

ESTOQUE DE CARBONO E AGREGAÇÃO DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO NO CERRADO

CARBON STOCK AND SOIL AGGREGATION UNDER DIFFERENT USE SYSTEMS IN THE CERRADO

Karina dos Santos Falcão 

Engenheira Florestal, Doutoranda em Agronomia, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS) – Aquidauana (MS), Brasil.

Felipe das Neves Monteiro 

Engenheiro Florestal, Doutorando em Agronomia, UEMS – Aquidauana (MS), Brasil.

Jefferson Matheus

Barros Ozório 

Tecnólogo em Gestão Ambiental, Doutorando em Recursos Naturais, UEMS – Dourados (MS), Brasil.

Camila Beatriz

da Silva Souza 

Tecnóloga em Gestão Ambiental, Mestranda em Agronomia, UEMS – Aquidauana (MS), Brasil.

Paulo Guilherme

da Silva Farias 

Tecnólogo em Gestão Ambiental, Mestrando em Agronomia, UEMS – Aquidauana (MS), Brasil.

Roniedison da

Silva Menezes 

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agronomia, UEMS – Aquidauana (MS), Brasil.

Elói Panachuki 

Professor Associado, UEMS – Aquidauana (MS), Brasil.

Jean Sérgio Rosset 

Professor Adjunto IV, UEMS – Mundo Novo (MS), Brasil.

Endereço para correspondência:

Karina dos Santos Falcão – Rua Porto Geral, 1.025 – Centro – CEP: 79210-000 – Anastácio (MS), Brasil – E-mail: falcao_karina@hotmail.com

Recebido em: 31/01/2020

Aceito em: 23/3/2020

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar o estoque de carbono e a agregação do solo em diferentes sistemas de manejo no município de Aquidauana (MS). Foram coletadas amostras de solo na camada 0,0–0,1 m em seis áreas: solo exposto (SE), sistema de preparo convencional (PC), sistema plantio direto (PD), cana-de-açúcar (CA), pastagem permanente (PP) e mata nativa (MN). Das amostras, determinou-se: carbono orgânico total (COT), densidade do solo (Ds), sendo calculados o estoque de carbono (EstC) e a variação no estoque de carbono (Δ EstC), além da análise de estabilidade de agregados. Obteve-se: diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e porcentagem de agregados retidos nas peneiras. Os resultados foram analisados em delineamento inteiramente casualizado (DIC) e análise canônica. Os maiores valores de Ds foram observados nos sistemas SE 1,53 Mg m⁻³, PC 1,46 Mg m⁻³, PD 1,47 Mg m⁻³ e CA 1,46 Mg m⁻³. Os teores de COT das áreas de PP e PD foram superiores ao da MN. O EstC apresentou o mesmo padrão de COT. As áreas de PP e PD exibiram valores de DMP e DMG semelhante a MN. As áreas de PP, PD e MN tiveram mais de 60% dos seus agregados maiores que 2 mm. A análise canônica indicou a formação de três grupos, um com SE e PC, outro apenas com CA e o terceiro composto de PD, PP e MN. O SE e o PC comprometem o estoque de carbono e a agregação do solo na camada 0–10 cm, já a PP e o PD aumentaram o estoque de carbono nessa mesma camada.

Palavras-chave: avaliação ambiental; estrutura do solo; qualidade do solo.

ABSTRACT

The objective of the work was to evaluate the carbon stock and soil aggregation in different management systems in the municipality of Aquidauana-MS. Soil samples were collected in the 0.0–0.1 m layer, in six areas: exposed soil (ES), conventional brewing system (CB), no-till system (NT), sugar cane (SC), permanent pasture (PP), and native forest (NF). From the samples, the: total organic carbon (TOC) was determined, density of the soil (Sd), being calculated the carbon stock (EstC), and the variation in the carbon stock (Δ EstC), in addition to the aggregate stability analysis, obtaining: weighted average diameter (WAD), geometric mean diameter (GMD), and percentage of aggregates retained in the sieves. The results were analyzed in completely randomized design (CRD), in addition to canonical analysis. The highest Sd values were observed in the ES 1.53 Mg m⁻³, CB 1.46 Mg m⁻³, NT 1.47 Mg m⁻³, and SC 1.46 Mg m⁻³ systems. The TOC levels in the PP and NT areas were higher than the NF. EstC has the same TOC pattern. As the areas of PP and NT presented values of WAD, GMD similar to NF. As PP, NT and NF areas had more than 60% of their aggregates larger than 2mm. A canonical analysis indicated the formation of 3 groups, one with ES and CB, another with only SC, and the third composed of NT, PP, and NF. The ES committed the CB to the carbon stock and soil aggregation in layer 0–10, whereas PP and NT increased the carbon stock in that same layer.

Keywords: environmental assessment; soil structure; soil quality.

INTRODUÇÃO

A produção agrícola vem apresentando nas últimas décadas crescente interesse nos efeitos do manejo do solo e nos estoques de carbono (EstC) oriundos da matéria orgânica do solo (MOS) (LAL, 2018), sobretudo por que o aumento do armazenamento de carbono (C) em solos agrícolas pode contribuir para minimizar as mudanças climáticas, bem como melhorar os sistemas de produção (KOVEN *et al.*, 2017; OLIVEIRA; FERREIRA, 2015).

O preparo intensivo do solo em determinados sistemas de cultivo, como o sistema de preparo convencional (PC), leva à redução na concentração de C no solo (ASSUNÇÃO *et al.*, 2019; MUÑOZ-ROJAS *et al.*, 2015), que ocorre principalmente nos primeiros 10 anos após a conversão de florestas e pastagens nativas em terras agricultáveis (LUO; WANG; SUN, 2010). Estudos recentes sugerem que a agricultura conservacionista, como o sistema plantio direto (PD), pode ajudar a manter ou mesmo a aumentar as concentrações de C no solo (ALAVAISHA; MANZONI; LINDBORG, 2019; NIJMEIJER *et al.*, 2019).

O PD preconiza a manutenção dos resíduos culturais na superfície com o não revolvimento do solo, proporcionando decomposição gradual e acúmulo de material orgânico no horizonte superficial do solo (LAL, 2018; SALTON *et al.*, 2008). As melhorias que o PD provoca são claramente perceptíveis na segunda fase, dita como fase de transição, após 10 anos de adoção do PD (ANGHINONI, 2007).

Outros sistemas como as pastagens, quando bem manejadas, são destaques em acúmulos de C e estruturação do solo, principalmente em camadas subsuperficiais, pela ação de suas raízes que, ao se decomporem, adicionam quantidades significativas de MOS (SALTON *et al.*, 2008; SANTOS *et al.*, 2019).

