

UniRV- UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

**ESTOQUES DE CARBONO E DE FRAÇÕES ORGÂNICAS DO SOLO
EM SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E INTEGRAÇÃO LAVOURA
PECUÁRIA**

CAMILA DOS SANTOS FERREIRA

Magister Scientiae

RIO VERDE
GOIÁS – BRASIL
2023

CAMILA DOS SANTOS FERREIRA

**ESTOQUES DE CARBONO E DE FRAÇÕES ORGÂNICAS DO SOLO
EM SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E INTEGRAÇÃO LAVOURA
PECUÁRIA**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*

**RIO VERDE
GOIÁS – BRASIL
2023**

Universidade de Rio Verde
Biblioteca Luiza Carlinda de Oliveira
Bibliotecário: Juatan Tiago da Silva – CRB 1/3158
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – (CIP)

C44e Ferreira, Camila dos Santos

Estoques de carbono e de frações orgânicas do solo em sistemas de plantio direto e integração lavoura pecuária. / Camila dos Santos Ferreira. – 2023. 41 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Rose Luiza Moraes Tavares.

Dissertação (Mestrado) — Universidade de Rio Verde - UniRV, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, 2023.

Inclui índice de tabelas e figuras.

1. Fração leve. 2. Fração mineral. 3. Ácido húmico. 4. Ácido fúlvico. I. Tavares, Rose Luiza Moraes. II. Título.

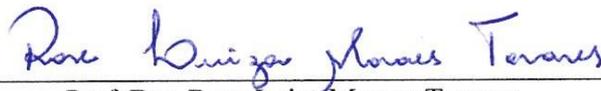
CDD: 631.8

CAMILA DOS SANTOS FERREIRA

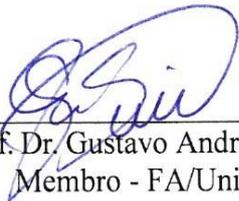
**ESTOQUES DE CARBONO E DE FRAÇÕES ORGÂNICAS DO SOLO EM
SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

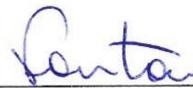
APROVAÇÃO: 27 de fevereiro de 2023



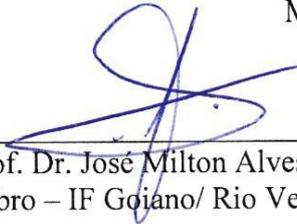
Prof. Dra. Rose Luiza Moraes Tavares
Presidente da Banca Examinadora
Membro – FA/UniRV



Prof. Dr. Gustavo André Simon
Membro - FA/UniRV



Profª. Dra. Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão
Membro – FA/UniRV



Prof. Dr. José Milton Alves
Membro – IF Goiano/ Rio Verde

DEDICATÓRIA

A todos, que tornaram esta caminhada possível.

Com todo meu carinho, admiração e respeito. Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, na certeza de que nada pode ser mais bonito, do que viver.

Aos meus pais Liberato Francisco Ferreira e Maria D. dos Santos Ferreira, registro que palavras não são o suficiente para expressar tudo o que eu gostaria.

Ao meu irmão Édipo S. Ferreira, pelo suporte em minha ausência.

Ao Tiago Triechel e Andriéli Triechel, pelas oportunidades.

Aos colaboradores do Laboratório Multiusuários I.

Ao meu namorado Leonardo Sarkis, por todo o incentivo e amor.

Aos amigos: Lorryne Paula Guimarães, Neury José Graciano da Silva e Silvio Vasconcelos de Paiva Filho, gostaria de agradecer por tudo que passamos juntos.

Aos demais amigos e familiares.

Aos estagiários, pelo suporte durante o período de avaliações.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal.

Ao Prof. Antonio J. Braga Pereira Braz, a quem admiro e respeito muito.

À Prof^a. Rose Luiza Moraes Tavares, agradeço por me acompanhar nesta caminhada. Suas orientações, amizade, carinho e escuta jamais serão esquecidos.

Ao Centro Tecnológico Comigo (CTC), pela disponibilidade das áreas.

Aos pesquisadores: Dr. Eduardo Furtini Neto, Dr. Hemython L. Bandeira e Dr. Ubirajara Bilego.

À CAPES, pela concessão de bolsa.

À Universidade de Rio Verde, pela oportunidade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV).

BIOGRAFIA

CAMILA DOS SANTOS FERREIRA concluiu o curso de Agronomia em janeiro de 2019, pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI) - RS, com trabalho de graduação intitulado: “Variabilidade espacial das propriedades físicas de Neossolos cultivados com soja, sob cultivo mínimo, numa catena da pampa”. Realizou projetos de pesquisa na área de física do solo, com atuação no projeto intitulado “Mapeamento Digital de Solos”, na URI Santiago (2017/2018). Publicou resumos em anais de eventos e artigos científicos em revistas indexadas. Logo após a conclusão do curso de graduação, iniciou o mestrado em Produção Vegetal na área de Grandes Culturas, Manejo de solo: Estudo das áreas de física, manejo e conservação do solo, com a seguinte proposta de dissertação para defesa: “Estoques de carbono e de frações orgânicas do solo em sistemas de plantio direto e integração lavoura pecuária”.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	2
2.1 Estoque de Carbono.....	2
2.2 Frações da matéria orgânica do solo.....	3
2.3 Sistemas Conservacionistas.....	5
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	6
3.1 Análise estatística.....	11
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
5 CONCLUSÃO.....	21
REFERÊNCIAS.....	22
ANEXOS.....	28

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Localização da área experimental.....	6
FIGURA 2	Estoque de C e das frações orgânicas do solo + taxa de humificação sob sistema de plantio direto (SPD) e integração lavoura pecuária (ILP) com histórico de estabelecimentos distintos, além da vegetação nativa (VN) como área de referência de conservação (Rio Verde – GO).....	16
FIGURA 3	Densidade do solo sob sistema de plantio direto (SPD) e integração lavoura pecuária (ILP) com histórico de estabelecimentos distintos, além da vegetação nativa (VN) como área de referência de conservação (Rio Verde – GO).....	17

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico em área com diferentes sistemas de produção, em Rio Verde, Goiás, Brasil.....	6
TABELA 2	Resumo da ANAVA com valores de Fc calculado e nível de significância para diferentes atributos do solo, em áreas com sistemas de produção estabelecidos em anos distintos, em Rio Verde – GO.....	12
TABELA 3	Resultados obtidos na ANAVA na avaliação dos atributos físicos do solo para cada sistema de produção.....	18
TABELA 4	Comportamento do diâmetro médio ponderado e do índice de estabilidade dos agregados, em cada profundidade avaliada.....	18
TABELA 5	Índices de estoque de carbono (IEC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo do carbono (IMC) do solo, com anos de estabelecimentos e sistemas de produção distintos.....	19
TABELA 6	Análise da correlação de Pearson para os estoques de C da fração leve (EstC-FL), C associado aos minerais (EstC-MIN), C do ácido húmico (EstC-AH), C do ácido fúlvico (EstC-AF), além da taxa de humificação (TH), Índice de manejo de carbono (IMC), Argila (Arg), densidade (Ds), diâmetro médio ponderado (DMP), índice de estabilidade dos agregados (IEA).....	21

RESUMO

FERREIRA, C. S. UniRV - Universidade de Rio Verde, fevereiro de 2023. **Estoques de carbono e de frações orgânicas do solo em sistemas de plantio direto e integração lavoura pecuária.** Orientadora: Profa. Dra. Rose Luiza Moraes Tavares.

As práticas de uso e manejo do solo influenciam no acúmulo de carbono e dependendo do tipo e/ou tempo de adoção do sistema de manejo, podem ocorrer alterações na quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo (MOS). Nesta perspectiva, o objetivo deste trabalho foi avaliar o estoque de carbono e das frações da MOS em sistema de plantio direto (SPD) e integração lavoura pecuária (ILP) no Cerrado. Os tratamentos foram compostos por quatro áreas, subdivididas em uma área de SPD 11 anos, duas áreas de ILP com 5 de 10 anos de cultivo, além de uma área de vegetação nativa (VN). As avaliações foram realizadas após cultivo de milho nas áreas de SPD e pastejo nas áreas de ILP. Amostras de solo do tipo indeformadas e deformadas foram coletadas nas camadas de 0,0 - 0,1; 0,1 - 0,2; 0,2 - 0,4 e 0,4 - 0,6 m para avaliações de atributos do solo: densidade (Ds), diâmetro médio ponderado (DMP), textura do solo, estoque de carbono (EstC), estoque das frações da MOS e taxa de humificação (TH). O modelo estatístico para interpretação de dados foi o de parcelas subdivididas, tendo como primeiro fator os sistemas de produção e segundo as profundidades de solo. Os resultados obtidos mostram que de forma geral, não há diferença estatística no acúmulo de C total ou em forma de frações, entre os sistemas agrícolas. O cálculo do índice de manejo de carbono (IMC), apresentou valores satisfatórios para a qualidade dos sistemas (SPD e ILP) quando comparados a VN.

Palavras-chave: fração leve, fração mineral, ácido húmico, ácido fúlvico.

ABSTRACT

FERREIRA, C. S. UniRV. University of Rio Verde, February of 2023. **Soil carbon stocks and organic fractions in no-tillage systems and integrated crop-livestock.** Advisor: Profa. Dra. Rose Luiza Moraes Tavares.

Soil use and management practices influence the carbon flux and depending on the type and/or time of adoption of the management system, changes in the quantity and quality of soil organic matter (SOM) may occur. In this perspective, the objective of this work was to evaluate the carbon stock and SOM fractions in a no-tillage system (NTS) and integrated livestock farming (CL) in the Cerrado. The treatments were composed of four areas, subdivided into an area with 11 years of NTS, two areas of CL with 5 of 10 years of cultivation, in addition to an area of native vegetation (NV). Estimates were performed after maize cultivation in NT areas and grazing in ILP areas. Informed and deformed soil samples were collected in alloys of 0.0 - 0.1; 0.1 - 0.2; 0.2 - 0.4 and 0.4 - 0.6 m for estimates of soil attributes: density (Ds), weighted average diameter (WMD), soil texture, carbon stock (Cstock), stock of soil fractions SOM and humification rate (HR). The statistical model for data interpretation was that of subdivided plots, having as the first factor the production systems and second the soil depths. The results obtained show that, in general, there is no statistical difference in the accumulation of total C or in the form of fractions, between the agricultural systems. The calculated carbon management index (CMI) showed strong values for the quality of the systems (NT and CL) when compared to NV.

