

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

**CAMILA BEATRIZ DA SILVA SOUZA**

**CARBONO ORGÂNICO TOTAL E FRAÇÕES QUÍMICAS DA  
MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM DIFERENTES  
SISTEMAS DE MANEJO NO MUNICÍPIO DE AQUIDAUANA,  
MS**

Mundo Novo - MS

Outubro/2019

**CAMILA BEATRIZ DA SILVA SOUZA**

**CARBONO ORGÂNICO TOTAL E FRAÇÕES QUÍMICAS DA  
MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM DIFERENTES  
SISTEMAS DE MANEJO NO MUNICÍPIO DE AQUIDAUANA,  
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

Outubro/2019

**CAMILA BEATRIZ DA SILVA SOUZA**

**CARBONO ORGÂNICO TOTAL E FRAÇÕES QUÍMICAS DA  
MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM DIFERENTES  
SISTEMAS DE MANEJO NO MUNICÍPIO DE AQUIDAUANA,  
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 18 de outubro de 2019

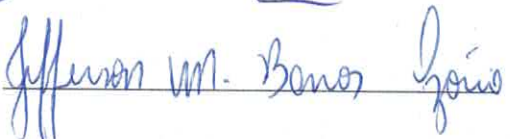
Prof. Dr. Jean Sérgio Rosset - Orientador – UEMS



Prof. Dr. Paulo Ricardo Lima – UEMS



Tec. Amb. Jefferson Matheus Barros Ozório – UEMS



*Dedico este trabalho à minha família e amigos.*

## AGRADECIMENTOS

Nossos sonhos e objetivos só se tornam realidade a partir do momento em que passamos a acreditar e lutarmos todos os dias para conquistá-los. No entanto, no decorrer da nossa jornada, nos deparamos com pessoas que, de alguma forma, nos fazem amadurecer e crescer, ampliando nossos horizontes e nos dando força e apoio para continuar avançando. E é pensando nessas pessoas que comento meus sinceros agradecimentos, pois eu não teria chego até aqui sem vocês presentes em cada momento da minha vida.

Agradeço, da forma mais pura e sincera possível, aos meus pais Alyssan Dayane da Silva e Higor Franci Correa de Souza, que me concederam a vida e me criaram com tanto zelo, carinho e amor, sempre me ensinando a correr atrás dos meus sonhos e me apoiando a cada escolha que eu tomasse, fazendo o possível, e até mesmo o impossível, para que eu sempre tivesse o necessário para ir em busca dos meus objetivos. Agradeço por me ensinarem a disciplina e educação, me concedendo os melhores exemplos dentro de casa. Agradeço pelo apoio, força, amor e compreensão que sempre me transmitiram. Vocês foram, são e sempre serão meu norte, para onde eu sempre voltarei. Tudo o que faço é pensando em vocês.

Agradeço ao meu namorado Paulo Guilherme da Silva Farias, por estar presente em todos os momentos da minha vida, e em todos eles estar disposto a encarar junto comigo os obstáculos que surgem. Agradeço por todo carinho, amor, compreensão e respeito com que me trata, por apoiar e incentivar as minhas ideias ainda inseguras, por levantar minha autoestima e me alegrar nos momentos difíceis. Agradeço por ter você! Agradeço ainda, por além de namorado, ser meu parceiro de pesquisa, me auxiliando em laboratório para realização das análises, pela paciência nos momentos de estresse, e pela dedicação que teve em todo decorrer do projeto. Cabe agradecer, além de você, à sua família também, que sempre deu suporte e se preocupou com o nosso bem-estar.

Gostaria de agradecer de coração aos meus avós Jorgina Correa de Souza e Roberto Elói de Souza, que sempre estavam à disposição a me ajudar, por abrirem as portas de sua casa para me acolherem durante meu ensino médio e também durante o primeiro ano do curso. Obrigada pelo carinho com que me cuidaram, em especial a minha avó, pelas conversas e conselhos que me deu, sempre muito compreensiva e preocupada, eu sou extremamente grata pela sua vida minha vó!

Agradeço também aos meus amigos, tanto aos que ganhei antes quanto aos que fiz durante a faculdade, Érica Biatriz, Marta Rozelin “tia Martinha”, Karina, Tania Mara, Maria Carolina, Douglas, Thiago Willian, Paulo Guilherme, Geissielly, Luiz Gustavo, Aline, Ozielly

Maiane, Lucas, Beatriz, Hellen, Dayane, Luan Soares, João Guilherme, Eliane e também ao shihan Raimundo. Agradeço em especial ao Jefferson Matheus pela parceria e confiança durante nosso projeto de pesquisa. Agradeço também a minha grande amiga Cassiana pela amizade, pela força que me dá, pelos conselhos e conversas que temos. Você é peça fundamental na minha vida, agradeço pelo companheirismo de sempre. De modo geral, agradeço a todos, mesmo aos que não foram citados, pela positividade e torcida, nada disso seria possível sem vocês.

Quero agradecer também aos professores, os quais abriram caminho para que eu chegasse até aqui. Agradeço em especial a professora Dr<sup>a</sup>. Rafaella Caroline Bernardi pela influência positiva que transmitiu durante sua passagem pela universidade, por todo esforço e dedicação conosco. Obrigada pela sua amizade e parceria. Ao professor Me. Wagner Lopes Klein que sempre incentivou e auxiliou o meu crescimento acadêmico e pessoal, agradeço pela sua parceria, confiança, torcida, amizade e pelos conselhos que me deu.

E o meu maior agradecimento vai para meu professor, orientador e também amigo professor Dr. Jean Sérgio Rosset. Com toda certeza, nada disso se tornaria realidade se não fosse por você. Me faltam palavras para agradecer o quanto você fez e ainda faz por mim. Obrigada pela confiança e oportunidade de fazer parte do grupo de pesquisa, pela paciência que teve, pelos ensinamentos e conselhos que me deu, pela preocupação comigo. Obrigada também por acreditar no meu potencial e me forçar ir cada vez além do esperado, fazendo se concretizar os meus sonhos. Quero que saiba que tenho um carinho e respeito enorme por ti, sou imensamente grata por tudo que tem feito por mim e pelo Paulo Guilherme. Obrigada por fazer parte da minha construção acadêmica, profissional e também pessoal.

Cabe agradecer também ao professor Dr. Elói Panachuki pela parceria, concedendo sua área experimental de pesquisa para a realização da coleta das amostras de solo, as quais constituem meu projeto de pesquisa. Agradeço também ao Gabriel, Felipe, Karina, Roni, Rafael e Jefferson, os quais auxiliaram na coleta das amostras de solo. Obrigada a todos pela ajuda, foi de extrema importância.

E por último, mas não menos importante, gostaria de agradecer à Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, em especial a Unidade Universitária de Mundo Novo, pela oportunidade de estar concluindo a graduação em uma universidade pública renomada, de relevância já conhecida no Estado, sendo de extrema importância para nossa região, constituída por profissionais qualificados e comprometidos com a formação de bons profissionais.

O meu mais sincero agradecimento a todos vocês!

*“A força de vontade deve ser mais forte do que a habilidade”*

Muhammad Ali

## RESUMO

O uso do solo em diferentes práticas de manejo gera modificações nos seus aspectos qualitativos, sendo que essas modificações podem ser identificadas através do fracionamento químico da matéria orgânica do solo (MOS). O trabalho teve como objetivo caracterizar quimicamente a MOS em diferentes sistemas de manejo conduzidos ao longo do tempo no município de Aquidauana, MS. Foram coletadas amostras de solos em cinco áreas com diferentes práticas de manejo, além de uma área de mata nativa (MN), sendo avaliadas camadas do solo de 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m, com quatro repetições para cada área e camada, os quais correspondem a solo exposto (SE), sistema de preparo convencional (SPC), sistema plantio direto (SPD), pastagem permanente (PP), cana-de-açúcar (CA) e MN como referência. Após a determinação da densidade do solo (Ds) e do carbono orgânico total (COT), realizou-se o fracionamento químico da MOS, quantificando os teores de carbono (C) das frações humificadas: ácido húmico (AH), ácido fúlvico (AF) e humina, com posteriores cálculos das relações AH/AF e extrato alcalino/humina (EA/HUM), além do índice de estratificação do COT (IE), porcentagem e estoques das frações húmicas da MOS. Não houveram modificações significativas na Ds após seis anos de cultivo. Os tratamentos que apresentaram maiores teores de COT na camada superficial foram o SPD e PP, com 37,37 e 36,38 g kg<sup>-1</sup> respectivamente, sendo semelhantes. Na fração AF o tratamento SE apresentou maior teor de C com 1,28 g kg<sup>-1</sup>, sendo semelhante ao SPC. Já nas frações AH e HUM, em todas as camadas do solo, a área de PP apresentou maiores teores de C, diferenciando-se das demais áreas, chegando a 3,07 e 25,27 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para a camada 0-0,05 m. Em todas as camadas, as áreas de SE e SPC apresentaram os menores valores da relação AH/AF, diferentemente do observado para as demais áreas, chegando a 6,36 no SPD na camada de 0,1-0,2 m. Para todas as camadas do solo, a área de CA apresentou menores valores da relação EA/HUM, ou seja, maior predominância da fração mais recalcitrante de C. Em todas as áreas e camadas avaliadas, a fração HUM apresentou maior representatividade do C, chegando a 87,38% no SPD para camada 0,1-0,2 m. Devido aos maiores teores de C-AF nos tratamentos SE e SPC, os mesmos também apresentaram maiores estoques, bem como variação positiva dos estoques com relação a MN. Já para estoques de carbono de AH e HUM, a área de PP apresentou maior estoque e variação positiva em todas as camadas. Houve predomínio da fração HUM em comparação aos AF e AH, com maiores teores e estoques, além de variação positiva do estoque de C e de todas as frações para as áreas de PP e SPD, demonstrando maior intensidade do processo de humificação nestes sistemas de manejo, com maior estabilidade do C no solo após seis anos de condução do experimento.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade. Qualidade edáfica. Ecótono Cerrado-Pantanal.



## SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b>	10
<b>2. Objetivos</b>	11
2.1. Objetivo geral	11
2.2. Objetivos específicos	11
<b>3. Material e Métodos</b>	11
3.1. Localização, Clima e Solo da Área de Estudo	11
3.2. Sistemas Avaliados e Histórico de uso	12
3.3. Coleta de amostras de solo	15
3.4. Análises realizadas	16
<b>4. Resultados e Discussão</b>	20
4.1. Densidade do solo	20
4.2. Carbono orgânico total e índice de estratificação	21
4.3. Estoque e variação do estoque de carbono orgânico total	23
4.4. Frações químicas da matéria orgânica do solo	25
4.5. Estoque e variação do estoque de carbono das frações químicas da matéria orgânica do solo	29
<b>5. Considerações Finais</b>	32
<b>Referências</b>	33

## 1. INTRODUÇÃO

A adoção de sistemas de manejo que visem à sustentabilidade da agropecuária torna-se cada dia mais essenciais para que se mantenha a qualidade dos sistemas produtivos, com vistas à melhoria da qualidade do solo (QS) e, conseqüentemente, no rendimento das culturas. Todo sistema de produção agrícola tem como componente principal o solo. E o sucesso, ou não, na produção das culturas, está relacionado a boa relação entre planta e solo (SANCHEZ et al., 2014). A QS está relacionada com sua capacidade de funcionar dentro dos limites de um ecossistema, sustentando a produtividade biológica e mantendo a qualidade do ambiente (DORAN; PARKIN, 1994).

Quando se trata de manejo conservacionista, a forma de manejar o ambiente edáfico está diretamente ligada com sua conservação, e que, quando feito de maneira adequada e consciente, possibilita melhor produtividade das culturas comerciais e contribui para a preservação dos recursos naturais. A substituição de sistemas de manejo com intenso revolvimento do solo a exemplo do sistema de preparo convencional (SPC), amplamente adotado no Brasil até início da década de 1990, por sistemas conservacionistas, desde o sistema plantio direto (SPD) e, posteriormente a inserção de sistemas integrados de produção, como a integração lavoura pecuária, gera modificações nos atributos edáficos, que podem ser avaliadas através de indicadores de qualidade ao longo do tempo (DENARDIN et al., 2019).

Dentre os componentes responsáveis pela manutenção da qualidade do solo, têm-se a matéria orgânica do solo (MOS) como um dos principais constituintes responsáveis pela manutenção da sua qualidade, sendo um dos indicadores de QS (FELICIANO et al., 2018). Níveis adequados de MOS aportados pelos sistemas conservacionistas visto as técnicas adequadas de manejo, auxiliam na manutenção da fertilidade e, minimizam os impactos agrícolas sobre o ambiente pelo sequestro de carbono (C) (ÁLVARO-FUENTES et al., 2012). Desta forma, estudos visando a avaliação da modificação na quantidade e qualidade do C em função de diferentes práticas de manejo são fundamentais para o entendimento da dinâmica da MOS. Diante disso, fica evidente a importância e a necessidade de estudos a respeito do fracionamento da MOS nos solos para fornecer subsídios para o melhor manejo agrícola (NANZER et al., 2019).

Existem várias formas de se estudar a dinâmica da MOS, dentre elas, se destacam o fracionamento químico (BENITES et al., 2003; SWIFT, 1996). Quimicamente, a MOS pode ser dividida em dois compartimentos, um composto pela fração não humificada e outro pela fração humificada (substâncias húmicas - SH) (CANELLAS et al., 2003). Essas SH se dividem em humina (HUM), ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF).

A fração HUM é responsável pela agregação das partículas minerais e, na maioria dos solos tropicais, representa grande parte do C humificado. Os AH representam a fração intermediária, entre os compostos orgânicos de maior estabilidade química (HUM), e a ocorrência de ácidos orgânicos oxidados livres na solução do solo (AF). Os AF são compostos de maior solubilidade, sendo os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions no solo, sendo a fração mais instável do processo de humificação (BALDOTTO; BALDOTTO, 2015).

Diante do exposto, em função de diversas práticas de manejo adotadas em diferentes condições de clima e solo em nível de Brasil, se torna importante a caracterização não só da quantidade de C, mas sim da qualidade deste C que está sendo aportado ao solo em função da adoção de diferentes sistemas de manejo. Esse conhecimento é importante para averiguar quais as práticas de manejo desempenham papel na manutenção/melhoria da qualidade da fração orgânica do solo e, conseqüentemente, dos demais atributos edáficos, com vistas ao aumento da capacidade produtiva e sustentabilidade das áreas de cultivo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Caracterizar quimicamente a matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de manejo conduzidos ao longo do tempo no município de Aquidauana, MS.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Determinar a densidade do solo em diferentes sistemas de manejo.

Quantificar os teores, estoques, variação dos estoques e o índice de estratificação do carbono orgânico total do solo em diferentes sistemas de manejo.

Quantificar os teores, estoques e variação dos estoques de carbono das diferentes frações húmicas (ácido fúlvico, húmico e humina) da matéria orgânica do solo.

Relacionar os padrões quantitativos da matéria orgânica lábil e matéria orgânica recalcitrante em função de indicadores de relação das diferentes frações químicas.

## **3. METODOLOGIA**

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

Foram coletadas amostras de solo no mês de agosto de 2018 em diferentes sistemas de manejo, que vem sendo conduzidos em experimento instalado em setembro de 2012, e também em área sob vegetação nativa de Cerrado no município de Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brasil (Figura 1).

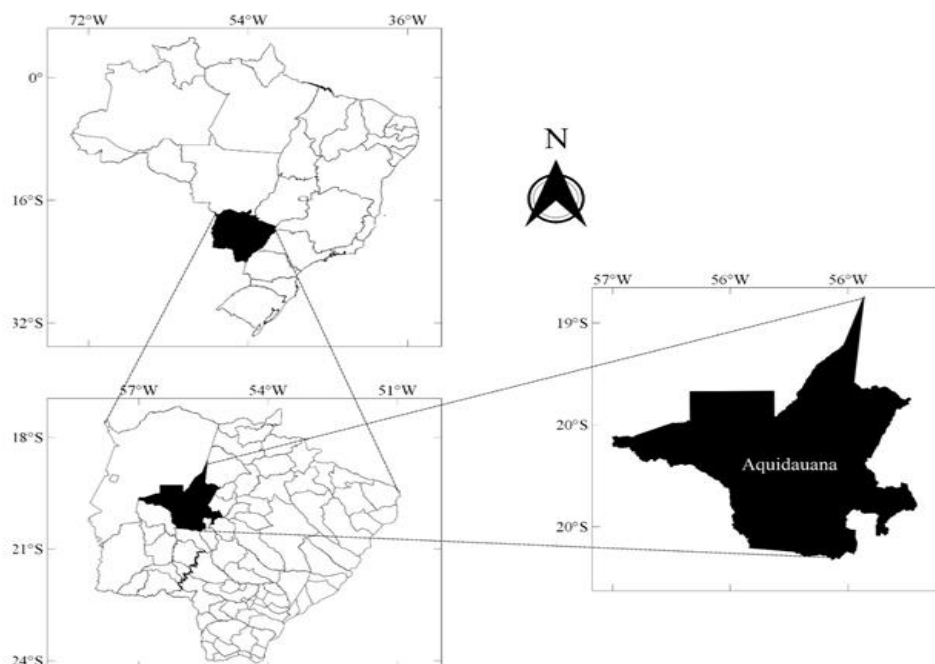


Figura 1. Localização do município de Aquidauana, estado de Mato Grosso do Sul. (Fonte: QGIS, versão 2.18.22 Las Palmas).

A região do estudo está inserida no Ecótono Cerrado-Pantanal, sendo o clima classificado pelo sistema internacional de Köppen (PEEL et al., 2007), como tropical quente sub-úmido, com registros de precipitação média anual de 1.250 mm e temperatura média anual de 26°C. De acordo com Schiavo et al. (2010) baseando-se no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2013), o solo das áreas estudadas é classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico, fisicamente profundo, moderadamente drenado e com textura franco-arenosa. A área experimental é de topografia plana a suavemente ondulada com declividade média de 0,03 m m<sup>-1</sup>.

### 3.2 Sistemas Avaliados e Histórico de uso

Foram avaliadas cinco áreas manejadas e uma área de referência adjacente (Mata Nativa – MN - Vegetação de Cerrado *Stricto sensu* com variações para Cerradão) sem ação antrópica, perfazendo seis sistemas diferenciados. As cinco áreas manejadas compreendem: solo exposto com revolvimento anual no sentido do declive (SE), sistema de preparo convencional com revolvimento anual no sentido do declive (SPC), sistema plantio direto (SPD), pastagem permanente (PP) e cana-de-açúcar (CA), com histórico conhecido de seis (até agosto de 2018 – quando foi efetuada a coleta de solos).

Em período anterior a instalação dos diferentes sistemas de manejo, o solo das parcelas experimentais estava há 20 anos sendo cultivado com a sucessão de pastagens e culturas anuais.

Durante esse tempo, os cultivos eram realizados em SPC, no qual antes da implantação das culturas anuais em alternância com as pastagens, era realizada uma operação de revolvimento do solo com gradagem aradora até a profundidade de 0,2 m e duas operações com gradagens niveladoras até a profundidade de 0,1 m.

Na área onde foi instalado o experimento, foi realizada coleta de solos para caracterização química e granulométrica nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m. Os resultados se encontram na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos físicos e químicos do Argissolo Vermelho distrófico da área experimental no momento anterior à implantação do experimento.

Camada (m)	Areia	Silte	Argila	pH	C	MO	P	Ca	Mg	K	Al	m	V
	-----g kg <sup>-1</sup> -----				-----%-----		mg dm <sup>-3</sup>	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				-----%-----	
0,0-0,2	815	124	61	5,69	0,73	1,26	47,23	2,40	0,54	0,39	0,00	0,00	54,01
0,2-0,4	785	138	77	5,67	0,57	0,98	38,97	2,41	0,37	0,31	0,00	0,00	54,53

Fonte: Nagel (2014). pH: Potencial hidrogeniônico. C: Carbono. MO: Matéria orgânica. P: Fósforo. Ca: Cálcio. Mg: Magnésio. K: Potássio. Al: Alumínio. m: Saturação por Alumínio. V: Saturação por bases.

Em decorrência dos valores de saturação por bases (V%) e de alumínio (m%), não foi necessária à correção do solo com calcário e gesso. Anteriormente à da instalação do experimento onde seriam instaladas as parcelas, foi realizada a descompactação do solo com uma operação de escarificação a 0,3 m de profundidade. Imediatamente após a descompactação, a área foi preparada com uma operação com arado de discos a 0,2 m de profundidade, e duas operações com grade niveladora a 0,1 m no sentido do declive (NAGEL, 2014). Após a caracterização química e física da área, as parcelas experimentais foram instaladas, contendo os cinco tratamentos: SE, SPC, SPD, PP e CA (Figura 2).