Esses sistemas de produção promovem modificações na qualidade do solo (QS), que pode ser entendida como a

capacidade do solo em sustentar os serviços ecossistêmicos, tendo um equilíbrio na qualidade física, química e biológica, bem como na relação entre o ecossistema e o ambiente (DORAN; PARKIN, 1994). Entre esses indicadores de QS, o C total e as análises estruturais destacam-se pela maior sensibilidade em detectar modificações no solo (MUÑOZ-ROJAS *et al.*, 2015).

A estrutura do solo é indicador-chave de sua qualidade, mas também serve como balizadora da sustentabilidade dos sistemas agrícolas de produção por apontar os efeitos dos sistemas agrícolas no solo dada sua relação com as demais propriedades edáficas (VELOSO; CECAGNO; BAYER, 2019; MELO *et al.*, 2019; SARKER *et al.*, 2018). O entendimento do processo da formação estrutural do solo envolve a compreensão da interação dos aspectos biológicos, químicos, geológicos e físicos no contexto do ambiente edáfico. A estabilidade dos agregados pode ser compreendida como um reflexo da estrutura do solo por ser dependente do equilíbrio integrado desses fatores (VELOSO; CECAGNO; BAYER, 2019; MELO *et al.*, 2019; OZÓRIO *et al.*, 2019).

O bioma cerrado é uma região que sofre constantemente com o avanço das extensões agropecuárias, principalmente pelas características do solo, que favorece a mecanização (GUARESCHI; PEREIRA; PERIN, 2016; SANO *et al.*, 2010). As regiões consideradas ecótonos são muito importantes pelas diferentes interações ecológicas e pela biodiversidade presente nessas áreas (MORGAN *et al.*, 2020).

Estudos de QS em áreas de interesse ecológico e ambiental são de extrema importância, sobretudo para gerar informações estratégicas para monitoramento e conservação. Ante esse contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o estoque de carbono e a agregação do solo em diferentes sistemas de manejo na região do ecótono cerrado-pantanal.

MATERIAIS E MÉTODOS

Localização, clima, solo e histórico das áreas de estudo

O presente estudo foi desenvolvido na fazenda experimental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, situada no município de Aquidauana (MS) (Figura 1), entre as coordenadas 20°27'20"S e 55°40'17"W, com altitude de 191 m. De acordo com Schiavo *et al.* (2010),

o solo da área experimental é classificado como argissolo vermelho distrófico típico de textura franco arenosa. A classe textural e a análise química da camada 0–0,20 m, do período de instalação do experimento, são apresentadas na Tabela 1. O clima é do tipo Aw (tropical úmido),

segundo a classificação de Köppen (PEEL *et al.*, 2007), e caracteriza-se por precipitação pluviométrica média anual de 1.400 mm com temperaturas do ar máximas e mínimas de 33 e 19°C, respectivamente. A declividade média da área experimental é de 0,03 mm⁻¹.

O trabalho foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, considerando cinco áreas manejadas e uma área de referência adjacente (mata nativa — MN — vegetação de cerrado *stricto sensu*) sem ação antrópica, perfazendo seis sistemas diferenciados (Tabela 2). As cinco áreas manejadas compreendem: solo exposto com revolvimento anual (SE), sistema de PC com revolvimento anual, sistema PD, pastagem permanente (PP) e cana-de-açúcar (CA), sendo esses sistemas implantados

Análises realizadas

Para determinação da densidade do solo (Ds) (CLAESSEN, 1997), amostras indeformadas foram coletadas com auxílio de anel volumétrico com volume de 100 cm³, com quatro repetições para cada sistema de manejo na camada 0–0,10 m.

no ano de 2012, ou seja, com histórico conhecido de seis anos (coleta de solos realizada no ano de 2018) (Tabela 2).

Em período anterior à 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 todo esse período, os cultivos eram realizados no sistema de PC, 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. Após esse período, foram instaladas 10 parcelas experimentais, sendo 2 para cada sistema de manejo, com dimensões de 3,50 × 22,15 m, totalizando 77,52 m² cada parcela, instalada na posição a favor do declive.

Para as análises de carbono orgânico total (COT), realizou-se coleta de amostra deformada também de quatro repetições por sistema de manejo, em que cada amostra composta foi representada por cinco amostras simples. Determinou-se o COT por meio da oxidação da matéria

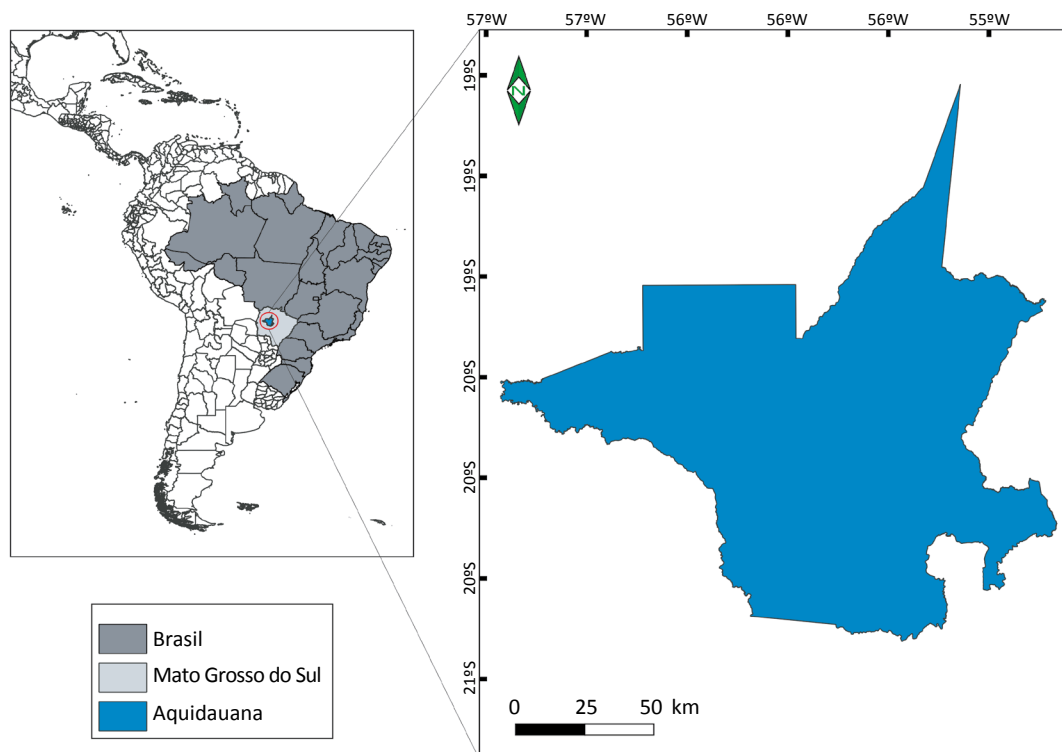


Figura 1 – Localização do município de Aquidauana (MS), Brasil.