Keywords: light fraction, mineral fraction, humic acid, fulvic acid.

1 INTRODUÇÃO

As práticas de uso e manejo do solo, são vistas como agentes de grande influência sobre o sequestro de carbono (C). As espécies de plantas utilizadas, o número de cultivos e a manutenção da fertilidade, atuam como parte determinante, tanto para o acúmulo de C no solo, quanto no retorno para a atmosfera. Considerando a importância do manejo para a dinâmica de C e a sustentabilidade do solo, os sistemas conservacionistas como o sistema de plantio direto (SPD) e a integração lavoura pecuária (ILP), são estratégias eficientes para o manejo deste elemento.

O SPD é composto por três importantes pilares: o mínimo revolvimento de solo, a cobertura vegetal permanente sobre o solo e a rotação de culturas. A palhada proveniente deste sistema proporciona acúmulo de matéria orgânica no solo (MOS), o que tende a alterar positivamente os estoques de carbono e nitrogênio, melhorando propriedades físicas, químicas e biológicas, como por exemplo: a estrutura do solo, a CTC, a disponibilidade de nutrientes e a microbiota do solo.

Em comparação ao SPD, o ILP possui como diferencial a incorporação de pastagens de forma alternada com a soja, esse revezamento incrementa o aporte de resíduos orgânicos, além disso, plantas pertencentes a família *Poaceae* (gramíneas), são caracterizadas pela alta relação C/N o que confere cobertura prolongada ao solo. Para a região do Cerrado, com clima tropical de altas temperaturas e disponibilidade hídrica restritiva na safrinha, a relação C/N se torna interessante, considerando que a implementação de plantas de cobertura adequada para a temporada, contribui com a manutenção das propriedades do solo, preparando-o para a cultura subsequente.

Estes sistemas, visam a conservação das propriedades físicas, químicas e biológicas, tendo como referência um solo sob vegetação nativa. Neste contexto, entender a dinâmica de C e a capacidade de um sistema em estocar Carbono, contribui tanto para o monitoramento da qualidade do solo, quanto para a diminuição dos gases do efeito estufa (GEE), além disso os estoques de C, tem sido importantes indicadores das boas práticas agrícolas.

Além disso, tão significativo quanto avaliar o estoque total de carbono, é o estudo dos compartimentos da MOS, os quais são divididos em frações físicas e químicas, sendo que em sua forma física atua diretamente na disponibilidade de C ao solo, MOS prontamente disponível ou mais recalcitrante. Já a forma química apresenta uma MOS mais estável, dependente das

propriedades físico-químico-biológicas, essa fração é constituída de: ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina, sendo considerados principais componentes da MOS.

Tendo em vista a importância dos estoques de C, o objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade dos sistemas conservacionistas no sequestro de C do solo para a atmosfera, além do comportamento das frações físicas e químicas da MOS e da influência do tempo no acúmulo de C.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Estoque de Carbono

Os ecossistemas terrestres são fundamentais no ciclo do carbono (C), sendo o solo seu maior reservatório (Wang et al., 2019). Segundo Ferreira et al. (2020), o carbono orgânico (Corg) é estabilizado em ecossistemas naturais, todavia, quando áreas de vegetação natural são convertidas para áreas de produção agrícola, tem-se observado diminuição nos teores de C (Nunes et al., 2011; Braida e Reichert, 2014).

A disponibilidade, o armazenamento e o sequestro de C, são atribuídos a um conjunto de fatores, como: a cultura agrícola utilizada, o manejo do solo, o tipo de material vegetal que fica disposto sobre o solo e o clima (Coser et al., 2016). Assad et al. (2013), consideram o clima e os tipos de solo como determinantes no acúmulo de carbono, enquanto Pulrolnik (2009), sugere que as condições ambientais e o manejo adotado é que são influentes na dinâmica de C, sendo que o manejo atua fortemente sobre a entrada e saída de C do solo, influenciado, tanto nas emissões de CO₂ para a atmosfera, como no armazenamento de C orgânico. Em suma, as práticas de uso e manejo são responsáveis pelo equilíbrio do carbono no sistema solo-atmosfera (Ferreira et al., 2020).

A erosão e a decomposição acelerada da matéria orgânica do solo (MOS), por microrganismos, são agentes da perda de C, principalmente em solos submetidos a manejos inadequados (Coser et al., 2016). Diante deste contexto, muito se tem comentado a respeito da importância da produção conservacionista, a qual tem como objetivo a sustentabilidade do sistema aliada a altas produtividades. Nestes sistemas, as perdas de C são minimizadas pelo revolvimento restrito, apenas na linha de semeadura, o que conseqüentemente auxilia na preservação das propriedades físicas, químicas e biológicas, estabilizando a qualidade do solo

(Lal, 2015), influenciando na agregação das partículas (Souza et al., 2016), na porosidade total e na densidade aparente (Rossetti e Centurion, 2015).

Compreende-se assim, a importância de práticas agrícolas que visem o aumento da produção aliado a preservação do solo, uma vez que manejos intensivos de preparo ou cultivo do solo acarretam fatores prejudiciais ao sistema. O manejo inadequado diminui o estoque de carbono do solo e conseqüentemente aumenta o CO₂ emitido pelo solo por mineralização da MOS (Freitas et al., 2018). Em contrapartida, quando o solo é submetido a condições adequadas de manejo, o sistema sequestra C da atmosfera, na tentativa de mitigar a emissão de CO₂ resultante do uso de combustíveis.

Estudos referentes ao estoque do carbono são de grande relevância devido a sua correlação com a emissão de CO₂ e mudanças climáticas. Também é de suma importância ressaltar que a avaliação do estoque de carbono é um importante indicador capaz de sinalizar o funcionamento sustentável do solo (Denardin et al., 2014).

2.2 Frações da matéria orgânica do solo

Apesar de contribuir somente com pequena percentagem em solos minerais, a matéria orgânica do solo (MOS) é componente essencial para a manutenção e qualidade dos processos: químicos, físicos e biológicos do solo (Carter, 2001).

Sucintamente, a MOS é composta por resíduos animais ou vegetais, microrganismos e elementos orgânicos, como o carbono (C) e nitrogênio (N) (Schmidt et al., 2011). Aproximadamente 58 % da MOS é C (Machado et al., 2003), o qual pode ser facilmente encontrado como carbono orgânico total (COT) ou então, na forma de frações físicas, com diferentes pesos moleculares que refletem na disponibilidade de C ao solo. Ou ainda, como frações químicas, intituladas de substâncias húmicas, as quais são formadas a partir da oxidação e polimerização da MOS (Stevenson, 1994).

Sendo assim, o fracionamento físico divide o C em três categorias: C da fração leve (C-FL), C da fração particulada (C-FP) e C associado aos minerais (C-MIN) (Reis et al., 2016; Amorim, 2016). Ressalva-se que para o presente estudo destaca-se apenas a C-FL e o C-MIN.

A fração leve (C-FL) relaciona-se com a MOS que não é ligada aos agregados do solo, isso a torna mais suscetível a ação dos microrganismos e, conseqüentemente, acelera a decomposição (Santos et al., 2015). É proveniente de resíduos de plantas, raízes e hifas que apresentam estruturas celulares reconhecíveis, sendo uma fração considerada sensível às

práticas de manejo a curto prazo, por isso, sua determinação é importante na avaliação do sistema de manejo adotado (Rangel; Silva, 2007).

As variações do conteúdo da fração leve são explicadas pelos resultados das alterações na quantidade e qualidade dos resíduos vegetais adicionados ao solo e da relação entre a entrada por superfície e subsuperfície destes resíduos e, principalmente, pelas formas de manejo adotadas em período de curto prazo (Barreto et al., 2008).

O C-MIN é associado aos argilominerais do solo, apresentando material decomposto mais protegido e por isso, não sofre tanto à ação dos microrganismos. Esta, é uma MOS no estágio mais avançado de decomposição e a menos sensível aos tratos culturais, em curto prazo (Kunde et al., 2016; Ensinas et al., 2016).

Já no fracionamento químico, são encontradas as substâncias húmicas (SHs), as quais são descritas como sendo misturas heterogêneas de polieletrólitos criados a partir da degradação química e biológica de resíduos animais e vegetais (Rosa et al., 2001). São substâncias que possuem expressividade de grupos funcionais como carbonilas e hidroxilas fenólicas, os quais são importantes agentes na complexação e troca iônica. Além disso, apresentam características anfipáticas que permitem com que estas se relacionem com a superfície mineral do solo (Mikkelsen, 2005; Burlakovs et al., 2013).

As pautas de pesquisas voltadas aos compartimentos da MOS, vem sendo cada vez mais discutidas, principalmente as que compõem as frações estáveis, denominadas como substâncias húmicas (Primo et al., 2011). Estas são constituídas por: ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina, sendo considerados os principais componentes da MOS (Silva e Mendonça, 2007) e, determinados conforme a sua solubilidade.

Os ácidos fúlvicos (AF), de menor peso molecular incidem no metabolismo e no crescimento das plantas (Nardi et al., 2002), os AF são solúveis em meio alcalino e em ácido diluído. Compostos principalmente de: polissacarídeos, aminoácidos e compostos fenólicos. Já o ácido húmico (AH), tem maior peso molecular e exerce maior capacidade de troca de cátions (CTC), principalmente nas camadas mais superficiais do solo devido a presença dos resíduos culturais (Benites et al., 2003). Essa fração é facilmente identificada (quando separada) por sua coloração esverdeada e bastante escura. É solúvel em meio alcalino, no entanto, ao contrário do que acontece com o AF, o AH não apresenta solubilidade em meio ácido diluído.