Figura 2. Imagem aérea das parcelas experimentais instaladas na UEMS, Unidade Universitária de Aquidauana. Fonte: Google Earth.

A partir da instalação do experimento, as áreas são manejadas de acordo com o apresentado na Tabela 2, e demonstrado em imagens na Figura 3.

Tabela 2. Histórico e descrição dos diferentes sistemas de manejo instalados.

SM	Histórico de manejo
SE	Manejado com duas arações utilizando arado de discos até a profundidade de 0,2 m (Figura 4) e duas gradagens niveladoras a 0,1 m de profundidade no sentido do declive, sem nenhuma espécie vegetal cultivada.
SPC	Manejado com duas arações utilizando arado de discos até a profundidade de 0,2 m (Figura 4) e duas gradagens niveladoras a 0,1 m de profundidade no sentido do declive, com os cultivos alternados de soja, milho, nabo, crotalária e pousio nas safras de verão e inverno.
SPD	Manejado sem revolvimento do solo, com os cultivos alternados de soja, milho, nabo, crotalária, milho e pousio nas safras de verão e inverno.
PP	Manejado continuamente com a espécie <i>Brachiaria ruziziensis</i> sem a prática de pastejo com animais de corte ou leite.
CA	Manejado continuamente com cana-de-açúcar utilizando-se a variedade RB 855536 com cortes anuais, sem a prática da queima antecedendo a colheita.
MN*	Área adjacente às parcelas experimentais com vegetação de Mata Nativa de Cerrado <i>Stricto sensu</i> . Utilizada como referencial da condição original do solo.

SM: sistemas de manejo; SE: solo exposto, SPC: sistema de preparo convencional, SPD: sistema plantio direto, PP: pastagem permanente, CA: cana-de-açúcar e MN\*: mata nativa (área adjacente às parcelas experimentais com distância em linha reta de 400 m).

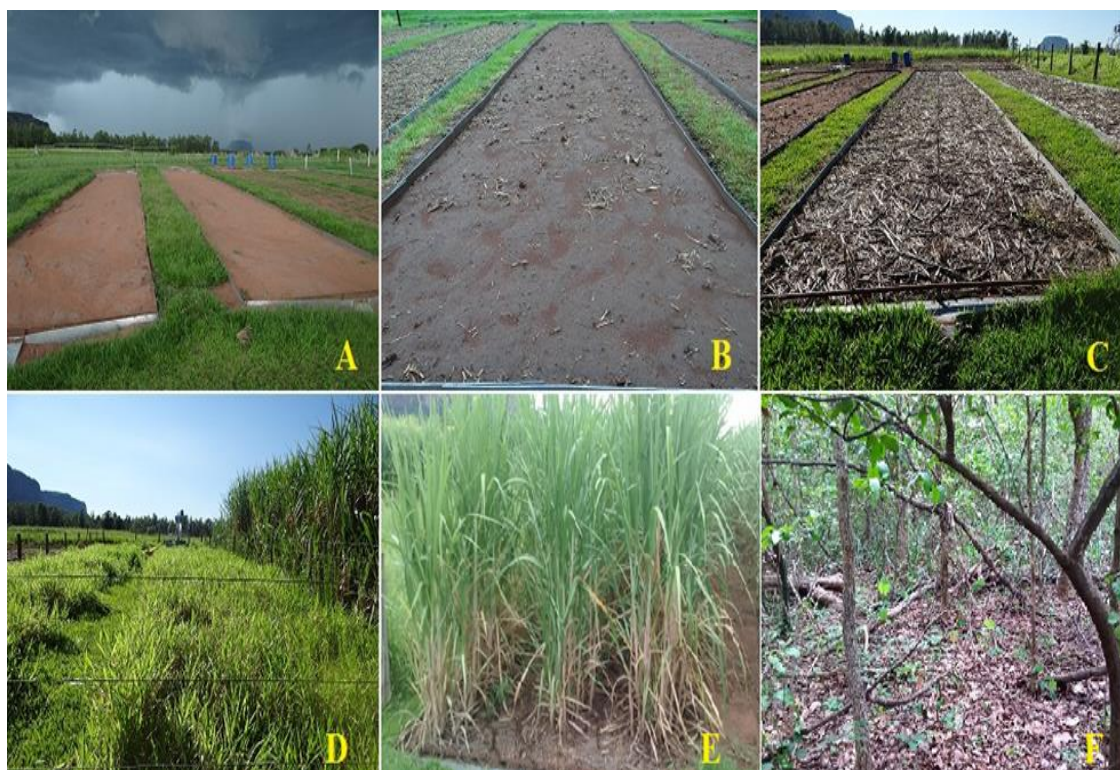


Figura 3. Diferentes sistemas de manejo instalados e área de mata nativa adjacente à área experimental. A: solo exposto (SE), B: sistema de preparo convencional (SPC), C: sistema plantio direto (SPD), D: pastagem permanente (PP), E: cana-de-açúcar (CA) e F: mata nativa (MN).



Figura 4. Prática da gradagem aradora no sentido do declive.

### 3.3 Coleta de amostras de solo

Para a coleta de solo, cada parcela experimental (duas por sistema de manejo) foi dividida em duas, na posição do sentido do declive (Figura 5). Desta forma, foram utilizadas quatro repetições por sistema de manejo. Cada amostra composta foi representada por cinco amostras simples nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m, constituindo assim 72 unidades experimentais (Figura 6). Também foram coletadas amostras indeformadas com auxílio de anel volumétrico com quatro repetições em todas as parcelas/repetições e camadas (Figura 7).



Figura 5. Demonstrativo da divisão das duas parcelas experimentais por tratamento, contemplando assim quatro repetições por sistemas de manejo.



Figura 6. Coleta de amostras deformadas de solo.



Figura 7. Coleta de amostras indeformadas de solo com auxílio do anel volumétrico.

### 3.4 Análises realizadas

A análise de densidade do solo ( $D_s$ ) foi realizada segundo Embrapa (1997), sendo efetuada no Laboratório de Ensino de Química da UEMS de Mundo Novo (Figura 8), na qual as amostras indeformadas foram secas em estufa na temperatura de  $105^{\circ}\text{C}$  por 24 horas, e após pesadas em balança de precisão, sendo a  $D_s$  obtida pela relação massa/volume.



Figura 8. Análise de densidade do solo (detalhe das amostras em processo de secagem no interior da estufa).



As amostras deformadas foram destorroadas e peneiradas em peneira de malha 2 mm, constituindo a Terra Fina Seca ao Ar (Figura 9) para posteriores análises de carbono orgânico total (COT) e fracionamento químico da MOS.



Figura 9. Destorramento e peneiramento das amostras deformadas de solos.

Em seguida utilizou-se uma porção destas amostras, sendo então maceradas em gral e pistilo de porcelana para as análises de COT pelo método da via úmida, através da oxidação do carbono pelo dicromato de potássio sob aquecimento a 170°C por 30 minutos, com posterior titulação com sulfato ferroso amoniacal na presença de Ferroin, segundo metodologia adaptada de Yeomans e Bremner (1988) (Figura 10).



Figura 10. Preparação das amostras para análise de COT.

Para essa análise, uma quantidade de aproximadamente 0,2 g de solo foi pesada, sendo reservadas em tubos eppendorfs. Para determinação do COT, foram preparadas as soluções: dicromato de potássio ( $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ ), sulfato ferroso amoniacal ( $0,20 \text{ mol L}^{-1}$ ) e indicador Ferroin. A titulação do COT foi uma análise que consistiu em transferir as amostras de solos que estavam nos eppendorfs, para erlenmeyers de 125 mL ou 250 mL, sendo adicionado 5 mL

da solução de dicromato de potássio ( $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ ) e em seguida 7,5 mL de ácido sulfúrico concentrado. Após esses procedimentos, foram colocados condensadores na parte superior dos erlenmeyers, transferidos para uma chapa aquecedora já pré-aquecida a  $170^\circ\text{C}$ , deixados na chapa por 30 minutos, sendo esse aquecimento realizado sob capela de exaustão de gases em laboratório (Figura 11).



Figura 11. Procedimentos relativos as análises de COT.

Após o tempo de 30 minutos, foram retirados os erlenmeyers da chapa, aguardando-se 15 minutos para esfriarem, sendo adicionados 60 mL de água destilada, 5 gotas da solução indicadora Ferroin. Após essas etapas, as amostras foram levadas para titulação em bureta de 50 mL com solução de sulfato ferroso amoniacal ( $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ ), tomando-se o cuidado para o ponto de “viragem” passando da cor verde para violeta escuro, sendo anotado o volume de sulfato ferroso amoniacal gasto para posteriores cálculos do COT (Figura 12).



Figura 12. Titulação do COT.

O fracionamento químico da MOS (Figura 13) foi realizado segundo técnica de solubilidade diferencial estabelecida pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (SWIFT, 1996), conforme adaptação de Benites et al. (2003), separando as frações em ácido

fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (HUM), com posterior determinação dos teores de carbono (C) de cada fração mediante oxidação do C por dicromato de potássio em meio sulfúrico sob aquecimento, e titulação por sulfato ferroso amoniacal.

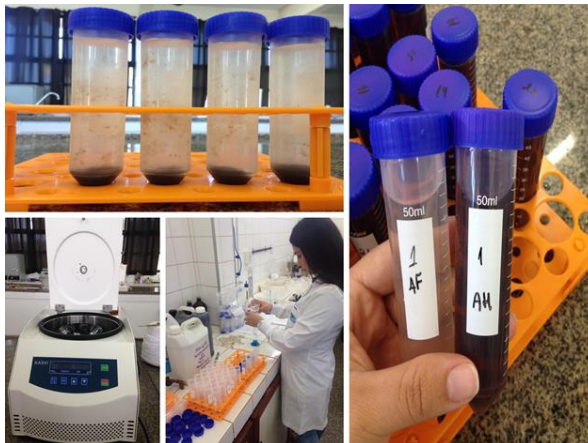


Figura 13. Procedimentos relativos ao fracionamento químico da MOS.

Para tal procedimento, pesou-se massa de solo igual a 1,0 g, submetendo-se ao contato com 20 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> por 24 horas. A separação entre o extrato alcalino (EA = AF + AH) e o resíduo (C-HUM) foi feita por centrifugação a 3000 rpm por 30 minutos. Seguiu-se mais uma lavagem com a mesma solução anterior, juntando-se o extrato com o anteriormente obtido, resultando em volume final de aproximadamente 40 mL. O resíduo foi retirado dos tubos da centrífuga, acondicionados em placa de petri e seco a 50°C (secagem completa). O pH do EA foi ajustado a 1,0 ( $\pm$  0,1) com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20%, seguido de decantação por 18 horas em geladeira. O precipitado (AH) foi separado da fração solúvel (AF) por nova centrifugação a 3000 rpm por 5 minutos, sendo os AF reservados em outro tubo falcon, e o precipitado de AH novamente solubilizado com 45 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>, sendo que ambos os volumes dos tubos de AF e AH foram aferidos a 50 mL, com água destilada.