orgânica pelo dicromato de potássio, em meio sulfúrico sob aquecimento, e titulado com sulfato ferroso amoniacal (YEOMANS; BREMNER, 1988). O EstC foi calculado pelo método da massa equivalente (REIS *et al.*, 2018; SIGNOR *et al.*, 2014). Para verificação de tendência de acúmulo ou perda de carbono nos sistemas de manejos, calculou-se a variação do estoque de carbono (Δ EstC) de cada sistema em relação à área de MN.

Na avaliação da estabilidade de agregados, coletaram-se amostras indeformadas de monólitos com dimensões de 0,20 x 0,20 x 0,10 m com quatro repetições por sistema de manejo, sendo realizada análise em duplicata, o que totalizou oito repeti-

ções por sistema. As amostras foram submetidas ao peneiramento em água pelo método descrito por Kemper e Chepil (1965), em agitador mecânico tipo Yoder (YODER, 1936) em jogo de peneiras com malhas de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,125 mm. Após o peneiramento em água, por meio da massa obtida em cada classe de peneira, calculou-se o diâmetro médio ponderado (DMP) (KIEHL, 1979), o diâmetro médio geométrico (DMG) (KEMPER; ROSENAU, 1986) e a porcentagem de agregados 8–2 mm, 2–1 mm, 1–0,5 mm, 0,5–0,250 mm e 0,250–0,125 mm. Após os cálculos do DMP, determinou-se o índice de sensibilidade (IS) (BOLINDER *et al.*, 1999), relacionando o

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 | V |
|------------|-----------------------------|-------|--------|------|-----------|------|---------------------|---|------|------|-----------|-------|
| | ----g kg ⁻¹ ---- | | | | ----%---- | | mg dm ⁻³ | ----cmol _c dm ⁻³ ---- | | | ----%---- | |
| 0-0,20 | 815 | 124 | 61 | 5,69 | 0,73 | 1,26 | 47,23 | 2,40 | 0,54 | 0,39 | 0,00 | 54,01 |

C: carbono orgânico total; MO: matéria orgânica; P: fósforo; Ca: cálcio; Mg: magnésio; K: potássio; Al: alumínio; V: saturação por bases. Fonte: Nagel (2014).

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 e duas gradagens niveladoras a 0,1 m de profundidade no sentido do declive, sem nenhuma espécie vegetal cultivada. |
| PC | Manejado com duas arações utilizando arado de discos até a profundidade de 0,2 m e duas gradagens niveladoras a 0,1 m de profundidade no sentido do declive, com os cultivos alternados de soja (<i>Glycine max</i> L.), milho (<i>Zea mays</i> L.), nabo forrageiro (<i>Raphanus sativus</i> L.), crotalária (<i>Crotalaria juncea</i>), feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.), milheto (<i>Pennisetum americanum</i> L.) e pousio nas entre safras de verão e inverno. |
| PD | Manejado sem revolvimento do solo, com os cultivos alternados de soja (<i>Glycine max</i> L.), milho (<i>Zea mays</i> L.), nabo forrageiro (<i>Raphanus sativus</i> L.), crotalária (<i>Crotalaria juncea</i>), feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.), milheto (<i>Pennisetum americanum</i> L.) e pousio nas entre safras de verão e inverno. |
| PP | Manejado continuamente com a espécie <i>Brachiaria ruziziensis</i> , sem pastejo de bovinos de corte ou leite. |
| CA | Manejado continuamente com a variedade RB 855536 com cortes anuais sem a utilização da prática da queima na pré-colheita. |
| MN | Área adjacente às parcelas experimentais com vegetação de mata nativa de cerrado <i>stricto sensu</i> em estágio secundário pertencente à fitofisionomia cerradão, sem histórico de interferência antrópica. Utilizada como referencial da condição original do solo. |

SM: sistema de manejo; SE: solo exposto; PC: sistema de preparo convencional; PD: sistema plantio direto; PP: pastagem permanente; CA: cana-de-açúcar; MN: mata nativa.

DMP de todos os sistemas manejados em comparação com os valores de DMP da MN.

Os resultados obtidos foram analisados quanto à normalidade e à homogeneidade de variância pelo teste de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Em delineamento inteiramente casualizado, submetem-se os resultados à análise de variância com aplicação do teste F, e compararam-se os valores médios pelo teste de Tukey a 5% com auxílio do programa R Core Team (2019). Todos os testes utilizaram o pacote ExpDes.pt (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2018).

Como análise complementar, utilizou-se a técnica multivariada por meio da análise canônica, envolvendo todas as

variáveis em estudo (Ds, COT, EstC, distribuição da classe de agregados, DMP, DMG e IS), com base na qual foi reduzido o conjunto de dados em combinações lineares, gerando os escores das duas primeiras variáveis canônicas que explicam mais de 80% da variação total (CRUZ; REGAZZI, 1994), sendo os escores projetados em gráficos bidimensionais. Além dessa técnica, aplicou-se ainda o método de agrupamento de Tocher modificado, com o propósito de discriminar os tratamentos que apresentaram maior similaridade e também de agrupar os diferentes tipos de manejo pela matriz de distância generalizada de Mahalanobis. O gráfico com base na análise canônica foi gerado e formaram-se os grupos por meio do agrupamento de Tocher modificado utilizando-se o programa GENES (CRUZ, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Ds variou entre 1,28 e 1,53 Mg m⁻³. Entre os sistemas manejados, a PP apresentou menor valor de Ds, 1,28 Mg m⁻³, sendo semelhante à área de MN (Tabela 3). Os menores valores de Ds demonstrados pelas parcelas compostas de PP são explicados pelo fato de não haver pastejo nessas áreas desde a instalação das parcelas e também pela ação das raízes da espécie *Brachiaria*, que têm grande produção de biomassa (SANTOS et al., 2019).