Atualmente, considera-se a hipótese de que sistemas conservacionistas que priorizam o incremento de massa seca, podem alterar o comportamento das SH em cada fração, isso acontece devido aos diferentes resíduos orgânicos e/ou animais incorporados no solo (Beutler et al., 2015). Nesse sentido, visando compreender a dinâmica do comportamento do C das

frações em cada sistema de produção, os estudos voltados não somente a MOS total, mas também, aos seus compartimentos, dadas as relevâncias, são amplamente adotados.

2.3 Sistemas Conservacionistas

Com o crescente aumento populacional, a demanda alimentícia será cada vez maior. Com o intuito de continuar atendendo às altas produções, é de suma importância garantir a conservação do sistema e produzir com sustentabilidade. Assim sendo, os sistemas conservacionistas são práticas que alcançaram espaço no setor agrônomo, visando: a conservação do solo, a minimização dos riscos de degradação e o aumento da eficiência de produção (Rusu, 2014).

O sistema de plantio direto, é amplamente utilizado nas principais regiões produtoras de grãos, como ferramenta e/ou estratégia importante para manutenção da qualidade do solo e incrementos de produtividade (Brito et al, 2018). Estudos estimam que das mais de 63 milhões de hectares agricultáveis no Brasil, aproximadamente 33 milhões de hectares já tenham adotado o SPD como principal forma de manejo (FEBRAPDP, 2018).

O SPD é uma prática conservacionista que tem seus princípios baseados: no mínimo revolvimento, na rotação de culturas, e na cobertura permanente do solo. Estes critérios, tem como um dos objetivos favorecer propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Silva et al., 2021).

O mínimo revolvimento proporcionado por esse sistema auxilia na conservação do solo, evitando a rápida mineralização da matéria orgânica e, conseqüentemente, perdas de nutrientes como carbono (C) e nitrogênio (N) (Villamil e Nafziger, 2015). O C é elemento participativo da estrutura do solo e é considerado componente chave na ciclagem de nutrientes, além disso, outros benefícios ofertados pelo SPD são verificados, como: o aumento da porosidade total, do teor de água disponível para as plantas e das taxas de sequestro de carbono atmosférico (Skaalsveen et al., 2019)

Outra prática considerada como base da agricultura conservacionista é o sistema de integração, este é dividido em modalidades, sendo a integração lavoura pecuária (ILP) e a integração lavoura pecuária floresta (ILPF) as mais adotadas. Em se tratando especificamente do ILP, as diferentes espécies forrageiras utilizadas neste sistema, são plantas caracterizadas pela alta relação C/N, aspecto que aumenta a permanência da massa seca sobre o solo, proporcionando liberação lenta de nutrientes e acúmulo de carbono através da decomposição prolongada (Souza et al., 2019).

Conforme o estudo realizado por Bonetti et al. (2018), sobre as propriedades físicas e biológicas do solo em ILP, os autores concluíram que o sistema melhora as condições físicas do solo e promove o aumento da biomassa microbiana carbono e nitrogênio em relação ao SPD. Desta forma, pode-se afirmar que o manejo de solo e as culturas estabelecidas são partes responsáveis pelo acúmulo de C no sistema.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Área experimental

O experimento foi conduzido no Centro de Tecnologia COMIGO (CTC), em Rio Verde – GO (Figura 1). O clima é classificado em B4 rB'4a' (úmido, pequena deficiência hídrica, mesotérmico e evapotranspiração no verão menor que 48%), de acordo com Köppen (Lopes Sobrinho et al., 2020). O solo em estudo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO distrófico (Santos et al., 2018), contendo 57% areia, 38% de argila e 5% de silte. A caracterização química do solo encontra-se na Tabela 1.

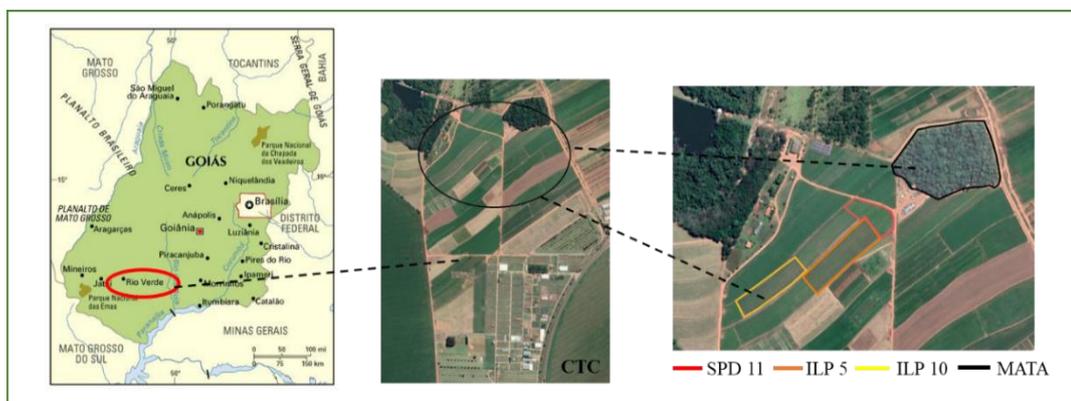


Figura 1. Localização da área experimental.

Tabela 1. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico em área com diferentes sistemas de produção, em Rio Verde, Goiás, Brasil

pH CaCl ₂	Cacmol _c dm ⁻³	Mgcmol _c dm ⁻³	Al	Kmg dm ⁻³	Pmg dm ⁻³	V %
5,2	2,6	0,86	0	95,8	15,25	53,8

Neste estudo, foram avaliados diferentes sistemas de produção agrícola, sendo uma área com sistema de plantio direto (SPD) sucessão soja (*Glycine max*) / milho (*Zea mays*) instalado em 2010 e duas áreas com o sistema integração lavoura pecuária (ILP) sucessão soja / forrageira *Urochloa híbrida* cv. Mavuno instaladas em 2011 e 2016. Além das áreas agrícolas, foi avaliada uma área sob vegetação nativa de Cerrado (mata).

Para o manejo anual da fertilidade do solo, tanto no SPD, quanto no ILP, foram distribuídas 2 t ha⁻¹ de calcário (PRNT 74 %). A adubação potássica foi realizada a lanço com 200 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (KCl) e 100 kg ha⁻¹ de FTE BR 12 (3,9 % de S, 1,8 % de B, 0,8 % de Cu, 2,0 % de Mn e 9,0 % de Zn) e 20 kg ha⁻¹ de Sulfurgran (90 % de S). A adubação fosfatada contou com 250 kg ha⁻¹ de Fosfato Monoamônio (MAP) no sulco de semeadura.

Amostragem de solo

A coleta de solo foi realizada no dia 07 de outubro de 2021, com 4 repetições por área, até a profundidade de 0,60 m. Foram realizadas amostragens do tipo deformadas e indeformadas de solo. Para isso, foram abertas 4 trincheiras para cada sistema, com dimensões de 0,40 x 0,30 x 0,80 m de largura, comprimento e profundidade respectivamente, subdividindo a amostragem em camadas de 0,00 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,40 e 0,40 - 0,60 m. As amostras indeformadas foram coletadas de cada trincheira, com auxílio de cilindros de aço de 100 cm³ e, ao redor desta, foram extraídas as amostras deformadas de solo, por meio de um trado holandês, nas mesmas profundidades.

Avaliações

Densidade do solo

A determinação da densidade do solo (Ds), ocorreu de acordo com a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017). Onde, são calculadas a massa do solo após secagem a 105 °C e o volume total do cilindro de coleta.

Textura do solo

A composição granulométrica foi determinada pelo método da pipeta, utilizando solução de NaOH - 0,1N como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de baixa rotação por 16 h, seguindo método proposto por Teixeira et al. (2017). A fração argila foi separada por sedimentação, seguindo a lei de Stokes, sendo a fração silte determinada pela diferença entre areia e argila.

Diâmetro Médio Ponderado (DMP)

O DMP foi determinado usando método de peneiramento proposto por Kemper e Chepil (1965). Ainda em campo realizou-se um primeiro peneiramento para cada amostra obtida, utilizando um conjunto de peneira com malhas de 8 e 4 mm, sendo considerada apenas a subamostra que ficaria retida na peneira de 4 mm. Já em laboratório, os agregados passaram por um agitador de peneiras para que fossem obtido o DMPs, posteriormente, foram umedecidos previamente por capilaridade, por um período de 10 min e submetidos a peneiramento úmido (25 min) com malhas de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,125 mm para quantificação do DMPu. Ao fim do tempo, o solo retido em cada peneira foi seco em estufa por 24h. Para quantificação do DMP foram utilizados os valores obtidos nos respectivos peneiramentos a seco e úmido (Teixeira et al., 2017).

Índice de estabilidade de agregados (IEA)

O IEA foi calculado de acordo com a metodologia proposta por Teixeira et al. (2017).

$$IEA: \frac{DMPu}{DMPs} * 100$$

Onde,

IEA: Índice de estabilidade dos agregados (%);

DMPu: diâmetro médio ponderado por via úmida (mm);

DMPs: diâmetro médio ponderado por via seca (mm).

Carbono Orgânico

O carbono orgânico (Corg) foi determinado conforme o método de Sims e Haby (1971). O princípio é a oxidação da matéria orgânica em via úmida com dicromato de potássio em meio fortemente ácido (H₂SO₄). Dada a metodologia, pesou-se 1,0 g de terra fina seca ao ar (TFSA) em erlenmeyer de 125 mL, com adição de 10 mL da solução de dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇) 0,5 M + 20 mL de H₂SO₄ concentrado. Logo após o período de incubação (20 min) o volume de cada amostra foi completado para 100 mL de água deionizada e a mistura centrifugada a 3.500 rpm por 10 min.

A determinação da análise foi realizada com a leitura de uma alíquota de 7 mL centrifugada em espectrofotômetro com comprimento de onda de 600 nm de absorvância. Os

dados foram submetidos a uma curva com doses crescentes de C com uso de solução de sacarose a 7%.

