

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

OZIELLY MAIANE MENDES DA SILVA

**FRAÇÕES FÍSICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO
EM DIFERENTES SISTEMAS MANEJADOS E ÁREA DE
MATA NATIVA NO MUNICÍPIO DE ELDORADO, MS**

Mundo Novo - MS

Novembro/2020

OZIELLY MAIANE MENDES DA SILVA

**FRAÇÕES FÍSICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO
EM DIFERENTES SISTEMAS MANEJADOS E ÁREA DE
MATA NATIVA NO MUNICÍPIO DE ELDORADO, MS**

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.

Orientador: Prof. Dr. Jean Sérgio Rosset

Mundo Novo - MS

Novembro/2020

OZIELLY MAIANE MENDES DA SILVA

**FRAÇÕES FÍSICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO
EM DIFERENTES SISTEMAS MANEJADOS E ÁREA DE
MATA NATIVA NO MUNICÍPIO DE ELDORADO, MS**

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.

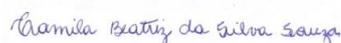
APROVADO EM 06 de novembro de 2020.



Prof. Dr. Jean Sérgio Rosset - Orientador - UEMS _____



Tec. Amb. MSc. Jefferson Matheus Barros Ozório – UEMS _____



Tec. Amb. Camila Beatriz da Silva Souza - UEMS _____

A Deus, meu grande e fiel amigo o qual pertence toda a honra e toda a glória; aos meus pais, meus maiores incentivadores a quem devo tudo o que sou e pretendo ser e a todos os que estiveram comigo acreditando que sou capaz.

AGRADECIMENTOS

Quando crianças, nós sonhamos, fazemos planos, estipulamos metas e objetivos que pretendemos alcançar, mas o futuro nos reserva surpresas as quais a nossa mente nem imagina. Diante disso, primordialmente agradeço a Deus, que planejou o meu futuro além daquilo que eu sonhava. Todas as minhas conquistas e tudo o que aprendi é graças a Sua bondade e misericórdia, porque toda a honra e toda a glória a Ti pertencem. Sou grata por Seu imenso amor, por ser meu melhor amigo, fiel e verdadeiro, por me guardar em todos os meus caminhos, permitindo que eu chegasse até aqui.

Agradeço de todo o meu coração aos meus pais, Marlene Grotto Mendes e Ozias da Silva, que me deram não somente a vida, mas valores e princípios. Sou grata por todo o amor que me dão, por me ensinarem a trilhar os caminhos do bem, a valorizar tudo o que tenho, a ser resiliente. Agradeço ainda mais por todos os esforços para fazer por mim além do que podem e muito além do que mereço, por sempre me apoiarem nas minhas decisões, me incentivando a batalhar pelos meus sonhos e acreditando na minha capacidade de ir além. Vocês são a minha base, a razão por tudo o que sou e pretendo ser.

Ao meu irmão Gabriel Henrique Mendes da Silva, que mesmo sendo mais novo, cuida tanto de mim. Agradeço pela nossa amizade, companheirismo e cumplicidade, por sempre estar comigo em todos os momentos e me ajudar tanto. Também agradeço ao meu irmão Magdiel Wender Mendes da Silva, que mesmo de longe, me incentiva a lutar pelos meus objetivos.

Aos meus grandes amigos que considero como irmãos, Karina Lavarias Tobias, Hauane Fernanda Gonçalves, Diego Henrique de Oliveira Moraes e Antonio Henrique Pereira Novais, por todos os momentos em que passamos juntos, por cada conselho, palavra de ânimo e conforto, por toda a ajuda e incentivo em relação à graduação e à vida. Vocês são admiráveis, verdadeiros exemplos para mim. Quem tem a amizade de vocês, tem muito!

Aos amigos que fiz durante a graduação, Leonardo Moreira Gomes e Silva, Henrique Ledo Lopes Pinho, Camila Beatriz da Silva Souza, Paulo Guilherme da Silva Farias, Giovana Tetsuya Lopes, Antonio Henrique Pereira Novais, Jefferson Matheus Barros Ozório, Wesley Vieira dos Santos e tantos outros que pude compartilhar não só conhecimento, mas muitos momentos felizes. Levarei a amizade de vocês para o resto da vida. Em especial, agradeço a Camila Beatriz e Paulo Guilherme, pessoas extraordinárias, que me ajudaram desde o início da graduação e que hoje posso chamar de verdadeiros amigos. Serei eternamente grata por todos os muitos conselhos que me deram, por me

passarem tanto conhecimento, pelos bons momentos que passamos juntos quando morei em Mundo Novo, enfim, por estarem sempre comigo. Vocês nem imaginam o quanto contribuíram para o meu crescimento acadêmico e, com certeza, pessoal.

A minha amiga e irmã em Cristo, Giovana Tetsuya Lopes, uma pessoa maravilhosa, de um coração imenso e caráter ímpar. Agradeço por tudo que passamos juntas quando dividimos o apartamento em Mundo Novo no período das análises. Com você vivi uma das melhores fases da minha vida e levarei aprendizados e lembranças incríveis em meu coração. Teremos muitas histórias para contar. Obrigada por tudo, minha amiga!

Aos meus colegas do Laboratório de Ciência do Solo Wesley Vieira dos Santos, Giovana Tetsuya Lopes, Andrea dos Santos Gonçalves, Camila Beatriz da Silva Souza, Paulo Guilherme da Silva Farias, Jefferson Matheus Barros Ozório e José Victor Hugo dos Santos pelo bom convívio e trabalho em equipe, pelos momentos “desastrosos” e pelos descontraídos.

Ao meu colega de laboratório e amigo Jefferson Matheus Barros Ozório, pela paciência, pelos conselhos e correções, por toda ajuda que me deu para que este trabalho fosse feito. Você é um grande exemplo para mim, obrigada por tudo!

Agradeço, especialmente, ao meu professor, orientador e amigo Jean Sérgio Rosset, o qual tenho uma admiração inenarrável. Toda e qualquer forma de gratidão seria insuficiente para pagar tudo o que o senhor fez por mim. Sou grata por ter aceitado me orientar, por me moldar cientificamente, pelos ensinamentos passados tanto nas disciplinas e projetos, quanto na vida. Sou muitíssimo grata por toda a ajuda que me deu quando morei em Mundo Novo, por ter ajudado a encontrar um local seguro para dividir com a Giovana e por toda a preocupação que teve conosco. Agradeço pela paciência, preocupação e respeito que sempre teve comigo, pelas correções, críticas construtivas, por me incentivar a sempre buscar mais conhecimento e por acreditar tanto no meu potencial. Digo com toda a certeza do mundo que o senhor contribuiu imensamente para a minha evolução acadêmica e pessoal e que sempre será um exemplo para mim. Serei eternamente grata por tudo!

E por fim, agradeço à Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, especialmente à Unidade Universitária de Mundo Novo, gerenciada pelo professor Leandro Marciano Marra, que trouxe tantos benefícios e grande reconhecimento à nossa unidade. Agradeço pelo ensino de qualidade ofertado, pelo excelente corpo docente, pelos técnicos e por cada um que, de alguma forma, me ajudou a realizar este trabalho. Meu muito obrigada a todos vocês!

*“Bem-aventurado o homem que acha sabedoria, e
o homem que adquire conhecimento.”*

Provérbios 3:13

RESUMO

Os diferentes manejos adotados podem provocar alterações na qualidade edáfica, sendo possível identificar estas alterações através do fracionamento físico-granulométrico da matéria orgânica do solo (MOS). O objetivo do trabalho foi realizar o fracionamento físico-granulométrico da MOS em diferentes sistemas de manejo e área de vegetação nativa no município de Eldorado, MS. Foram avaliadas quatro áreas, sendo três destas manejadas: pastagem permanente (PP), sistema plantio direto (SPD) e Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN), além de uma área de Mata Nativa (MN). As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m. Após a coleta, foram realizadas análises de densidade do solo (Ds), teores de carbono orgânico total (COT) e o fracionamento físico-granulométrico da MOS, separando a MOS em matéria orgânica particulada (MOP) e mineral (MOM), com determinação de seus respectivos teores de carbono (C-MOP e C-MOM), porcentagens relativas ao COT (%MOP e %MOM), estoques (EstMOP e EstMOM) e variações no estoque (Δ EstMOP e Δ EstMOM), com posteriores cálculos do índice de estoque de carbono (IEC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de carbono (IMC). Com exceção da camada de 0,10-0,20 m a área de SPD apresentou valores de Ds superiores a MN, chegando a $1,54 \text{ Mg m}^{-3}$ na camada de 0,05-0,10 m. Maiores teores de COT foram observados nas duas primeiras camadas da MN e SPD comparado aos demais tratamentos. A MN apresentou maiores teores de C-MOP em todas as camadas avaliadas, chegando a $4,05 \text{ g kg}^{-1}$ na camada de 0,00-0,05 m, seguida pela área de SPD com $2,19 \text{ g kg}^{-1}$ na camada 0,00-0,05 e PP com $1,78 \text{ g kg}^{-1}$ na camada 0,05-0,10 m. Para o C-MOM a área de SPD foi superior as demais áreas manejadas, chegando a $9,26 \text{ g kg}^{-1}$ na camada superficial, sendo semelhante a MN na camada de 0,10-0,20 m. Todas as áreas manejadas apresentaram valores de EstMOP inferiores à MN. Nas duas primeiras camadas, a área de MN apresentou maiores EstMOM e dentre as áreas manejadas, o SPD apresentou os maiores valores, sendo superior à MN na camada de 0,10-0,20 m. A área de MN apresentou maior IEC, seguida da área de SPD, sendo semelhantes na camada de 0,10-0,20 m. Todas as áreas e camadas apresentaram valores de L abaixo de 1,00, indicando predominância da fração C-MOM em relação a C-MOP. Para o IL, os maiores valores foram observados nas áreas de PP e RPPN, com valores de 1,27 e 1,01 respectivamente, na camada de 0,05-0,10 m, sendo semelhantes à MN. Nenhum dos sistemas de manejo apresentaram valores de IMC semelhantes aos da área de MN, porém as áreas de PP e SPD destacaram-se por apresentar maior IMC, respectivamente para as camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m. A área de SPD demonstrou que, mesmo em sucessão, contribui para melhoria da fração orgânica do solo ao longo do tempo de adoção e já as áreas de PP e RPPN evidenciaram que o manejo inadequado favorece na diminuição da qualidade edáfica.