Outro fator que contribui para o menor valor de Ds apresentado pela PP é o maior teor de COT apresen-

tado (Tabela 3), que favorece, ao longo dos anos de cultivo, a melhoria da qualidade física do solo (SALES et al., 2018; NUNES et al., 2019; YADAV et al., 2019). Importante ressaltar que, mesmo havendo diferenças entre as parcelas avaliadas, todos os valores de Ds estavam abaixo de 1,60 Mg m⁻³, considerado limitante para o desenvolvimento das raízes das plantas (SILVA; ROSOLEM, 2001).

O maior teor de COT foi encontrado na área de PP, 36,29 g kg⁻¹, seguido do PD, 32,18 g kg⁻¹, CA, 26,26 g kg⁻¹

Tabela 3 – Valores médios de densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (EstC) nos diferentes sistemas de uso em um argissolo vermelho distrófico, Aquidauana (MS)*.

| Uso do solo | Ds | COT | EstC |
|-------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| | Mg m ⁻³ | g kg ⁻¹ | Mg ha ⁻¹ |
| SE | 1,53a | 6,65e | 9,26e |
| PC | 1,46a | 13,78d | 19,20d |
| PD | 1,47a | 32,18b | 44,82b |
| PP | 1,28b | 36,29a | 50,55a |
| CA | 1,46a | 26,26c | 36,57c |
| MN | 1,39ab | 25,18c | 35,06c |
| CV% | 5,24 | 5,10 | 5,10 |

*Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5%; SE: solo exposto; PC: sistema de preparo convencional; PD: sistema plantio direto; PP: pastagem permanente; CA: cana-de-açúcar; MN: mata nativa; CV: coeficiente de variação.

¹, e MN, 25,18 g kg⁻¹ (Tabela 3). Maiores teores de COT na área de PP em relação à área de referência ocorrem por não se ter pastejo nas parcelas, o que favorece a deposição de matéria orgânica sobre o solo (SALTON *et al.*, 2008). Outro fator que contribui é o fato de cerrado com fitofisionomia *stricto sensu* apresentar baixa deposição de material vegetal e, conseqüentemente, menores teores de COT (CAMPOS *et al.*, 2011).

Ao comparar-se os teores de COT da área de PC em relação ao PD, o PC apresentou 42,82% do teor de COT alcançado na área de PD, isso em apenas seis anos de adoção do sistema, um aumento de 3,14 g kg⁻¹ ao ano, com o cultivo nos moldes de PD sob solo arenoso. Esse resultado mostra a importância de um sistema de cultivo sem o revolvimento e com a manutenção de MOS para promover o aumento do teor de COT e conseqüentemente o EstC no solo (FERREIRA *et al.*, 2020).

Os menores teores de COT foram observados nas áreas de PC, 13,78 g kg⁻¹, e SE, 6,65 g kg⁻¹ (Tabela 3), pelo fato de não se ter práticas conservacionistas de manejo do solo (ALAVASHA; MANZONI; LINDBORG, 2019; MACINTOSH *et al.*, 2019). O revolvimento do solo acaba por expor a MOS a fatores de decomposição que, somados à baixa deposição de resíduos vegetais, geram desequilíbrio na entrada e saída de MOS (LAL, 2018; SHAHBAZ; KUZUYAKOV; HEITKAMP, 2017).

O EstC apresentou o mesmo padrão do COT (Tabela 3), com maior estocagem de C na área de PP, 50,55 Mg ha⁻¹, seguido da área de PD, 44,82 Mg ha⁻¹. Esse resultado demonstra que essas áreas bem manejadas podem contribuir significativamente para diminuir a emissão de CO₂ para a atmosfera (KOVEN *et al.*, 2017), além de promover o aumento da fertilidade (ASSUNÇÃO *et al.*, 2019), a melhoria na qualidade física (SALES *et al.*, 2018) e o aumento das atividades biológicas do solo (BARBOSA *et al.*, 2018; OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2018).

As áreas de MN, 35,06 Mg ha⁻¹, e CA, 36,57 Mg ha⁻¹ (Tabela 3), exibiram valores intermediários de EstC. Importante ressaltar que a semelhança entre CA e MN pode estar relacionada com o fato de a CA não sofrer o manejo de queima da palhada, o que, segundo Signor *et al.* (2016), proporciona aumento no EstC nas áreas de CA.

Os menores EstC foram evidenciados nas parcelas de PC e SE, com 19,20 e 9,26 Mg ha⁻¹. Esses resultados se devem pela ausência de práticas de conservação do

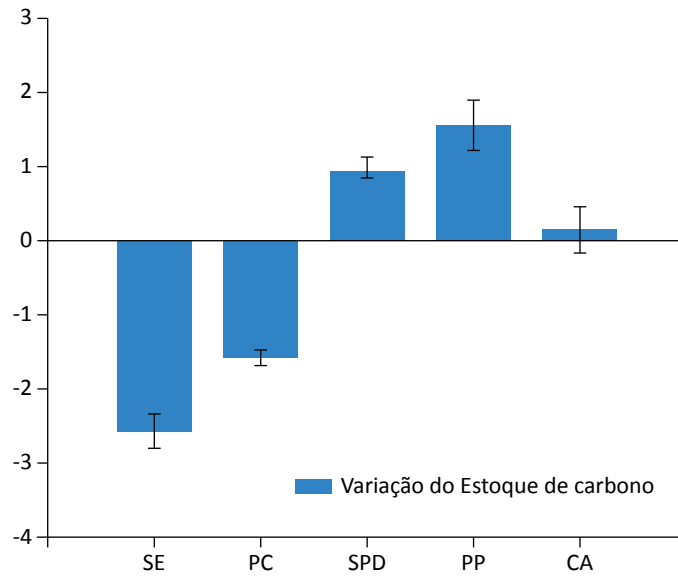
solo, pois o revolvimento do solo efetuado anualmente nessas áreas favorece a rápida mineralização da MOS, não permitindo que os processos de humificação da MOS se processem por completo, o que aumentaria o EstC ao longo do tempo pela maior estabilização da MOS no solo (SHAHBAZ; KUZUYAKOV; HEITKAMP, 2017).

Conseqüentemente, os sistemas SE e PC apresentaram redução significativa de EstC (Figura 2). Já as áreas de PD, PP e CA exibiram acúmulo de COT superiores à área de MN (área de referência). Importante destacar que as parcelas com PP apresentaram o maior potencial de acumular C, reforçando a importância do manejo adequado de áreas de pastagem (STAHL *et al.*, 2017). Esses resultados corroboram os de McNally *et al.* (2017).

