1
AR	772	133	95	5,12	25,42	1,95	0,11	2,1	1,1	0,00	2,6	3,31	5,91	56,0
MN	805	67	128	4,74	17,76	4,29	0,10	1,5	1,1	0,06	2,8	2,70	5,50	49,1

Análises realizadas referentes a coleta zero (março de 2016). Laboratório: NUTRISOLO, Ivinhema, MS. AE: áreas de estudo. PA: pastagem. AR: área em recuperação. MN: mata nativa. Granulometria: método da pipeta. Caracterização química - Cloreto de Cálcio (pH); Mehlich (P e K); KCl 1N (Ca, Mg e Al); Acetato de Cálcio pH 7,0 (H + Al); Oxidação por dicromato de potássio (MO).

### 4.2 Densidade do solo

Para a primeira e segunda coleta, a área de PA apresentou os maiores valores de Ds, especialmente comparando com a área de MN, chegando a 1,72 Mg m<sup>-3</sup> na camada de 0-0,05 m para a primeira coleta (Tabela 2). Esse valor de 1,72 Mg m<sup>-3</sup> é superior ao valor de 1,60 Mg m<sup>-3</sup> considerado crítico para o desenvolvimento da maioria das culturas (SILVA; ROSOLEM, 2001). Pastagens com elevada lotação animal tendem a apresentar maior valor de Ds quando comparadas a outras formas de manejo das pastagens com menor carga animal aplicada (SOUZA et al., 2004). Isso ocorre, como visto devido ao pisoteio de animais que apresentam peso corpóreo elevado associado à reduzida área da pata, que, ao caminharem sobre as áreas, imprimem sobre o solo elevadas pressões, compactando-o até 10 a 15 cm de profundidade (SATTTLER, 2006).

Tabela 3 - Densidade do solo (Ds) nos diferentes sistemas, camadas e tempos de coleta estudados

Sistema de manejo	Ds (Mg m <sup>-3</sup> )			CV (%)**
	1º coleta	2º coleta	3º coleta	
		0-0,05 m		
PA	1,72aA	1,50abA	1,45bA	8,1
AR	1,35aB	1,32aAB	1,26aA	11,9
MN	1,36aB	1,22aB	1,32aA	5,5
CV (%)*	6,9	7,6	11,6	
		0,05-0,1 m		
PA	1,66aA	1,47aA	1,47aA	6,6
AR	1,47aAB	1,46aA	1,45aA	8,5
MN	1,40aB	1,27aA	1,35aA	5,6
CV (%)*	6,6	7,5	7,1	
		0,1-0,2 m		
PA	1,60aA	1,58aA	1,48aA	8,1
AR	1,44aAB	1,48aAB	1,52aA	7,1
MN	1,29aB	1,31aB	1,39aA	7,2
CV (%)*	5,6	7,5	9,0	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha para cada área e maiúscula na coluna para cada camada não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%). PA: Pastagem; AR: Área em restauração; MN: Mata nativa. CV\*: Coeficiente de variação nas análises entre os sistemas de manejo na mesma coleta. CV\*\*: Coeficiente de variação nas análises do mesmo sistema de manejo nas diferentes coletas.

Após 12 meses (terceira coleta), as áreas avaliadas não apresentaram diferenças significativas; os valores de Ds variaram entre 1,26 Mg m<sup>-3</sup> e 1,52 Mg m<sup>-3</sup>. As propriedades físicas do solo, mais especificamente a Ds é um importante atributo físico, por fornecer indicações a respeito do estado de sua conservação, sobretudo em sua influência em propriedades como infiltração e retenção de água no solo, desenvolvimento de raízes, trocas gasosas e suscetibilidade desse solo aos processos erosivos, e também sendo largamente utilizada na avaliação da compactação e/ou adensamento dos solos (GUARIZ et al., 2009).

Para todas as camadas avaliadas e coletas realizadas, os valores de Ds na AR não se diferenciaram da área de MN. Esse fato deve-se à ausência de qualquer tipo de manejo de solo ou pastejo nessa área após o isolamento, e em razão da vegetação existente, que na qual não foi mais submetida ao pastejo animal e consequente pisoteio, que proporciona o aumento da presença de raízes em função do tempo. Ao longo dos 12 meses de avaliação, a AR não apresentou diferenças entre os valores de Ds para as três camadas. Isso demonstra que alterações em determinados atributos físicos do solo demoram mais tempo para ocorrerem. Alguns atributos são mais sensíveis a mudanças que ocorrem no solo do que outros, dentre estes, a estabilidade de agregados, teor de carbono orgânico e estoque de carbono, que

também são indicadores utilizados para mensurar estas alterações (VIEIRA et al, 2011). Desta forma, valores de Ds acima de 1,60 Mg m<sup>-3</sup>, podem ocasionar prejuízos a qualidade edáfica pois prejudica o desenvolvimento das plantas, ocasiona aumento da resistência à penetração de raízes, altera a movimentação de água e nutrientes e a difusão de oxigênio e outros gases (SILVA et al., 2006).