A quantificação do carbono nas frações C-FAF e C-FAH foi efetuada usando-se alíquotas de 5,0 mL de extrato, 1,0 mL de dicromato de potássio 0,042 mol L<sup>-1</sup> e 5,0 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, em bloco digestor a 150°C por 30 minutos e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L<sup>-1</sup> na presença de ferroin. No resíduo seco em estufa, foi determinado o C-HUM, adicionando-se 5,0 mL de dicromato de potássio 0,1667 mol L<sup>-1</sup> e 10,0 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, em bloco digestor a 150°C por 30 minutos, e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L<sup>-1</sup> com o indicador ferroin.

A partir das análises de C dos AH, AF, extrato alcalino (EA) (EA = AH+AF) e HUM, foram calculadas as seguintes relações: AH/AF e EA/HUM para verificação dos processos de

humificação da MOS, sendo calculada também a proporção relativa de cada fração em relação ao COT.

Além disso, foram calculados os estoques de COT e do C das substâncias húmicas (SH), segundo o método da massa equivalente (ELLERT; BETTANY, 1995; SISTI et al., 2004). Para verificar tendências de acúmulo ou perda de COT e C das frações húmicas para a seção de 0-0,2 m, foi calculada a variação do estoque de C ( $\Delta\text{EstC}$ ) de cada fração em comparação à mata ( $\Delta\text{EstC}$ ,  $\text{Mg ha}^{-1} \text{cm}^{-1}$ ), sendo esse, obtido pela diferença entre os valores médios do estoque de C da fração húmica da referência com cada um dos demais. O valor obtido foi dividido pela espessura (cm) de cada camada.

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

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Densidade do solo

Pode-se observar maiores valores de  $D_s$  para o sistema de manejo de SE em todas as camadas avaliadas, com valores que variam de 1,47 a 1,71  $\text{Mg m}^{-3}$ , diferindo-se da área de PP nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,1 m (1,19 e 1,37  $\text{Mg m}^{-3}$ , repectivamente), e da área de MN na camada de 0,1-0,2 m, 1,42  $\text{Mg m}^{-3}$ . De maneira geral, para os demais sistemas avaliados, não houveram diferenças entre os valores de  $D_s$  (Figura 14). Ou seja, após seis anos de cultivo, não foram observadas modificações significativas na  $D_s$  na maioria das áreas estudadas.

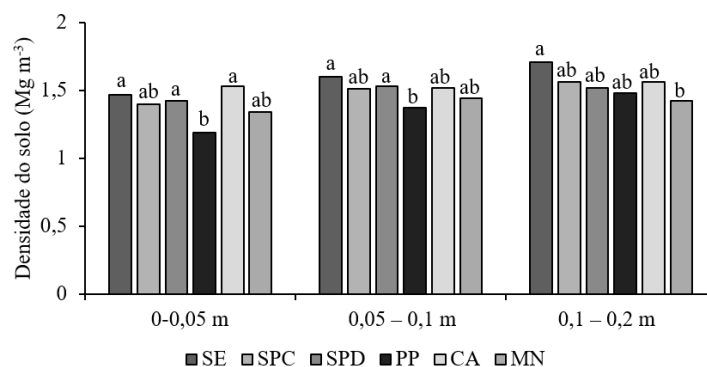


Figura 14. Densidade do solo ( $D_s$ ) em diferentes sistemas de manejo e camadas avaliadas. SE: solo exposto, SPC: sistema de preparo convencional, SPD: sistema plantio direto, PP: pastagem permanente, CA: cana-de-açúcar e MN: mata nativa.

Em todas as áreas avaliadas, os valores de  $D_s$  se encontram abaixo do limite crítico

apresentado para desenvolvimento das plantas, que passam a ter dificuldade de penetração em solos que apresentem densidade acima de  $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$  (REINERT et al., 2008; SALES et al., 2016). Destaca-se também que não houve diferenças na Ds entre as áreas de SPC e SPD após seis anos de condução das áreas.

#### 4.2 Carbono orgânico total e índice de estratificação

Observou-se maiores teores de COT para as áreas de SPD e PP na camada de 0-0,05 m, com  $36,38$  e  $37,37 \text{ g kg}^{-1}$  respectivamente, sendo semelhantes entre si nesta camada, com a área de PP superior ao SPD nas demais camadas (Figura 15). Os maiores teores de COT apresentados nessas áreas, tem relação com a frequente deposição de material vegetal no solo ao longo do tempo, e o desenvolvimento do sistema radicular das diferentes espécies de plantas da rotação de culturas e da gramínea, além da ausência de pastejo e revolvimento do solo (MELO et al., 2016; FREITAS et al., 2018; NANZER et al., 2019; SANTOS et al., 2019).

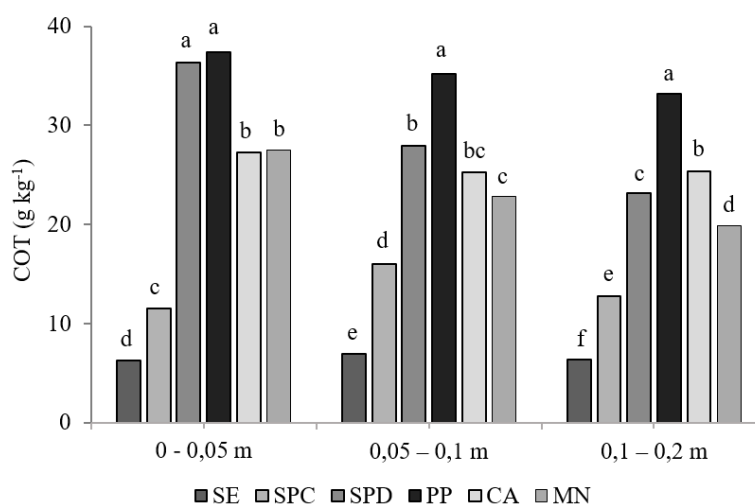


Figura 15. Carbono orgânico total (COT) em diferentes sistemas de manejo e camadas avaliadas. SE: solo exposto, SPC: sistema de preparo convencional, SPD: sistema plantio direto, PP: pastagem permanente, CA: cana-de-açúcar e MN: mata nativa.

Diferentemente do observado para as áreas de SPD e PP, as áreas de SE e SPC apresentaram os menores teores de COT em todas as camadas, variando entre  $6,31 \text{ g kg}^{-1}$  para a área de SE, e  $11,52 \text{ g kg}^{-1}$  para a área de SPC na camada de 0-0,05 m. Porém, cabe destacar maior teor de COT na área de SPC em relação a área de SE em todas as camadas (Figura 15). Esses resultados confirmam o fato de que sistemas de manejo que utilizam o revolvimento periódico do solo, aliado a ausência de cobertura vegetal ou cobertura incipiente do mesmo, são prejudiciais ao sistema edáfico afetando o acúmulo de C no perfil do solo ao longo dos anos de cultivo (CORADO NETO et al. 2015; LIMA et al., 2015; MELO et al., 2016).

Não houve diferença entre as áreas de CA e MN nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,1 m, com teores de COT que variaram de 27,26 e 27,55 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente para a camada de 0-0,05 m. Sendo que a área de CA apresentou teores de COT semelhantes aos encontrados para a área de SPD na camada de 0,05-0,1 m (Figura 15). Esse fato se deve a não utilização de queima da palhada nesta área junto as colheitas anuais, favorecendo o acúmulo de material vegetal no solo (SIGNOR et al., 2014; SIGNOR et al., 2016).

Cabe destacar também a diferença no acúmulo de COT entre as áreas de SPC e SPD com apenas seis anos de cultivo, com teores de 11,52, 16,05 e 12,79 g kg<sup>-1</sup> em SPC e 36,38, 27,99 e 23,13 g kg<sup>-1</sup> em SPD, respectivamente para as camadas de 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m (Figura 15), consequentemente refletindo nos EstC (Figura 17). Em média, para o perfil de 0-0,2 m, a área de SPC apresentou teor de COT de 13,45 g kg<sup>-1</sup>, e a área de SPD de 29,17 g kg<sup>-1</sup>, ou seja, o SPC em seis anos acumulou apenas 46% do COT em relação ao SPD. Isso representa um acúmulo de COT na ordem 2,62 g kg<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para a área de SPD em relação ao SPC, fato este também relatado nos trabalhos de Loss et al. (2017) e Assunção et al. (2019).

De maneira geral, nota-se que em todas as camadas, as áreas que possuem manejo adequado da pastagem, que preservam a palhada sobre o solo, associado ao não revolvimento do solo, apresentaram maiores teores de COT. Esse fato evidencia que sistemas manejados onde se faz uso de práticas conservacionistas, tem maior capacidade de acúmulo de C no perfil do solo, sendo superior inclusive a área sob vegetação nativa de Cerrado para a região estudada.

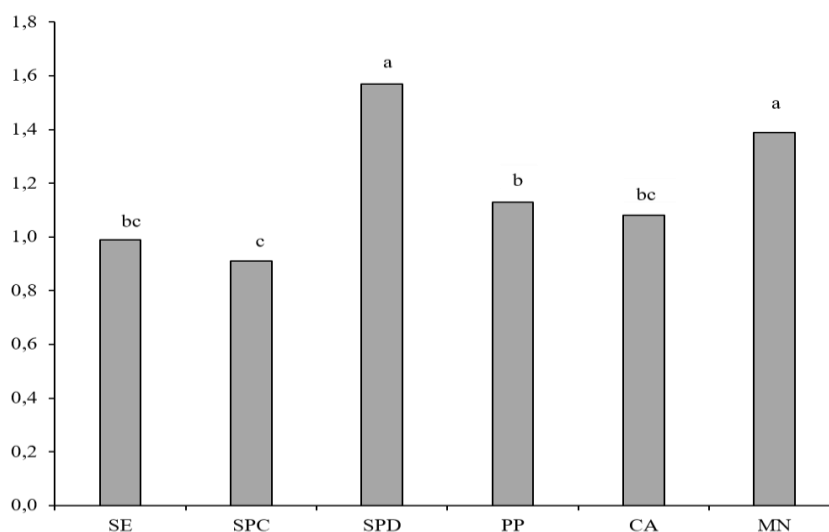


Figura 16. Índice de estratificação (IE) do carbono orgânico total em função dos diferentes sistemas de manejo. SE: solo exposto, SPC: sistema de preparo convencional, SPD: sistema plantio direto, PP: pastagem permanente, CA: cana-de-açúcar e MN: mata nativa.