O acúmulo de C dessas áreas favorece a melhoria dos atributos edáficos, principalmente quanto à fertilidade, pela ciclagem dos nutrientes (CHU *et al.*, 2019; CORBEELS *et al.*, 2019), da qualidade biológica, que envolve aumento de atividade dos microrganismos (LI *et al.*, 2019), aumento de espaços porosos, que permite maior infiltração de água no solo (PATRA *et al.*, 2019), diminuição da densidade e da resistência do solo à penetração (NUNES *et al.*, 2019) e melhoria da estruturação do solo (MELO *et al.*, 2019).

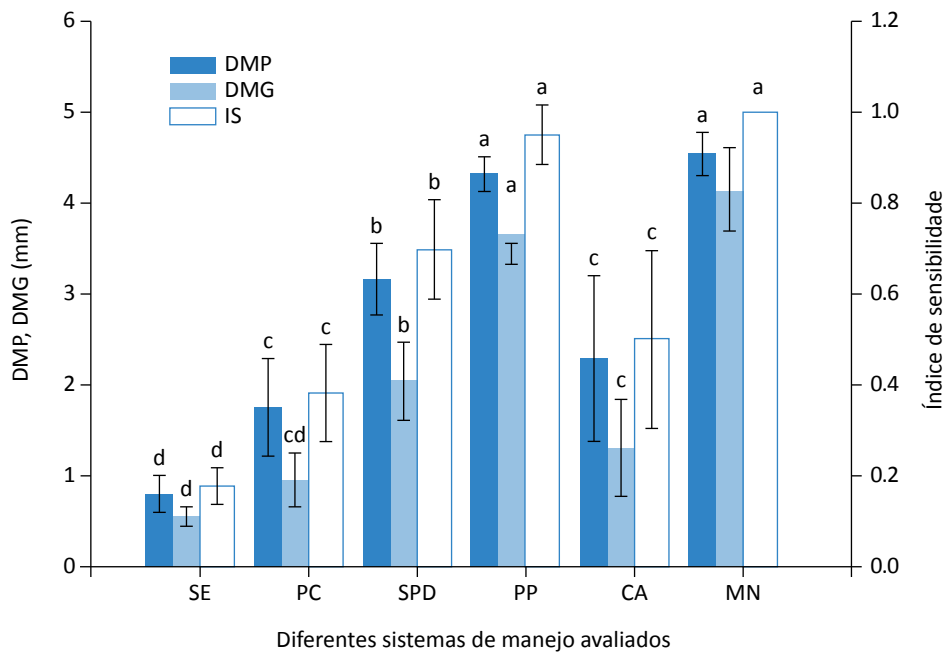
Os maiores valores de DMP foram encontrados nas áreas de MN e PP, 4,54 e 4,31 mm, respectivamente, seguidos pela área de PD, 3,16 mm. Já as demais áreas conduzidas em SE, PC e CA tiveram os menores valores, 0,79, 1,75, 2,28 mm, respectivamente (Figura 3). Assim como o DMP, o DMG apresentou maiores valores nas áreas de MN e PP, 4,14 e 3,65 mm, seguidas da área de PD, com 2,04 mm. Já as áreas de CA, PC e SE exibiram valores de 1,30, 0,95 e 0,54 mm, sendo inferiores aos demais sistemas.

O mesmo padrão observado para DMP e DMG foi evidenciado para o IS em todas as áreas estudadas, destacando-se que, para a camada avaliada, a estabilidade dos agregados foi semelhante para o sistema com PP e a área de MN (Figura 2), com variações entre 0,95 e 1,0, respectivamente. A ação do sistema radicular da pastagem em profundidade somado ao não revolvimento anual do solo e ao aumento no teor de COT (Tabela 3) possibilita a formação de agregados de maior estabilidade (SITHOLE; MAGWAZA; THIBAUD, 2019). Agregados estáveis em água contribuem para melhoria da porosidade e, conseqüentemente, maior infiltração de água e resistência à erosão (STUMPF *et al.*, 2018). De forma



SE: solo exposto; PC: sistema de preparo convencional; PD: sistema plantio direto; PP: pastagem permanente; CA: cana-de-açúcar.

Figura 2 – Variação do estoque de carbono (Δ EstC) dos diferentes sistemas de manejo avaliados em relação à área de mata nativa, na camada 0–0,10 m.



*Médias seguidas por letras minúsculas iguais para cada variável não diferem pelo teste de Tukey a 5%. Traços nas barras indicam o desvio padrão dos dados; SE: solo exposto; PC: sistema de preparo convencional; SPD: sistema plantio direto; PP: pastagem permanente; CA: cana-de-açúcar; MN: mata nativa.

Figura 3 – Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de sensibilidade (IS) nas diferentes áreas de um argissolo vermelho distrófico, Aquidauana (MS)*.

geral, o SE foi o que apresentou menor qualidade estrutural, resultado da maior densidade do solo (Tabela 2), baixo teor de COT (Tabela 2) e menor percentual de macroagregados estáveis em água (Tabela 4).

Os resultados expressos pelas áreas de SE, PC e CA podem estar relacionados ao revolvimento do solo realizado durante a época de plantio das culturas, o que promove a quebra dos agregados pelo uso de implementos e tráfego de máquinas no PC do solo (OBOUR *et al.*, 2018; SHAHBAZ; KUZYAKOV; HEITKAMP, 2017). Esses resultados das áreas de MN e PP indicam que áreas cultivadas com PP, por meio da ação das raízes, propiciam a manutenção da estabilidade estrutural do solo ao longo dos anos, e a heterogeneidade vegetal na área de MN contribui para a agregação do solo. Stumpf *et al.* (2018) concluíram que as ações das raízes das gramíneas diminuem a compactação e melhoram a estruturação do solo, com a manutenção de agregados estáveis de maiores tamanhos ao longo dos anos de cultivo.

Os resultados encontrados corroboram os encontrados por Schiavo e Colodro (2012), em que os valores de DMP e DMG em áreas com pastagens foram semelhantes à área de mata de cerrado, também no estado de Mato Grosso do Sul. Em estudo em diversas localidades no estado de Mato Grosso do Sul, Salton *et al.* (2008) avaliaram diferentes sistemas de manejo e MN no bioma cerrado, concluindo que os sistemas que

utilizam consórcio com *Brachiaria* contribuem para a formação de agregados mais estáveis no solo, não diferindo da MN.