### 4.3 Carbono Orgânico Total (COT)

Avaliando os teores de COT, para camada de 0-0,05 m, as três áreas não apresentaram diferenças na primeira coleta. Já para a segunda e terceira coleta, a AR apresentou teores superiores de COT em relação às demais áreas avaliadas, chegando a 22,67 g kg<sup>-1</sup> na terceira coleta (Tabela 3).

Tabela 4 - Carbono orgânico total (COT) nos diferentes sistemas, camadas e tempos de coleta estudados

Sistema de manejo	COT (g kg <sup>-1</sup> )			CV (%)**
	1° coleta	2° coleta	3° coleta	
		0-0,05 m		
PA	12,93aA	14,19aB	16,07aB	17,3
AR	17,31bA	18,70bA	22,67aA	6,8
MN	16,76aA	15,00aB	15,18aB	20,4
CV (%)*	16,5	10,1	16,6	
		0,05-0,1 m		
PA	14,90aA	13,23aAB	15,38aB	11,9
AR	15,56aA	16,00aA	18,72aA	22,9
MN	13,07aA	11,37aB	10,74aC	17,9
CV (%)*	28,8	11,2	10,2	
		0,1-0,2 m		
PA	14,38aA	10,26aA	14,25aA	25,6
AR	15,50aA	13,85aA	15,36aA	9,8
MN	11,43aA	10,08aA	7,86aB	23,8
CV (%)*	24,5	20,9	10,0	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha para cada área e maiúscula na coluna para cada camada não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%). PA: Pastagem; AR: Área em restauração; MN: Mata nativa. CV\*: Coeficiente de variação nas análises entre os sistemas de manejo na mesma coleta. CV\*\*: Coeficiente de variação nas análises do mesmo sistema de manejo nas diferentes coletas.

Somente a AR, em função do tempo de avaliação apresentou aumento nos teores de COT na camada de 0-0,05 m, ou seja, a camada mais sensível à alterações causadas pelos diferentes manejos de solo, 17,31, 18,70 e 22,67 g kg<sup>-1</sup> aos 0, 6 e 12 meses, respectivamente,

com diferença significativa entre a coleta após 12 meses em relação as demais. Já para as demais camadas a AR não apresentou diferenças significativas em função do tempo, demonstrando que as alterações no conteúdo de COT ocorrem primeiramente na camada mais superficial do solo (SALTON, 2005).

Silver et al. (2000) verificaram em sua revisão uma taxa de acúmulo de C em solos reflorestados sobre pastagem de  $0,41 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  num período de 100 anos e destacam o potencial de incremento de C estocado na fitomassa de  $6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  num período de 20 anos. O aumento de COT é fundamental na recuperação de áreas degradadas já que há uma associação direta com a melhoria da qualidade do solo decorrente do aumento no fornecimento de nutrientes e melhoria da qualidade física do solo (STURMER et al., 2011).

Esse aumento no conteúdo de C em função do tempo de avaliação não aconteceu as demais áreas estudadas. Desta forma, avaliando a dinâmica do COT em função do tempo de condução experimental, constatou-se aumento do COT na AR na camada mais superficial avaliada, sendo possível evidenciar benefícios no acúmulo de COT após 12 meses de isolamento e plantio de espécies arbóreas nativas. Esse resultado demonstra a melhoria na qualidade do solo, no que se refere a fração orgânica, quando os processos de recuperação ambiental são adotados de maneira correta. Modificações no conteúdo de C do solo estão diretamente ligadas às modificações do uso do solo, afetando este importante reservatório natural de C do planeta (FERNANDES et al., 2015).

A área de pastagem, principalmente por apresentar taxa de lotação animal elevada, com conseqüente baixo potencial de rebrota e cobrimento do solo como observado a campo, não apresentou potencial de acúmulo de COT significativo com o passar do tempo de avaliação em nenhuma camada avaliada (Tabela 3). Um melhor manejo das pastagens em países como o Brasil, a exemplo da escolha do germoplasma adequado, adubação de correção e manutenção adequadas (IPCC, 2007), redução da erosão, eliminação das queimadas e não ocorrência de sobrepastejo (FAO, 2009) entre outros fatores, criaria um potencial líquido de estocagem de C de  $0,80 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , indicando que as pastagens poderiam oferecer maior potencial de sequestro de carbono do que as florestas e culturas agrícolas.

#### **4.4 Índice de Estratificação de carbono (IE)**

Com relação ao índice de estratificação (IE) do COT, verificaram-se, em todas as áreas estudadas, valores acima da 1,00, o que segundo Franzluebbbers (2002), indicam melhor qualidade do solo. A relação de estratificação do COT é expressa como a razão entre os teores de COT da camada de 0-0,05 m, com maior influência da ação do manejo e a camada

subsuperficial de 0,1-0,2 m. Este IE, tem como fundamento o fato de que as alterações em atributos do solo, decorrentes dos sistemas de manejo, ocorrem predominantemente na camada superficial. Desta forma, é nesta região do solo que as primeiras variações irão ocorrer, com aumento ou redução na concentração de COT (SALTON, 2005).

