

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**TEORES DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO, PARTICULADO E
ASSOCIADO AOS MINERAIS, EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-
PECUÁRIA**

GIOVANA CAPELINI BORDIGNON

**JABOTICABAL – SP
2024**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**TEORES DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO, PARTICULADO E
ASSOCIADO AOS MINERAIS, EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-
PECUÁRIA**

GIOVANA CAPELINI BORDIGNON

Orientadora: Profa. Dra. Carolina Fernandes

Trabalho de Conclusão de curso
apresentado à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – UNESP,
Câmpus de Jaboticabal (SP) como parte
das exigências para graduação em
Engenharia Agrônoma

JABOTICABAL – SP
2º Semestre/2024

B729t Bordignon, Giovana Capelini
Teores de carbono orgânico do solo, particulado e associado aos minerais, em sistema de integração lavoura-pecuária / Giovana Capelini Bordignon. -- Jaboticabal, 2024
49 f. : tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientadora: Carolina Fernandes

1. Solos manejo. 2. Solos teor de carbono. 3. Matéria orgânica. I. Título.

GIOVANA CAPELINI BORDIGNON

TÍTULO DO TRABALHO ACADÊMICO: TEORES DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO, PARTICULADO E ASSOCIADO AOS MINERAIS, EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.


Orientador: Profa. Dra. Carolina Fernandes

Área de Concentração: Manejo do solo

Data da defesa: 08/11/2024

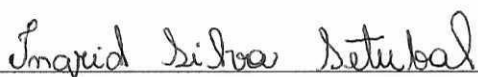
Aprovado
 Reprovado

Banca Examinadora:



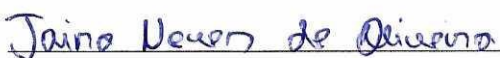
Profa. Dra. Carolina Fernandes

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal



Me. Ingrid Silva Setúbal

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

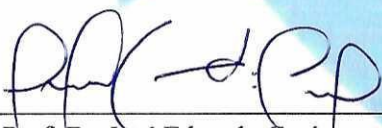


Me. Jairo Neves de Oliveira

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em:

26 / 11 / 2024



Prof. Dr. José Eduardo Corá

Chefe do Departamento de Ciência do Solo

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pela minha vida e pela minha saúde. Por sempre guiar meus passos, me proteger e abençoar.

Agradeço imensamente aos meus pais, Marcos Rogério Bordignon e Paula Regina Capelini Bordignon, por todo o amor e ensinamentos que me passaram. Especialmente, agradeço por sempre serem os maiores incentivadores do meu sucesso.

Aos meus tios Fábio Augusto Peres Ramos, Márcia Maria Bordignon Ramos e ao meu primo Augusto Bordignon Ramos, por terem me acolhido em um momento muito importante e por todo o incentivo e ajuda.

Aos meus avós, Ruth Maria de Moura Bordignon (*in memoriam*), Aparecida Bombarde Cornachione Capelini e Laerce Capelini (*in memoriam*) por todo o amor, preocupações e ensinamentos.

Ao meu namorado e melhor amigo Leonardo Lucas de Souza por todo o amor e incentivo.

A todos os meus familiares que de alguma forma me incentivaram, ajudaram e me transmitiram amor e educação.

À minha orientadora Profa. Dra. Carolina Fernandes, por ser uma excelente educadora, sempre muito disposta, gentil e acolhedora. Em especial, agradeço a oportunidade e todos os aprendizados.

À Claudia Campos Dela Marta, por ser uma excelente profissional, pela amizade, pela paciência e por todos os ensinamentos.

À Ingrid Silva Setúbal por toda o auxílio durante o desenvolvimento deste trabalho, por ter sido atenciosa, dedicada e sempre gentil.

À Profa. Dra. Ana Cláudia Ruggieri e a Camila Eduarda Souza de Sousa por terem me acolhido e me ajudado a iniciar este trabalho. Muito obrigada pela confiança, pelo apoio e incentivo.

Agradeço à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV por fazer parte do meu desenvolvimento, me proporcionando a oportunidade de me formar em Engenharia Agrônômica. Agradeço também a todos os professores e servidores que se dedicam diariamente pelos alunos.

A todos os amigos que fiz durante essa trajetória, pelos momentos de apoio, companheirismo e ensinamentos.

A banca examinadora, Profa. Dra. Carolina Fernandes, Ingrid Silva Setúbal e Jairo Neves de Oliveira, pela disposição e contribuição a este trabalho.

Por fim, agradeço a todos aqueles que de alguma forma, cruzaram meu caminho e contribuíram positivamente com meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Dedico este trabalho aos meus pais, que me passaram os ensinamentos mais importantes da vida e por serem fundamentais na conquista desse sonho.