Os agregados maiores que 2 mm tiveram predominância nas áreas de PD, PP e MN, com 92,64, 87,69 e 62,43% de seus agregados, respectivamente, retidos nessa classe de peneira (Tabela 4). Na área de MN, a heterogeneidade vegetal beneficia a formação e a manutenção de macroagregados. Já nas áreas de PD e PP, o não revolvimento somado à deposição de MOS favorecem a formação de agregados estáveis, o que contribui significativamente para diminuir a suscetibilidade do solo a sofrer processos erosivos (SITHOLE; MAGWAZA; THIBAUD, 2019). Loss *et al.* (2012) verificaram a diminuição do tamanho de agregados do solo em áreas de pastagens com estágio de degradação avançado comparadas a áreas nativas, o que sugere que o manejo adequado da pastagem é primordial para a manutenção da qualidade edáfica.

A área de SE, por sua vez, apresentou comportamento inverso às demais áreas, com a maior porcentagem dos agregados distribuída nas classes de menor tamanho (Tabela 4).

Destaca-se que as áreas que tiveram menor estabilidade de agregados (Figura 3 e Tabela 4) também exibiram menores teores de COT (Tabela 3). Esses resultados demonstram a importância da cobertura vegetal sobre a superfície do solo, que, com o tempo, por meio de sua decomposição, age como agente cimentante entre

Tabela 4 – Distribuição percentual dos agregados do solo nas diferentes classes de peneiras em diversos sistemas de uso em um argissolo vermelho distrófico, Aquidauana (MS)*.

| Uso do solo | 8–2 | 2–1 | 1–0,5 | 0,5–0,250 | 0,25–0,125 |
|-------------|------------------|--------|--------|-----------|------------|
| | ----- (mm) ----- | | | | |
| SE | 6,45d | 8,69a | 28,37a | 38,89a | 17,57a |
| PC | 31,94c | 5,41ab | 15,02b | 30,70b | 16,90a |
| PD | 62,43b | 4,92ab | 9,30b | 12,70c | 10,64b |
| PP | 87,69a | 1,34b | 2,13c | 4,32d | 4,49c |
| CA | 40,33c | 8,88a | 14,06b | 23,52b | 13,18ab |
| MN | 92,64a | 0,87b | 1,09c | 2,12d | 3,25c |
| CV% | 21,41 | 28,99 | 36,85 | 27,68 | 31,26 |

*Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5%; SE: solo exposto; PC: sistema de preparo convencional; PD: sistema plantio direto; PP: pastagem permanente; CA: cana-de-açúcar; MN: mata nativa; CV: coeficiente de variação.

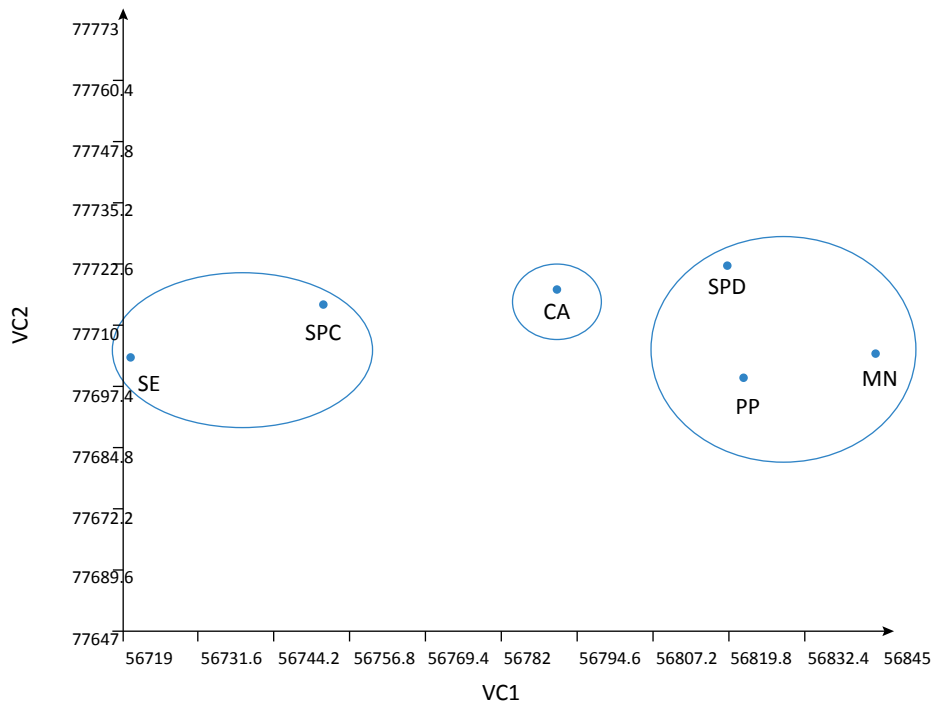
as partículas do solo, responsáveis pela formação, manutenção e estabilização de macroagregados (KUNDE *et al.*, 2018). Solos com agregados estáveis e de maior tamanho são considerados estruturalmente melhores e mais resistentes ao processo erosivo (ZHAO, 2017).

Na análise canônica das variáveis, utilizaram-se as variáveis DMP, DMG, IS, COT, EstC e porcentagem de agregados distribuídos nas classes de peneiras. A primeira e a segunda variáveis canônicas corresponderam a 95,3 e 3,7% da variação total, respectivamente, representando 99% da variação total, atendendo aos requisitos mínimos para avaliação por meio da dispersão gráfica (CRUZ; REGAZZI, 1994). Além da dispersão gráfica, o método de agrupamento de Tocher modificado foi utilizado, evidenciando a formação de três grupos: um formado pelas áreas de SE e PC, outro pela área de CA e o terceiro pelas áreas de PD, PP e MN (Figura 4). As variáveis de maior importância, ou seja, aquelas que mais contribuíram para discriminar os sistemas de manejo avaliados foram o COT e os índices DMP, DMG, IS e porcentagem de agregados > 2 mm.

Pelo agrupamento, verificou-se que, entre os sistemas manejados, o PD e a PP apresentaram maior proximidade com a área de referência, MN. Esses sistemas são os com melhores práticas de manejo e de conservação do solo; conseqüentemente, adicionam maior quantidade de MOS. O PC e o SE foram enquadrados no mesmo grupo, o que revela os efeitos negativos das formas de manejo utilizadas, evidenciando também a transição de áreas com PC onde ocorre o revolvimento do solo em áreas que preconizam o não revolvimento (PD) (LI *et al.*, 2019; NIJMEIJER *et al.*, 2019; VELOSO; CECAGNO; BAYER, 2019).

O sistema com CA, sendo separado dos demais, teve resultados intermediários, contudo deve-se considerar que na área experimental não há tráfego de maquinários ou prática de queima, não havendo qualquer tipo de perturbação no solo. Isso promove aumento nos teores de COT (Tabela 3) e melhora a estruturação do solo ao longo do tempo, quando comparados aos sistemas de PC e SE (Figura 3 e Tabela 4).