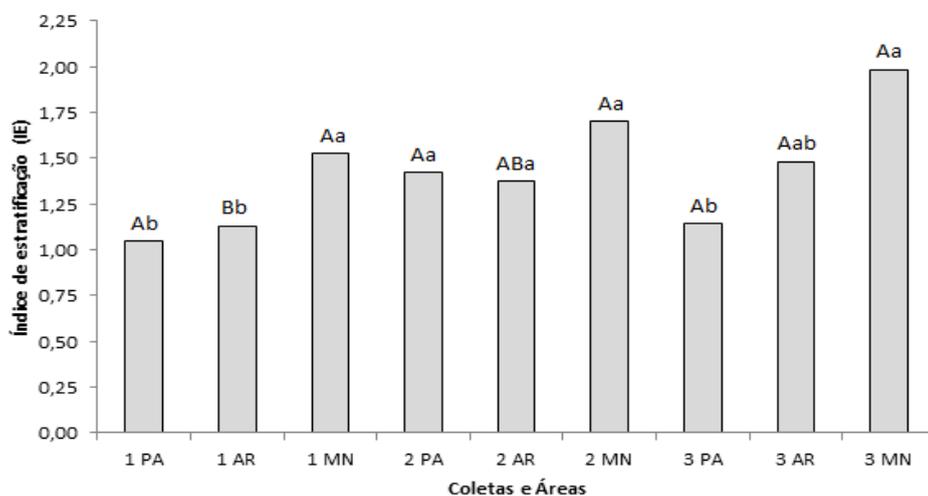


Figura 4. Índice de estratificação do COT nas diferentes áreas estudadas. Os números 1, 2 e 3 representam as coletas em função do tempo (tempo zero meses, tempo seis meses e tempo 12 meses), respectivamente. PA: área de pastagem, AR: área em recuperação, MN: mata nativa. Médias seguidas de mesma letra maiúscula para cada área por coleta e minúscula entre as áreas em cada coleta não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%).

Para a primeira coleta (0 meses) e a terceira coleta (12 meses), a área de MN apresentou valor do IE superior as duas áreas manejadas (PA e AR), com valor do IE chegando a 1,98 na terceira coleta. A PA apresentou na primeira e terceira coleta valor de IE semelhantes. Destaca-se que na segunda coleta a área de PA apresentou seu maior valor de IE entre as três coletas. Isto reflete certa deposição superficial dos resíduos vegetais, associada à menor taxa de decomposição, pelo não revolvimento do solo, além de maior concentração de raízes nestas camadas, principalmente de gramíneas (CARMO et al., 2012)

Já observando a AR, a mesma apresentou aumento significativo do IE quando se compara a primeira e a terceira coleta, com valores de IE de 1,13 e 1,48, respectivamente (Figura 6). Esse resultado demonstra o acúmulo superficial de COT na camada de 0-0,05 m em relação à camada de 0,1-0,2 m ao longo do tempo, como também demonstrado na Tabela 3. Comprovando assim, a maior estratificação de C no solo, o que, ao longo do tempo, pode proporcionar melhorias nos demais atributos edáficos (CARNEIRO et al., 2009).

#### 4.5 Estoque de carbono orgânico total (EstC)

Na Tabela 4 é possível observar os resultados da dinâmica do processo de estocagem de C no solo nas diferentes áreas estudadas. Para a primeira coleta não foram observadas

diferenças nos EstC entre as áreas estudadas nas três camadas. Já para as coletas nos tempos 6 e 12 meses, as áreas PA e AR apresentaram os maiores EstC, com destaque para a AR na camada de 0-0,05 m, chegando a 15 Mg ha<sup>-1</sup>, na terceira coleta. Segundo Corazza et al. (1999) o conhecimento do EstC e de sua dinâmica no solo em sistemas naturais e agroecossistemas é importante no desenvolvimento de tecnologias para estabelecer sistemas sustentáveis, bem como para analisar o papel do solo como fonte ou depósito de C-CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Tabela 5 - Estoque de carbono orgânico total (EstC) nos diferentes sistemas, camadas e tempos de coleta estudados

Sistema de manejo	EstC (Mg ha <sup>-1</sup> )			CV (%)**
	1º coleta	2º coleta 0-0,05 m	3º coleta	
PA	8,81aA	8,66aB	10,62aB	18,9
AR	11,78bA	11,38bA	15,00aA	7,9
MN	8,77aA	6,03aC	6,06aC	19,0
CV (%)*	17,2	11,7	13,5	
		0,05-0,1 m		
PA	10,36aA	8,35bA	10,44aB	10,4
AR	10,99aA	10,14aA	12,84aA	24,5
MN	7,60aA	5,26abB	4,91bC	21,7
CV (%)*	30,4	11,6	10,1	
		0,1-0,2 m		
PA	18,57aA	13,61aAB	19,81aA	27,1
AR	20,01aA	18,27aA	21,45aA	14,5
MN	14,79aA	10,91abB	8,41bB	21,5
CV (%)*	25,8	25,3	9,0	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha para cada área e maiúscula na coluna para cada camada não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%). PA: Pastagem; AR: Área em restauração; MN: Mata nativa. CV\*: Coeficiente de variação nas análises entre os sistemas de manejo na mesma coleta. CV\*\*: Coeficiente de variação nas análises do mesmo sistema de manejo nas diferentes coletas.