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Ciclo do carbono e carbono orgânico do solo	4
2.2 Carbono orgânico e qualidade do solo	7
2.3 Sistemas produtivos e manejo do solo	11
2.4 Sistema de Integração Lavoura – Pecuária	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5. CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS	32

TEORES DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO, PARTICULADO E ASSOCIADO AOS MINERAIS, EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

RESUMO

O carbono orgânico do solo (COS) é um atributo de extrema importância por ser o principal constituinte da matéria orgânica e por influenciar características físicas, químicas e biológicas do solo. Objetivou-se analisar os teores de Carbono Orgânico do Solo (COS), Carbono Orgânico Particulado (COP) e Carbono Orgânico Associado aos Minerais (COAM) em função do uso e das profundidades. As coletas foram realizadas em solos dos seguintes tratamentos T1) Integração lavoura pecuária com milho safrinha e capim marandu (*Brachiaria brizantha* cv marandu) em sucessão a soja; T2) pasto de capim marandu e T3) floresta nativa do bioma Mata Atlântica. Foram coletadas amostras deformadas nas profundidades de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m abrindo-se trincheiras de 0,30m. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado. Cada tratamento foi dividido em cinco parcelas de 20 m² divididas por cerca elétrica, formando assim 5 tratamentos. Foram realizadas duas coletas, a primeira na data 26/10/2021 e a segunda na data 29/10/2022. Em laboratório, foram determinados os teores de COS, COP e COAM pelo método para fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo. Os dados foram avaliados por teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Como resultados, apenas nas camadas superficiais (0 - 0,05 m e 0,05 m – 0,10 m), o COS e COAM foram significativamente maiores na mata e na pastagem do que no ILP. Na camada 0 – 0,05 m do COP, a pastagem e a mata também apresentaram teores maiores de carbono do que o ILP. Concluiu-se que nas camadas subsuperficiais os teores de COS, COP e COAM na área de ILP são semelhantes aos de pastagem e mata. Dessa forma, os resultados sugerem que o sistema de manejo interfere significativamente nas frações de carbono orgânico do solo nas camadas superficiais. Em todos os tratamentos os maiores teores de carbono foram constatados nas camadas superficiais nas áreas de ILP, pastagem e mata.

Palavras-Chave: Manejo do solo, matéria orgânica, qualidade do solo

CARBON CONTENT, PARTICULATE AND ASSOCIATED WITH MINERALS IN SOILS WITH INTEGRATED CROP-LIVESTOCK INTEGRATION

ABSTRACT

Soil organic carbon (SOC) is an extremely important attribute as it is the main constituent of organic matter and influences the physical, chemical and biological characteristics of the soil. The objective was to analyze the levels of Organic Carbon (SOC), Particulate Organic Carbon (POC) and Organic Carbon Associated with Minerals (OCAM) depending on use and depths. The collections were carried out in soils from the following treatments T1) Integrated crop-livestock farming with corn “safrinha” and marandu grass (*Brachiaria brizantha* cv marandu) in succession to soybeans; T2) marandu grass pasture and T3) native forest of the Atlantic Forest biome. Deformed samples were collected at depths of 0-0.05; 0.05-0.10; 0.10-0.20 and 0.20-0.30 m by opening 0.30m trenches at five points for each treatment. A completely randomized experimental design was used, with each treatment divided into five plots of 20 m² divided by an electric fence. Two collections were carried out, the first on 10/26/2021 and the second on 10/29/2022). In the laboratory, the SOC, POC and OCAM contents were determined using the method for granulometric fractionation of soil organic matter. Data were evaluated using the Tukey test at a 5% probability level. As a result, only in the superficial layers (0 - 0.05 m and 0.05 m - 0.10 m), the SOC and COAM were significantly higher in the forest and pasture than in the ILP. In the 0 – 0.05 m layer of the COP, the pasture and forest also had higher carbon contents than the ILP. It was concluded that in the subsurface layers the SOC, POC and OCAM contents in the ILP area are similar to those in pasture and forest. Therefore, the results suggest that the management system significantly interferes with the organic carbon fractions of the soil, mainly in the surface layers. In all treatments, the highest carbon contents were found in the surface layers in the ILP, pasture and forest areas.

Keywords: Soil management, organic matter, soil quality

1. INTRODUÇÃO

O solo é essencial na produção de alimentos, visto que seus atributos afetam diretamente a quantidade do que será produzido. O seu processo de formação, sua evolução, o clima, o relevo, os organismos vivos e as formas de manejo, afetam diretamente os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Por isso, faz-se importante estudar, desenvolver e aplicar estratégias benéficas para o solo garantindo a sustentabilidade da agricultura e pecuária brasileira.

A matéria orgânica tem protagonismo quando se trata de indicadores para a qualidade do solo. Ela é um importante reservatório de carbono e nutrientes, característica que lhe permite contribuir com a formação de poros e agregados, afetando crescimento de raízes, infiltração e retenção de água. Nesse contexto, não existem dúvidas sobre a importância da matéria orgânica para solos destinados à produção agrícola.

A importância do solo está diretamente relacionada ao fato de ser a segunda maior reserva de carbono do planeta, ficando atrás apenas dos oceanos (FAO, 2024). O uso inadequado do solo ocasiona a sua degradação que acarretou uma estimativa total, até os dias atuais, de 78 giga toneladas de carbono emitidos para a atmosfera (FAO, 2024). Porém, quando manejado de forma sustentável e consciente, o solo tem capacidade de sequestrar uma quantidade significativa de carbono que poderia compensar em até 34% do total das emissões de áreas agrícolas por ano (FAO, 2024).

O carbono do solo possui funções extremamente importantes, principalmente por representar cerca de 58% da matéria orgânica do solo (MOS). Esse carbono tem origem diversa, mas no geral, vem da decomposição de resíduos orgânicos oriundos de vegetais e animais.