Fracionamento físico da Matéria Orgânica do Solo (MOS)

O fracionamento físico da MOS foi realizado seguindo metodologia proposta por Cambardella e Elliot (1992). O procedimento iniciou-se com a pesagem de 20 g de solo em frascos do tipo *snap-cap* de 250 mL, posteriormente, foram adicionadas em cada amostra 50 mL da solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L^{-1}), as quais foram agitadas por 16 h em agitador horizontal. A suspensão foi passada em peneira de $53 \mu\text{m}$, em que se realizou a separação do material. A divisão ocorreu com auxílio de jatos de água destilada, até que a porção contida na peneira fosse totalmente lavada. Para isso, foram necessários aproximadamente 800 mL de água.

O material que ficou retido na peneira foi seco em estufa a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ e correspondeu à fração leve (FL). A caracterização do C na fração leve (C-FL) procedeu-se por meio de combustão úmida. O C da fração associada aos minerais (C-MIN) foi determinado a partir da quantificação do C da fração leve, conforme a seguir:

$$C\text{-MIN} = C_{\text{org}} - C\text{-FL}$$

Onde,

C-MIN: carbono associado aos minerais;

C_{org} : Carbono orgânico total;

C-FL: carbono da fração leve.

Fracionamento químico da Matéria Orgânica do Solo (MOS)

O carbono das frações ácido húmico e fúlvico (C-AH e C-AF) foi determinado de acordo com a metodologia de extração proposta por Benites et al. (2003). A análise iniciou com a pesagem de 7,0 g de TFSA em tubos de centrífuga com adição de 20 mL de NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, e após um período de repouso de 24 h as amostras passaram por centrifugação a 10.000 rpm por 30 min, o sobrenadante foi reservado e o precipitado novamente suspenso com + 20 mL de NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. Em seguida, foram submetidas a um repouso correspondente a 60 min, passado este período, houve uma nova centrifugação a 10.000 rpm por 30 min. Posteriormente, o sobrenadante foi misturado com o reservado, e o precipitado restante (fração humina) foi descartado.

Para separação das demais frações, a amostra líquida foi acidificada com H_2SO_4

concentrado até pH 1,0-2,0 e posterior repouso por 30 min. Novamente, as amostras foram centrifugadas a 10.000 rpm por 30 min, e o sobrenadante, o ácido fúlvico (colorido) foi reservado em proveta tendo seu volume completado para 50 mL, e o precipitado, o ácido húmico, foi dissolvido em 10 mL de NaOH 0,5 mol L⁻¹ com volume completado para 50 mL. A determinação do carbono dos ácidos fúlvico e húmico foi feita de acordo com a metodologia de Sims e Haby (1971) descrita anteriormente para carbono orgânico, utilizando-se 20 mL de extrato.

Estoque de Carbono orgânico total e das frações

O estoque de carbono e das frações orgânicas do solo (fração leve - FL, carbono associado aos minerais F-MIN, ácido húmico - AH, ácido fúlvico - AF), foi calculado baseado no teor de Corg ou C-frações da MOS e na camada de massa de solo equivalente, de acordo com equação de Veldkamp (1994):

$$EstC \text{ kg m}^{-2} = C_{org} \text{ ou } C_{frações} \times Ds \times prof.$$

Onde,

EstC: estoque de carbono ou das frações orgânicas (kg m⁻²);

C: teor de carbono orgânico ou das frações de MOS (%);

Ds: densidade do solo (Mg m⁻³);

Prof.: profundidade (m).

Taxa de humificação

A taxa de humificação foi calculada pelas relações a seguir (Ciavatta et al., 1990):

$$TH (\%) = 100 * (C_{AH} + C_{AF}) / C_{org}$$

Onde,

TH: taxa de humificação;

C_{AH}: carbono da fração ácido húmico;

C_{AF}: carbono da fração ácido fúlvico;

C_{org}: carbono orgânico total.

Índice de Manejo do Carbono

Tanto o efeito dos tratamentos, quanto a capacidade de armazenar o carbono foi avaliada de forma relativa, pelo cálculo do Índice de Manejo do Carbono (IMC), o qual considera o fator quantidade (IEC) e qualidade (IL) de C do solo, sendo que quanto maior o IMC, maior a qualidade do solo, em possuir frações lábeis no solo (BLAIR et al., 1995).

$$IMC = IEC \times IL \times 100$$

Onde,

IMC: índice de manejo de carbono;

IEC: índice de eficiência do carbono;

IL: índice de labilidade.

Sendo,

$IEC = COT_{tratamento} / COT_{areadereferência}$;

$IL = L_{tratamento} / L_{areadereferência}$;

$L = C\text{-FL} / C\text{-MIN}$;

C-FL: Carbono da fração leve;

C-MIN: Carbono da fração mineral.

3.1 Análise estatística

O modelo estatístico para interpretação de dados foi o de parcelas subdivididas, tendo como primeiro fator os sistemas de produção e segundo as profundidades de solo. Na interpretação de dados, realizou-se a análise de variância e, para comparação de médias, aplicou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o software Sisvar (Ferreira et al., 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância (ANAVA) mostrou efeito significativo de interação entre os sistemas de produção e as profundidades para a maioria dos atributos avaliados (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da ANAVA com valores de Fc calculado e nível de significância para diferentes atributos do solo, em áreas com sistemas de produção estabelecidos em anos distintos, em Rio Verde – GO

	GL	EstC	EstC-FL	EstC-MIN	EstC-AH	EstC-AF	Arg	Are	Sil
Rep	3	1,45 ^{ns}	0,50 ^{ns}	1,57 ^{ns}	3,06 ^{ns}	1,77 ^{ns}	0,87	1,20	0,77
Sistemas	3	12,84*	4,10*	24,12**	13,28*	3,21 ^{ns}	4,16*	3,07	1,89
Erro 1	9	-	-	-	-	-	-	-	-
Prof	3	20,37**	15,13**	2,76 ^{ns}	1,95 ^{ns}	5,82*	0,74	0,23	1,83
Trat*Prof	9	2,89*	11,68**	3,29*	3,78*	5,53**	1,21	0,99	1,11
Erro 2	36	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	63	-	-	-	-	-	-	-	-
CV 1 (%)		10,86	18,74	15,95	35,63	31,58	17,16	14,80	41,91
CV 2 (%)		12,71	18,49	18,24	26,78	22,91	19,58	15,48	49,85
	GL	Ds	DMP	IEA	IEC	L	IL	IMC	TH
Rep	3	3,22 ^{ns}	0,75	0,39	0,70 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,81 ^{ns}	6,79*
Sistemas	3	15,86**	12,33**	15,36**	6,46*	8,87*	20,93**	56,26**	17,56**
Erro 1	9	-	-	-	-	-	-	-	-
Prof	3	7,90**	13,94**	9,98**	24,64**	21,61**	91,78**	193,76**	14,53**
Trat*Prof	9	5,91**	0,94	1,63	3,25*	17,90**	11,84**	24,32**	2,26*
Erro 2	36	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	63	-	-	-	-	-	-	-	-
CV 1 (%)		4,40	52,92	47,09	13,06	33,53	29,67	16,27	18,05
CV 2 (%)		5,52	39,06	48,05	8,01	18,55	30,00	22,14	25,55

EstC: estoque de carbono do solo; EstC-FL: estoque da fração leve; EstC-MIN: estoque da fração associada aos minerais; EstC-AH: estoque de ácido húmico; EstC-AF: estoque de ácido fúlvico; Arg: argila; Are: areia; Sil: silte; Ds: densidade do solo; DMP: diâmetro médio ponderado; IEA: índice de estabilidade dos agregados; IEC: índice de estabilidade do carbono; L: labilidade; IL: índice de labilidade do carbono; IMC: índice de manejo do carbono; TH: taxa de humificação; ns: não significativo; *: significativo a 1%; **: significativo a 5%.

O estoque de C do solo foi maior ($p < 0,05$) na camada de 0,00 - 0,10 m, na área de vegetação nativa (VN) com 3,70 kg m² seguido de 2,54, 2,64, 2,41 kg m² nas áreas de SPD11, ILP5 e ILP10, respectivamente (Figura 2, A). Esse resultado apresenta-se pela conversão de áreas de vegetação natural para áreas agrícolas (Braidá e Reichert, 2014). Em estudo realizado por Locatelli et al. (2022), os autores observaram que a mudança no uso da terra diminuiu consideravelmente os teores de C no solo, corroborando com os resultados encontrados por Oliveira et al. (2017), em estudo sobre a avaliação de C lábil em solos modificados no Brasil.

Para Freitas et al. (2018), as atividades agropecuárias alteram o acúmulo de C devido as constantes perturbações que ocorrem no sistema, exemplificando, o revolvimento do solo, o que ocasiona a quebra de agregados que tendem a expor a MOS a ação de fatores bióticos e abióticos, tornando-a suscetível a decomposição acelerada.

No geral, foram detectados em todos os sistemas de produção, redução de C em profundidade (Figura 2, A), este comportamento foi observado por outros autores (Freixo et al.,

2002; D'Andrea et al., 2004), os quais atribuem esse efeito a menor disponibilidade da MOS nas camadas mais profundas do solo.

Na camada de 0,00 - 0,10 m, para o estoque da fração leve (EstC-FL) foi possível observar maior estoque no solo sob VN 1,31 kg m² e ILP5 1,16 kg m² quando comparado com o solo sob SPD11 0,75 kg m² (Figura 2, B).

O C-FL é o compartimento que possui a MOS mais fresca, estando presente na superfície do solo em diferentes estágios de decomposição, sendo que no estágio inicial, é possível reconhecer o material de origem que originou a fração leve. Importante ressaltar que o C-FL é suscetível ao manejo adotado (a curto prazo) e sua disponibilidade é influenciada a partir da quantidade e qualidade do material vegetal contido no solo (Machado, 2003).

No estudo das frações da matéria orgânica do solo, sob sistemas conservacionistas, realizado por Gazolla et al. (2015), os autores observaram resultado semelhante, com maior teor do C-FL na área de cerrado nativo 78,42 g kg² quando comparado com o solo sob SPD 21,25 g kg², nas camadas mais superficiais do solo. Segundo Rossi et al. (2011), é comum que em áreas onde a concentração de C total é mais significativa, também sejam mais expressivos os valores de C-FL, devido ao maior acúmulo de cobertura vegetal, corroborando com a correlação positiva entre EstC e EstC-FL de 0,51 (Tabela 6).