Palavras-chave: Labilidade. Matéria orgânica particulada. Qualidade do solo.

SUMÁRIO

1. Introdução	9
2. Objetivos	10
2.1. Objetivo geral	10
2.2. Objetivos específicos	10
3. Metodologia	10
3.1. Caracterização da área de estudo	10
3.2. Coletas e análises de solo realizadas	13
4. Resultados e Discussão	18
4.1. Densidade do solo	18
4.2. Carbono orgânico total e índice de estratificação	19
4.3. Frações físicas da matéria orgânica do solo, estoques e índice de manejo de carbono	21
4.4. Representatividade das frações físicas da matéria orgânica do solo	26
4.5. Variação do estoque das frações físicas da matéria orgânica do solo	27
5. Considerações Finais	28
Referências	29

1. INTRODUÇÃO

O carbono (C) da matéria orgânica do solo (MOS) é altamente diversificado em termos do estado de oxidação (BEZERRA et al., 2013), composição, forma química, tamanho, labilidade e proteção física nos agregados do solo (ROMANIW et al., 2015). A compreensão da dinâmica, quantidade e formas do C em sistemas manejados e naturais permite subsidiar o estabelecimento de estratégias de manejo que garantam incremento de MOS, e contribuam com a qualidade ambiental e do solo ao longo do tempo (MARQUES et al., 2015). Desta forma, o C pode ser útil como um indicador de mudanças na quantidade e qualidade da MOS (ZHAO et al., 2015), com influência direta na qualidade do ambiente edáfico e, por consequência, na conservação da vegetação natural e manutenção da qualidade de áreas cultivadas (TESFAHUNEGN, 2016).

Existem diversas formas de se caracterizar e estudar a dinâmica da MOS em vários tipos de sistemas de manejo e vegetações nativas, dentre elas, se destacam o fracionamento físico-granulométrico (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992). Essa técnica é utilizada, com o objetivo de entender melhor os compartimentos orgânicos do solo e suas interações com as frações minerais (GREGORICH et al., 2006).

O fracionamento físico-granulométrico resulta em separar a MOS em duas frações orgânicas: a matéria orgânica particulada (MOP), com frações de tamanho superior à 53 μm e a matéria orgânica mineral (MOM), com frações de tamanho inferior à 53 μm (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992), com posteriores determinações e cálculos de seus respectivos teores de C (C-MOP e C-MOM). O C-MOP é sensível em identificar mudanças no uso do solo, mesmo com um curto período de tempo, principalmente pela alteração do aporte vegetal provocado nas áreas manejadas (LOSS et al., 2015; ROSSET et al., 2019). Já o C-MOM é menos alterado pelas modificações no uso do solo devido ao maior tempo de ciclagem (BAYER et al., 2004).

Além da identificação dos compartimentos da MOS, através do fracionamento físico-granulométrico é possível realizar o cálculo do índice de manejo de carbono (IMC) proposto por Blair et al. (1995). O IMC é calculado através da utilização de uma área referência e é importante por relacionar-se com a labilidade (L) da MOS, demonstrando a relação entre as frações lábeis e recalitrantes da MOS, sendo uma ferramenta útil para subsidiar informações importantes quanto aos melhores sistemas de uso do solo, por tratar das variações quantitativas e qualitativas que podem ocorrer entre as frações físicas-granulométricas da MOS (CONCEIÇÃO et al., 2005).

Desta forma, o fracionamento físico-granulométrico da MOS é um procedimento que favorece a identificação de alterações na qualidade do solo (ROSSET et al., 2019), devendo ser efetuado de maneira regionalizada em função dos diversos tipos de solo, sistemas de manejo, clima, entre outras variáveis, pois estas características influenciam nos processos de acúmulo ou perda de MOS.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Caracterizar a matéria orgânica do solo pelo método físico-granulométrico em áreas com diferentes sistemas de manejos com histórico conhecido conduzidos no município de Eldorado, MS.

2.2 Objetivos Específicos

Determinar a densidade do solo de cada um dos sistemas de manejo estudados.

Quantificar os teores de carbono orgânico total dos diferentes sistemas de manejo.

Quantificar os teores e estoques de carbono das diferentes frações físicas (matéria orgânica particulada e matéria orgânica mineral) da matéria orgânica do solo, além da porcentagem representativa de cada fração em relação ao carbono orgânico total e a variação do estoque de carbono de cada fração.

Determinar os índices de manejo de carbono do solo.

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área de estudo

Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo em quatro diferentes áreas com histórico conhecido de longa duração, localizadas no distrito de Porto Morumbi, no município de Eldorado, região Cone-sul do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil (Figura 1).

A região do estudo localiza-se entre as coordenadas 23°48' de latitude S e 54°06' de longitude W, com altitude média de 272 metros. O clima é classificado pelo sistema internacional de Köppen (PEEL et al., 2007) como subtropical (Cfa), sendo que a temperatura média do mês mais frio está entre 14 e 15°C, com ocorrências frequentes de geadas, e precipitações que variam entre 1.400 a 1.700 mm anuais.

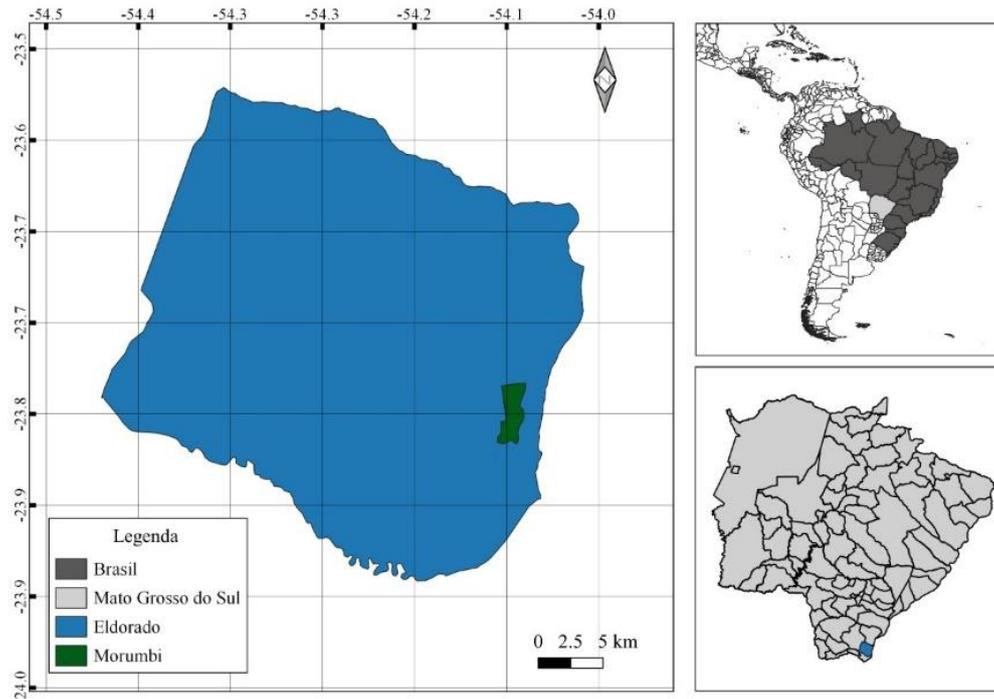


Figura 1. Localização do distrito de Porto Morumbi, no município de Eldorado, Mato Grosso do Sul – Brasil.

O município de Eldorado apresenta predomínio de solos classificados como Argissolos de textura arenosa/média e média/argilosa, com fertilidade natural variável, sendo que ao norte do município tem-se a presença de Latossolos Vermelho-escuro de textura média e, às margens do rio Paraná a ocorrência de solo orgânico, ambos com baixa fertilidade natural (SANTOS et al., 2018; SEMADE, 2015).

Foram avaliadas quatro diferentes áreas, em delineamento inteiramente casualizado, sendo três destas manejadas e uma área de referência adjacente de Mata Nativa (MN), com vegetação de Mata Atlântica com fitofisionomia de Floresta Estacional Semidecidual sem ação antrópica. As três áreas manejadas compreendem: pastagem permanente com a espécie *Brachiaria brizantha* (PP) com sinais visíveis de degradação (elevada lotação animal, presença de erosões em sulco, presença de plantas daninhas em área total e baixo cobrimento do solo), sistema plantio direto na sucessão de culturas soja (verão) e milho (segunda safra) (SPD) e área de Reserva Particular de Patrimônio Natural em processo de regeneração natural com vegetação secundária (RPPN).

Todas as quatro áreas do estudo estão localizadas próximas umas das outras, sobre solo classificado como Argissolo Vermelho-amarelo distrófico, de textura arenosa (SANTOS et al., 2018), e se encontram localizadas no distrito de Porto Morumbi, área rural do município de Eldorado, Mato Grosso do Sul (Figura 1), sendo também inseridas dentro da Área de

Preservação Ambiental (APA) das Ilhas e Várzeas do Rio Paraná (ICMBio, 2019).

Todas as áreas do presente estudo apresentam seus respectivos históricos de uso e manejo de acordo com o apresentado na Tabela 1 e demonstradas em imagens na Figura 2 e descritas conforme cronologia de uso na Figura 3.

Tabela 1. Histórico e descrição da modificação no manejo das diferentes áreas do estudo.

Área	Histórico de manejo
PP	Área de 5 hectares. Cultivada com a espécie <i>Brachiaria brizantha</i> Hochst Stapf cv. MG4 de forma permanente a 10 anos. Área utilizada para pastejo de animais de corte com lotação de 1,2 unidade animal (UA) ha ⁻¹ .
SPD	Área de 50 hectares. Cultivada com o sistema plantio direto na sucessão de culturas de soja (verão) e milho (segunda safra), sendo este tipo de sistema realizado na área nos últimos 10 anos.
RPPN	Área de 15 hectares. Reserva Particular de Patrimônio Natural - Remanescente florestal do bioma Mata Atlântica em processo de regeneração natural há 2 anos.
MN	Área de 20 hectares. Vegetação nativa de Mata Atlântica - Floresta Estacional Semidecidual. Representada no trabalho como condição original do solo, sem ação antrópica.