A utilização de sistemas de manejo que visem à conservação do solo por meio da melhoria de sua estrutura



SE: solo exposto; SPC: sistema de preparo convencional; SPD: sistema plantio direto; PP: pastagem permanente; CA: cana-de-açúcar; MN: mata nativa.

Figura 4 – Dispersão dos diferentes sistemas de uso e manejo e agrupamento pelo método de Tocher das variáveis canônicas.

apontaram o PD como uma ótima alternativa para o manejo agrícola em áreas de solos arenosos. Nesse sistema, o não revolvimento do solo aliado à manuten-

ção da palha promoveu melhorias consideráveis ao ambiente edáfico, mesmo sendo uma área na fase de transição, de acordo com Anghinoni (2007).

CONCLUSÕES

A área de pastagem permanente e o sistema plantio direto apresentam potencial superior para acumular carbono na camada 0–0,10 m quando comparados à mata nativa de cerrado.

As áreas de solo exposto, sistema plantio convencional, cana-de-açúcar e sistema plantio direto modificaram a estabilidade de agregados, considerando os valores de diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geomé-

trico, índice de sensibilidade e porcentagem de agregados maiores que 2 mm.

As áreas de solo exposto e plantio convencional reduzem o estoque de carbono e a estruturação do solo. Em contrapartida, o sistema plantio direto, mesmo em fase de transição, tem potencial semelhante à área nativa de cerrado para estocar carbono na camada 0–10 cm.

REFERÊNCIAS

- ALAVASHA, E.; MANZONI, S.; LINDBORG, R. Different agricultural practices affect soil carbon, nitrogen and phosphorous in Kilombero-Tanzania. *Journal of Environmental Management*, v. 234, p. 159-166, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.039>
- ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo no sistema plantio direto. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, 2007. p. 873-928.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.271>
- BARBOSA, E. A. A.; MATSURA, E. E.; SANTOS, L. N. S.; NAZÁRIO, A. A.; GONÇALVES, I. Z.; FEITOSA, D. R. C. Soil attributes and quality under treated domestic sewage irrigation in sugarcane. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 22, n. 2, p. 137-142, 2018. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n2p137-142>
- BOLINDER, M. A.; ANGERS, D. A.; GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R. The response of soil quality indicators to conservation management. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 79, n. 1, p. 37-45, 1999. <https://doi.org/10.4141/S97-099>
- CAMPOS, B. H. C. D.; AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; NICOLOSO, R. D. S.; FIORIN, J. E. Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 3, p. 805-817, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000300016>
- CHU, M.; SINGH, S.; WALKER, F. R.; EASH, N. S.; BUSCHERMOHLE, M. J.; DUNCAN, L. A.; JAGADAMMA, S. Soil health and soil fertility assessment by the haney soil health test in an agricultural soil in west Tennessee. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 50, n. 9, p. 1123-1131, 2019. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1604731>
- CLAESSEN, M. E. C. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.
- CORBEELS, M.; CARDINAEL, R.; NAUDIN, K.; GUIBERT, H.; TORQUEBAU, E. The 4 per 1000 goal and soil carbon storage under agroforestry and conservation agriculture systems in sub-Saharan Africa. *Soil and Tillage Research*, v. 188, p. 16-26, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.02.015>

- CRUZ, C. D. *Programa genes: biometria*. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 382 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: Ed. UFV, 1994. 394 p.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (orgs.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-22.
- 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 and Tillage Research*, v. 198, p. 1-9, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104533>
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. *ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs*. R package version 1.2.0. 2018. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>>. Acesso em: 12 dez. 2019. <https://doi.org/10.4236/am.2014.519280>
- GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G. M.; PERIN, A. Densimetric fractionation of organic matter in an agricultural chronosequence in no-till areas in the Cerrado region, Brazil. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 37, n. 2, p. 596-610, 2016. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n2p595>
- KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A. (org.). *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 449-510.
- KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUNTE, A. (org.). *Methods of soil analysis*. Part 1: physical and mineralogical methods. Kimberley: American Society of Agronomy, 1986. p. 425-443.
- KIEHL, E. J. *Manual de edafologia: Relações solo-planta*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 263 p.
- KOVEN, C. D.; HUGELIUS, G.; LAWRENCE, D. M.; WIEDER, W. R. Higher climatological temperature sensitivity of soil carbon in cold than warm climates. *Nature Climate Change*, v. 7, n. 11, p. 817-822, 2017. <https://doi.org/10.1038/nclimate3421>
- KUNDE, R. J.; LIMA, C. L. R.; SILVA, S. D. A.; PILLON, C. N. Tensile strength, friability, aggregation, and soil organic matter physical fractions of an Oxisol cultivated with sugarcane. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 53, n. 4, p. 487-494, abr. 2018. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2018000400010>
- LAL, R. Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. *Global Change Biology*, v. 24, n. 8, p. 3285-3301, 2018. <https://doi.org/10.1111/gcb.14054>
- LI, P.; SHI, K.; WANG, Y.; KONG, D.; LIU, T.; JIAO, J.; LIU, M.; LI, H.; HU, F. Soil quality assessment of wheat-maize cropping system with different productivities in China: Establishing a minimum data set. *Soil and Tillage Research*, v. 190, p. 31-40, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.02.019>
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Densidade e fertilidade do solo sob sistemas plantio direto e integração lavoura-pecuária no Cerrado. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 55, n. 4, p. 260-268, 2012.
- LUO, Z.; WANG, E.; SUN, O. J. Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 139, n. 1-2, p. 224-231, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.08.006>
- MACINTOSH, K. A.; DOODY, D. G.; WITHERS, P. J.; MCDOWELL, R. W.; SMITH, D. R.; JOHNSON, L. T.; BRUULSEMA, T. W.; O'FLAHERTY, V.; MCGRATH, J. W. Transforming soil phosphorus fertility management strategies to support the delivery of multiple ecosystem services from agricultural systems. *Science of the Total Environment*, v. 649, p. 90-98, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.272>