Já na camada de 0,10 - 0,20 m, observou-se efeito contrário, em que a VN apresentou menor EstC-FL com 0,32 kg m², quando comparada aos sistemas de produção, variando de 0,32 – 1,13 kg m² (Figura 2, C). Estima-se que o estoque desta fração tenha reduzido aproximadamente 24% do encontrado na primeira camada do solo.

Nanzer et al. (2019), com o objetivo de avaliar os diferentes usos de solo e o impacto sob a quantidade da MOS, constataram que na camada correspondente a 0,10-0,20 m, os maiores valores de estoque C-FL foram observados nas áreas com uso de floresta consorciada com frutífera 4,7 Mg ha⁻¹ comparada à área de vegetação nativa com 2,6 Mg ha⁻¹.

Na camada de 0,10-0,20 m, no geral, o maior EstC-FL está no solo sob SPD 11 (Figura 2, B). Os demais sistemas de produção e a vegetação nativa demonstram maior concentração na camada mais superficial do solo. Uma hipótese para o presente resultado, é a implementação de soja (*Glycine Max* L.) e milho (*Zea mays* L.) em sucessão. Neste caso, o cultivo é mais intensivo, com revolvimento do solo mais presente, tornando a massa seca mais suscetível a decomposição acelerada na camada mais superficial do solo, ao mesmo tempo em que acumula estoque na camada subsuperficial.

O estoque de carbono associado aos minerais (EstC-MIN) foi significativo para área sob vegetação nativa, nas profundidades de 0,00 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m, com valores de 2,38 e 2,15

kg m², quando comparado com os demais sistemas que variaram de 1,41 – 1,26 kg m² (Figura 2, C). A fração C-MIN tem relação com os minerais de silte e argila, o que pode ser confirmado pela correlação significativa entre EstC-MIN e argila (0,61) encontrada na tabela 6.

Embora a fração C-MIN seja pouco modificada pelo manejo agrícola a curto prazo (Bayer et al. 2004), o ambiente estável da VN proporciona um ambiente conveniente para estoques de MOS (Guareschi et al., 2012). Como nessa área não ocorre nenhuma alteração antrópica na estrutura do solo, o C fica mais protegido pelos agregados e mais estável na fração mineral do solo. Isto foi confirmado neste estudo pela correlação significativa entre EstC-MIN e IEA (índice de estabilidade de agregados) de 0,38, indicando maior EstC-MIN em área com índice de estabilidade de agregados do solo mais elevada.

Conforme observado por Melo et al. (2016), que constataram esse mesmo padrão de resposta quando avaliaram o teor de C-MIN no cultivo de repolho em plantio direto, cultivo de repolho em sistema de plantio convencional, pastagem cultivada com *Urochloa decumbens* e cerrado nativo. De mesmo modo, Guareschi et al. (2013), encontraram diferença significativa para o EstC-MIN na camada de 0,10-0,20 m, no solo sob cerrado nativo com 32,04 Mg ha⁻¹ em comparação com as áreas sob pastagem e SPD (3 anos) que obtiveram estoques de 10,14 e 10,56 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Quando avaliados separadamente, os sistemas de produção não apresentaram diferenças estatísticas ($p < 0,05$), no entanto, a área de referência de conservação (vegetação nativa) apresentou redução de 68% nos estoques de C-MIN em profundidade.

O maior estoque de ácido húmico (EstC-AH) na camada de 0,10 - 0,20 m está no solo sob vegetação nativa (0,72 kg m²), seguido da ILP 10 com 0,46 kg m². Comportamento semelhante foi observado na camada de 0,20-0,40 m, onde a VN e a ILP 10 apresentaram estoques de 0,65 e 0,60 kg m², porém, sem diferença significativa ($p > 0,05$) (Figura 2, D).

Para o estoque de ácido fúlvico (EstC-AF), na camada de 0,10 - 0,20 m observou-se variação no teor de C entre os sistemas de produção agrícola com a vegetação nativa. O maior estoque de AF foi encontrado na área de VN, com 0,51 kg m² quando comparado aos demais sistemas agrícolas (0,16-0,30 kg m²) (Figura 2, E).

Uma hipótese para o resultado encontrado está na correlação negativa entre C-AF e C-FL (Tabela 6), entende-se que em razão do solo sob vegetação nativa não ter revolvimento, o C-FL tende a ficar restrito apenas na camada mais superficial do solo, aumentando o teor de C-AF na camada subsequente. O menor EstC-AF para SPD 11 está na camada de 0,10-0,20 m, devido ao maior EstC-FL encontrado nesta profundidade.

Além disso, foi possível observar que os EstC-AH e EstC-AF apresentaram correlação positiva (0,50) (Tabela 6). No geral, ambos foram detectados em maior quantidade na área de vegetação nativa (Figura 2, D; E), indicando que frações orgânicas recalcitrantes, ficam mais concentradas em ambientes de maior preservação da MOS.

Na camada de 0,10 - 0,20 m a maior TH encontra-se no solo de vegetação nativa (Figura 3, F). Dessa forma, entende-se que dos 100% do carbono orgânico total presente nesta camada, 47% estão em forma de substâncias húmicas (ácido húmico e ácido fúlvico). De 0,40 - 0,60 m, o solo sob ILP 10 apresentou 62% de humificação (Figura 2, F), neste caso, mais da metade do C orgânico é proveniente das substâncias húmicas.

O sinergismo que atua sob o ILP pode favorecer essa condição, neste sistema, a rotatividade de cultivos que oferecem alta relação C/N, incrementam o aporte de matéria orgânica, tanto de origem vegetal, como animal, o que por consequência disponibiliza MOS mais humificada e estável ao solo.

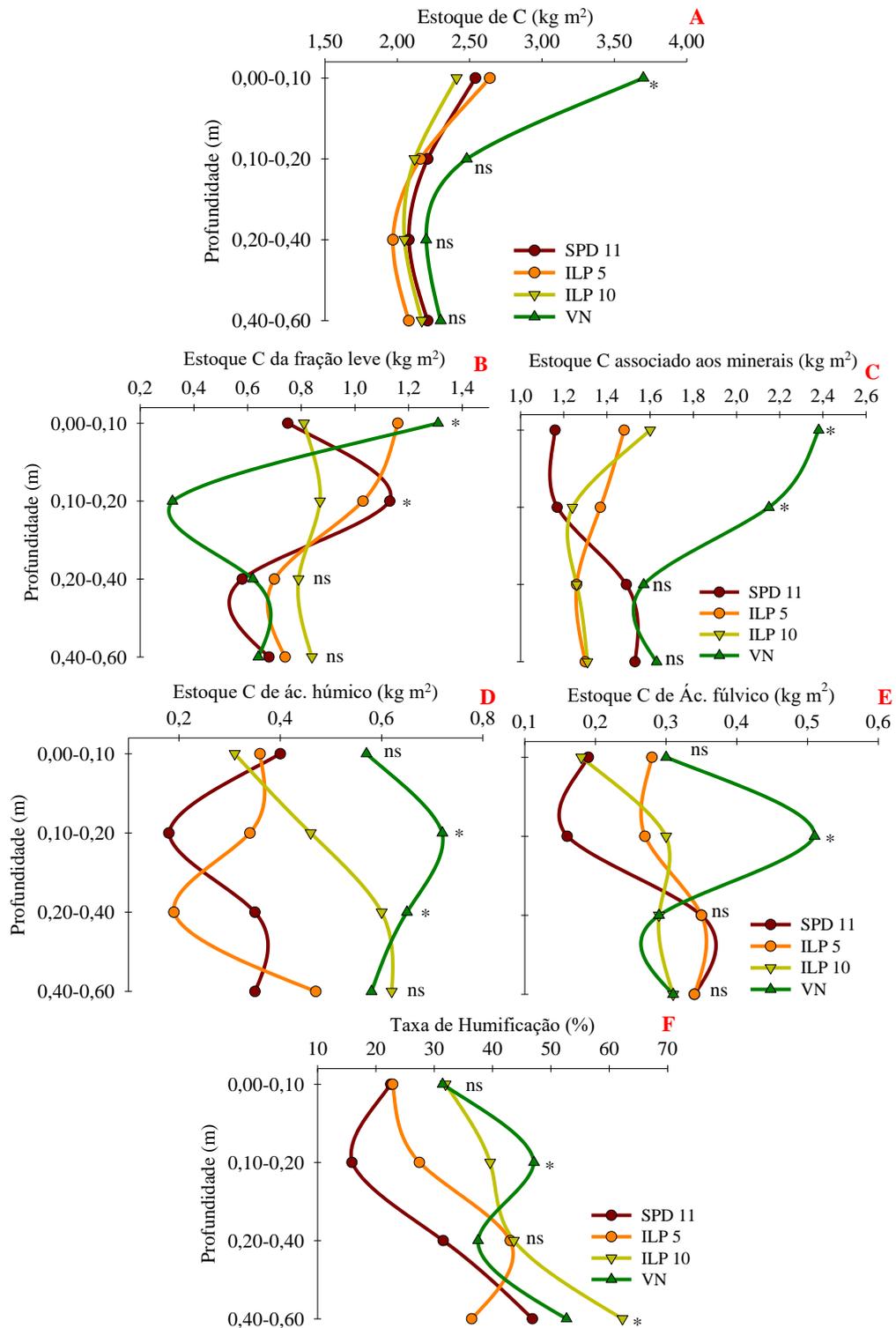


Figura 2. Estoque de C e das frações orgânicas do solo + taxa de humificação sob sistema de plantio direto (SPD) e integração lavoura pecuária (ILP) com histórico de estabelecimentos distintos, além da vegetação nativa (VN) como área de referência de conservação (Rio Verde – GO).

A densidade foi significativa ($p < 0,05$) para todas as profundidades do solo. De maneira geral, é possível observar que para todos os sistemas de produção avaliados, a camada mais superficial do solo em que se observou os menores valores de Ds (Figura 3). Esses resultados podem ser atribuídos a maior deposição de matéria orgânica e a interação aproximada dos solos com fontes residuais (Denardin et al., 2014). Além de ser a camada mais revolvida, o que tende a diminuir a densidade, pois afeta o espaço poroso.