Os valores do índice de estratificação (IE) do COT variaram entre 0,91 e 1,57 para as

áreas de SPC e SPD respectivamente, sendo que a área de MN apresentou valor semelhante ao encontrado para área de SPD. Os valores elevados de IE encontrados para as áreas de SPD e MN, quando comparados aos demais tratamentos avaliados, demonstraram haver maior acúmulo de C na camada superficial do solo. Uma vez que os tratamentos que apresentaram valores inferiores a um, foram SE e SPC, sendo a área de SE semelhante as áreas de SPC, PP e CA (Figura 16).

Franzluebbbers et al. (2002) em trabalho com SPC e SPD, destacaram que sistemas de manejo que adotam o constante revolvimento do solo apresentaram variação de IE de 1,1 a 1,9. Já em sistemas de manejo mais conservacionistas como o SPD, podem apresentar valores que chegam a 2,1 a 4,1 (SALTON et al., 2014).

#### 4.3 Estoque e variação do estoque de carbono orgânico total

Da mesma forma como para os teores de COT (Figura 15) em função das práticas conservacionistas e manejo da pastagem, os maiores EstC foram observados para a área de PP em todas as camadas avaliadas, com valores variando entre 50,87 Mg ha<sup>-1</sup> na camada de 0,05-0,1 m e 47,32 Mg ha<sup>-1</sup> na camada de 0,1-0,2 m, sendo a área de SPD semelhante a PP somente na camada de 0-0,05 m com estocagem de C de 48,79 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 17). A mesma semelhança entre EstC em camada superficial entre área de PP com 41 anos de condução e SPD com 17 anos de cultivo também foi encontrada por Assunção et al. (2019). Já Guareschi et al. (2013) em estudo avaliando área de PP e SPD em diferentes tempos de implantação no Cerrado sob Latossolo Vermelho Distroférico no Estado de Goiás, observaram maiores EstC em todas as camadas para a área de SPD.

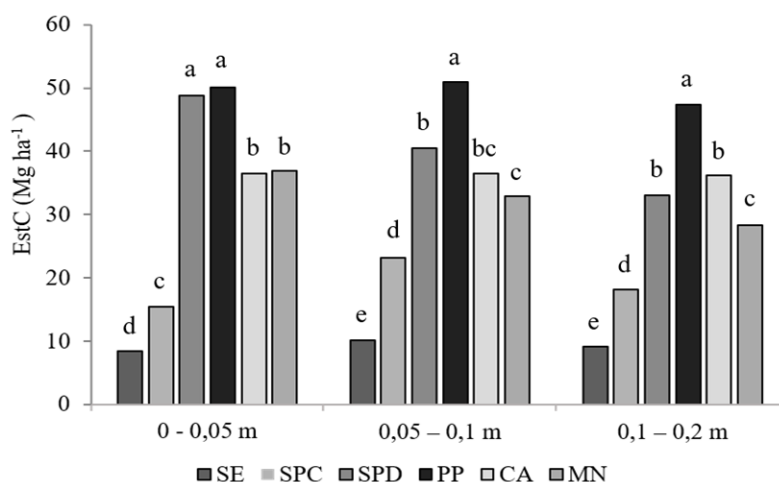


Figura 17. Estoque de carbono orgânico total (EstC) em diferentes sistemas de manejo e camadas avaliadas. SE: solo exposto, SPC: sistema de preparo convencional, SPD: sistema plantio direto, PP: pastagem permanente, CA: cana-de-açúcar e MN: mata nativa.

Em decorrência dos menores teores de COT constatados para as áreas de SE e SPC (Figura 15), os EstC destas áreas também apresentaram os menores valores (Figura 17), o que pode ser atribuído ao aumento da decomposição da MOS estimulada pelo intenso revolvimento do solo e exposição da MOS mantida no interior dos agregados do solo (COSTA et al. 2015). Diversos autores, nas mais diversas regiões, solo e clima demonstraram em seus estudos como o manejo é capaz de interferir nos EstC (ROSSET et al., 2014; CORADO NETO et al. 2015; GAZOLLA et al., 2015; ASSUNÇÃO et al., 2019; NANZER et al., 2019).

Cabe destacar também, o potencial de estocagem de C que o SPD teve em relação ao SPC após seis anos de condução do experimento. A área de SPC apresentou EstC na ordem de 15,44, 23,18 e 18,23 Mg ha<sup>-1</sup>, e o SPD com 48,79, 40,42 e 32,99 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para as camadas de 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m (Figura 17). Considerando o perfil de 0,2 m, as áreas de SPC e SPD estocaram 56,85 e 122,20 Mg ha<sup>-1</sup> de C. Ou seja, a área de SPC estocou 46% do C da área de SPD. Essa diferença representa ainda que a área de SPD estocou 10,89 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de C a mais em relação a área de SPC para o perfil de 0-0,2 m. Fato esse provavelmente decorrente do constante revolvimento do solo adotado pelo SPC, o que acelera o processo de decomposição da MOS presente no interior dos agregados do solo impedindo ainda a estabilização da mesma no solo, diferentemente do SPD (VELOSO et al., 2019). Diversos trabalhos da literatura evidenciam as vantagens da adoção do SPD em relação ao SPC (SALES et al., 2016; BROWN et al., 2018; GONÇALVES et al., 2019; ROSSET et al., 2019).

Na Figura 18, verifica-se que em relação a área de MN, as únicas áreas que apresentaram variação de EstC ( $\Delta$ EstC) negativa foram SE e SPC para todas as camadas avaliadas, reflexo dos baixos teores e estoques de COT encontrados para os mesmos sistemas de manejo (Figuras 15 e 17). Diferentemente do observado nas áreas de SPC, PP e CA, no qual apresentaram  $\Delta$ EstC positivas (Figura 18). Alguns autores da literatura, constataram que a rotação de culturas e, principalmente o acúmulo de matéria seca aportada na superfície do solo, assim como no sistema radicular, proporcionam aumento do EstC, além da capacidade de recuperar os teores de MOS (BODDEY et al., 2010; COSTA et al. 2015; CORADO NETO et al. 2015; FREITAS et al., 2018).

Avaliando-se a seção do perfil do solo de 0-0,2 m, nota-se maior  $\Delta$ EstC negativa para a área de SE quando comparado à área de SPC, que também apresentou  $\Delta$ EstC negativa. Já a área de PP apresentou maior  $\Delta$ EstC positiva, seguida pelas áreas de SPD e CA (Figura 18). Isso é resultado do maior aporte de material vegetal associado a ausência de revolvimento do solo e pastejo nestes sistemas de manejo (GUARESCHI et al., 2012; GAZOLLA et al., 2015; FREITAS et al., 2018).



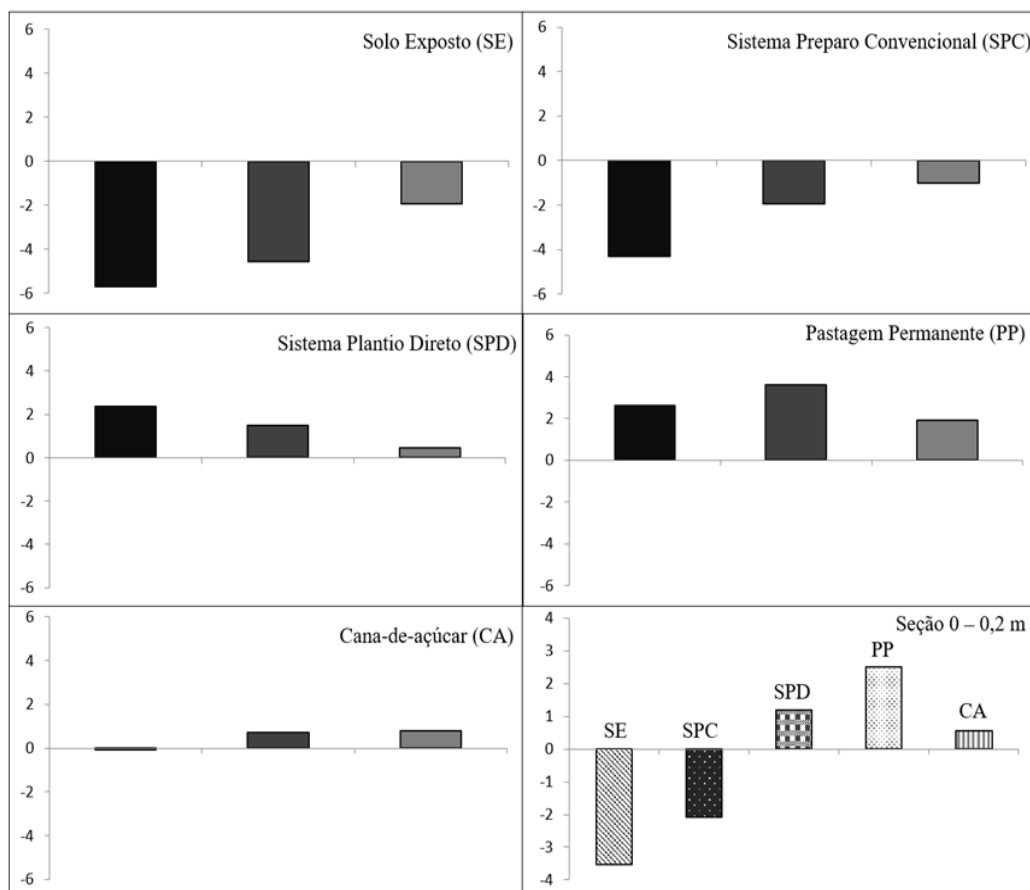


Figura 18. Variação do estoque de COT ( $\Delta\text{EstC}$ ) das áreas manejadas nas camadas de 0-0,05 m (■), 0,05-0,1 m (▣), 0,1-0,2 m (▢) em relação à área de mata nativa (MN).

A maior  $\Delta\text{EstC}$  positiva especificamente na área de PP se deu em consequência do efeito do sistema radicular agressivo e profundo das gramíneas em geral (NANZER et al., 2019), que por serem plantas C4 promovem o crescimento contínuo, quando bem manejadas, e mantém o aporte de C no perfil do solo, especialmente em camadas subsuperficiais, favorecendo a estabilização do C no solo (BARRETO et al., 2008).