Quando se observa a dinâmica do EstC ao longo do tempo de avaliação, a AR destaca-se com aumento nos EstC, especialmente na camada de 0-0,05 m, com valores de 11,78, 11,38 e 15,00 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente para tempo 0, 6 e 12 meses, indicando aumento gradual dos EstC com a respectiva prática de recuperação. Esse resultado positivo demonstra novamente os benefícios nos processos de adoção das práticas de recuperação de áreas degradadas, principalmente em relação aos processos de adição e perda de C orgânico.

Quando diferentes áreas são manejadas corretamente podem beneficiar as entradas de C no sistema, conseqüentemente aumentar os EstC ao longo do tempo (BELL; MOORE, 2012), uma vez que a quantidade de resíduos que entra no sistema (isolamento e recomposição florestal) influencia a taxa de adição de C no perfil do solo (JOHNSTON et al., 2009).

Resultado diferente do observado na área de PA que em nenhuma camada avaliada os EstC aumentaram (Tabela 4), sendo esse resultado condizente ao observado também para os teores de COT (Tabela 3). Quando as pastagens recebem boas práticas culturais, existe grande potencial de acúmulo de C neste sistema em todo o perfil do solo, pois, principalmente o sistema radicular das pastagens bem manejadas contribuem para o aumento dos EstC, sendo esse padrão diferente quando a pastagem apresenta sinais de degradação (ACHARYA et al., 2012). Rosa et al. (2014) ressaltam que, com um manejo adequado as pastagens podem contribuir não somente na produção animal, mas também no combate ao aumento da emissão de GEEs, pois quando bem manejadas, possuem potencial de acúmulo de C sendo, sendo que em muitos casos, um potencial superior as áreas de vegetação natural. Nesse cenário, a adoção de práticas corretas para restauração de ecossistemas degradados vem ganhando importância.

#### **4.6 Variação no estoque de carbono**

Os resultados da variação do estoque de carbono orgânico total ( $\Delta$ EstC) do perfil do solo das áreas manejadas (PA e AR) em relação a área de MN estão apresentados na Figura 7. Para as duas áreas manejadas (PA e AR), nas três coletas, foram observados valores positivos de  $\Delta$ EstC em relação a área de MN, indicando assim maiores EstC nestas áreas em relação a área de referência (MN). Tanto para a área de PA, quanto para a AR, foram observados aumentos da  $\Delta$ EstC em função do tempo de avaliação, especialmente após 12 meses. Os dados de  $\Delta$ EstC no solo permite observar os sistemas que estão emitindo ou armazenando C-CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Nesse sentido, o conhecimento da variação dos teores de C orgânico no solo em diferentes situações de uso pode auxiliar na escolha de critérios de uso e manejo do solo e preservar sua qualidade (STURMER, et al., 2011).

Esses resultados podem ser atribuídos devido ao conteúdo de carbono no perfil do solo da área de MN não ser, na somatória, positivo em relação as áreas de PA e AR, fato este comprovado pelos teores de COT (Tabela 3), estoques de carbono (Tabela 4) da área de MN em relação as demais, mesmo a área de MN apresentando um IE superior em relação a PA e AR na primeira coleta e PA na terceira coleta (Figura 6). Um dos principais indicadores da qualidade do solo é o seu conteúdo de carbono orgânico (VEZZANI, 2001; CONCEIÇÃO, 2002), pois promove inúmeras funções químicas, físicas e biológicas que atuam nos

sistemas agrícolas e ambientais (STURMER et al., 2011).

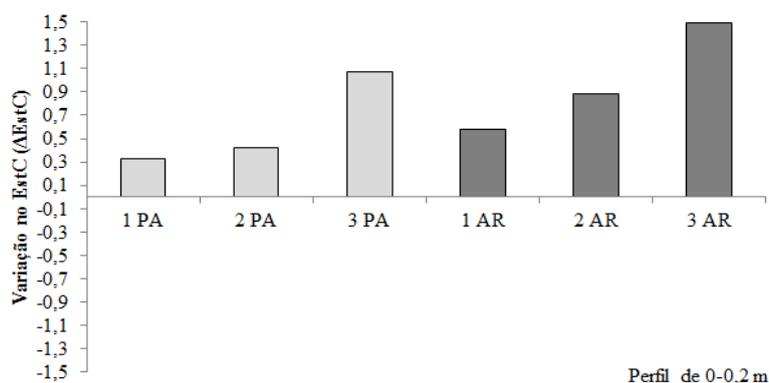


Figura 5 - Variação no estoque de carbono orgânico total ( $\Delta\text{EstC}$ ) das áreas manejadas em relação a área de mata nativa no perfil de 0-0,2 m ao longo do tempo de avaliação. Os números 1, 2 e 3 representam as coletas em função do tempo (tempo zero meses, tempo seis meses e tempo 12 meses), respectivamente. PA: área de pastagem e AR: área em recuperação.