O carbono do solo pode estar presente nas frações lábil ou estável. A fração lábil é composta por moléculas mais simples, de fácil decomposição e por isso, tem relação estreita com a disponibilidade de nutrientes durante o ciclo de uma cultura. A fração estável se decompõe mais lentamente, tendo como principal função contribuir com a capacidade de troca catiônica do solo (CTC) e apresenta a maior reserva de nitrogênio (N) do solo (Strosser, 2010). Assim, determinar os teores de carbono presentes nessas frações é essencial para entender o tempo de permanência do carbono e as modificações proporcionadas nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Bayer *et al.*, 2004).

Diversos estudos destacam que estimar o carbono orgânico do solo (COS) é essencial para determinar a fração orgânica do solo, para entender a capacidade produtiva e mitigar emissões de CO₂ para a atmosfera, servindo de indicador de efeito estufa em solos manejados (Nelson e Sommers, 1982; Foley *et al.*, 2005; Conceição *et al.*, 2005; Duval *et al.*, 2018).

Além do COS, é essencial entender as frações que o compõe, como o carbono orgânico particulado (COP) e do carbono orgânico associado aos minerais (COAM). De acordo com Conceição, Dieckow, Bayer (2013), o equilíbrio entre essas frações do carbono orgânico do solo (COS) é imprescindível para que ocorra o aumento no sequestro de carbono em solos tropicais.

Na esfera de sistemas de produção conservacionistas, o Sistema Integração Lavoura – Pecuária (ILP) vem ganhando destaque em pesquisas por mostrar vantagens econômicas e ambientais. Nesses sistemas, o solo é manejado com lavouras, geralmente grãos, em consórcio ou rotação com espécies forrageiras (Alvarenga *et al.*, 2007). Esse sistema que apresenta um manejo integrado entre culturas e pastagens, permite maximizar a produtividade de forma sustentável, principalmente pela melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

Apesar dos inúmeros questionamentos sobre a forma como a dinâmica do carbono e da matéria orgânica sofrem com as alterações causadas pela agricultura, essas estimativas são complexas de se fazer pois, diversos fatores podem influenciar essa dinâmica, muitos deles específicos de cada local, o que leva a uma grande variabilidade de resultados obtidos em pesquisas pelo mundo.

Garantir a preservação do solo pode aumentar a produtividade, diminuir a insegurança alimentar, contribuir para a diminuição da fome e da pobreza, além de, contribuir para o sequestro de carbono, impactando positivamente no atual quadro de aquecimento global, ficando claro a importância social e ambiental que esse recurso possui (Santos, 2015 e Rosso, 2024).

Diante disso, destaca-se a importância desse trabalho que buscou avaliar teores de carbono orgânico do solo, carbono orgânico particulado e carbono orgânico associado aos minerais em sistema de Integração Lavoura-Pecuária.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Ciclo do carbono e carbono orgânico do solo

O dióxido de carbono (CO₂) ou como é comumente chamado, gás carbônico, possui funções benéficas para a vida na Terra. O carbono está diretamente relacionado à vida, contribuindo para a formação das proteínas e do DNA presente nos seres vivos. Além disso, o CO₂ é fundamental para a ocorrência da fotossíntese que garante a vida das plantas.

O problema ocorre quando as atividades humanas interferem diretamente no equilíbrio que havia no ciclo do carbono. Após a Revolução Industrial, iniciada na Inglaterra no século XVIII, houve uma crescente acelerada na emissão de gases de efeito estufa (GEE) principalmente associados ao uso de combustíveis fósseis, desmatamento e expansão agrícola. Desde a era industrial, a quantidade de CO₂ da atmosfera aumentou em cerca de 35%, demonstrando sua importância no aumento do efeito estufa (MCTI, 2022).

Tratando-se do tema mudança climática, é praticamente impossível não citar o CO₂. No Brasil, o sexto Relatório das estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa, desenvolvido e divulgado pelo MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (2022) relata um aumento 13,7% dos totais das emissões do ano de 2022 comparado a 2016. O Setor Agropecuário contribuiu com 28,5% das emissões, sendo que as emissões de CO₂ representaram 26,00 milhões de toneladas de CO₂ eq. nesse período (MCTI, 2022). Dentro desse setor, ainda segundo o MCTI (2022), destaca-se a participação da subcategoria Solos Manejados que contribuiu com cerca de 31,0% das emissões no ano de 2022.

Existe um entendimento global sobre a importância do solo no ciclo do carbono. Dados revelam que o solo sequestra em torno de um terço das emissões de dióxido de carbono emitidas pelo homem (IPCC, 2019). Segundo o Relatório Especial sobre Mudanças Climáticas e Terra, a agropecuária, silvicultura e outros usos da terra correspondem a cerca de 23% das emissões globais de gases de efeito estufa vindo de ações humanas (IPCC, 2019).

Nesse sentido, é essencial entender que o solo possui funções opostas, podendo emitir ou sequestrar carbono do meio. Dados globais de 2007 a 2016 mostram que o solo emitiu 5,2 Gt CO₂ eq por ano, enquanto absorveu 11,2 Gt CO₂ eq por ano, gerando um saldo positivo de cerca de 6 Gt CO₂ eq por ano que certamente comprova a importância que esse recurso natural possui quando o assunto é mudança climática (IPCC, 2019).

A dinâmica do carbono no solo faz sentido se analisados outros fatores como clima, vegetação, características pedogenicas, atividades humanas e manejos. Nesse contexto está inserida a textura que é importante em estudos sobre o solo. A textura do solo busca representar as proporções entre as frações de areia, argila e silte que juntas representam a terra fina seca ao ar ou TFSA (EMBRAPA, 2023).