PP: Pastagem Permanente, SPD: Sistema Plantio Direto, RPPN: Reserva Particular de Patrimônio Natural, MN: Mata Nativa.



Figura 2. Fotos das diferentes áreas do estudo. PP: Pastagem Permanente (A). SPD: Sistema Plantio Direto (B). RPPN: Reserva Particular de Patrimônio Natural em processo de regeneração natural (C). MN: Mata Nativa (D).

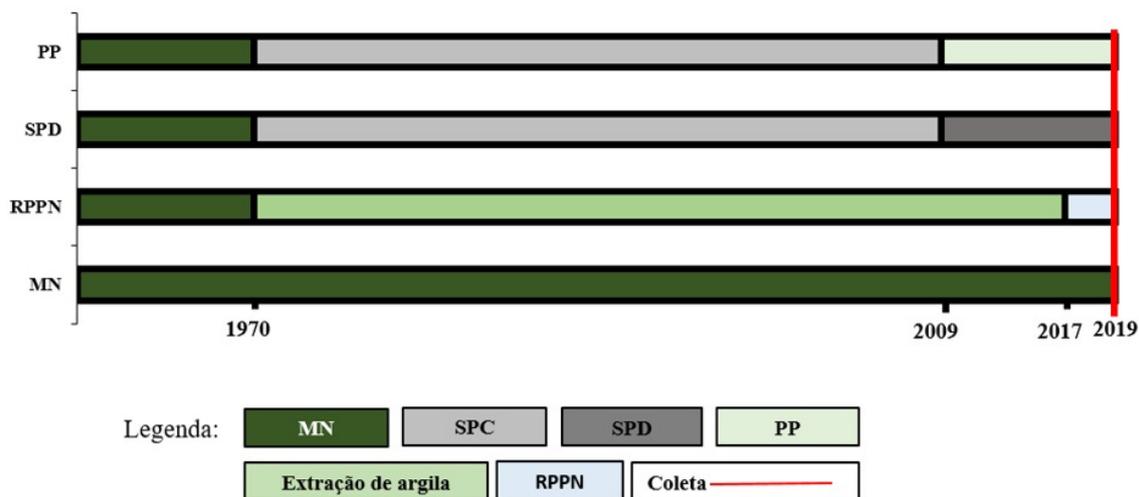


Figura 3. Histórico dos usos e mudanças do uso das áreas, com as respectivas datas de implantação de cada sistema de manejo: PP: pastagem permanente; SPD: sistema plantio direto; RPPN: reserva particular de patrimônio natural; MN: mata nativa; SPC: sistema de preparo convencional.

Especificamente, a área da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) denominada “Ernesto Vargas Baptista”, foi instituída no ano de 2019 através da Resolução Semagro 670, estando inserida em um mosaico de áreas de conservação estabelecidas nos dois lados do Rio Paraná, formando um extenso corredor de biodiversidade que se liga ao Parque Nacional do Iguaçu. A reserva foi classificada pelo Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL), como “Wetland”, que significa áreas muito frágeis e de grande importância para a preservação (local de reprodução, abrigo, fonte de alimentos para fauna local e migratória – aves) (UEMS, 2019). Até 3 anos atrás (2017), antes da criação da RPPN, parte da área era utilizada para extração de argila com fins de processamento nas olarias e cerâmicas da região. Esse processo desencadeou certo grau de degradação da área, sendo então posteriormente isolada para a criação da RPPN, com a vegetação em processo de regeneração natural.

3.2 Coletas e análises de solo realizadas

Para cada uma das quatro áreas do estudo, amostras compostas de solo foram coletadas em cinco repetições nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, sendo que cada amostra composta foi representada por cinco amostras simples (Figura 4). Também foram coletadas, em todas as áreas e camadas, amostras indeformadas com auxílio de anel volumétrico com volume de 49,91 cm³ com cinco repetições (Figura 5).



Figura 4. Coleta das amostras deformadas de solo.



Figura 5. Coleta das amostras indeformadas de solo com auxílio de anel volumétrico.

Posteriormente a coleta de solos, todas as análises foram realizadas nos Laboratórios de Ciência do Solo e Ensino de Química da UEMS de Mundo Novo. As análises de densidade do solo (D_s) (método do anel volumétrico) foram realizadas segundo metodologia descrita por Claessen et al. (1997) (Figura 6).



Figura 6. Procedimentos da análise de densidade do solo.

As amostras deformadas foram destorroadas e peneiradas em peneira 2 mm, constituindo a Terra Fina Seca ao Ar (TSFA) e armazenadas em laboratório para posteriores análises (Figura 7).



Figura 7. Destorroadamento e peneiramento das amostras de solos.

Após obtenção da TFSA foi determinado o teor de carbono orgânico total (COT) através da oxidação da matéria orgânica via úmida, com adição de dicromato de potássio e ácido sulfúrico, sendo submetidas a aquecimento e posterior titulação com sulfato ferroso amoniacal de acordo com Yeomans e Bremner (1988) (Figura 8).



Figura 8. Processo para determinação de COT.

O fracionamento físico-granulométrico da MOS foi realizado segundo o método descrito por Cambardella e Elliott (1992). Em 20 g de solo (TFSA) foram adicionados 60 ml de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L^{-1}), e as amostras foram agitadas por 16 horas em agitador horizontal (Figura 9).



Figura 9. Procedimentos para realizar o fracionamento físico-granulométrico.

Após a homogeneização foi realizado o peneiramento úmido, utilizando peneira de 53 μm (Figura 9). O material retido na peneira de 53 μm consistiu na matéria orgânica particulada (MOP) associada à fração areia, e o que passou pela peneira de 53 μm consistiu na matéria orgânica mineral (MOM) associada às frações silte e argila (Figura 10).



Figura 10. Etapas para realização do fracionamento físico da MOS.

Em seguida, o material retido na peneira de 0,053 mm foi seco em estufa a 50°C, e posteriormente foi moído em gral de porcelana e analisado quanto ao teor de carbono orgânico (C-MOP) segundo metodologia de Yeomans e Bremner (1988) (Figura 11). O C-MOM foi obtido a partir da diferença entre COT e C-MOP.

Posteriormente às determinações das frações C-MOP e C-MOM, foram calculados os índices para avaliação da qualidade da MOS, sendo eles; o índice de estoque de carbono (IEC), labilidade da MOS (L), índice de labilidade (IL) e o índice de manejo de carbono (IMC), calculados segundo Blair et al. (1995).



Figura 11. Processo de titulação do carbono das frações físicas da MOS.

Para os cálculos de estoque de carbono da matéria orgânica particulada (EstC-MOP) e estoque de carbono da matéria orgânica mineral (EstC-MOM), foram utilizados também os valores de D_s , sendo os estoques calculados seguindo o método da massa equivalente (REIS et al., 2018; SIGNOR et al., 2014).

Os resultados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade de variância pelo teste de Shapiro- Wilk e Bartlett, nessa ordem. Posteriormente, em delineamento inteiramente casualizado, os resultados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F, e os valores médios comparados pelo teste de Tukey a 5% com auxílio do programa R Core Team (2019). Todos os testes foram realizados utilizando o pacote ExpDes.pt (FERREIRA et al., 2018).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Densidade do solo

Somente a área manejada em SPD apresentou valores superiores de densidade do solo (D_s) em relação a MN nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, com 1,52 e 1,54 $Mg\ m^{-3}$, respectivamente. Já na camada 0,10-0,20 m as áreas avaliadas não apresentaram diferença (Figura 12). Resultados semelhantes foram encontrados por Rosset et al. (2014a) e Ozório et al. (2019), onde áreas de SPD apresentaram maiores valores de D_s em relação as áreas nativas no bioma Mata Atlântica no município de Guaíra, Paraná. Já Falcão et al. (2020) comparando área de SPD cultivada por cinco anos e vegetação nativa de Cerrado em Aquidauana, Mato Grosso do Sul, não encontraram valores superiores de D_s nas áreas de SPD.

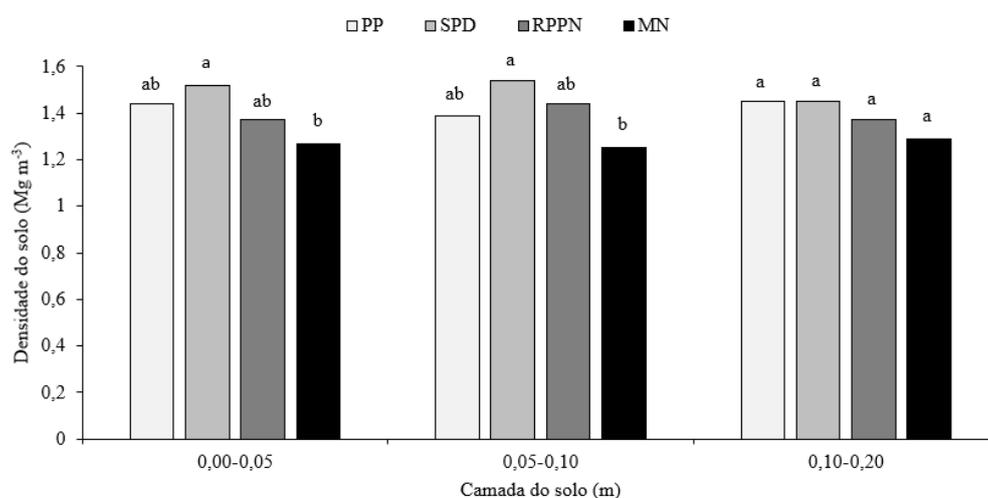


Figura 12. Densidade do solo (D_s) em diferentes sistemas de manejo e camadas avaliadas no distrito de Porto Morumbi, município de Eldorado, Mato Grosso do Sul. PP: pastagem permanente, SPD: sistema plantio direto, RPPN: reserva particular do patrimônio natural e MN: mata nativa.

A tendência de aumento nos valores de Ds em profundidade na área de PP se deve ao superpastejo dos animais que, com o pisoteio, ocasionam o aumento da Ds com o passar dos anos (ASSIS et al., 2019). Já em SPD a elevação da Ds em comparação a referência pode ocorrer pelo tráfego de máquinas durante o manejo do sistema produtivo de sucessão soja/milho, da mesma forma como observado por Rosset et al. (2014a) em sistemas de sucessão soja/milho em SPD por até 22 anos.