#### 4.7 Evolução de dióxido de carbono

A Figura 8 demonstra o padrão de evolução de carbono mineralizável ( $\text{C-CO}_2$ ) nas amostras de solos incubadas em laboratório no 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 6º, 7º, 9º, 11º, 13º, 15º, 17º, 21º, 25º, 29º, 33º, 37º, 41º, 45º e 49º dias nos três sistemas e coletas realizadas.

Mudanças na quantidade e qualidade da MOS sob diferentes formas de manejo do solo, tem influência da quantidade e atividade microbiana com reflexos na evolução de  $\text{C-CO}_2$ . Logo após a incubação (1º dia de avaliação) houve diferentes padrões de evolução de  $\text{C-CO}_2$ , variando de 8,0 a 9,5 mg de  $\text{C-CO}_2/50$  g de solo nas amostras da primeira coleta, 9,0 a 10,0 mg  $\text{C-CO}_2/50$  g de solo na segunda coleta e entre 7,2 e 8,3 mg  $\text{C-CO}_2/50$  g de solo na terceira coleta. Esse padrão revela o consumo imediato de C lábil prontamente disponível para o ataque microbiano, o que, posteriormente pode influenciar nos processos de humificação e estabilização do C no solo ao longo do tempo, aumentando o EstC (LOSS et al., 2009).

Para a terceira coleta, esses menores valores de emissão de  $\text{C-CO}_2$  no primeiro dia de incubação do solo evidencia, especialmente na AR, ao longo do tempo, após 12 meses do isolamento e plantio de espécies arbóreas nativas, aumento na estabilização do C, resultando na diminuição de emissão de  $\text{C-CO}_2$  (Figura 8).

No 5º dia de incubação para a segunda e terceira coleta, as áreas de PA e AR apresentaram valores de liberações de  $\text{C-CO}_2$  (picos) variando entre 6,0 e 8,3 mg de  $\text{C-CO}_2/50$ g de solo, sendo superiores em comparação com a MN que manteve uma variação de 4,5 a 6,8 mg de  $\text{C-CO}_2/50$  g, respectivamente, para as duas coletas (Figura 8). Esta reação

pode-se ser explicada devido ao padrão médio da ação dos microorganismos em relação a MOS estável presente na área de MN, enquanto que a área de PA ainda apresentava a prática de pastejo e, principalmente a AR estava em processo de regeneração dos seus processos edáficos.