#### 4.4 Frações químicas da matéria orgânica do solo

Para a fração de carbono do AF, de modo geral, as áreas que apresentaram maiores teores foram SE e SPC, sendo semelhantes a área de PP nas camadas de 0-0,05 e 0,1-0,2 m, chegando a  $1,33 \text{ g kg}^{-1}$  na camada de 0,05-0,1 m em SPC (Tabela 3). Esse resultado se deve principalmente ao revolvimento anual do solo que essas duas áreas possuem, fato esse que proporciona a não evolução dos estádios de humificação da MOS, fazendo com que os AF demorem um período maior para se estabilizarem nas frações mais recalcitrantes de AH e, principalmente de HUM. Resultados encontrados por Melo et al. (2016) em estudo com SPD, SPC e PP em região de Cerrado, demonstraram haver menores teores de C-AF para as áreas de

PP e SPC comparado ao SPD, divergindo dos encontrados neste trabalho.

A área de PP apresentou maiores teores de C-AH em todas as camadas do solo, com maior teor na camada 0-0,05 m,  $3,07 \text{ g kg}^{-1}$ , diferindo-se das demais áreas avaliadas, inclusive MN. Porém, a área de PP apresentou teores semelhantes aos encontrados para a área de SPD com  $2,37$  e  $2,45 \text{ g kg}^{-1}$  nas camadas 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m, respectivamente. Diferentemente do observado nas áreas de SE e SPC (Tabela 3). Sistemas de manejo que adotam o menor revolvimento do solo preservando os resíduos vegetais aportados em superfície contribuem para o aumento dos teores de AH (LOSS et al., 2010), resultando em frações com maior estabilidade do C no solo (FONTANA et al., 2006).

Para a fração C-HUM, a área de PP apresentou maior teor de C em todas as camadas avaliadas diferindo-se de todas as demais áreas, chegando a  $25,27 \text{ g kg}^{-1}$  na camada de 0-0,05 m. Isso pode ser explicado pelo aporte de material vegetal de maior relação carbono/nitrogênio (C/N) somado a maior atividade microbiana (BEZERRA et al., 2013), pois os resíduos vegetais (palhada e raízes) das gramíneas, apresentam maior conteúdo de lignina promovendo o aumento do conteúdo de ácidos húmicos (PRIMAVESI, 1982) pela baixa intensidade da decomposição dos materiais vegetais (BEZERRA et al., 2013), formando substâncias mais estáveis no solo, como a HUM (FONTANA et al., 2006). Fato comum em áreas onde não se tem revolvimento constante do solo, o que favorece os processos de humificação e estabilização da MOS.

Verifica-se, de modo geral, que sistemas conservacionistas, como o SPD, CA e PP, demonstram presença de frações de maior estabilidade e maior grau de humificação da MOS, diferentemente do encontrado para as áreas de SE e SPC, que ao apresentarem maiores teores de C-AF, evidenciam a estagnação da humificação da MOS na fase de menor estabilidade, impedindo a estabilização do C em frações mais recalcitrantes, como a HUM (Tabela 3). Isso é evidente quando se compara as áreas de SPC e SPD, pois mesmo a área de SPD possuir maiores teores de COT (Figura 15), apresentou menores teores de C-AF em relação a área de SPC, diferentemente do observado para as frações de C-AH e C-HUM (Tabela 3), as quais são frações com processo de humificação mais avançado e de maior estabilidade química e, conseqüentemente tempo de permanência no perfil do solo (FONTANA et al., 2006).

Quanto à relação AH/AF, em que valores superiores a um determinam predominância de AH em relação aos AF, verifica-se valores inferiores à unidade somente para as áreas de SE e SPC, chegando a 0,89 e 0,93, respectivamente na camada de 0-0,05 m, sendo semelhantes entre si em todas as camadas. Para as demais áreas e camadas de solo avaliadas, observou-se valores acima da unidade, com a área de SPD se destacando com maiores valores, variando de 3,56 a 6,36 nas camadas de 0-0,05 e 0,1-0,2 m, respectivamente, sendo semelhante as áreas de

PP, CA e MN apenas na camada de 0-0,05 m (Tabela 3), indicando novamente maior estabilidade do C. Além disso, a maior presença de AH em relação a AF beneficia os atributos químicos do solo, já que o AH é responsável pela maior capacidade de troca catiônica de origem orgânica do solo, especialmente em solos arenosos (BENITES et al., 2003).

Tabela 3. Teores de carbono das frações humificadas das MOS ácido fúlvico (C-AF), ácido húmico (C-AH) e humina (C-HUM), relação ácido húmico e ácido fúlvico (AH/AF) e extrato alcalino/humina (EA/HUM) nos diferentes sistemas de manejo.

Sistema de manejo	C – AF	C – AH	C – HUM	AH/AF	EA/HUM
----- g kg <sup>-1</sup> -----					
0 - 0,05 m					
SE	1,28a	1,14c	3,65d	0,89b	0,66a
SPC	1,25a	1,16c	8,71c	0,93b	0,28b
SPD	0,66b	2,29b	20,18b	3,56a	0,14c
PP	0,94ab	3,07a	25,27a	3,33a	0,16c
CA	0,81b	1,72bc	19,87b	2,18ab	0,13c
MN	0,58b	2,05b	19,38b	3,63a	0,13c
CV%	17,97	15,23	7,94	26,90	20,99
0,05 – 0,1 m					
SE	1,25a	1,33c	3,89e	1,04c	0,67a
SPC	1,33a	1,14c	9,98d	0,87c	0,25b
SPD	0,48b	2,37ab	20,22b	5,63a	0,14b
PP	0,79b	2,79a	24,90a	3,50b	0,14b
CA	0,56b	1,24c	19,43b	2,20bc	0,09b
MN	0,65b	2,09b	16,36c	3,44b	0,17b
CV%	20,82	12,38	6,30	33,93	33,47
0,1 – 0,2 m					
SE	1,13a	1,06c	3,81e	0,95c	0,58a
SPC	1,21a	1,27c	9,03d	1,10bc	0,27b
SPD	0,42c	2,45ab	20,21b	6,36a	0,14c
PP	1,04ab	2,85a	24,53a	2,81bc	0,16c
CA	0,48c	1,39c	19,21b	2,88bc	0,09c
MN	0,67bc	2,17b	15,79c	3,44b	0,18c
CV%	23,65	14,97	3,95	36,03	16,86

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para cada sistema e camada não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%). SE: Solo exposto; SPC: Sistema de preparo convencional; SPD: Sistema plantio direto; PP: Pastagem permanente; CA: Cana-de-açúcar; MN: Mata nativa. CV%: coeficiente de variação.

Os benefícios da adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo em relação a qualidade/estabilidade da fração orgânica, podem ser observados quando se compara a relação AH/AF entre as áreas de SPC e SPD, nas quais os valores desta relação entre essas duas áreas foram discrepantes em todas as camadas, variando de 0,87 a 1,10 em SPC e 3,56 a 6,36 em SPD (Tabela 3). Melo et al. (2016), compararam os sistemas de plantio direto e preparo convencional do solo analisando as frações húmicas, chegando a conclusão de que o SPD

melhora a qualidade edáfica, apresentando valores semelhantes à área de Cerrado nativo, utilizado no trabalho como referência.

Outros dados que comprovam os benefícios dos sistemas conservacionistas no processo de humificação da MOS é a relação EA/HUM, na qual as áreas de SE e SPC apresentaram maiores valores em todas as camadas, chegando a 0,67 para a área de SE na camada de 0,05-0,1 m. Diferentemente do observado nas áreas manejadas com sistemas conservacionistas e MN, onde os valores desta relação foram de no máximo 0,18 (Tabela 3). Rosa et al. (2017) em estudo avaliando alterações nos teores de MO e substâncias húmicas em cultivo com plantas de cobertura em rotação com milho e soja em SPD, constatou valores da relação EA/HUM inferiores a unidade em todos os tratamentos.

Em todas as áreas e camadas, o C da fração HUM teve predominância em relação as demais frações, representando, em média, 67,03, 68,80 e 75,33% do COT, nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,01-0,02 m, respectivamente, atingindo 87,38% na área de SPD na camada mais profunda avaliada (Figura 19). Segundo Martins et al. (2015), isso indica que o sistema de manejo adotado proporciona condições favoráveis para a humificação/estabilização da MOS, pois a fração humina é o último estágio de decomposição da MOS. Cabe destacar também o elevado teor de carbono não humificado (CNH) na área de SPD em camada superficial, chegando a 36,34%, sendo reflexo do aporte contínuo de restos vegetais de composição diversificada devido a rotação de culturas presentes nesta área.

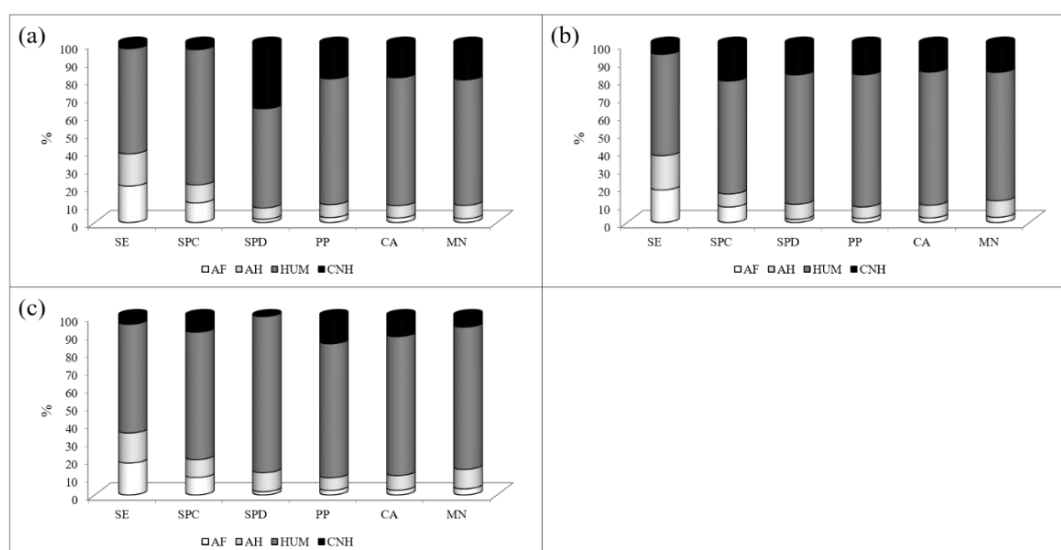


Figura 19. Distribuição, em porcentagem, das frações húmicas do solo, ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH), humina (HUM) e carbono não humificado (CNH) em diferentes sistemas de manejo. (a) 0-0,05 (b) 0,05-0,1 e (c) 0,1-0,2 m. SE: solo exposto, SPC: sistema de preparo convencional, SPD: sistema plantio direto, PP: pastagem permanente, CA: cana-de-açúcar e MN: mata nativa.