Já na área de RPPN, a tendência de aumento nos valores de Ds pode ser explicada em razão de que antes da criação da RPPN em 2017, a área era utilizada para extração de argila com utilização de máquinas pesadas para fins de processamento nas olarias e cerâmicas da região, o que desencadeou a degradação da área através da retirada da vegetação, deixando o solo exposto. Balin et al. (2017) ao avaliar um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso, constataram que o tráfego de máquinas agrícolas promoveu o aumento de Ds nas áreas avaliadas, corroborando com o ocorrido na área de RPPN do presente estudo.

O fato da área de MN apresentar menores valores de Ds em relação ao SPD ocorre devido à baixa atividade antrópica nesta área, pela vegetação existente no local que proporciona a presença de raízes e acúmulo de serapilheira, provocando maior deposição de MOS, que eleva os teores de carbono orgânico total (COT), com conseqüentes diminuições na Ds ao longo dos anos (ORTIGARA et al., 2014; ROSSET et al., 2014a; 2014b; MASCARENHAS et al., 2017).

De modo geral, os valores de Ds de todas as áreas avaliadas não ultrapassaram o valor de $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$, considerado como limite crítico de impedimento ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas, dificultando a penetração das raízes em solos de textura arenosa e média (REINERT et al., 2008; SILVA et al., 2010).

4.2 Carbono orgânico total e índice de estratificação

Os maiores teores de COT foram observados na área de MN especialmente nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, com teores de 16,41 e 13,59 g kg^{-1} , respectivamente, diferindo-se de todas demais áreas manejadas (Figura 13). A alta concentração de COT nesta área deve-se ao constante aporte de resíduos vegetais na camada mais superficial do solo, somado à ausência de quaisquer atividades antrópicas, favorecendo, assim, a manutenção de C no solo (LOSS et al., 2015; KUNDE et al., 2016; FREITAS et al., 2018). Fato também observado por Ozório et al. (2019), Rosset et al. (2019) e Troian et al. (2020) comparando áreas manejadas em relação a vegetação nativa de Mata Atlântica.

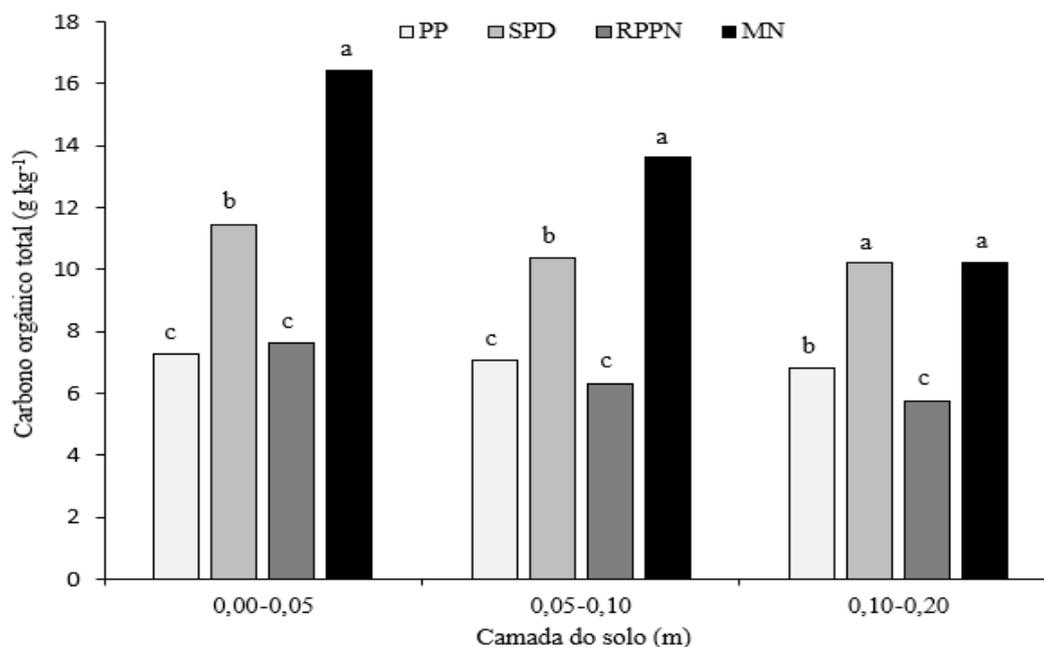


Figura 13. Carbono orgânico total (COT) em diferentes sistemas de manejo e camadas avaliadas no distrito de Porto Morumbi, município de Eldorado, Mato Grosso do Sul. PP: pastagem permanente, SPD: sistema plantio direto, RPPN: reserva particular do patrimônio natural e MN: mata nativa.

Vale ressaltar que, apesar de que a área de SPD esteve sujeita ao revolvimento intensivo do solo sob SPC após o desmatamento em 1970, os teores de COT foram superiores às áreas de PP e RPPN em todas as camadas avaliadas, chegando a 11,46 g kg⁻¹ na camada de 0,00-0,05 m. Esse fato pode ser atribuído ao tempo de 10 anos de adoção do SPD, refletindo na importância deste sistema de manejo. Carvalho et al. (2009), Rosset et al. (2016), Assunção et al. (2019) e Ferreira et al. (2019a; 2020) relataram aumento nos teores de COT ao longo do tempo de adoção do sistema de SPD em áreas antes cultivadas por SPC.

Já as áreas de PP e RPPN não demonstraram potencial de acúmulo de COT, quando comparadas às demais áreas avaliadas. Por estar em recente processo de regeneração, a área de RPPN possui pouca cobertura vegetal, deixando o solo exposto, o que resulta em aumentos ainda incipientes de COT, demorando mais tempo para que aumentos significativos ocorram. Já os baixos teores de COT em PP se devem a degradação desta área em função da ausência de manutenção da pastagem nos últimos 10 anos.

Em relação ao índice de estratificação (IE), ao avaliar somente as áreas manejadas, observou-se que as áreas de PP, SPD e RPPN apresentaram valores de 1,08, 1,13 e 1,32, respectivamente, sendo que a PP e o SPD foram semelhantes, e a área de RPPN com valor superior às áreas de PP e SPD. Já a área de MN apresentou o maior IE, 1,61. Isso ocorre pela deposição contínua de serapilheira, indicando haver maior acumulação de C na camada

superficial do solo (ROSSET et al., 2014b; OZÓRIO et al., 2019), corroborando com os maiores teores de COT na camada de 0,00-0,05 m nesta respectiva área (Figura 13).

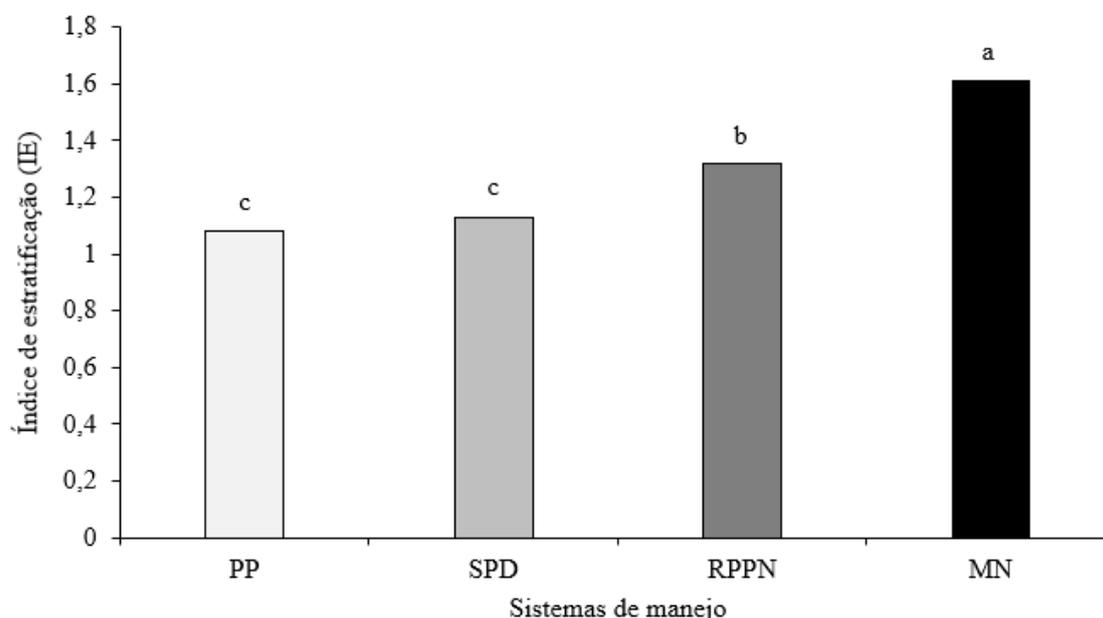


Figura 14. Índice de estratificação (IE) do carbono orgânico total das diferentes áreas estudadas no distrito de Porto Morumbi, município de Eldorado, Mato Grosso do Sul. PP: pastagem permanente, SPD: sistema plantio direto, RPPN: reserva particular do patrimônio natural e MN: mata nativa.

O menor valor de IE na área de PP pode ser devido à ausência de práticas para auxiliar o desenvolvimento de gramíneas somado ao superpastejo por animais de corte nesta área, que pode provocar alterações na estrutura do solo, aumentando a D_s e, conseqüentemente, diminuindo o desenvolvimento das plantas e, por isso, o aporte de COT (SANTOS et al., 2017), fato que ocorreu quando da constatação de baixos teores de COT desta área (Figura 13). Já o baixo IE na área de SPD deve-se a ausência da adoção de um sistema mais diversificado de implantação de culturas, no qual possui maior potencial de acúmulo de C no solo ao longo dos anos de cultivo (BODDEY et al., 2010).

4.3 Frações físicas da matéria orgânica do solo, estoques e índice de manejo de carbono

Em todas as camadas avaliadas, a área de MN apresentou os maiores teores de carbono da matéria orgânica particulada (C-MOP) quando comparada aos sistemas manejados, chegando a $4,04 \text{ g kg}^{-1}$ na camada de 0,00-0,05 m (Tabela 2). O teor de C-MOP na camada superficial coincide com o padrão dos maiores teores de COT observados nessa área (Figura 13). Os dados deste estudo corroboram com os apresentados por Kunde et al. (2016); Rosset et

al. (2019); Bieluczyk et al. (2020); Ferreira et al. (2020) e Santos et al. (2020).