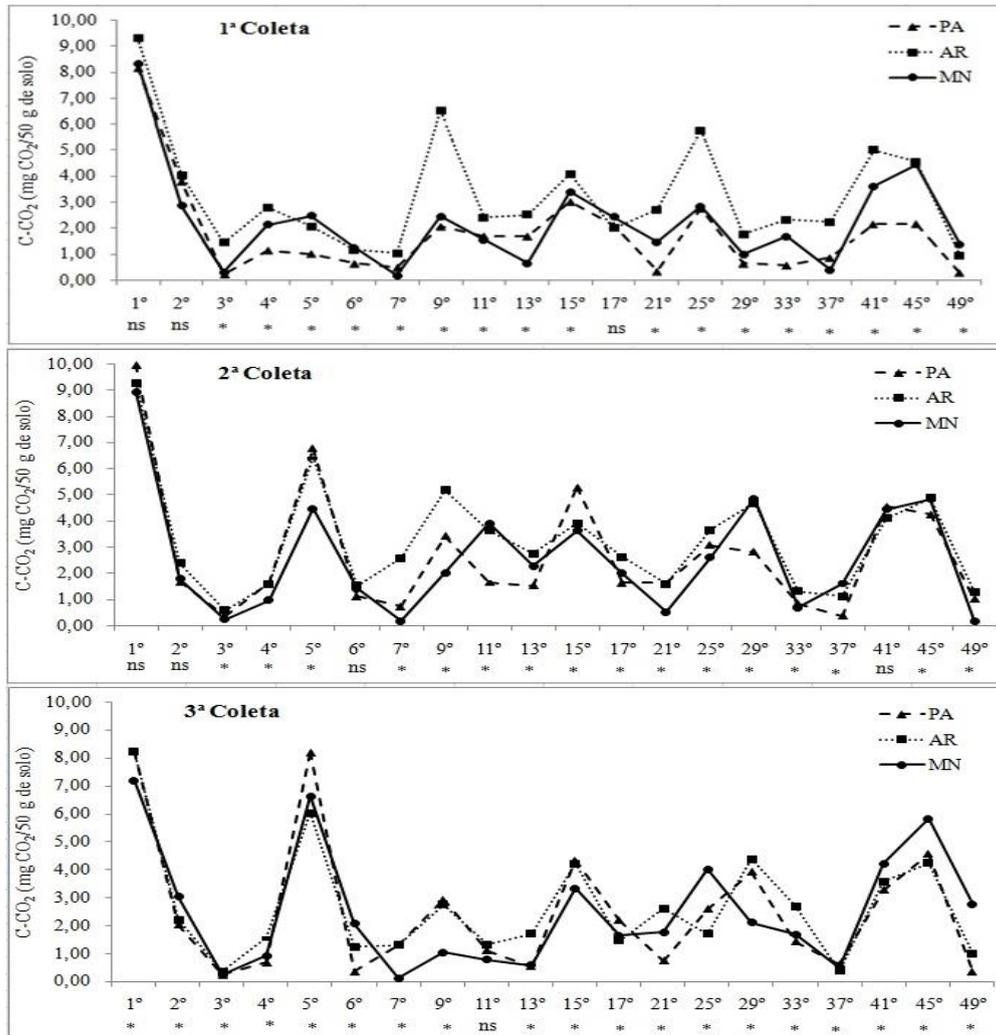


Figura 6 - Evolução diária de C-CO<sub>2</sub> nas amostras de solos incubadas até os 49 dias de avaliação, nos diferentes tratamentos avaliados. \* = significativo pelo teste Tukey a 5%; ns = não significativo pelo teste F a 5%.

Essa resposta rápida, representada pelos picos de emissão de C-CO<sub>2</sub> reflete a sensibilidade desta análise em detectar mudanças rápidas nas formas de manejo do solo com a prática de isolamento da área e impedimento do acesso de bovinos à área, associado ao plantio de espécies arbóreas nativas, fazendo com que houvesse maior atividade dos microorganismos em determinados dias específicos. Isso é corroborado com o trabalho de Araújo e Monteiro (2007), no qual indicam que os microorganismos possuem a capacidade de dar respostas rápidas a mudanças na qualidade do solo.

Especificamente no 9º e 25º dia, para as três coletas, a AR se destacou, apresentando maiores picos de emissão de C-CO<sub>2</sub>; sendo que na primeira coleta o padrão desta evolução de C-CO<sub>2</sub> foi o maior dentre as três coletas, emitindo até 6,7 mg de C-CO<sub>2</sub>/50 g de solo (Figura 8). Em relação à área de MN nestes mesmos dias, para as três coletas, não houveram grandes diferenças nos padrões de emissão de C-CO<sub>2</sub>. Estes picos de C-CO<sub>2</sub> são conhecidos como efeito “*priming*”, em que a estimulação da atividade microbiana pela adição de resíduos orgânicos e/ou maior disponibilidade de MOS prontamente decomponível (menor relação C/N) favorece a aceleração da decomposição da MOS (KUZUYAKOV et al., 2000) aumentando, conseqüentemente a evolução de C-CO<sub>2</sub> em determinados dias.

No 45º dia ocorreu o último pico avaliado (aumento seguido de diminuição) de C-CO<sub>2</sub> das três áreas, nos três tempos (1ª, 2ª e 3ª coleta), sendo verificada tendência de estabilização da evolução de C-CO<sub>2</sub> (Figura 8). Este padrão é ocasionado pelo consumo da MOS por meio da microbiota (CARVALHO et al., 2008). Estes microorganismos ao se alimentarem da MOS disponível, liberam C-CO<sub>2</sub>, culminando nos picos observados. Entretanto, quando eles morrem por falta de MOS mais lábil, a evolução de C-CO<sub>2</sub> diminui; acarretando na estabilização da respiração microbiana (LOSS et al., 2009).

#### **4.8 Acúmulo da emissão de dióxido de carbono**

Na Figura 9 esta representada a emissão acumulada de C-CO<sub>2</sub>, nas diferentes áreas avaliadas e tempos de coleta, em função do período total de incubação do solo em laboratório (49 dias). Quando se avalia as diferentes áreas na mesma coleta, observa-se que na primeira e segunda coleta a AR apresentou maiores emissões de C-CO<sub>2</sub>, com valores chegando a 65,00 mg CO<sub>2</sub>/50g de solo na segunda coleta (Figura 9). Estes resultados podem ser devidos aos maiores teores de COT desta área (Tabela 3); também provavelmente devido à presença de maiores teores de C lábil do solo (LOSS et al., 2010), pois a vegetação que foi se instalando na área, aliado a esse fator também a dessecação química da pastagem presente na AR para facilitar o plantio das mudas das espécies arbóreas nativas, deu início ao processo de deposição de serrapilheira.

De acordo com Bayer et al. (2002) a concentração de resíduos vegetais recentes na superfície do solo acelera a entrada de compostos orgânicos, sendo por vezes maior que a capacidade dos microrganismos do solo em metabolizá-los, o que contribui para o acúmulo de C-CO<sub>2</sub>, justificando os maiores acúmulos de C-CO<sub>2</sub> em relação a MN. Somente na terceira coleta não houve diferenças significativas em todas as áreas avaliadas.