#### 4.5 Estoque e variação do estoque de carbono das frações químicas da matéria orgânica do solo

Seguindo os resultados dos teores de C das frações humificadas da MOS (Tabela 3), os maiores EstC-AF foram observados para a área de SPC seguido da área de SE com 1,92 e 1,80 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente na camada de 0,05-0,1 m, padrão esse também observado em todas as camadas avaliadas (Tabela 4). O revolvimento do solo na área de SPC submete o mesmo a exposição a radiação solar, assim como se dá na área de SE, diminuindo a umidade presente no solo. Fernandes et al. (1999) relata que a baixa disponibilidade de água em camadas superficiais restringe o processo de polimerização dessas SH, o que provoca maior acúmulo de C em frações menos estáveis.

Tabela 4. Estoque de C da ácido fúlvico (EstC-AF), ácido húmico (EstCAH) e fração humina (EstCHUM) nos diferentes sistemas de manejo

Sistema de manejo	EstC – AF	EstC – AH	EstC – HUM
-----Mg ha <sup>-1</sup> -----			
0 – 0,05 m			
SE	1,72a	1,53c	4,89d
SPC	1,68a	1,56c	11,68c
SPD	0,89b	3,07b	27,06b
PP	1,26ab	4,12a	33,88a
CA	1,09b	2,30bc	26,65b
MN	0,77b	2,74b	25,99b
CV%	17,86	15,13	7,94
0,05 – 0,1 m			
SE	1,80a	1,92c	5,62e
SPC	1,92a	1,65c	14,41d
SPD	0,70b	3,42ab	29,21b
PP	1,15b	4,03a	35,97a
CA	0,81b	1,80c	28,06b
MN	0,94b	3,01b	23,63c
CV%	20,82	12,30	6,30
0,1 – 0,2 m			
SE	1,61a	1,51c	5,43e
SPC	1,73a	1,82c	12,88d
SPD	0,60c	3,49ab	28,81b
PP	1,48ab	4,06a	34,98a
CA	0,69c	1,99c	27,38b
MN	0,95bc	3,09b	22,51c
CV%	23,80	14,93	3,95

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna para cada sistema e camada não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%). SE: Solo exposto; SPC: Sistema de preparo convencional; SPD: Sistema plantio direto; PP: Pastagem permanente; CA: Cana-de-açúcar; MN: Mata nativa. CV%: coeficiente de variação.

Os maiores EstC-AH foram verificados para a área de PP, com estocagem de C acima de 4,00 Mg ha<sup>-1</sup> em todas as camadas, chegando a 4,12 Mg ha<sup>-1</sup> na camada 0-0,05 m, enquanto que nas demais camadas os resultados encontrados para PP em relação a SPD foram semelhantes (Tabela 4).

Em consequência dos maiores teores de C-HUM na área de PP (Tabela 3), a mesma também apresentou maior EstC-HUM em todas as camadas, chegando a 35,97 Mg ha<sup>-1</sup> na camada de 0,05-0,1 m (Tabela 4). Esse resultado corrobora com vários trabalhos da literatura que também verificaram maior estocagem de C da fração HUM em relação as demais frações, especialmente em sistemas com maior grau de conservação do solo (BEZERRA et al., 2013; GAZOLLA et al., 2015; ROSSET et al., 2016).

Quando se avalia a  $\Delta$ EstC das frações humificadas da MOS (Figuras 20, 21 e 22), deve-se levar em consideração que os teores de C (Tabela 3) e estoques (Tabela 4) encontrados para cada fração húmica, influenciam na variação das mesmas. Desta forma, observa-se na Figura 20 a  $\Delta$ EstC da fração AF em comparação a MN, a qual apresentou variação positiva em todas as camadas somente para as áreas de SE, SPC e PP, o que está intimamente relacionado com o processo de polimerização/humificação da MOS. Avaliando-se a seção de 0-0,2 m, observa-se maior  $\Delta$ EstC-AF positiva para a área de SPC seguida da área de SE, uma vez que as áreas que apresentaram  $\Delta$ EstC-AF negativas foram somente SPD e CA.

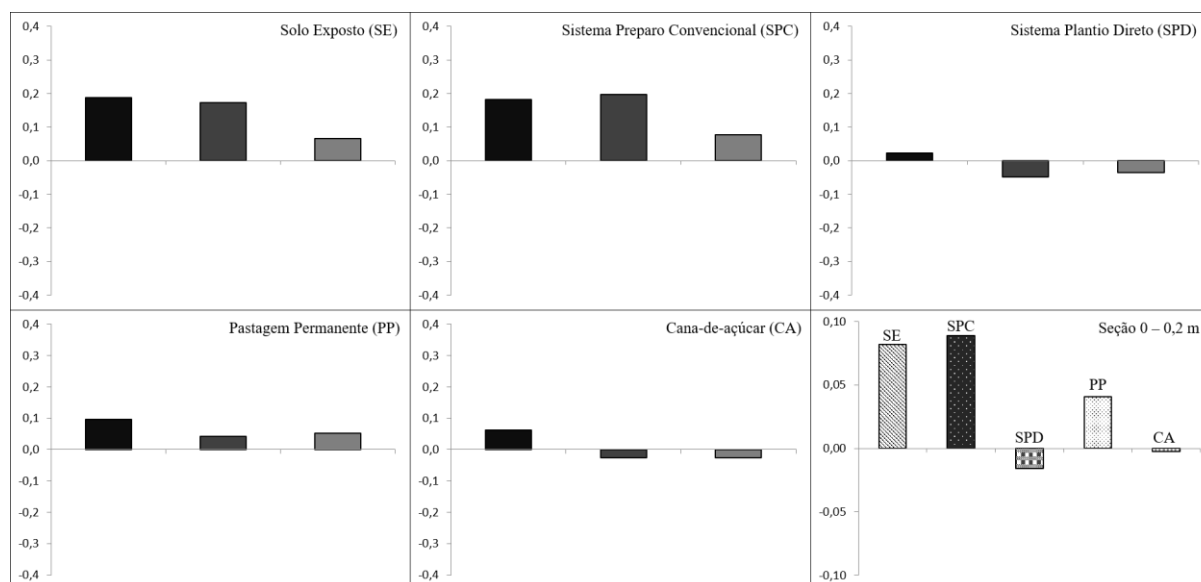


Figura 20. Variação do estoque de C da fração humificada ácido fúlvico ( $\Delta$ EstC-AF) da matéria orgânica do solo das áreas manejadas nas camadas de 0-0,05 m (■), 0,05-0,1 m (▒), 0,1-0,2 m (░) em relação à área de mata nativa.

Comparado à MN, a área que apresentou maior  $\Delta$ EstC-AH positiva (Figura 21) foi a

de PP, com tendência de diminuição da estocagem de C em função do aumento da profundidade, pois em sistemas onde não se aplica a incorporação dos materiais vegetais ao solo, há o aumento da atividade biológica nas camadas superficiais refletindo em maior representatividade de C mais humificado, contribuindo para o aumento dos teores de C-AH no solo (LOSS et al., 2010).

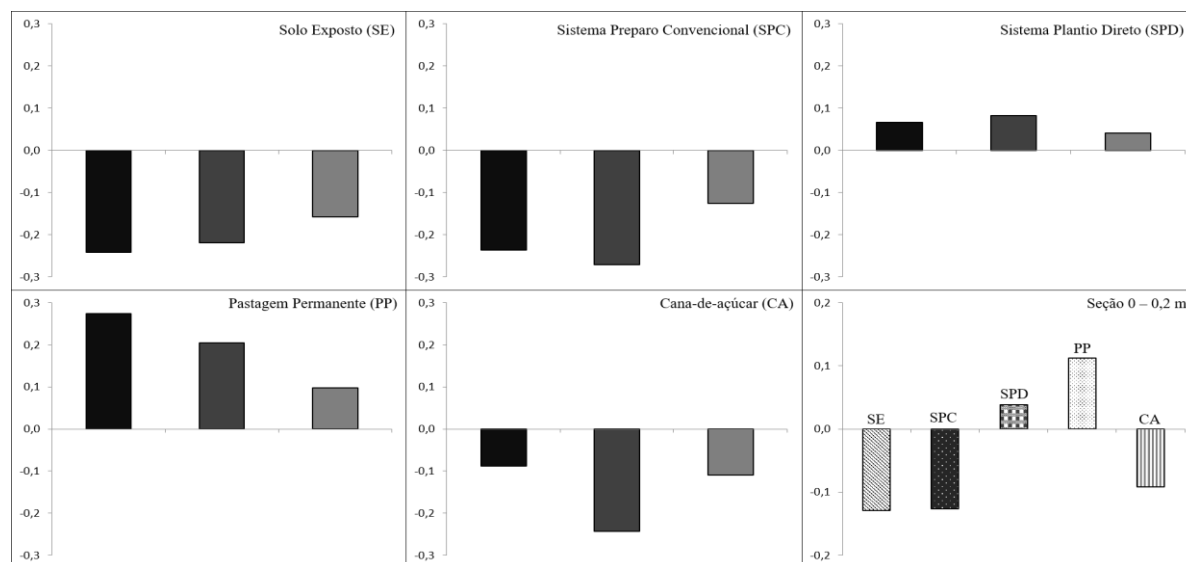


Figura 21. Variação do estoque de C da fração humificada ácido húmico ( $\Delta\text{EstC-AH}$ ) da matéria orgânica do solo das áreas manejadas nas profundidades de 0-0,05 m (■), 0,05-0,1 m (■), 0,1-0,2 m (■) em relação à área de mata nativa.

Para as demais áreas avaliadas, com exceção da área de SPD que também apresentou  $\Delta\text{EstC-AH}$  positiva, todas apresentaram variação de estoque de C-AH negativas. Quando avalia-se o perfil de 0-0,2 m, observa-se  $\Delta\text{EstC-AH}$  negativa para as áreas de SE, SPC e CA, diferentemente das áreas de SPD e PP, com maior variação positiva na área de PP.