Comparando somente as áreas manejadas, observou-se que a área de SPD apresentou teores de C-MOP superiores a PP na camada de 0,00-0,05 m e a RPPN em todas as camadas, com valores de 2,19 g kg⁻¹, 1,85 g kg⁻¹ e 1,68 g kg⁻¹, respectivamente para as camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m (Tabela 2). Os teores observados em SPD provavelmente ocorrem devido à mínima perturbação do solo desta área, somada ao acúmulo de resíduos vegetais ao longo dos anos de cultivo, da mesma forma como observado por Melo et al. (2016) e Rosset et al. (2019) em SPD com sucessão de culturas. De modo geral, os maiores teores de C-MOP observados na camada superficial do solo, ocorrem em razão do maior aporte de resíduos vegetais nesta camada, aliado à ausência de drásticas atividades antrópicas em algumas áreas (CONCEIÇÃO et al., 2005; ROSSETI et al., 2014a; KUNDE et al., 2016; NANZER et al., 2019).

As diferenças nos teores de C-MOP nas áreas estudadas, reforça o potencial desta fração para ser utilizada como indicador de qualidade do solo em razão da sensibilidade em demonstrar modificações em curto período de tempo, decorridas do modo de uso do ambiente edáfico (CONCEIÇÃO et al., 2013; BRIEDIS et al., 2018; BONGIORNO et al., 2019; ROSSETI et al., 2019).

Em relação à fração mineral da MOS (C-MOM), a área de MN também apresentou os maiores teores em todas as camadas, porém sendo semelhante a área de SPD na camada de 0,10-0,20 m, com teores variando de 7,79 g kg⁻¹ a 12,37 g kg⁻¹ (Tabela 2). A área de SPD apresentou teores intermediários nas camadas de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m, com 9,26 g kg⁻¹ e 8,51 g kg⁻¹, respectivamente (Tabela 2). Os maiores teores de C-MOM estão relacionados, principalmente, aos maiores teores de COT destas áreas (Figura 13), somado ao não revolvimento, e também à contribuição da estabilização da MOP ao longo do tempo, onde essa fração mais lábil de C transforma-se em mais recalcitrante, com consequente estabilização da MOS (BATISTA et al., 2013).

Se relacionando com os baixos teores de COT (Figura 13), assim como baixos teores de C-MOP, as áreas de PP e RPPN apresentaram os menores teores de C-MOM em todas as três camadas avaliadas (Tabela 2). Em virtude da C-MOM apresentar ciclagem lenta, infere-se que, por estas áreas encontrarem-se com pouca cobertura vegetal e consideravelmente degradadas, esses baixos teores se justificam. De acordo com Mafra et al. (2015), a redução do C-MOM nas áreas manejadas em comparação com área de vegetação nativa está associada à quebra dos agregados devido ao manejo inadequado ao longo dos anos, expondo o C à ação dos microrganismos e agentes de degradação externos, dificultando, então, o acúmulo de COT no

solo. Porém, essa fração é considerada menos sensível ao manejo do solo em relação a MOP, principalmente a curto prazo, em razão de ser protegida fisicamente e considerada mais estável (ENSINAS et al., 2016; BALIN et al., 2017; GUIMARÃES et al., 2018).

Tabela 2. Teores de carbono da matéria orgânica particulada (C-MOP) e matéria orgânica mineral (C-MOM), estoque de MOP (EstMOP) e MOM (EstMOM), índice de estoque de carbono (IEC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo de carbono (IMC) nos diferentes sistemas de manejo no distrito de Porto Morumbi, município de Eldorado, Mato Grosso do Sul.

SM	C-MOP	C-MOM	Est MOP	Est MOM	IEC	L	IL	IMC
	-----g kg ⁻¹ -----		-----Mg ha ⁻¹ -----					
0,00-0,05 m								
PP	1,70c	5,56c	2,17c	7,08c	0,44c	0,31a	0,95a	42,13b
SPD	2,19b	9,26b	2,80b	11,79b	0,69b	0,23b	0,73b	50,95b
RPPN	1,74c	5,85c	2,22c	7,45c	0,46c	0,30ab	0,92ab	42,61b
MN	4,04a	12,37a	5,14a	15,75a	1,00a	0,32a	1,00a	100,00a
CV (%)	8,06	5,89	8,06	5,89	4,70	12,34	12,85	9,55
0,05-0,10 m								
PP	1,78b	5,25c	2,21b	6,54c	0,51c	0,34a	1,27a	65,51b
SPD	1,85b	8,51b	2,31b	10,58b	0,76b	0,21b	0,80b	61,67b
RPPN	1,35c	4,95c	1,68c	6,16c	0,46d	0,27b	1,01ab	47,07c
MN	2,89a	10,70a	3,60a	13,31a	1,00a	0,27b	1,00a	100,00a
CV (%)	7,54	4,53	7,54	4,53	3,22	13,01	15,14	10,27
0,10-0,20 m								
PP	1,45b	5,33b	1,85b	6,80b	0,66b	0,27ab	0,89a	59,04bc
SPD	1,68b	8,49a	2,15b	10,84a	1,00a	0,19b	0,64b	64,21b
RPPN	1,11c	4,63b	1,42c	5,91b	0,56c	0,24ab	0,77ab	44,46c
MN	2,41a	7,79a	3,08a	9,95a	1,00a	0,31a	1,00a	100,00a
CV (%)	10,24	7,00	10,24	7,00	6,27	16,91	15,63	13,49

Médias seguidas de letras iguais na coluna, em cada camada, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p 0,05). SM: sistema de manejo; CV= Coeficiente de variação; PP: pastagem permanente; SPD: sistema plantio direto; RPPN: reserva particular do patrimônio natural e MN: mata nativa.

Os maiores estoques de matéria orgânica particulada (EstMOP) foram encontrados na área de MN em todas as camadas avaliadas, chegando a 5,14 Mg ha⁻¹ na camada de 0,00-0,05 m, sendo diferente das demais áreas. Os maiores valores observados nesta área decorrem da ausência de atividades antrópicas e da maior deposição de resíduos recém incorporados ao solo, como é possível observar nos maiores teores de C-MOP nessa área. Resultados semelhantes também foram observados por Rego (2019) e Rosset et al. (2019) comparando diferentes sistemas de manejo em relação a vegetação de mata nativa de Mata Atlântica.

Os menores EstMOP foram observados nas áreas de PP, SPD e RPPN, com 2,17, 2,80 e 2,22 Mg ha⁻¹ para a camada de 0,00-0,05 m, 2,21, 2,31 e 1,68 Mg ha⁻¹ para a camada de 0,05-0,10 m e 1,85, 2,15 e 1,42 Mg ha⁻¹ na camada de 0,10-0,20 m, respectivamente (Tabela 2). Os valores verificados nestas áreas manejadas em relação à área de MN corroboram com os menores teores de COT (Figura 13) e C-MOP (Tabela 2), demonstrando que os sistemas de manejo adotados nas respectivas áreas não foram eficientes em estocar C lábil no solo.

Assim como para os teores de C-MOM, as áreas de MN e SPD apresentaram os maiores EstMOM na camada mais superficial, com 15,75 Mg ha⁻¹ e 11,79 Mg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 2). Bayer et al. (2004) relataram que o EstMOM é menos alterado pelas diferentes formas de manejo, principalmente em menor período. Carmo et al. (2012) observaram que em camadas mais profundas, esta fração apresenta-se altamente estabilizada, sendo pouco alterada pelo sistema de manejo. Se forem adotadas práticas de recuperação específicas na área de PP, como a reforma da pastagem, e adensamento florestal na área de RPPN, pode-se reestabelecer a entrada de C no solo, e conseqüentemente, promover o aumento dos estoques das frações lábeis e posteriormente recalitrantes, com conseqüente aumento dos EstC total do solo (BELL; MOORE, 2012). Ferreira et al. (2019b) verificaram aumento no EstMOM em razão da decomposição do C-MOP ao longo dos anos.

Todas as áreas manejadas apresentaram valores de IEC inferiores a 1,00, com exceção da camada de 0,10-0,20 m da área de SPD. Esse fato indica que essas formas de manejo não se mostraram potencialmente eficientes em estocar C no solo (Tabela 2). Os valores de IEC observados nestas áreas seguiram a tendência dos menores teores de COT (Figura 13), diferentemente do que ocorreu na área de SPD, na qual apresentou valores mais elevados de IEC, com 0,69, 0,76 e 1,00, respectivamente para as camadas de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m.

Considerando que anterior à implantação do SPD a área era manejada sob sistema de preparo convencional, os resultados de IEC obtidos inferem que o uso do solo nesta área possibilitou a recuperação do estoque de carbono, mesmo que de forma lenta. Resultados semelhantes a estes foram obtidos por Conceição et al. (2014), também em área com alteração dos sistemas de SPC para SPD, e por Rosset et al. (2019) em cronossequência de SPD, em áreas anteriormente cultivadas com SPC. Zhang et al. (2020) observaram que a adoção de práticas de revegetação pode promover o acúmulo de COT no solo, resultando em maior quantidade de frações orgânicas lábeis em período curto após a adoção desta prática.

De modo geral, as áreas apresentaram valores de L inferiores a 1,00, indicando a predominância de C na fração associada aos minerais, o que é desejável, em razão desta fração

ser mais estável (GUIMARÃES et al., 2018). De acordo com Santos et al. (2017), o sistema torna-se mais suscetível à perda de C pela ação dos microrganismos quando predomina o C-MOP, pois nessa fração o C apresenta menor estabilidade e está sujeita à maior taxa de decomposição.