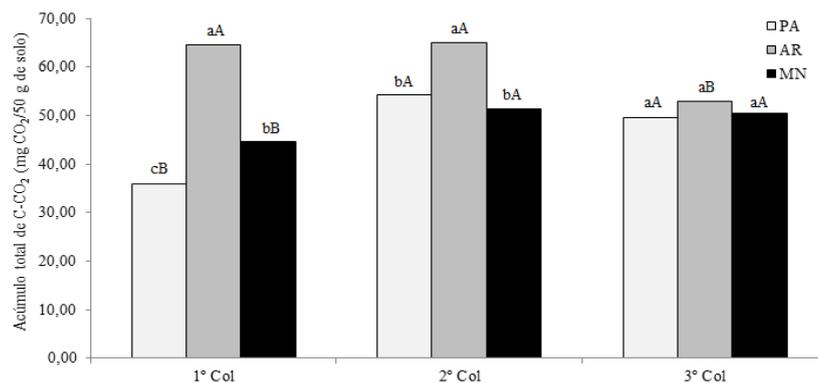


Figura 7 - Acúmulo de C-CO<sub>2</sub> (mg CO<sub>2</sub>/50g de solo) durante 49 dias de incubação nas diferentes áreas avaliadas. Médias seguidas de mesma letra maiúscula em cada área por coleta, e minúscula entre as áreas em cada coleta não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%). PA: Pastagem; AR: Área em restauração; MN: Mata nativa.

Verificou-se que houve diminuição da emissão C-CO<sub>2</sub> na AR quando se passou da primeira e segunda coleta para terceira coleta. Esse maior efluxo inicial se deve a transformação e consumo pela biomassa microbiana, de compostos como açúcares, amido e proteínas simples. Com o passar do tempo, esses compostos diminuem, restando os mais recalcitrantes, como gorduras, ligninas e compostos fenólicos, quais são de difícil transformação, diminuindo assim a atividade microbiana e a liberação de C-CO<sub>2</sub> (SIQUEIRA et al., 1994). Desta forma, com o isolamento e plantio de espécies nativas para recuperação edáfica e vegetativa da AR, com o passar do tempo a emissão de C-CO<sub>2</sub> total diminuiu. Esse fato pode estar relacionado a AR não sofrer com ações antrópicas há 12 meses, sendo assim, as etapas do processo de humificação podem ter sido beneficiadas (STEVENSON, 1994), ou seja, o C do solo foi se estabilizando, o que resulta, na maior proporção de frações mais estáveis e de maior estabilidade estrutural (ARAÚJO et al., 2011).

## 5. CONCLUSÕES

Em função do tempo, a área de recuperação não apresentou modificações nos valores de densidade do solo, possivelmente em função do tempo curto de avaliação.

A área de recuperação apresentou melhoria na qualidade do solo quando se avaliado os teores de carbono orgânico total, estoques de carbono e índice de estratificação, indicando assim a recuperação desta área em função do tempo, uma vez que a quantidade de carbono orgânico total é um indicativo dos processos de recuperação ambiental relacionado ao ambiente edáfico.

Com o passar do tempo de avaliação constatou-se maior número de picos de emissão

de C-CO<sub>2</sub> na área em recuperação devido ao processo de recuperação natural, disponibilizando maior quantidade MOS acarretando maior atividade microbiana C-CO<sub>2</sub>.

Houve maior atividade biológica representada pelo acúmulo da emissão de C-CO<sub>2</sub> na área em processo de recuperação até seis meses após o isolamento da área, sendo que a diminuição da emissão após um ano reflete a estabilização do carbono no solo, o que, em longo prazo, pode contribuir para aumento dos teores e estoques de carbono desta área.

## REFERÊNCIAS

ACHARYA, B. S.; RASMUSSEN, J.; ERIKSEN, J. Grassland carbon sequestration and emissions following cultivation in a mixed crop rotation. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 153, n. 15, p. 33-39, 2012.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 1, p. 103-114, 2011.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; SAAB, S. C.; MILORI, D. M. B. P.; BAGNATO, V. S. Tillage and cropping system effects on soil humic acid characteristics as determined by electron spin resonance and fluorescence spectroscopies. **Geoderma**, v. 105, n. 1, p. 81-92, 2002.

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

CARMO, F. F. D.; FIGUEIREDO, C. C. D.; RAMOS M. L. G.; VIVALDI, L. J.; ARAÚJO, L. G. Frações granulométricas da matéria orgânica em latossolo sob plantio direto com gramíneas. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 3, p. 420-431, 2012.

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 Brasileiro Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CARVALHO, A. M.; VALE, H. M.; FERREIRA, E. M.; CORDEIRO, A. F.; BARROS, N. F.; y COSTA, M. D. Atividade microbiana de solo e serapilheira em áreas povoadas com *Pinus elliottii* e *Terminaliaivorensis*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. spe, p. 2709-2716, 2008.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de**

**Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 277-89, 2010.

CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W.E.; MELILLO, J.M. & CERRI, C.C. Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 1, p. 83-99, 2007.

CONCEIÇÃO, P. C. **Indicadores de qualidade do solo visando a avaliação de sistemas de manejo do solo**. Santa Maria: UFSM, p. 125. 2002.

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.

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

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

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212; 712 p.

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

FAO. Food and Agriculture Organization. **Review of Evidence on Drylands Pastoral Systems and Climate Change: Implications and Opportunities for Mitigation and Adaptation**. Roma, 2009.

FRANZLUEBBERS, A.J.; SCHOMBERG, H.H.; ENDALE, D.M. Surface-soil responses to paraplowing of long-term no-tillage cropland in the Southern Piedmont USA. **Soil and Tillage Research**, v. 96, n. 3, p. 303-315, 2007.