Para a  $\Delta\text{EstC-HUM}$  (Figura 22), observa-se variação negativa mais acentuada para a área de SE em todas as camadas do solo, decrescendo em função do aumento da profundidade, assim como a área de SPC. As áreas de SPD, PP e CA, apresentaram  $\Delta\text{EstC-HUM}$  positiva em todas as camadas, tendo destaque para a área de PP, que demonstrou maior variação positiva para a camada 0,05-0,1 m, comparado às demais áreas.

Avaliando-se a seção do solo de 0-0,2 m, nota-se  $\Delta\text{EstC-HUM}$  negativa apenas para as áreas de SE e SPC, sendo maior para a área de SE. A área de PP, por sua vez, apresentou a maior  $\Delta\text{EstC-HUM}$  positiva, seguida da área de SPD e CA. Rosset et al. (2016) avaliando áreas em cronosequência de SPD, milho+braquiária e pastagem, observaram variação positiva de C-HUM, apenas para a área de pastagem, tendo em vista que também verificaram aumento do

estoque desta fração em função do tempo de implantação do SPD, com 6, 14 e 22 anos de adoção, respectivamente.

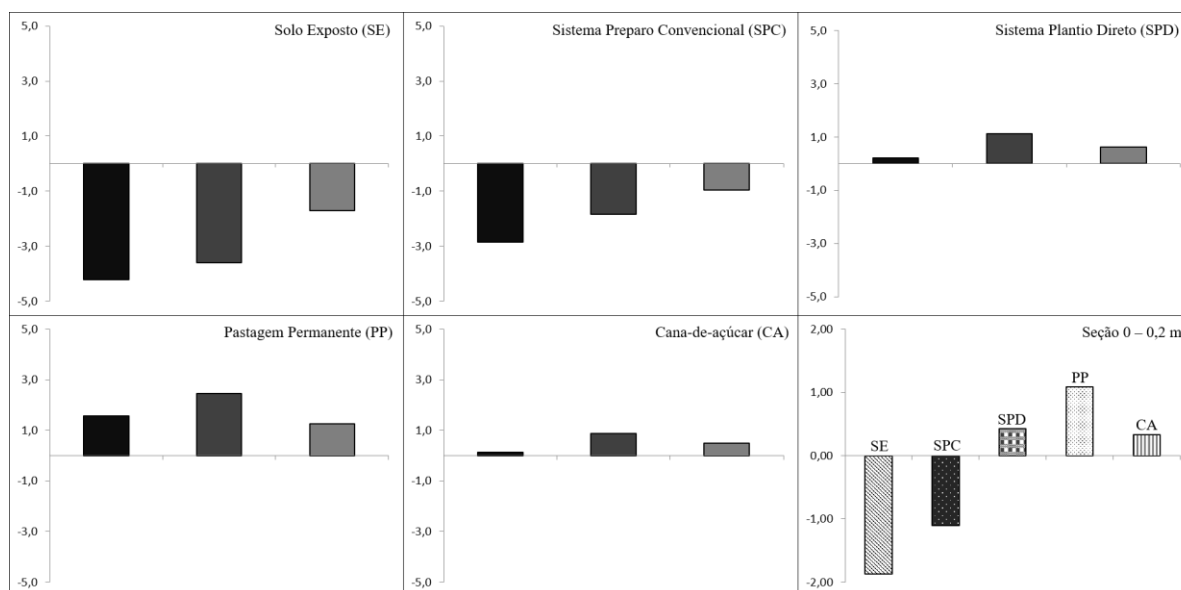


Figura 22. Variação do estoque de C da fração humificada humina ( $\Delta\text{EstC-HUM}$ ) da matéria orgânica do solo das áreas manejadas nas camadas de 0-0,05 m (■), 0,05-0,1 m (▒), 0,1-0,2 m (░) em relação à área de mata nativa.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após seis anos de cultivo, os valores de densidade do solo não apresentaram modificações acentuadas entre as áreas manejadas.

Os teores e estoques de carbono orgânico total foram maiores nas áreas de pastagem permanente e sistema plantio direto, além de variação do estoque de carbono positiva em todas as camadas do solo para pastagem permanente.

Houve predomínio da fração humina em relação as frações de ácido fúlvico e ácido húmico, sendo que a área de pastagem permanente apresentou os maiores teores e estoques de carbono desta fração em todas as camadas, bem como maior variação positiva em relação a área de mata nativa, demonstrando presença de frações de maior estabilidade e maior grau de humificação da MOS.

As áreas de solo exposto e sistema de preparo convencional, ambas com revolvimento anual do solo, apresentaram menor estabilização do carbono, sendo representado por maiores teores e estoques de ácido fúlvico, menor relação AH/AF e maior relação EA/HUM.

As áreas de sistema plantio direto e pastagem permanente demonstraram maior capacidade de estabilização do carbono das frações mais recalcitrantes da matéria orgânica do solo.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVARO-FUENTES, J.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K. Climate change effects on organic carbon storage in agricultural soils of northeastern Spain. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 155, n. 15, p. 87-94, 2012.

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.

BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. **Ceres**, n. 61, v. 7, p. 856-881, 2015.

BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G. S.; NACIF, P. G. S.; QUINTINO, R. A.; FREIRE, F. J.; INÁCIO, E. S. B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1471-1478, 2008.

BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2003. 7p. (Embrapa Solos. Comunicado técnico, 16).

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.

BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CONCEICÃO, 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.

BROWN, V.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; MAFRA, A. L.; LUZEKA, L. M. Efeitos no solo e nas culturas após vinte anos de cultivo convencional e semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 13, n. 1, p. 1-7, 2018.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 935-944, 2003.

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

CORADO NETO, F. C. C.; SAMPAIO, F. M. T.; VELOSO, M. E. C.; MATIAS, S. S. R.; ANDRADE, F. R.; LOBATO, M. G. R. Variabilidade espacial dos agregados e carbono orgânico total em Neossolo Litólico Eutrófico no município de Gilbués, PI. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 1, p. 75-83, 2015.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J.

P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015.

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

DENARDIN, L. G. D. O.; CARMONA, F. D. C.; VELOSO, M. G.; MARTINS, A. P.; DE FREITAS, T. F. S.; CARLOS, F. S.; MARCOLIN, E.; CAMARGO, F. A. O. ANGHINONI, I. No-tillage increases irrigated rice yield through soil quality improvement along time. **Soil & Tillage Research**, v. 186, p. 64-69, 2019.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, p. 3-21, 1994.

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, p. 529-538, 1995.

FELICIANO, C. A.; LOPES, A. W. P.; SILVA, M. C.; COSTA, M. B. B.; FERRANTE, V. L. S. B. Qualidade do solo em sistemas de manejo convencional e orgânico na propriedade da agricultura familiar. **Revista Interdisciplinar de Tecnologias e Educação**, v. 4, n. 1, p. 1-22, 2018.

FERNANDES, F. A.; CERRI, A. C.; FERNANDES, A. H. B. M. Alterações na matéria orgânica de um podzol hidromórfico pelo uso com pastagens cultivadas no pantanal mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 10, p. 1943-1951, 1999.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 5, p. 847-853, 2006.

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.

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.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; DESUÓ, I. C. Atributos químicos e físicos de solo cultivado com cana-de-açúcar próximo a fragmento florestal nativo. **Holos Environment**, v. 11, n. 2, p. 137-147, 2011.

GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 693-704, 2015.

GONÇALVES, V. A.; MELO, C. A. D.; ASSIS, I. R.; FERREIRA, L. R.; SARAIVA, D. T. Biomassa e atividade microbiana de solo sob diferentes sistemas de plantio e sucessões de culturas. **Revistas de Ciências Agrárias**, v. 62, p 1-8, 2019.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n. 3, p. 1-10, 2012.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Frações da matéria orgânica em áreas de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do estado de Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 2615-2628, 2013.

LIMA, M. A.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. et al. **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**. 3. edição revisada, Brasília: Embrapa, 2015. 343p.

LOSS, A.; MORAES, A. G. L.; PEREIRA, M. G.; SILVA, E. M. R.; ANJOS, L. H. C. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Comunicata Scientiae**, v. 1, p. 57-64, 2010.

LOSS, A.; SANTOS JUNIOR, E.; SCHMITZ, D.; VEIGA, M.; KURTZ, C.; COMIN, J. J. Atributos físicos do solo em cultivo de cebola sob sistemas de plantio direto e preparo Convencional. **Revista Colombiana de Ciências Hortícolas**, v. 11, n. 1, p. 105-113, 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.

NAGEL, P. L. **Erosão hídrica em Argissolo do Ecótono Cerrado-Pantanal cultivado sobre preparo convencional**. 2014. 39 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, 2014.

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.

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.

PRIMAVESI, A. **O manejo ecológico do solo**. 4. ed. São Paulo: Nobel, 1982. 541 p.

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.

ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; MAULI, M. M.; LIMA, G. P.; PACHECO, F. P. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 2, p. 221-230, 2017.

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.; PEREIRA, M. G.; ASSUNÇÃO, S. A.; GARCIA, A. C. qualidade do solo em diferentes sistemas. **A granja**, v. 75, p. 61-63, 2019.

ROSSET, J. S.; SCHIAVO, J. A.; ATANÁZIO, R. A. R. Atributos químicos, estoques 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, 2014.

SALES, R. P.; PORTUGAL A. F.; MOREIRA, J. A. A.; KONDO, M. K.; PEGORARO, R. F. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 47, n. 3, p. 429-438, 2016.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, J. A.; CONCENCO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 70-79, 2014.

SANCHEZ, E.; MAGGI, M. F.; GENÚ, A. M.; MÜLLER, M. M. L. Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno. **Magistra**, v. 26, n. 3, p. 266-275, 2014.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

SCHIAVO, J. A.; PEREIRA, M. G.; MIRANDA, L. P. M.; DIAS NETO, A. H.; FONTANA, A. Caracterização e classificação de solos desenvolvidos de arenitos da formação Aquidauana-MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 881-889, 2010.

SIGNOR, D.; CZYCZA, R. V.; MILORI, D. M. B. P.; CUNHA, T. J. F.; CERRI, C. E. P. Atributos químicos e qualidade da matéria orgânica do solo em sistemas de colheita de cana-de-açúcar com e sem queima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1438-1448, 2016.

SIGNOR, D.; ZANI, C. F.; PALADINI, A. A.; DEON, M. D.; CERRI, C. E. P. Estoque 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. 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.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (eds) **Methods of soil analysis**, Madison: Soil Science Society American, 1996. cap. 35, p.1011-1020.

VELOSO, M. G.; CECAGNO, D.; BAYER, C. Legume cover crops under no-tillage favor

Organomineral association in microaggregates and soil C accumulation. **Soil and Tillage Research**, v. 190, p. 139-146, 2019.

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.