Os valores de L na camada de 0,00-0,05 m das áreas de MN, RPPN e PP não diferiram entre si, com valores de 0,32, 0,30 e 0,31, respectivamente. Ressalta-se ainda que na camada de 0,05-0,10 m a área de PP apresentou valor de 0,34, sendo superior a área de MN. A L é obtida através da razão entre as duas frações (MOP e MOM), e valores mais próximos de 1,00 sugerem equilíbrio entre estas frações é considerado como ótimo indicador de qualidade do solo (BENBI et al., 2015). Resultados semelhantes foram obtidos por Schiavo et al. (2011) no estado de Mato Grosso do Sul e Rosset et al. (2019) no estado do Paraná, ambos comparando áreas manejadas e nativas. Com exceção da área de PP, observou-se que para as demais áreas avaliadas a L da MOS diminuiu de acordo com a profundidade, principalmente na área de SPD (Tabela 2). Mesmo comportamento foi observado por Schiavo et al. (2011), Kunde et al. (2016) e Rosset et al. (2019).

Na camada de 0,00-0,05 m, para as áreas manejadas, os valores do índice de labilidade (IL) foram próximos à MN, sendo que a área de SPD apresentou diferença em relação às áreas de PP e RPPN. Na camada de 0,05-0,10 m na área de RPPN e 0,10-0,20 m na área de PP, verificou-se valores de IL superior a MN, sendo de 1,01 e 1,27, respectivamente (Tabela 2).

Nenhum dos sistemas de manejo avaliados apresentaram valores de IMC semelhantes ou superiores aos da área de MN. Porém, avaliando-se apenas as áreas manejadas, os maiores valores foram observados nas áreas de SPD, com 64,21 na camada de 0,10-0,20 m, e PP, 65,51 na camada de 0,05-0,10 m. Esses resultados provavelmente se devem ao não revolvimento do solo tanto no SPD como em PP, e mesmo que a área de PP encontre-se consideravelmente degradada, a presença de gramíneas mostra-se fundamental pois favorece certa estabilização do C em subsuperfície pela ação do sistema radicular (SALTON et al., 2008; NANZER et al., 2019; SANTOS et al., 2019).

De modo geral, corroborando com os teores de COT (Figura 13), C-MOP e C-MOM e valores de IEC (Tabela 2), destaca-se que a área de RPPN apresentou valores de IMC menores que os verificados em SPD e PP, variando entre 42,61 e 47,07. Esses resultados refletem no estado de degradação em que a área se encontra após ser explorada excessivamente por anos, demonstrando que a mesma, além do isolamento efetuado no ano de 2017, requer outras práticas de recuperação para que haja a manutenção da quantidade e qualidade da MOS e se reestabeleça mais rapidamente. Resultados satisfatórios de aumento nos teores de COT e das frações físicas

da MOS e dos IMC em área isolada, com posterior prática de adensamento florestal via plantio de espécies arbóreas nativas foram encontrados por Faria et al. (2017) e Santos et al. (2017) no município de Mundo Novo, MS.

4.4 Representatividade das frações físicas da matéria orgânica do solo

Verificou-se maior representatividade percentual de C-MOM em relação ao C-MOP em todas as camadas avaliadas nas diferentes áreas do estudo. A maior porcentagem de C-MOP foi observada na área de PP na camada de 0,05-0,10 m, com 25,36%, seguida da área de MN com 24,61% e 23,69% respectivamente para as camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, e da área de RPPN, com 23,09% na camada de 0,00-0,05 m (Figura 15).

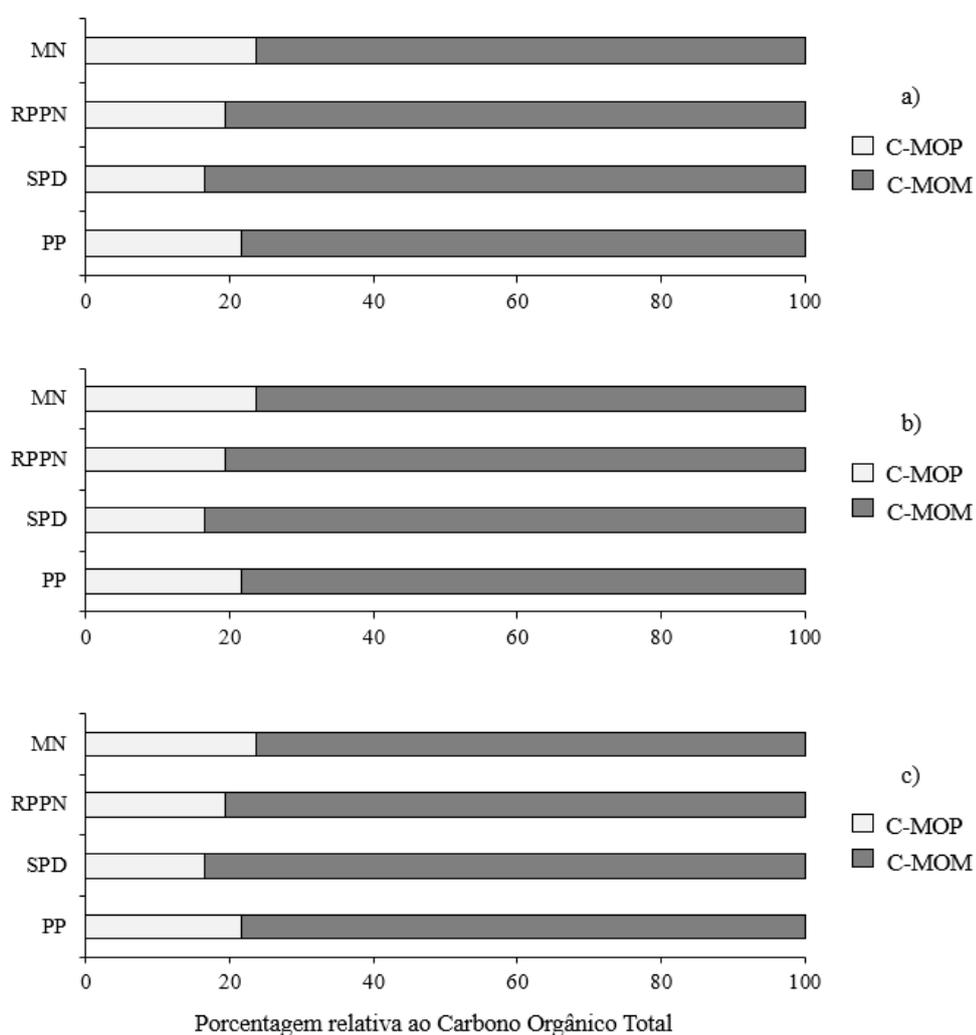


Figura 15. Porcentagem de carbono orgânico particulado (C-MOP) e carbono orgânico mineral (C-MOM) em relação ao carbono orgânico total nas camadas de 0,00-0,05 m (a), 0,05-0,10 m (b) e 0,10-0,20 m (c) nas diferentes áreas estudadas no distrito de Porto Morumbi, município de Eldorado, Mato Grosso do Sul. PP: pastagem permanente, SPD: sistema plantio direto, RPPN: reserva particular do patrimônio natural e MN: mata nativa.

A maior representatividade da fração mineral da MOS (MOM), foi observada na área de SPD, chegando a 83,89% na camada de 0,10-0,20 m, sendo superior à área de MN. Esse percentual corrobora com os teores de C-MOP observados neste sistema (Tabela 2), e infere que o não revolvimento e a cobertura do solo, mesmo em um sistema de sucessão soja/milho possibilitou certo grau de estabilização do C de maneira bastante eficiente. Essa evidência também é relatada por Mitton et al. (2017). Destaca-se ainda que a maior representatividade de MOM observada neste estudo, deve-se aos fatores climáticos que ocorrem na região, favorecendo, assim, o processo de humificação da MOS, com a transformação do C lábil em recalcitrante com maior velocidade.

4.5 Variação do estoque das frações físicas da matéria orgânica do solo

Houve variação negativa de ΔEstMOP em todas as camadas e na seção de 0,00-0,20 m das áreas manejadas, com variações negativas decrescentes com o aumento da profundidade, sendo que as áreas de PP e RPPN apresentaram variações negativas mais pronunciadas, especialmente nas camadas mais superficiais (Figura 16). Isto ocorre em função destas áreas se encontrarem consideravelmente degradadas, reforçando a necessidade da adoção, em ambas as áreas, de práticas de recuperação para promover maior estocagem de C total, e assim, com consequentes maiores EstMOP em curto período de tempo.

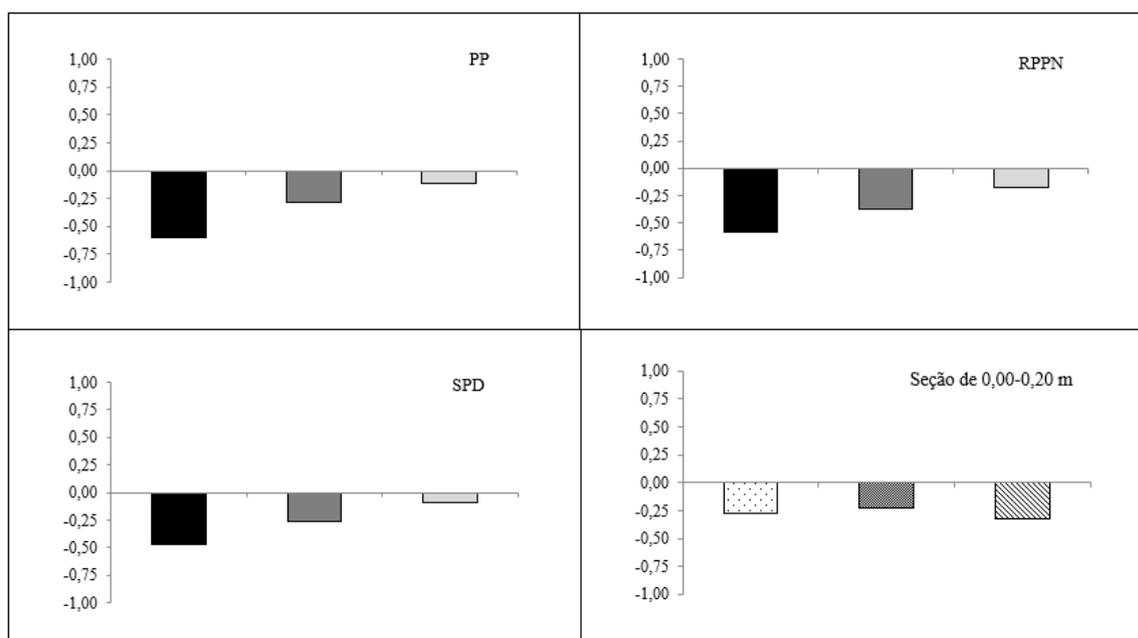


Figura 16. Variação do estoque de C-MOP (ΔEstMOP) nos diferentes sistemas de manejo nas camadas de 0,00-0,05 m (■), 0,05-0,10 m (▒), 0,10-0,20 m (░) no distrito de Porto Morumbi, município de Eldorado, Mato Grosso do Sul. PP: pastagem permanente, SPD: sistema plantio direto, RPPN: reserva particular do patrimônio natural e MN: mata nativa.