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

GUARIZ, H. R.; PICOLI, M. H. S.; CAMPANHARO, W.A.; CECÍLIO, R. A. Variação da Umidade e da Densidade do Solo sob Diferentes Coberturas Vegetais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 3293- 3296, 2009.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 10, p. 1055-61, 2012.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge,

United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A.; SANTOS, J.B. & VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.

JOHNSTON, A. E.; POULTON, P. R.; COLEMAN, K. Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. **Advances in Agronomy**, v. 101, n. 1, p. 1-57, 2009.

KUZYAKOV, Y.; FRIDEL, J. K.; STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, n. 11, p. 1485-1498, 2000.

LAL, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. **European Journal of Soil Science.**, v. 60, n. 2, p. 158-169, 2009.

LOSS, A. **Dinâmica da matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso no cerrado goiano**. 2011. 122 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; FERREIRA, E. P.; SANTOS, L. L.; BEUTLER, S. J.; FERRAZ JÚNIOR, A. S. L. Frações oxidáveis do carbono orgânico do solo em sistema de aléias sob Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 867-874, 2009.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H.; y Silva, E. M. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. **Bragantia**. v. 69, n. 5, p. 913-922, 2010.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C. & VEZZANI, F. Adições de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. , p. 175-187, 2004

MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A.; TORRES, E.; ANDRADE, A.G.; VALENCIA, L.I.O. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 80, n. 7, p. 185-200, 2005.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Ponte Nova: D & M Gráfica e Editora Ltda, 2005. 107 p.

NEVES, C.M.N.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; CARDOSO, E.L.; MACEDO, R.L.G.; FERREIRA, M.M.; SOUZA, F.S. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do Estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, v. 1, n. 74, p. 45-53, 2007.

OLIVEIRA, F. A.; SFREDO, G. J.; KLEPKER, D.; CASTRO, C.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.

**Árvore do conhecimento: soja.** AGEITEC. 2017. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01\\_37\\_271020069132.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01_37_271020069132.html). Acesso em 06 dez. 2017.

PEREIRA, D. N.; OLIVEIRA, T. C.; BRITO, T. E.; AGOSTINI, J. A. F.; LIMA, P. F.; SILVA, A. V.; SANTOS, C. S.; BREGAGNOLI, M. Diagnóstico e recuperação de áreas de pastagens degradadas. **Revista Agrogeoambiental**, v. esp. n. 1, p. 49-53, 2013.

RODRIGUES R. R.; GANDOLFI S. Conceitos, Tendências e Ações para a Recuperação de Florestas Ciliares. *Matas Ciliares: Conservação e Recuperação*. EDUSP/FAPESP, v. 6, p. 235-247, 2004.

RODRIGUES, R. R.; LEITÃO H. F. F. Uma discussão nomenclatural das formações ciliares. *Matas ciliares: conservação e recuperação*. EDUSP/FAPESP, v. 2, p. 91-99, 2004.

ROSA, R.; SANO, E. E.; ROSENDO, J. S. Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. **Sociedade & Natureza**, v. 26, n. 2, p. 333-351, 2014.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRICIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 11-21, 2008.

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 2005. 178 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP) sobre a fertilidade do solo em plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 2, p. 719-727, 2009.

SATTLER, M. A. **Variabilidade espacial de atributos de um Argissolo vermelho-amarelo sob pastagem e vegetação nativa na bacia hidrográfica do Itapemirim**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre/ES. 2006.

SEMAC- Secretaria de Estado, Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia. **Caderno Geoambiental das Regiões de Planejamento do MS**. p. 394, 2011.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 253-260, 2001.

SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M. Atributos físicos de dois Latossolos afetados

pela compactação do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 842-847, 2006.

SILVER, W. L.; OSTERTAG, R.; LUGO, A. The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands. **Restoration Ecology**, v. 8, n. 4, p. 394-407, 2000.

SIQUEIRA, J. O., MOREIRA, F. M. S., GRISI, B. M., HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Embrapa, Brasília, 1994. p.142.

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**, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

SOUZA, J. A.; DAVIDE, A. C. Deposição de serrapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e de eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. **Revista Cerne**, v. 7, n. 1, p. 101-113, 2001.

SOUZA, Z. M.; JUNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Influência da pedofoma na variabilidade espacial de alguns atributos físicos e hídricos de um latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Irriga**, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2004.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: Genesis, composition, reactions**. 2.ed. New York: John Wiley e Sons, 1994. 496p.

STURMER, S. L. K.; ROSSATO, O. B.; COPETTI, A. C. C.; SANTOS, D. R. d.; CALEGARI A.; BRUM, B. Variações nos teores de carbono orgânico em função do desmatamento e revegetação natural do solo. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 241-250, 2011.

VEZZANI, F. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

VIEIRA, S. R.; DECHEN, S. C. F.; SIQUEIRA, M. G. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos relacionados com o estado de agregação de dois latossolos cultivados no sistema de semeadura direta. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 185-195, 2011.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 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**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.