Quando avaliado o comportamento dos sistemas de produção e da vegetação nativa, percebe-se que a densidade do solo sob vegetação nativa, aumenta em profundidade. Esse desempenho é comumente observado, pois nessa situação a ocorrência do adensamento do solo, torna-se natural, devido à proximidade com a MOS reduz conforme aumenta-se a profundidade.

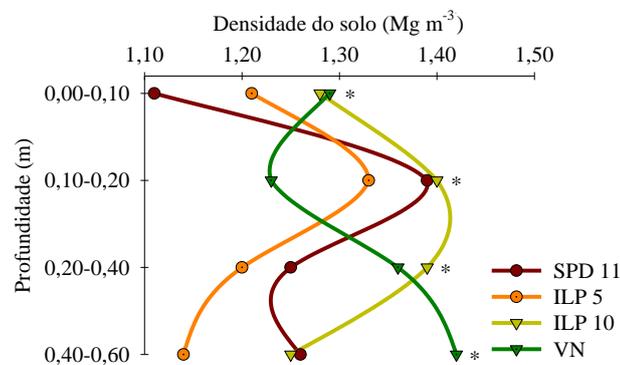


Figura 3. Densidade do solo sob sistema de plantio direto (SPD) e integração lavoura pecuária (ILP) com histórico de estabelecimentos distintos, além da vegetação nativa (VN) como área de referência de conservação (Rio Verde – GO).

Os solos sob sistema de produção agrícola apresentaram classificação textural do solo argilosa (250 - 350 g kg⁻¹ de argila), enquanto o solo de vegetação nativa apresentou solo de classificação de textura média (150 - 250 g kg⁻¹ de argila) (Tabela 3). Importante ressaltar que o teor de argila é um importante parâmetro na avaliação das frações da matéria orgânica do solo, além de facilitar o entendimento sobre o mecanismo de proteção mineral da MOS.

O diâmetro médio ponderado do solo (DMP) apresentou diferença significativa entre as áreas, apresentando valores variando de 1,21 - 0,38 mm e sendo maior na área de vegetação nativa, ou seja, no geral, segue a seguinte ordem: veg. nativa > ILP 10 > SPD 11 > ILP5 (Tabela 3), demonstrando que o melhor resultado para DMP foi nas áreas com maior preservação do solo ao longo do tempo (Souza et al., 2021).

Em profundidade do solo, foi possível observar maior DMP na camada mais profunda do solo, provavelmente devido a maior preservação do solo nesta camada, visto que nos

sistemas de manejo de solo, a camada de 0 até 40 cm possui em algum momento manejo de solo, seja para fins de preparo de solo ou seja para fertilidade (Tabela 4).

Na avaliação do índice de estabilidade de agregados, as áreas de vegetação nativa e ILP 10 apresentaram maior IEA com 24,93 e 19,37%, quando comparado com ILP 5 com 7,31%, indicando benefício do ILP 10 para estabilidade física do solo (Tabela 3). Um fator que pode ter contribuído para este resultado é inalteração do solo por determinado período, já estas áreas também são destinadas a pastagem (Six et al., 2004), além disso, entende-se que apesar de 10 anos não ser suficiente para definir estabilidade (Altman et al., 2010), algumas propriedades ficam tendenciosas a mesma.

E quando avaliada a camada do solo, o IEA apresenta tendência semelhante ao DMP, apresentando maior estabilidade na camada mais profunda, apesar de não existir correlação significativa.

Tabela 3. Resultados obtidos na ANOVA na avaliação dos atributos físicos do solo para cada sistema de produção

Sistemas	Argila	DPM	IEA
	g kg ⁻¹	mm	%
SPD 11	332,61 ab	0,62 bc	13,81 bc
ILP 5	345,75 ab	0,38 c	7,31 c
ILP 10	359,70 a	0,92 ab	19,37 ab
VN	282,98 b	1,21 a	24,93 a

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Comportamento do diâmetro médio ponderado e do índice de estabilidade dos agregados, em cada profundidade avaliada

Profundidades (cm)	DMP	IEA
	mm	%
0-10	0,70 bc	12,61 b
10-20	0,47 c	10,73 b
20-40	0,81 b	17,44 ab
40-60	1,16 a	24,65 a

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O índice de estabilidade do carbono (IEC) não apresentou significância entre os sistemas de produção em nenhuma das profundidades avaliadas (Tabela 5), indicando que os sistemas avaliados representam uma boa estratégia de manejo agrícola, com valores de estabilidade do carbono do solo próximos ao valor de uma área de referência.

A labilidade (L) foi maior para o SPD 11 (1,19) na camada de 0,00 - 0,10 m, enquanto para as demais áreas a labilidade ficou em 0,71, 0,65, 1,00 para ILP 5, ILP 10 e mata, respectivamente. Já para as demais profundidades, a L não diferiu entre os sistemas de cultivo. Para o IMC, foram observadas apenas diferenças estatísticas na camada de 0,00 - 0,10 m.

O cálculo de IMC é adotado com o intuito de fazer comparações quanto aos sistemas de manejo, visando observar diferenças qualitativas do solo (Leal et al., 2016; Reis et al., 2016). Vale ressaltar que o índice possui maior enfoque para o carbono lábil. Assim, foi detectada diferença significativa na camada de 0,10-0,20 m, com maior IMC nas áreas agrícolas (SPD e ILP) com valores > 100 comparada ao solo de vegetação nativa (Tabela 5), indicando que o cultivo agrícola origina frações da MOS mais lábeis, do que estáveis no solo, resultado das alterações no solo e maior deposição de resíduos vegetais com estágios de decomposição iniciais. De acordo com Rossi et al. (2012), práticas de revolvimento de solo provocam desestabilização da MOS.

Tabela 5. Índices de estoque de carbono (IEC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo do carbono (IMC) do solo, com anos de estabelecimentos e sistemas de produção distintos

Sistemas	IEC	L	IL	IMC
0,00-0,10 m				
SPD 11	0,68 b	1,19 a	2,04 a	140,03 a
ILP 5	0,71 b	0,69 b	1,50 a	98,70 a
ILP 10	0,65 b	0,51 b	0,88 a	57,18 a
VN	1,00 a	0,58 b	1,00 a	100,00 a
0,10 - 0,20 m				
SPD 11	0,86 a	0,82 a	5,54 a	545,94 a
ILP 5	0,87 a	0,95 a	5,47 a	460,70 a
ILP 10	0,85 a	0,79 a	4,76 a	466,00 a
VN	1,00 a	0,14 b	1,00 b	100,00 b
0,20 - 0,40 m				
SPD 11	0,94 a	0,39 a	0,96 a	91,78 a
ILP 5	0,89 a	0,46 a	1,49 a	100,90 a
ILP 10	0,93 a	0,66 a	1,62 a	148,11 a
VN	1,00 a	0,40 a	1,00 a	100,00 a
0,40 - 0,60 m				
SPD 11	0,98 a	0,44 a	1,10 a	108,86 a
ILP 5	0,90 a	0,50 a	1,25 a	149,98 a
ILP 10	0,95 a	0,67 a	1,66 a	155,47 a
VN	1,00 a	0,40 a	1,00 a	100,00 a

IEC: Índices de estoque de carbono; L: labilidade; IL: índice de labilidade; IMC: índice de manejo do carbono. Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Mecanismos de proteção da MOS

O EstC apresentou correlação significativa com o teor de argila no solo de 0,50 (Tabela 6), indicando que o EstC varia em função do teor de argila. Isto porque a argila possui forte interação com partículas orgânica do solo, promovendo uma proteção mineral da MOS, evitando a sua mineralização pelos microrganismos do solo e favorecendo, portanto, sua permanência no solo. Esse mecanismo de proteção da MOS já foi comprovado em diversos estudos (Kleber et al., 2011; Von-Lutzow et al., 2006).

Além do EstC, o teor de argila apresentou correlação significativa com o EstC-MIN (0,61) e EstC-AH (0,32) (Tabela 6), ou seja, as frações orgânicas consideradas mais recalcitrantes do solo possuem sua estabilização devido a argila presente no solo. Este resultado ajuda a entender por que solos argilosos possuem maiores teores de MOS.

Além disso, o teor de argila pode ser mais determinante para manutenção do carbono no solo do que práticas de manejo que preservam o solo. Por exemplo, em estudo de Tavares et al. (2018), avaliando a emissão de C-CO₂ (perda de carbono) em sistema de cana crua e queimada, identificaram que o teor de argila foi mais importante para explicar as variações de CO₂ do que sistemas de manejo que preservam ou eliminam a palhada do solo.

Outro mecanismo de proteção da MOS é promovido pelos agregados do solo, ou seja, a maior estabilidade de agregados garantirá maior proteção da MOS oclusa dentro dos agregados. Assim, neste trabalho foi possível observar que o IEA apresentou correlação positiva com EstC-MIN (0,38) e EstC-AH (0,41) (Tabela 6), indicando que a MOS de frações mais estáveis também está sobre mecanismo de proteção física (agregação) além de mineral (argila) (Assis et al., 2006).

Importante observar que o IEA apresentou correlação negativa com EstC-FL (-0,33), isto porque são frações de maior labilidade no solo aos microrganismos, e no geral, não estão associadas a mecanismos de proteção da MOS.

O IMC apresentou correlação negativa com argila (-0,43), DMP (-0,48), IEA (-0,45), EstC-MIN (-0,37) e positiva com Estc-FL (0,37) e Ds (0,45) o que pode indicar que o IMC indica no solo uma MOS mais lábil e menos estável (Tabela 6).