Observou-se que dentre os sistemas manejados, somente a área de SPD, na camada de 0,10-0,20 m, apresentou ΔEstMOM positiva em relação à área de MN (Figura 17). Este resultado ocorre em virtude de melhoria na estocagem de carbono desta fração (Tabela 2) e, além disso, confirma que em áreas de MN existe grande estratificação de C, conforme apresentado no IE (Figura 14). Porém, em todas áreas manejadas para a seção de 0,00-0,20 m, houve variação negativa, sendo mais pronunciada nas áreas de PP e RPPN. Cabe destacar que as variações dos estoques de C no solo associam-se ao bioma, clima, profundidade, tipo de solo e, principalmente, ao uso e às práticas de manejo realizadas, as quais implicam na manutenção da qualidade do solo e na estabilidade do clima (PARRON et al., 2015).

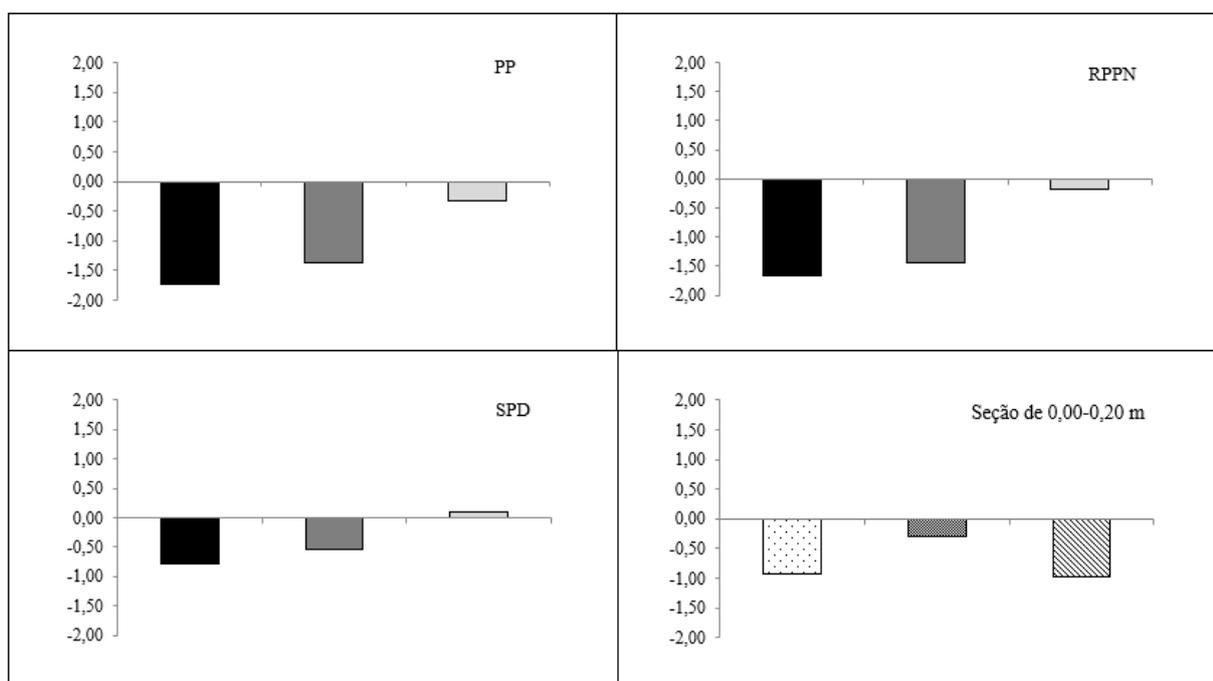


Figura 17. Variação do estoque de C-MOM (ΔEstMOM) nos diferentes sistemas de manejo nas camadas de 0,00-0,05 m (■), 0,05-0,10 m (■), 0,10-0,20 m (■) no distrito de Porto Morumbi, município de Eldorado, Mato Grosso do Sul. PP: pastagem permanente, SPD: sistema plantio direto, RPPN: reserva particular do patrimônio natural e MN: mata nativa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área com sistema plantio direto conduzida por 10 anos elevou a densidade do solo em relação a condição original de vegetação nativa.

A área de mata nativa foi a que apresentou maiores teores de carbono orgânico total e das frações físico-granulométricas da matéria orgânica do solo em relação as manejadas.

Dentre as áreas manejadas, a área de sistema plantio direto destacou-se com maiores teores de carbono orgânico total, frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica e os

melhores índices de manejo de carbono, demonstrando que o sistema mesmo em sucessão contribui para melhoria da fração orgânica do solo nos aspectos quantitativos e qualitativos ao longo do tempo de adoção.

Houve predomínio da fração recalcitrante da matéria orgânica, inferindo que os sistemas de manejo propiciam menor aporte de carbono lábil do solo.

As áreas cultivadas com pastagem permanente e a Reserva Particular do Patrimônio Natural mostram-se ineficazes na manutenção da qualidade edáfica, com menores teores, estoques e variações de estoques negativas nas camadas mais superficiais tanto na fração lábil, como na fração recalcitrante da matéria orgânica do solo, evidenciando a necessidade de adoção de práticas de recuperação nestas duas áreas.

REFERÊNCIAS

ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; OLIVEIRA, J. M.; WRUCK, F. J.; MADARI, B. E.; HEINEMANN A. B. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Agrarian**, v. 12, n. 43, p. 57-70, 2019.

ASSUNÇÃO, S. A.; PEREIRA, M. G.; ROSSET, J. S.; BERBARA, R. L. L.; GARCÍA, A. C. Carbon input and the structural quality of soil organic matter as a function of agricultural management in a tropical climate region of Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 658, p. 901-911, 2019.

BALIN, N. M.; ZIECH, A. R. D.; OLIVEIRA, J. P. M.; GIRARDELLO, V. C.; STUMPF, L.; CONCEIÇÃO, P. C. Frações da matéria orgânica, índice de manejo do carbono e atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso. **Revista Scientia Agraria**, v. 18, n. 3, p. 85-94, 2017.

BATISTA, I.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J. A.; ROWSM J. R. C. Teores e estoque de carbono em frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica do solo sob integração lavoura-pecuária no bioma Cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 3377-3388, 2013.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.

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.

BENBI, D. K.; BRAR, K.; TOOR, A. S.; SINGH, P. Total and labile pools of soil organic carbon in cultivated and undisturbed soils in northern India. **Geoderma**, v. 237-238, n. 1, p. 149-158, 2015.

BEZERRA, R. P. M.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Formas de carbono em latossolo sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no cerrado, Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p.2637-2654, 2013.

BIELUCZYK, W.; PICCOLO, M. C.; PEREIRA, M. G.; MORAES, M. T.; SOLTANGHEISI, A.; BERNARDI, C. C. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; OLIVEIRA, P. P. A.; MOREIRA, M. Z.; CAMARGO, P. B.; DIAS, C. T. S.; BATISTA, I.; CHERUBIN, M. R. Integrated farming systems influence soil organic matter dynamics in southeastern Brazil. **Geoderma**, v. 371, 114368, 2020.

BLAIR, G. J.; LEFROY, B.; LISLE, L. Soil carbon fractions, based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, n. 7, p. 1459-1466, 1995.

BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CONCEIÇÃO, P. C.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; SANTOS, H. P.; DENARDIN, J. E.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, v. 16, n. 2, p. 784-795, 2010.

BONGIORNO, G.; BÜNEMANN, E. K.; OGUEJIOFOR, C. U.; MEIER, J.; GORT, G.; COMANS, R.; MÄDER, P. BRUSSAARD, L.; GOEDE, R. Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. **Ecological Indicators**, v. 99, p. 38-50, 2019.

BRIEDIS, C.; SÁ, J. C. M.; LAL, R.; TIVET, F.; FRANCHINI, J. C.; FERREIRA, A. O.; HARTMAN, D. C.; SCHIMIGUEL, R.; BRESSANG, P. T.; INAGAKI, T. M.; ROMANIW, J.; GONÇALVES, D. R. P. How does no-till deliver carbon stabilization and saturation in highly weathered soils? **Catena**, v. 163, n. 4, p. 13-23, 2018.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992.

CARMO, F. F.; FIGUEIREDO, C. C.; 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.

CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; GODINHO, V. P. CERRI, C. C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. **Soil & Tillage Research**, v. 103, n. 2, p. 342-349, 2009.

CLAESSEN, M. E.C. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997, 212 p.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 777-788, 2005.

CONCEIÇÃO, P. C.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; CARVALHO DOS SANTOS, D. Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 794-800, 2014.

CONCEIÇÃO, P. C.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. **Soil & Tillage Research**, v. 129, p. 40-47, 2013.

ENSINAS, S. C.; SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; SILVA, E. F.; PRADO, E. A. F.; LOURENTE, E. R. P.; ALTOMAR, P. H.; POTRICH, D. C.; MARTINEZ, M. A.; CONRAD, V. A.; JESUS, M. V.; EL KADRI, T. C. Cover crops affect on soil organic matter fractions under no till system. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 4, p. 503-512, 2016.

FALCÃO, K. S.; MONTEIRO, F. N.; OZÓRIO, J. M. B.; SOUZA, C. B. S.; FARIAS, P. G. S.; MENEZES, R. S.; PANACHUKI, E.; ROSSET, J. S. Estoque de carbono e agregação do solo sob diferentes sistemas de uso no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 55, n. 2, p. 242-255, 2020.