A textura é um indicador de qualidade. Com a determinação da textura consegue-se fazer muitas estimativas a respeito do solo de interesse. Isso porque, ela interfere na adesão e coesão do solo; além de influenciar na resistência, dinâmica da água, ciclagem de nutrientes, entre outros processos de importância (He *et al.*, 2014; Nunes *et al.*, 2021). Em trabalhos sobre qualidade do solo, vale destacar a importância da fração argila que comprovadamente

possui correlação direta com a estabilização da MOS (Aduan, 2003; Bayer *et al.*, 2006).

Ademais, a textura é um importante quesito usado para dar veracidade à experimentos que trabalham com atributos do solo em diferentes áreas, isso porque, o fato de ser uma característica intrínseca, faz com que seja possível prever e entender características e comportamentos que identificam os solos das áreas em estudo (EMBRAPA, [2019 - 2023]).

Para entender mais detalhadamente os processos relacionados ao carbono no solo deve-se separar em duas fases. Na fase conhecida como fixação, o C-CO₂ precisa de seres capazes de realizar fotossíntese, produzindo uma série de compostos hidrocarbonetos que vão para o solo e ficarão disponíveis para organismos regenerarem esse carbono através de reações de oxidação respiratória (Pulrolnik, 2009). Já na fase conhecida com regeneração, tem-se a decomposição de substâncias carbonadas realizada por microrganismos do solo que usam esses compostos de carbono como energia através da oxidação e liberam CO₂ para a atmosfera (Pulrolnik, 2009). Fica nítido a importância da participação dos microrganismos que podem ser considerados produtores, decompositores ou armazenadores de carbono no solo. Nesse sentido, na esfera da agricultura, a principal função da microbiota do solo é a decomposição dos resíduos de culturas (Pulrolnik, 2009).

Além de mitigar as consequências das emissões desse gás, o sequestro de carbono no solo possui uma importância enorme para a agricultura visto que a presença de carbono afeta a qualidade do solo (Cherlinka, 2023).

2.2 Carbono orgânico e qualidade do solo

Constatando-se que o carbono orgânico (CO) presente no solo é o principal constituinte da matéria orgânica que está diretamente relacionada à qualidade do solo, entende-se a importância dos estudos relacionados a esse tema. De forma geral, o carbono representa cerca de 58% da matéria orgânica do solo. O carbono (C) passa por um ciclo muito extenso e com muitas variáveis antes de fazer parte da matéria orgânica.

A matéria orgânica do solo (MOS) destaca - se por possuir grande área superficial específica e grandes quantidades de cargas na superfície. A MOS é essencial para determinar o potencial de produtividade de um solo, possui importância na melhoria da porosidade e aeração, na infiltração e armazenamento de água, na ação cimentante que aumenta a estabilidade dos agregados, e na capacidade de troca catiônica (Castro Filho, 2002). Sua presença em um solo garante a aquisição de energia e nutrientes para que seja possível a realização de atividades microbianas, sendo assim, um solo que possui MO em quantidades adequadas e com qualidade, certamente está promovendo a multiplicação de microrganismos benéficos (Secretti, 2017).

A MOS sofre grande influência do clima, sendo que, regiões consideradas tropicais favorecem a decomposição da matéria orgânica, fazendo com que o solo tenha menores quantidades de carbono (Carvalho *et al.*, 2010). A temperatura mais elevada pode aumentar muito o processo biológico de respiração do solo, contribuindo para a emissão de CO₂ (Carvalho *et al.*, 2010).

A dinâmica do C no solo é tida como complexa pela sua heterogeneidade e por sofrer influência de fatores diversos. Além disso, as transformações

envolvendo a MOS são geralmente muito lentas se tornando difíceis de serem mensuradas (Awale *et al.*, 2017).

Quando objetiva-se entender detalhadamente as transformações da MOS do solo, determinar apenas o COS não é suficiente, sendo imprescindível estudar também as frações mais lábeis da MOS (Nonato, 2016). Estudos têm apontado que alguns compartimentos da MOS são mais eficientes para a compreensão das mudanças nos estoques de CO, visto que, esses compartimentos possuem maiores aumentos ou reduções de carbono do que quando olhamos apenas para o COS (Nonato, 2016).

O carbono orgânico associado aos minerais (COAM) compõe a fração mais estável da MO, representando um importante reservatório de nutrientes de liberação em longo prazo (Trumbore, 2009). Esta fração é mais humificada, por isso é mais estável. Além disso, está associada a partículas menores que 53µm, sendo que, por causa dessa associação, fica menos acessível aos microrganismos estando protegida pelo mecanismo de proteção coloidal e persiste por mais tempo no solo (Christensen, 1996; Nanzer *et al.*, 2019). Já o carbono orgânico particulado (COP) deriva de resíduos vegetais de plantas parcialmente decompostos e hifas, estando associado à partículas maiores que 53 µm, apresentando um tempo de residência curto, contribuindo com a proteção física exercida pelos agregados (Six *et al.*, 2001; Nonato *et al.*, 2016)

De acordo com Bayer *et al.* (2004), o COP possui maior sensibilidade às alterações feitas no manejo quando comparado ao COS. Já para o COAM é comum que não ocorra alterações significativas aos vários sistemas de manejo por conta da sua estabilidade gerada por estar em interação com a fração

mineral, pela sua localização no interior de agregados, pelo seu avançado grau de umidificação e pela sua maior recalcitrância química (Bayer *et al.*, 2004).