Tabela 6. Análise da correlação de Pearson para os estoques de C da fração leve (EstC-FL), C associado aos minerais (EstC-MIN), C do ácido húmico (EstC-AH), C do ácido fúlvico (EstC-AF), além da taxa de humificação (TH), Índice de manejo de carbono (IMC), Argila (Arg), densidade (Ds), diâmetro médio ponderado (DMP), índice de estabilidade dos agregados (IEA)

	EstC-FL	EstC-MIN	EstC-AH	EstC-AF	TH	IMC	Arg	Are	Ds	DMP	IEA
EstC	0,51*	0,75**	0,23	-0,05	-0,23	-0,20	0,50**	-0,28	-0,11	0,10	0,12
EstC-FL		-0,009	-0,33	-0,58*	-0,48	0,37**	-0,04	0,15	0,15	0,21	-0,33*
EstC-MIN			0,48	0,46	0,14	-0,37**	0,61**	-0,47**	0,024	-0,03	0,38*
EstC-AH				0,50*	0,57*	-0,25	0,32	-0,37	0,16	-0,20	0,41*
EstC-AF					0,58*	-0,23	0,21	-0,11**	-0,17	0,07	0,33*
TH						-0,26	0,01	-0,24	0,10	-0,01	0,26
IMC							-0,43**	0,18	0,45**	-0,40*	-0,45**
Arg								-0,55**	-0,14	0,08	0,41**
Are									-0,00	-0,02	-0,16
Ds										0,16	0,16
DMP											-0,19

EstC: estoque de carbono do solo; EstC-FL: estoque da fração leve; EstC-MIN: estoque da fração associada aos minerais; EstC-AH: estoque de ácido húmico; EstC-AF: estoque de ácido fúlvico; TH: taxa de humificação; IMC: índice de manejo do carbono; Arg: argila; Are: areia; Ds: densidade do solo; DMP: diâmetro médio ponderado; IEA: índice de estabilidade dos agregados; IEC: índice de estabilidade do carbono; *: significativo a 1%; **: significativo a 5%.

5 CONCLUSÃO

Os sistemas de produção agrícola e o tempo de implementação não influenciam no acúmulo de C.

O C da fração leve é fortemente correlacionado com o C acumulado.

A MOS recalcitrante tanto na forma física, como química está em solos com maior teor de argila.

No geral, todos os sistemas de produção apresentam índices de IMC >100, indicando a qualidade dos sistemas.

REFERÊNCIAS

- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; GROppo, J. D.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; MARTINELLI, L. A. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. **Biogeosciences**, v. 10, n. 10, p. 6141–6160, 2013. DOI: 10.5194/bg-10-6141-2013
- ASSIS, C. P.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 41, n. 10, p. 1541-1550, 2006. DOI: 10.1590/S0100-204X2006001000012.
- BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G. DOS S.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J.; INÁCIO, E. DOS 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. 1, p. 1471–1478, 2008. DOI: 10.1590/s0100-06832008000400011
- BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. 2004. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 7, p. 677–683. DOI: 10.1590/s0100-204x2004000700009
- 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. **Embrapa Solos**, p. 7, 2003.
- BEUTLER, S. J.; PEREIRA, M. G.; LOSS A.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Humic substances and phosphorus fractions in areas with crop-livestock integration, pasture and natural cerrado vegetation in Goiás, Brazil. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, v. 18, n. 1, p. 11-25, 2015.
- BLAIR, G. J.; LEFROY, R.D.B; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, n. 7, p. 1459-1466, 1995. DOI:10.1071/ar9951459
- BONETTI, J. de A.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. de; CARNEIRO, M. A. C.; SILVA, G.N.; CAETANO, J. O. Soil physical and biological properties in an integrated crop-livestock system in the Brazilian Cerrado, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 11, p. 1239-1247, 2018. DOI: 10.1590/S0100-204X2018001100006
- BURLAKOV, J.; KLAVINS, M.; OSINSKA L.; PURMALIS. O. The impact of humic substances as remediation agents to the speciation forms of metal in soil. **APCBEE Procedia**, v. 5, p. 192-196, 2013. DOI: 10.1016/j.apcbee.2013.05.034

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M. Matéria orgânica e comportamento mecânico para fins de manejo de solo. In L. F. C. LEITE; G. A. MACIEL; A. S. F. ARAÚJO (Eds.), **Agricultura Conservacionista no Brasil**, Embrapa, p. 309-361, 2014.

BRITO, C. F. B.; FONSECA, V. A.; SILVA, N. P.; BRAGA, S. S.; GODINHO, F. L.; KONDO, M. K.; PORTUGAL, A. F.; MEGDA, M. X. Alterações físicas e biológicas de um eustróx (latossolo) sob plantio direto e preparo convencional no semiárido brasileiro. **Ciencia del Suelo**, v. 36, n. 2, p. 148-155, 2018.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Participate Soil Organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992. DOI: 10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x

CARTER, M. R. Organic matter and sustainability. In REES, R. M.; BALL, B. C.; CAMPBELL, C. D.; WATSON, C. A. (ED.). **Sustainable management of soil organic matter**. Cabi publishing, p. 9-22, 2001.

CIAVATTA, C.; GOVI, M.; VITORI ANTISARI, L.; SEQUI, P. Characterization of humified compounds by extraction and fractionation on solid polyvinylpyrrolidone. **Journal of Chromatography A**, v. 509, n. 1, p. 141-146, 1990. DOI: 10.1016/S0021-9673(01)93248-0

COSER, T. R., RAMOS, M. L. G., FIGUEIREDO, C. C., CARVALHO, A. M., CAVALCANTE, E., MOREIRA, M. K. R., ARAUJO, P. S. M. and OLIVEIRA, S. A. Soil microbiological properties and available nitrogen for corn in monoculture and intercropped with forage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1660-1667, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900066

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI N.; GUILHERME, R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 2, 2004. DOI: 10.1590/S0100-204X2004000200012

DENARDIN, R. B. N. et al. Estoque de carbono no solo sob diferentes formações florestais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 59-69, 2014. DOI: 10.5902/1980509813323

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

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA - **FEBRAPDP**. Área sob plantio direto. 2018. Disponível em <https://febrapdp.org.br/download/area-PD-Brasil-e-estados.pdf>. Acesso em 20/08/2022.

FERREIRA C. R.; SILVA NETO E. C.; PEREIRA M.G.; GUEDES J.N.; ROSSET J. S.; DOS 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. 104533, 2020. DOI: 10.1016/j.still.2019.104533

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v.37, n.4, p.529-535, 2019.

FERREIRA, V. R.; TAVARES, M. L. R.; MEDEIROS, F. S.; SILVA, A. G.; JUNIOR, S. F. J.; Carbon stock and organic fractions in soil under monoculture and Sorghum bicolor – Urochloa ruziziensis intercropping systems. Soil and Plant Nutrition. **Bragantia**, v. 79, n. 3, p. 425-433, 2020. DOI: 10.1590/1678-4499.20200042

FREITAS, L. de.; OLIVEIRA, I. A. de.; CASAGRANDE, J. C.; SILVA, L. S.; CAMPOS, M. C. C.; Estoque de carbono de latossolos em sistemas de manejo natural e alterado. 2018. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 228-239, 2018. DOI: 10.5902/1980509831575

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 26, n. 1, p. 425-434, 2002.

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, 2015. DOI: 10.5433/1679-0359.2015v36n2p693

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. **Rev. Bras. de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, 2012. DOI: 10.1590/S0100-06832012000300021

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, 2013. DOI: 10.5433/1679-0359.2013v34n6p2615

JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil and Tillage Research**, v. 95, n. 1–2, p. 97–109, 2007. DOI: 10.1016/j.still.2006.11.005

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A. (Ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling*. Wisconsin, USA: American Society Agronomy. Cap. 39, p. 499-510 1995.

KLEBER, M.; NICO, P. S.; PLANTE, A.; FILLEYS, T.; KRAMER, M.; SWANSTON, C.; SOLLINS, P. Old and stable soil organic matter is not necessarily chemically recalcitrant: implications for modeling concepts and temperature sensitivity. **Global Change Biology**, v.17, n.2, p. 1097-1107, 2011. DOI: 10.1111/j.1365 2486.2010.02278.x

KUNDE, R. J.; LIMA, C. L. R., DOS ANJOS SILVA, S. D.; PILLON, C. N. Physical fractions of organic matter in an Oxisol cultivated with sugarcane in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1520-1528, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900051

LAL, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. **Sustainability**, v. 7, n. 5, p. 5875-5895, 2015. DOI: 10.3390/su7055875

LEAL, O. D. A.; CASTILHOS, R. M. V.; PINTO, L. F. S.; PAULETTO, E. A.; LEMES, E. S.; KUNDE, R. J. Initial Recovery of Organic Matter of a Grass-Covered Constructed Soil after Coal Mining. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, n. 1, p. 1-16, 2016. DOI: 10.1590/18069657rbc20150384

LOPES SOBRINHO, O. P.; SANTOS, L. N. S.; SANTOS, G. O.; CUNHA, F. N.; SOARES, F. A. L.; TEIXEIRA, M. B. Balanço hídrico climatológico mensal e classificação climática de Köppene Thornthwaite para o município de Rio Verde, Goiás. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, n. 2, p. 19-33, 2020. DOI: 10.5380/abclima. v27i0.68692

LOSS, A.; PEREIRA, M. G., PERIN, A.; BEUTLER, S. J.; ANJOS, L. H. C. Oxidizable carbon and humic substances in rotation systems with brachiaria/livestock and pearl millet/no livestock in the Brazilian Cerrado. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 1, p. 217-231, 2013. DOI: 10.5424/sjar/2013111-3416

MACHADO, P. L. O. A.; Bernardi, A. C. C.; Santos, F. S. dos. Métodos de Preparo de Amostras e de Determinação de Carbono em Solos Tropicais, p. 9, 2003.

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. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900050

MIKKELSEN, R. L. Humic materials for agriculture. **Better Crops**, v. 89, n. 3, p. 6-10, 2005.

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. DOI: 10.5965/223811711812019136.

NARDI, S.; PIZZEGHELLO, D.; MUSCOLO, A.; VIANELLO, A. Physiological effects of humic substances on higher plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, n. 11, p. 1527–1536, 2002. DOI: 10.1016/s0038-0717(02)00174-8

PULROLNIK, K. Transformações do carbono no solo. **Embrapa Cerrados**. ed.1, p. 36, 2009.