FARIA, E.; ROSSET, J. S.; BISPO, L. S.; SANTOS, T. M. D.; MARRA, L. M.; CASTILHO, S. C. P. Frações físicas da matéria orgânica do solo e índices de manejo de carbono em diferentes sistemas de manejo. *In*: ENEPEX, 9., 2017, Naviraí. **Anais [...]**. Naviraí: UEMS, 2017.

FERREIRA, C. R.; GUEDES, J. N.; ROSSET, J. S.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G. Diversity of the edaphic macrofauna in areas managed under no-tillage for different periods. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, p. 599-610, 2019a.

FERREIRA, C. R.; SILVA NETO, E. C.; PEREIRA, M. G.; GUEDES, J. N.; ROSSET, J. S.; ANJOS, L. H. C. Dynamics of soil aggregation and organic carbon fractions over 23 years of no-till management. **Soil & Tillage Research**, v. 198, p. 1-9, 2020.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portuguese)**. R package version 1.2.0. 2018. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>>. Acesso em: 15 abr. 2020.

FERREIRA, G. A.; ALVES, S. J.; OLIVEIRA, P. S. R.; COSTA, A. C. T.; NOLLA, A. Carbono orgânico e nitrogênio do solo sob alturas de pastejo da *Urochloa ruziziensis* em sistema agropastoril. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 3, p. 352-362, 2019b.

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; CASAGRANDE, J. C.; SILVA, L. S.; CAMPOS, M. C. C. Estoque de carbono de latossolos em sistemas de manejo natural e alterado. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 228-239, 2018.

GREGORICH, E. G.; BEARE, M. H.; MCKIM, U. F.; SKJEMSTAD, J. O. Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 3, p. 975-985, 2006.

GUIMARÃES, D. V.; SILVA, M. L. N.; BEINIACH, A.; BISPO, D. F. A.; CONTINS, J. G. P.; CURI, N. Relationship between soil organic matter fractions and cover plants in Olive post

planing. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 6, e-027, 2018.

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2019. **APA das Ilhas e Várzeas do Rio Paraná**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/mata-atlantica/unidades-de-conservacao-mata-atlantica/2176-apa-ilhas-e-varzeas-do-rio-parana>. Acesso em: 17 ago. 2020.

KUNDE, R. J.; LIMA, C. L. R.; SILVA, S. D. A.; PILLON, C. N. Frações físicas da matéria orgânica em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1520-1528, 2016.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. P.; OLIVEIRA, R. A.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1212-1224, 2015.

MAFRA, M. S. H.; CASSOL, P. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; GROSKOPF, M. A.; ANDRADE, A. P.; RAUBER, L. P.; FRIEDERICHS, A. Organic carbon contents and stocks in particle size fractions of a typic hapludox fertilized with pig slurry and soluble fertilizer. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1161-1171, 2015.

MARQUES, J. D. O.; LUIZÃO, F. J.; TEIXEIRA, W. G.; SARRAZIN, M.; FERREIRA, S. J. F.; BELDINI, T. P.; MARQUES, E. M. A. Distribution of organic carbon in different soil fractions in ecosystems of central Amazonia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 232-242, 2015.

MASCARENHAS, A. R. P.; SCCOTI, M. S. V.; MELO, R. R.; CORRÊA, F. L. O.; SOUZA, E. F. M.; ANDRADE, R. A.; BERGAMIN, A. C.; MULLER, M. W. Atributos físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Occidental. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 89, p. 19-27, 2017.

MELO, G. B.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; GUARESCHI, R. F.; SOARES, P. F. C. Estoques e frações da matéria orgânica do solo sob os sistemas plantio direto e convencional de repolho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1511-1519, 2016.

MITTON, R. V.; COBOS, J. Y. G.; BARBOSA, L. R.; BORGIO, J. D. Fracionamento físico da matéria orgânica de um latossolo vermelho distrófico típico pelo método de sonicação. **Scientia Agrária**, v. 18, n. 2, p. 22-29, 2017.

NANZER, M. C.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; BARRETA, P. G. V.; OLIVEIRA, T. P.; SILVA, J. R. M.; PAULINO, L. A. Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 136-145, 2019.

ORTIGARA, C.; KOPPE, E.; LUZ, F. B.; BERTOLLO, A. M.; KAISER, D. R.; SILVA, V. R. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, n. 38, p. 619-626, 2014.

OZÓRIO, J. M. B.; ROSSET, J. S.; SCHIAVO, J. A.; PANACHUKI, E.; SOUZA, C. B. S.;

MENEZES, R. S.; XIMENES, T. S., CASTILHO, S. C. P.; MARRA, L. M. Estoque de carbono e agregação do solo sob fragmentos florestais nos biomas Mata Atlântica e Cerrado. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 53, p. 97-116, 2019.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. DE; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015, 372 p.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633-1644, 2007.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2019. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 15 abr. 2020.

REGO, C. A. R. M. **Contribuições do sistema de integração lavoura-pecuária sobre os atributos químicos, frações da matéria orgânica e índice de manejo de carbono em latossolo vermelho**. 2019. 68 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus Marechal Cândido Rondon, 2019.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, 2008.

REIS, V. R. R.; DEON, D. S.; MUNIZ, L. C.; SILVA, M. B.; REGO, C. A. R. M.; GARCIA, U. C.; CANTANHÊDE, I. S. L.; COSTA, J. B. Carbon stocks and soil organic matter quality under different of land uses in the Maranhense Amazon. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 5, p. 329-337, 2018.

ROMANIW, J.; SÁ, J. C. M.; PADILHA, A. A.; RAMOS, F. S.; EURICH, G.; BRESSAN, P. T. Carbon dynamics in no-till soil due to the use of industrial organic waste and mineral fertilizer. **Ciência Agrônômica**, v. 46, n. 3, p. 477-487, 2015.

ROSSETI, K. V.; TEIXEIRA, D. D. B.; REIS, I. M. S.; CENTURION, J. F. Agregação de um Latossolo em função de diferentes ciclos de cultivo de cana-de-açúcar sob colheita mecanizada. **Revista Agro@mbiente**, v. 8, n. 1, p. 10-17, 2014.

ROSSET, J. S.; LANA, M. C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M.; SEIDEL, E. P. Estoque de carbono, propriedades químicas e físicas do solo em sistemas de manejo com diferentes tempos de implantação na Região Oeste do Paraná, Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 6, p. 3053-3072, 2014a.

ROSSET, J.S.; SCHIAVO, J.A.; ATANÁZIO, R.A.R. Atributos químicos, estoque de carbono orgânico total e das frações humificadas da matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de manejo de cana-de-açúcar. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 5, p. 2351-2366, 2014b.

ROSSET, J. S.; LANA, M. C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M. Frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de

manejo, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1529-1538, 2016.

ROSSET, J. S.; LANA, M. C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M. Organic matter and soil aggregation in agricultural systems with different adoption times. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 6, p. 3443-3460, 2019.

SANTOS, C. A.; REZENDE, C. D. P.; PINHEIRO, É. F. M.; PEREIRA, J. M.; ALVES, B. J.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Changes in soil carbon stocks after land-use change from native vegetation to pastures in the Atlantic forest region of Brazil. **Geoderma**, v. 337, p. 394-401, 2019.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, 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.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B. CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356p.

SANTOS, F. A. S.; PIERANGELI, M. A. P.; SILVA, F. L.; SERAFIM, M. E.; SOUSA, J. B.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica do carbono orgânico de solos sob pastagens em campos de murundus. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 2, p. 43-53, 2017.

SANTOS, O. A. Q.; TAVARES, O. C. H.; GARCÍA, A. C.; ROSSI, C. Q.; MOURA, O. V. T.; PEREIRA, W.; PINTO, L. A. S. R.; BERBARA, R. L. L.; PEREIRA, M. G. Fire lead to disturbance on organic carbon under sugarcane cultivation but is recovered by amendment with vinasse. **Science of the Total Environment**, v. 739, 140063, 2020.

SANTOS, T. M. D.; ROSSET, J. S.; BISPO, L. S.; FARIA, E.; MARRA, L. M.; CASTILHO, S. C. P. Estoque de carbono do solo e evolução de dióxido de carbono em laboratório sob diferentes sistemas de manejo. *In*: ENEPEX, 9., 2017, Naviraí. **Anais [...]**. Naviraí: UEMS, 2017.

SCHIAVO, J. A.; ROSSET, J. S.; PEREIRA, M. G.; SALTON, J. C. Índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1332-1338, 2011.

SEMADE - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico. **Estudo da Dimensão Territorial do Estado de Mato Grosso do Sul: Regiões de Planejamento**. Governo do Estado de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2015. 91p.

SIGNOR, D.; ZANI, C. F.; PALADINI, A. A.; DEON, M. D.; CERRI, C. E. P. Estoques de carbono e qualidade da matéria orgânica do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 5, p. 1402-1410, 2014.

SILVA, V. L. B.; MARTINS, P. F. S. Propriedades físicas do solo e sistema radicular do cafeeiro, variedade conilon, sob diferentes espaçamentos. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 53, n. 1, p. 96-101, 2010.

TESFAHUNEGN, G. B. Soil quality indicators response to land use and soil management systems in northern Ethiopia's catchment. **Land Degradation & Development**, v. 27, n. 2, p. 438-448, 2016.

TROIAN, D.; ROSSET, J. S.; MARTINS, L. F. B. N.; OZÓRIO, J. M. B.; CASTILHO, S. C. P.; MARRA, L. M. 2020. Carbono orgânico e estoque de carbono do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 4, p. 1447-1469, 2020.

UEMS – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. 2019. **1ª RPPN criada pelo Imasul em 2019 tem parceria da UEMS.** Disponível em: <http://www.uems.br/noticias/detalhes/primeira-rppn-criada-este-ano-conta-com-parceria-da-uems-131640>. Acesso em: 17 ago. 2020.

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, p. 1467-1476, 1988.

ZHANG, Q. JIA, X. WEI, X. SHAO, M. LI, T. YU, Q. Total soil organic carbon increases but becomes more labile after afforestation in China's Loess Plateau. **Forest Ecology and Management**, v. 461, p. 117911, 2020.

ZHAO, X.; WU, P.; GAO, X.; PERSAUD, N. Soil quality indicators in relation to land use and topography in a small catchment on the Loess Plateau of China. **Land Degradation & Development**, v. 26, n. 1, p. 54-61, 2015.