De forma geral, tem-se que o COS atua como agente estabilizante de agregados, sendo que, quanto mais CO, a tendência é de que o solo apresente maior índice de agregação (Magalhães, 2017). A agregação do solo está diretamente relacionada com a aeração, infiltração de água, retenção de água e nutrientes e com o desenvolvimento de raízes (Hernani, 2021).

Dessa forma, a agregação pode representar muito bem a interação entre fatores físicos, químicos e biológicos, servindo como um excelente indicador de resistência à erosão e outros problemas que podem afetar o solo (Hernani, 2021). Nesse contexto, Magalhães (2017) desenvolveu um trabalho que buscou utilizar a adubação orgânica com esterco bovino para entender suas consequências nos atributos físicos do solo. Como resultados, foram constatados que o esterco bovino provocou aumento nas quantidades de COS, COP, porosidade, macroporosidade e índice de estabilidade de agregados (Magalhães, 2017). Um fato importante desse estudo é que o COAM e a microporosidade não foram afetados após adição de esterco bovino (Magalhães, 2017).

Ademais, em uma grande quantidade de estudos, os maiores teores de C foram encontrados nas camadas mais superficiais analisadas. Para Leite (2004), as mudanças nos usos do solo provocam reduções dos teores de CO principalmente após os primeiros 10 cm. Rangel e Silva (2007), em seu trabalho, chegaram à conclusão de que a camada até 0,10 m possuía os maiores teores de carbono dissolvidos e os estoques de carbono diminuiram de acordo com a

profundidade, até 0,60 m independente dos usos. Os autores avaliaram neste estudo áreas de mata nativa, eucalipto, pinus, pastagem, milho no cultivo convencional e milho no cultivo mínimo, objetivando determinar estoques de carbono de acordo com usos e profundidades. Segundo Santos *et al.* (2017), ao avaliar teores de COS, COP e COAM em áreas de pastagem nativa em uso, pastagem cultivada e área nativa sem uso; não houve diferença significativa entre os tratamentos e os maiores valores de COAM foram determinados nas camadas de 0 - 0,10 m em todas as áreas. Esse trabalho concluiu que não houve mudança estatística dos teores de CO de acordo com os usos, mas pela predominância de materiais particulados suscetíveis à decomposição, as áreas necessitam de formas de manejo conservacionistas para reter CO no solo (Santos *et al.*, 2017).

Na esfera da agropecuária, o carbono do solo se faz extremamente importante do ponto de vista ambiental, social e financeiro. Contudo, não é simples quantificar esses teores de carbono no solo devido à complexidade dos diversos fatores que estão relacionados ao seu ciclo. Dentre os processos que interferem nos estoques de carbono do solo podemos citar: humidificação, agregação, decomposição, sedimentação, erosão, lixiviação, volatilização, manejo químico, usos do solo, clima, densidade, textura e fertilidade do solo (Lal, 1997; Paula e Valle, 2007; Oliveira, Reatto, Roig, 2015).

Para Cerri *et al.* (2008), toda vez que áreas com vegetação nativa sofrem a ação do homem plantando outras culturas, o equilíbrio do carbono no ambiente é alterado e os processos de saída de carbono do solo se tornam mais significativos que processos de entrada. O uso da terra influencia na qualidade

do material orgânico que irá promover o estoque de carbono e formas de manejo sustentáveis podem contribuir com o aumento desses estoques (Nair *et al.*, 2011 e Assad *et al.*, 2013).

Para entender se uma determinada área cultivada consegue ser sustentável, ou seja, se garante a sustentabilidade do ecossistema e do solo, é essencial saber se existe manutenção de matéria orgânica permitindo o aumento do estoque de carbono orgânico do solo (Nonato *et al.*, 2016).

2.3 Sistemas produtivos e manejo do solo

Diversos trabalhos tentam relacionar quantidades de carbono no solo e matéria orgânica com variáveis como: culturas, regiões, tipos de solo, clima ou tipos de manejos. Existe um consenso sobre o equilíbrio dos estoques de matéria orgânica em áreas com vegetação nativa, onde resíduos vegetais são depositados e modificados através da fragmentação física, ação da fauna e microrganismos, mineralização e constituição de húmus (Leite, 2004). No geral, entende-se que a modificação de áreas com vegetação nativa para áreas agrícolas causa diminuição do estoque de MOS devido a processos de erosão, mineralização da MOS, oxidação do C orgânico, entre outros fatores. No entanto, solos em atividades agrícolas podem ter aumento dos estoques de MOS quando sistemas de manejo conservacionistas são adotados (Leite, 2004).

O manejo adotado e a cultura possuem grande influência na conservação do solo e nas quantidades de C e matéria orgânica presentes. O sistema de plantio direto (SPD) é uma técnica muito utilizada em áreas de produção intensiva no Brasil. É muito valorizada pela sua rentabilidade e por carregar

preceitos de sustentabilidade. De fato, o plantio direto possui capacidade de sequestrar C, preserva e aumenta a biodiversidade do solo e contribui para o ciclo da água. Para Corazza (1999) sistemas de menor intensidade de perturbação atuam como acumuladores de carbono, enquanto sistemas mais perturbados funcionam como emissores de CO₂.