RANGEL. O. J. P.; SILVA. C. A.; Estoques de Carbono e Nitrogênio e Frações Orgânicas de Latossolo submetido a diferentes Sistemas de Uso e Manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.1609-1623, 2007. DOI: 10.1590/S0100-06832007000600037

REIS, D. A.; LIMA, C. L. R.; BAMBERG, A. L. Qualidade física e frações da matéria orgânica de um Planossolo sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p.1623-1632, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900062

ROSA, A. H.; ROCHA, J. C.; SARGENTINI JUNIOR, É. A flow procedure for extraction and fractionation of the humic substances from soils. In: SWIFT, R.S.;

SPARK, K.M., (Ed.). Understanding and managing organic matter in soils, sediments and waters. **International Humic Substances Society**, p.41-46, 2001.

ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. Estoque de carbono e atributos físicos de um Latossolo em cronosequência sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 252-258, 2015. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambiv19n3p252-258

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 622-630, 2011.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, G. M.; GIÁCOMO G. S.; BETTA, M.; POLIDORO, C. J. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 1, p. 38-46, 2012.

RUSU, T. Energy efficiency and soil conservation in conventional, minimum tillage and no-tillage. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 2, n. 4, p. 42-49, 2014. DOI: 10.1016/S2095-6339(15)30057-5

SANTOS, C. A. dos; MARTINS, R.; PINHEIRO, E. F. M.; BOAS, D. V.; BODDEY, R. M. Teores de C e N nas frações leve livre da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de pastagens e mata no Cerrado. **XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Embrapa Solos, 2015.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Solos, p. 355, 2018.

SCHMIDT, M. W. I.; TORN, M. S.; ABIVEN, S.; DITTMAT, T.; GUGGENBERGER, G.; JANSSENS, I. A.; KLEBER, M.; KOGEL-KNABNER, I.; LEHMANN, J.; MANNING, D. A. C.; NANNIPIERI, P.; RASSE, D. P.; WEINER, S.; TRUMBORE, S. E. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, v. 478, n. 10, p. 49-56, 2011. DOI: 10.1038/nature10386.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. cap. 6, p. 275-374, 2007.

SILVA, M. F.; FERNANDES, M. M. H.; FERNANDES, C.; SILVA, A. M. R.; FERRAUDO, A. S.; COELHO, A. P. Contribution of tillage systems and crop succession to soil structuring. **Soil and Tillage Research**, v. 209, n. 1, e104924, 2021. DOI: 10.1016/j.still.2020.104924

SIMS, J. R.; HABY, V. A. Simplified colorimetric determination of soil organic matter. **Soil Science**, v. 112, p. 137-141, 1971. DOI: 10.1097/00010694-197108000-00007

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, p. 7-31, 2004.

SKAALSVEEN, K., INGRAM, J., CLARKE, L. E. The effect of no-till farming on the soil functions of water purification and retention in north-western Europe: A literature review. **Soil Tillage Research**, v. 189, p. 98-109, 2019. DOI: 10.1016/j.still.2019.01.004

SOUZA, S. F. F., ARAÚJO, M. S. B., SILVA, M. S. L., REIS, J. S. Estabilidade de agregados de solo em uma toposequência sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 7, p. 4066-4077, 2021. DOI:10.26848/rbgf.v14.7.p4066-4077.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; BARBOSA PAULINO, H.; RIBEIRO, D. O.; BAYER, C.; ROTTA, L. R. Matéria orgânica e agregação do solo após conversão de “campos de murundu” em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1194-1202, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900019

SOUZA, E. D.; SILVA, C. R. M.; PINTO, F. A.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B., PACHECO; L. P. LAROCA, J. V. S.; Soil quality indicators after conversion of “murundu” fields into no-tillage cropping in the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, e00374, 2019. DOI: 10.1590/s1678-3921.pab2019.v54.00374

STEVENSON, F. J. Humus chemistry: genesis, composition and reactions. 2. ed. New York: **Wiley & Sons**, p. 512, 1994.

TAVARES, R. L. M.; OLIVEIRA, S. R. M; BARROS, F. M. M.; FARHATE, C. V. V.; SOUZA, Z. M.; LA SCALA, N. Prediction of soil CO₂ flux in sugarcane management systems using the Random Forest approach. **Scientia Agricola**, v.75, n.4, p.273-359, 2018.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

VILLAMIL, M.B.; NAFZIGER, E.D. Corn residue, tillage, and nitrogen rate effects on soil carbon and nutrient stocks in Illinois. **Geoderma**, v. 253-254, p. 61-66, 2015. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.04.002

WANG, D.; LI, C.; PARIKH, S. J.; SCOW, K. M. Impact of biochar on water retention of two agricultural soils – A multiscale analysis. **Geoderma**, v. 340, p. 185-191, 2019. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.01.012

ANEXOS

Tabela 1. Variáveis analisadas em diferentes sistemas de produção e área de vegetação nativa como referência de conservação do solo

Sistemas	EstC	EstC-FL	EstC-MIN	EstC-AH	EstC-AF	TH	Ds
	----- kg m ² -----					%	Mg m ⁻³
0,00 - 0,10 m							
SPD 11	2,54 bA	0,75 cB	1,16 bA	0,40 aA	0,19 aAB	22,54 aB	1,11 bB
ILP 5	2,64 bA	1,16 abA	1,48 bA	0,36 aA	0,28 aA	28,88 aA	1,21 abAB
ILP10	2,41 bA	0,81 bcA	1,60 bA	0,31 aA	0,18 aA	31,94 aB	1,28 aA
VN	3,70 aA	1,31 aA	2,38 aA	0,57 aA	0,30 aB	31,43 aA	1,29 aAB
0,10 - 0,20 m							
SPD 11	2,21 aA	1,13 aA	1,17 bA	0,18 bA	0,16 bB	15,90 cB	1,40 abA
ILP 5	2,16 aA	1,03 aA	1,37 bA	0,34 bA	0,27 bA	27,45 bcA	1,33 abA
ILP10	2,12 aA	0,87 aA	1,24 bA	0,46 abA	0,30 bA	39,60 abB	1,40 aA
VN	2,48 aB	0,32 bB	2,15 aAB	0,72 aA	0,51 aA	47,09 aA	1,23 bB
0,20 - 0,40 m							
SPD 11	2,08 aA	0,58 aB	1,49 aA	0,35 abA	0,35 aA	31,54 aAB	1,25 abAB
ILP 5	1,97 aA	0,70 aB	1,26 aA	0,19 bA	0,35 aA	43,03 aA	1,20 bAB
ILP10	2,05 aA	0,79 aA	1,26 aA	0,60 aA	0,29 aA	43,63 aAB	1,39 aA
VN	2,20 aB	0,62 aB	1,57 aB	0,65 aA	0,29 aB	37,50 aA	1,36 abAB
0,40 - 0,60 m							
SPD 11	2,21 aA	0,68 aB	1,53 aA	0,35 aA	0,34 aA	46,82 abA	1,26 bAB
ILP 5	2,08 aA	0,74 aB	1,30 aA	0,47 aA	0,34 aA	36,41 bA	1,14 bB
ILP10	2,17 aA	0,84 aA	1,31 aA	0,62 aA	0,31 aA	62,25 aA	1,25 bA
VN	2,30 aB	0,64 aB	1,63 aB	0,58 aA	0,31 aB	52,65 abA	1,42 bA

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2. Resumo da ANAVA com valores de Fc calculado e nível de significância para diferentes compartimentos da MOS do solo, com anos de estabelecimentos e sistemas de produção distintos, em Rio Verde – GO

FV	GL	C-FL	C-MIN	AH	AF	Corg
Rep	3	1,74 ^{ns}	0,88 ^{ns}	5,32*	1,75 ^{ns}	1,48 ^{ns}
Trat	3	11,25*	27,10**	29,26**	4,45*	8,51*
Erro 1	9	-	-	-	-	-
Prof	3	45,52**	18,61**	2,67 ^{ns}	751,60**	53,00**
Trat*Prof	9	10,31**	4,52**	3,71**	5,44**	4,21**
Erro 2	36	-	-	-	-	-
Total	63	-	-	-	-	-
CV 1 (%)		17,53	17,31	21,77	39,87	12,76
CV 2 (%)		18,84	19,05	32,35	33,06	12,98

Corg: carbono orgânico do solo; C-FL: carbono da fração leve; C-MIN: carbono associado aos minerais; AH: ácido húmico; AF: ácido fúlvico; ns: não significativo; *: significativo a 1% / **: significativo a 5%.

Tabela 3. Carbono da fração leve (C-FL), carbono associado aos minerais (C-MIN), carbono do ácido húmico (C-AH), carbono do ácido fúlvico (C-AF), carbono orgânico (Corg), com anos de estabelecimentos e sistemas de produção distintos

Sistemas	C-FL	C-MIN	AH	AF	Corg
	-----g kg ⁻¹ -----				
0,00 - 0,10 m					
SPD 11	10,70 a	8,98 b	2,62 b	1,86 a	19,68 b
ILP 5	9,00 ab	11,53 b	2,82 b	1,79 a	19,52 b
ILP10	6,27 b	12,44 b	2,41 b	1,40 a	18,71 b
VN	10,21 a	18,52 a	4,47 a	2,34 a	28,73 a
0,10 - 0,20 m					
SPD 11	8,08 a	9,45 b	1,40 b	0,16 a	17,55 a
ILP 5	8,40 a	9,16 b	2,70 b	0,27 a	17,57 a
ILP10	6,96 a	10,08 b	3,80 ab	0,35 a	17,03 a
VN	2,53 b	17,14 a	5,80 a	0,35 a	19,67 a
0,20 - 0,40 m					
SPD 11	4,82 a	10,67 a	3,38 ab	2,11 a	15,49 a
ILP 5	5,40 a	9,17 a	1,36 b	2,04 a	14,57 a
ILP10	5,92 a	9,25 a	4,37 a	2,18 a	15,17 a
VN	4,59 a	11,50 b	4,14 a	2,21 a	16,07 a
0,40 - 0,60 m					
SPD 11	4,58 ab	8,91 a	4,18 ab	2,33 bc	13,49 a
ILP 5	4,32 ab	7,94 a	2,79 b	1,01c	12,26 a
ILP10	6,56 a	4,87 a	5,26 a	3,42 ab	11,58 a
VN	2,55 b	9,33 a	4,37 ab	4,00 a	11,88 a

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.