- MCNALLY, S. R.; BEARE, M. H.; CURTIN, D.; MEENKEN, E. D.; KELLIHER, F. M.; PEREIRA, R. C.; SHEN, Q.; BALDOCK, J. Soil carbon sequestration potential of permanent pasture and continuous cropping soils in New Zealand. *Global Change Biology*, v. 23, n. 11, p. 4544-4555, 2017. <https://doi.org/10.1111/gcb.13720>
- MELO, T. R.; PEREIRA, M. G.; BARBOSA, G. M. C.; SILVA NETO, E. C.; ANDRELLO, A. C.; TAVARES FILHO, J. Biogenic aggregation intensifies soil improvement caused by manures. *Soil and Tillage Research*, v. 190, p. 186-193, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.017>
- MORGAN, P.; HEYERDAHL, E. K.; STRAND, E. K.; BUNTING, S. C.; RISER II, J. P.; ABATZOGLOU, J. T.; NIELSEN-PINCUS, M.; JOHNSON, M. Fire and land cover change in the Palouse Prairie–forest ecotone, Washington and Idaho, USA. *Fire Ecology*, v. 16, n. 1, p. 1-17, 2020. <https://doi.org/10.1186/s42408-019-0061-9>
- MUÑOZ-ROJAS, M.; JORDÁN, A.; ZAVALA, L. M.; DE LA ROSA, D.; ABD-ELMABOD, S. K.; ANAYA-ROMERO, M. Impact of land use and land cover changes on organic carbon stocks in Mediterranean soils (1956–2007). *Land Degradation & Development*, v. 26, n. 2, p. 168-179, 2015. <https://doi.org/10.1002/ldr.2194>
- NAGEL, P. L. *Erosão hídrica em Argissolo do Ecótono Cerrado-Pantanal cultivado sobre preparo convencional*. 39f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, 2014.
- NIJMEIJER, A.; LAURI, P. É.; HARMAND, J. M.; SAJ, S. Carbon dynamics in cocoa agroforestry systems in Central Cameroon: afforestation of savannah as a sequestration opportunity. *Agroforestry Systems*, v. 93, n. 3, p. 851-868, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0182-6>
- NUNES, M. R.; PAULETTO, E. A.; DENARDIN, J. E.; SUZUKI, L. E.; VAN ES, H. M. Dynamic changes in compressive properties and crop response after chisel tillage in a highly weathered soil. *Soil and Tillage Research*, v. 186, p. 183-190, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.10.017>
- OBOUR, P. B.; JENSEN, J. L.; LAMANDÉ, M.; WATTS, C. W.; MUNKHOLM, L. J. Soil organic matter widens the range of water contents for tillage. *Soil & Tillage Research*, v. 182, p. 57-65, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.05.001>
- OLIVEIRA, W. N.; FERREIRA, N. C. Avaliação Multitemporal do Uso e Cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite Utilizando Imagens Landsat-5. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 38, p. 46-62, 2015. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820159813>
- OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; SCHNEIDER, L. F.; TELES, J. S.; WERTER, S. D.; SANTOS, J. S. P. Fauna edáfica em áreas com diferentes manejos e tempos de descarte de resíduos animais. *Scientia Agraria*, v. 19, n. 1, p. 113-123, 2018. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v19i1.54466>
- OZÓRIO, J. M. B.; ROSSET, J. S.; SCHIAVO, J.; 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. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820190518>
- PATRA, S.; JULICH, S.; FEGER, K. H.; JAT, M. L.; JAT, H.; SHARMA, P. C.; SCHWÄRZEL, K. Soil hydraulic response to conservation agriculture under irrigated intensive cereal-based cropping systems in a semiarid climate. *Soil and Tillage Research*, v. 192, p. 151-163, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.003>
- 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. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- 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: 12 dez. 2019.

- 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. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n5p329>
- SALES, A.; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; MIRANDA, B. M. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia Legal. *Colloquium Agrariae*, v. 14, n. 1, p. 1-15, 2018.
- 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. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100002>
- SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.S.; FERREIRA, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 166, n. 1-4, p. 113-124, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0988-4>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.045>
- SARKER, T. C.; INCERTI, G.; SPACCINI, R.; PICCOLO, A.; MAZZOLENI, S.; BONANOMI, G. Linking organic matter chemistry with soil aggregate stability: Insight from ¹³C NMR spectroscopy. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 117, p. 175-184, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.11.011>
- SCHIAVO, J. A.; COLODRO, G. Agregação e resistência a penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema de integração lavoura-pecuária. *Bragantia*, v. 71, n. 3, p. 406-412, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052012005000035>
- 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. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300029>
- SHAHBAZ, M.; KUZYAKOV, Y.; HEITKAMP, F. Decrease of soil organic matter stabilization with increasing inputs: mechanisms and controls. *Geoderma*, v. 304, p. 76-82, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.05.019>
- 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. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900042>
- 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. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000500005>
- SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, n. 2, p. 253-260, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000200001>
- SITHOLE, N. J.; MAGWAZA, L. S.; THIBAUD, G. R. Long-term impact of no-till conservation agriculture and N-fertilizer on soil aggregate stability, infiltration and distribution of C in different size fractions. *Soil and Tillage Research*, v. 190, p. 147-156, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.03.004>
- STAHL, C.; FONTAINE, S.; KLUMPP, K.; PICON-COCHARD, C.; GRISE, M. M.; DEZÉCACHE, C.; PONCHANT, L.; FREYCON, V.; BLANC, L.; BONAL, D.; BURBAN, B.; SOUSSANA, J. F.; BLANFORD, V. Continuous soil carbon storage of old permanent pastures in Amazonia. *Global Change Biology*, v. 23, n. 8, p. 3382-3392, 2017. <https://doi.org/10.1111/gcb.13573>

STUMPF, L.; LEAL, O. A.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S.; REIS, D. A.; PINTO, M. A. B.; TUCHTENHAGEN, I. K. Tensile strength and organic matter fractions in aggregates of a grass-covered mined soil under early stage recovery. *Soil & Tillage Research*, v. 176, p. 69-76, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.11.006>

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. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.03.003>

YADAV, G. S.; RATTAN, L. A. L.; MEENA, R. S.; RIMAL, B. Long-Term Effects of Different Passages of Vehicular Traffic on Soil Properties and Carbon Storage of a Crosby Silt Loam in USA. *Pedosphere*, v. 29, n. 2, p. 150-160, 2019. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(19\)60796-4](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(19)60796-4)

YEOMANS, A.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communication Soil Science Plant Analysis*, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988. <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soil and study of the physical nature of erosion losses. *Journal American Society Agronomy*, v. 28, n. 5, p. 337-351, 1936. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1936.00021962002800050001x>

ZHAO, J; CHEN, S; RONGGUI, H.; LI, Y. Aggregate stability and size distribution of red soils under different land uses integrally regulated by soil organic matter, and iron and aluminum oxides. *Soil & Tillage Research*, v. 167, p. 73-79, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2016.11.007>