Conceição, Dieckow e Bayer (2013) avaliaram o sequestro e a estabilização do C em sistema de preparo convencional e sistema de plantio direto combinados em dois sistemas de cultivo: aveia preta no inverno e milho no verão (Ot/M); e aveia preta mais ervilhaca no inverno e milho mais feijão-caupi no verão (Ot+ V/M+C) . Como resultados, os maiores estoques de C nas camadas de 0 - 0,20 m foram encontrados no sistema de plantio direto nos dois sistemas de cultivos, sendo de 31,1 vs. 27,8 Mg ha⁻¹ no sistema Ot/M e de 37,3 vs 32,8 Mg ha⁻¹ no sistema Ot+V/M+C.

Como princípios básicos do sistema de plantio direto, temos a rotação de culturas, a cobertura permanente do solo e o mínimo revolvimento do solo. Esse conjunto de fatores busca garantir inúmeros benefícios como melhorar atributos físicos, químicos e biológicos do solo, manter a umidade do solo, atuar no controle de plantas daninhas, pragas e doenças, elevar ação de microrganismos e da matéria orgânica do solo. A rotação de culturas é entendida como a alternância ordenada de culturas distintas, no mesmo ciclo, na mesma área e na mesma estação do ano. Franchini *et al.* (2011) buscaram avaliar a real importância da rotação de cultura para o estado do Paraná. Consideraram pesquisas que avaliaram a qualidade física, química e biológica do solo para as principais culturas do estado que são soja, milho e trigo. De fato, a constatação

foi de que a rotação de cultura garante, a médio e longo prazo, excelentes melhorias na qualidade do solo, reduz ocorrência de pragas, doenças e plantas daninhas, acarretando menores custos de produção e maior lucratividade, sendo considerada uma prática sustentável de produção agrícola (Franchini *et al.*, 2011).

As áreas de pastagens também são alvos de pesquisas relacionadas à qualidade do solo. Segundo Macedo (2009), espécies forrageiras podem melhorar propriedades edáficas do solo através de resíduos vegetais e raízes, além de aumentar aeração, retenção de água e teores de carbono. No entanto, é muito comum a ocorrência de grandes áreas de pastagem degradadas, já que, historicamente e popularmente, existe um entendimento de que áreas de melhor aptidão agrícola devem ser destinadas a produção de grãos ou produtos de maior valor para a indústria, enquanto áreas de menor fertilidade natural e com problemas relacionados a topografia, acidez e drenagem, devem ser destinados a pastagem (Macedo, 2009). Como a maior parte da bovinocultura (principalmente a de corte) no Brasil é realizada de forma extensiva, a degradação de pastagens, causada principalmente por lotação inadequada e ausência de adubação, é um grave fator que interfere na qualidade do solo e na produtividade e sustentabilidade (Macedo, 2009).

A monocultura entra nessa pauta por ser muito comum em diversas regiões do país principalmente na produção de grãos. Segundo Braga (2011), a degradação do solo pode ter seu início na monocultura visto que, pode alterar os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Ademais, os sistemas de

monocultura dependem muito mais do uso de insumos agrícolas do que sistemas de integração.

O estudo de Baldotto *et al.* (2015) buscou avaliar teores de carbono e fertilidade do solo em sistemas de mata remanescente, integração agricultura e floresta, e em monoculturas agrícola e pastoril, no município de Florestal – MG. O sistema florestal foi o que apresentou estoques de carbono maiores e mais estáveis, seguido do sistema que integra agricultura e floresta, deixando os sistemas de monocultura em última posição. Além disso, os resultados mostraram que quanto maior a fertilidade do solo, maior seus estoques de carbono.

Diante das desvantagens relacionadas com a monocultura, surge a rotação de culturas que deve sempre levar em consideração o retorno econômico das espécies escolhidas, além de aspectos como produção de massa verde, matéria orgânica, fixação de nitrogênio e pragas ou doenças presentes no local (Braga, 2011). Nesse contexto, é muito comum a rotação ou consórcios envolvendo culturas anuais visando a produção de grãos (milho, soja, trigo, feijão, etc.) e culturas que visam a produção de biomassa ou fixação de N (forrageiras, gramíneas e leguminosas) (Braga, 2011). A rotação de culturas pode também ser uma forma de quebrar ciclos de nematoides, insetos praga e doenças.

2.4 Sistema de Integração Lavoura – Pecuária

O sistema de integração Lavoura-Pecuária está entre os principais sistemas alvos de estudos e experimentos que buscam comprovar sua eficiência

em diversos quesitos. Os modelos de Integração lavoura-pecuária (ILP) contribuem com a diversificação, rotação, consorciação e sucessão de atividades agrícolas e agropecuárias (Alvarenga *et al.*, 2007). Dentre as vantagens, pode-se citar: a rentabilidade (fazendo com que o solo seja produtivo durante todo o ano); aumento da produtividade (grãos, fibras, madeiras, carne, leite); recupera ou reforma pastagens; melhora condições físicas, químicas e biológicas do solo; reduz custos (diminui necessidade de compra de insumos ou defensivos) e aumenta a estabilidade e renda do produtor (Alvarenga *et al.*, 2007).

Os pontos que exigem mais atenção na formação de sistemas ILP são: forma de semear as espécies, manejo de adubação, uso de herbicidas, cuidados com espaçamentos corretos e melhores épocas de semeadura. Tudo isso visando o não prejuízo no momento de colher os grãos da lavoura e na formação das forrageiras para pastagem (Maia, 2019).

O trabalho de Costa *et al.*, (2015) buscou avaliar alterações em atributos químicos e físicos, além de teores de carbono em áreas de Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso no Cerrado, com áreas em sistema de ILP e plantio direto com irrigação. O experimento durou três anos (de 2010 a 2013) e registrou que os sistemas de ILP em SPD promoveram melhoria da fertilidade e dos estoques de CO do solo (de 37,4 t ha⁻¹ para 40,0 t ha⁻¹) mesmo havendo alta exportação de nutrientes (Costa *et al.*, 2015).

Em uma unidade de demonstração desenvolvida pela EMBRAPA Milho e Sorgo, em Sete Lagoas – MG, um experimento foi desenvolvido com o objetivo de avaliar um sistema ILP que incluísse rotações entre culturas de milho e soja

para grãos, sorgo para ensilagem e pastagem de capim tanzânia, avaliando também o ganho de peso de animais das raças nelore, cruza industrial e girolando (Alvarenga *et al.*, 2007). O experimento que durou de 2005 a 2007, teve como conclusões o aumento da produtividade e lucro, redução da vulnerabilidade a condições de clima e mercado, além de muitos benefícios para as pastagens e as lavouras por conta da melhoria das condições do solo com o aumento de resíduos vegetais e com a descompactação. Esses resultados explicam os sistemas ILP como uma forma rentável e sustentável de recuperar o grande percentual de pastagens degradadas no Brasil, contribuindo também com a menor pressão de desmatamento em áreas de fronteiras agrícolas (Alvarenga *et al.*, 2007).

Em trabalho desenvolvido por Maia (2019), realizou-se um comparativo dos atributos químicos de qualidade do solo (entre eles, carbono total e carbono oxidável em solução de permanganato) para quatro áreas de integração lavoura-pecuária, monocultivo de milho e pastagem de *Urochloa brizantha* cv marandu. De acordo com os atributos avaliados, os sistemas milho mais capim-marandu semeados simultaneamente; milho mais capim-marandu semeado na adubação de cobertura do milho; milho mais capim-marandu semeado na linha e na entrelinha do milho + herbicida nicosulfu obtiveram os melhores resultados, concluindo que os sistemas de ILP, nesse caso, são mais sustentáveis que os sistemas de monocultivo (Maia, 2019).

Nicoloso *et al.* (2008) avaliaram o balanço de carbono orgânico no solo em sistemas de ILP no Sul do Brasil. Para isso, foi avaliado o estoque de carbono orgânico total (COT) do solo durante quatro anos em sistemas de plantio direto,

com delineamento de blocos ao acaso em arranjo bifatorial 3x3 com quatro repetições. Os fatores foram variações nos intervalos de pastejo no inverno (sem pastejo, pastejo a cada 28 dias e pastejo a cada 14 dias) e três sistemas de culturas de verão (soja, milho e rotação anual de soja e milho). Os autores concluíram que maiores intervalos de pastejo durante o período de inverno somado com monocultura de milho no verão garantiram os maiores acréscimos de resíduos vegetais e aumento de COT no solo.

Porém, alguns trabalhos podem trazer resultados diferentes. Salton *et al.* (2011) avaliaram a dinâmica do carbono em pontos com vegetação nativa, pastagens, lavouras anuais em sistema convencional e em plantio direto, e rotação de pastagens com lavouras, realizados nas cidades de Campo Grande (solo arenoso), Maracaju (solo argiloso) e Dourados (solo argiloso), todas no estado de Mato Grosso do Sul. Como resultado, foi constatado que os sistemas com pastagens permanentes apresentaram os maiores acúmulos de carbono, já os sistemas compostos lavouras apresentaram os menores estoques, e por fim, a integração lavoura-pecuária apresentou valores intermediários de carbono no solo (Salton *et al.*, 2011). As pastagens permanentes apresentaram taxas de retenção de C absolutas de 0,9089, 1,2836 e 0,2000; sistemas de lavouras apresentaram em torno de -0,1687, 0,4473 e -0,3545; sistemas de ILP apresentaram 0,4400, 0,8836 e -0,3091; respectivamente para as cidades de Dourados, Maracaju e Campo Grande (Salton *et al.*, 2011).

Fica nítida a grande diversidade de resultados encontrados para os teores de carbono do solo, variando de acordo com manejo, culturas, localidades, clima, tipo de solo, duração dos experimentos, entre outros fatores. Entende-se assim,

a importância de estudar sobre essa temática que traz grandes análises e questionamentos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no Setor de Forragicultura e Pastagem da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” campus de Jaboticabal, no estado de São Paulo. As coordenadas geográficas do local são: 21°14'05” de latitude sul e 48°17'09” de longitude norte, a uma altitude de 598 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima que predomina no município de Jaboticabal – SP é do tipo Aw, tropical de estiagem de inverno, em que os meses de abril a setembro compreendem a estação seca e os meses de outubro a março a estação chuvosa.

O solo é classificado em Latossolo Vermelho distrófico, típico, textura argilosa A moderado, caulínico, hipoférrico, com relevo suavemente ondulado segundo a EMBRAPA (2013).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 3 tratamentos. Os tratamentos foram: Integração lavoura pecuária com milho safrinha e capim marandu (*Brachiaria brizantha* cv marandu) em sucessão a soja (ILP); pasto de capim marandu (pastagem) e floresta nativa do bioma Mata Atlântica (mata).

No tratamento ILP a sucessão ocorreu da seguinte forma: iniciou-se com pastagem de *Brachiaria brizantha* cv marandu já existente na área, posteriormente foi feita a dessecação da braquiária e semeadura da soja no início da época de chuvas; colheita da soja e semeadura do milho safrinha em

consórcio com a braquiária; colheita do milho restando o pasto de capim-marandu que é pastejado por bovinos.

A área de pasto de capim marandu é manejado com pastejo de bovinos sendo a altura de entrada 30 cm e a de saída de 15 cm. Além disso, durante o período das águas, foi realizada adubação nitrogenada na dose equivalente 150 kg de N ha⁻¹ parcelada em 3 aplicações. A área com mata nativa já se encontrava estabelecida no local.

Cada tratamento foi composto por cinco parcelas de 20 m² divididas por cerca elétrica, formando assim, 5 repetições.

Foram realizadas duas coletas de solo com amostras deformadas nas camadas: 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. A primeira coleta foi no dia 26/10/2021 e a segunda coleta foi no dia 29/09/2022. As amostras foram secas ao ar e peneiradas em peneira com malha de 2 mm. Vale destacar que as coletas foram feitas antes da dessecação da braquiária para o plantio da soja.

No laboratório de Física do Solo do departamento de Ciência do Solo, câmpus da FCAV, determinou-se a granulometria (Teixeira *et al.*, 2017) do solo amostrado na primeira coleta com fracionamento da areia em: muito grossa (1-500 mm), areia grossa (500 - 250 mm), areia média (250 -106 mm), areia fina (106 mm - 053 mm) e areia muito fina (<053 mm). Nas tabelas 1 e 2 estão os dados sobre a textura, demonstrando a predominância da fração argila em todos os tratamentos, caracterizando o solo como argiloso, segundo classificação da EMBRAPA (2006) por estarem com teores de argila entre 35% a 60%.

Tabela 1. Teores médios de areia muito grossa (AMG), areia grossa (AG), areia média (AM), areia fina (AF), areia muito fina (AMF), areia total (AT), argila (ARG) e silte dos tratamentos ILP, pastagem e mata em g kg⁻¹

ILP								
	AMG	AG	AM	AF	AMF	AT	ARG	SILTE
0 - 5	1,533	15,222	97,332	124,410	54,486	292,983	548,273	158,744
5 - 10	1,760	13,765	95,626	121,263	59,639	292,053	561,451	146,496
10 - 20	1,789	14,731	99,725	126,302	59,313	301,861	577,533	120,607
20 - 30	1,186	15,123	97,037	112,285	54,750	280,382	574,673	144,945

PASTAGEM								
	AMG	AG	AM	AF	AMF	AT	ARG	SILTE
0 - 5	1,551	34,153	215,124	135,800	42,417	429,044	429,376	141,580
5 - 10	1,549	34,286	206,603	135,492	43,257	415,923	464,387	119,690
10 - 20	2,116	32,246	202,503	133,116	44,679	414,660	474,544	110,796
20 - 30	1,181	33,340	198,166	133,545	45,914	412,146	472,591	115,264

MATA								
	AMG	AG	AM	AF	AMF	AT	ARG	SILTE
0 - 5	6,553	15,010	73,478	96,738	56,084	247,863	533,246	218,891
5 - 10	3,721	10,542	61,209	92,710	54,269	222,451	576,635	200,913
10 - 20	3,095	9,025	53,169	83,601	50,294	199,183	634,607	166,209
20 - 30	3,873	9,476	53,151	83,108	49,453	199,060	627,307	173,633

Para determinação do carbono orgânico do solo (COS), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM), utilizou-se o método para fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo, proposta por Cambardella e Elliott (1992) para as duas épocas de amostragens.

Após a organização de todos os dados obtidos em planilhas do programa Excel, foi usado o software Agroestat para gerar os dados estatísticos do

experimento. Os dados de COS, COP e COAM foram analisados pelo teste de média de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação entre tratamentos dentro da mesma camada apresentada nos gráficos da Figura 1, mostra que houve diferença significativa para os teores de COS, COAM e COP entre o tratamento ILP e os demais. O sistema ILP apresentou valores significativamente menores em relação aos demais tratamentos para o COS e COAM nas camadas de 0 - 0,05 m e 0,05 m - 0,10 m. Para as demais camadas não houve diferença significativa entre tratamentos para as mesmas variáveis. Em relação ao COP, observou-se maior diferença entre os tratamentos na camada de 0-0,05 m, com menor teor constatado no ILP a pastagem apresentou valor intermediário também nesta camada; por fim, a mata apresentou o maior teor de COP entre os três tratamentos quando analisada a camada 0 – 0,05 m. Nas demais camadas, para o COP houve diferença apenas no ILP na camada 0,10 – 0,20 m, sendo menor que os demais tratamentos. Essas constatações diferem do trabalho realizado por Laurito (2021) que avaliou teores de COP, COAM e Nitrogênio orgânico mineralizável em diferentes sistemas de ILP, pastagem e lavoura, todos em solo Latossolo Vermelho eutrófico muito argiloso. O experimento durou 3 anos e chegou à conclusão de que os maiores teores de COP estavam nos sistemas de integração lavoura-pecuária (LAURITO, 2021).

Seguindo essa mesma lógica, discorda dos resultados encontrados por Oliveira *et al.* (2017) que, ao comparar sistemas integrados com área de

pastagem, todos em ecossistema Amazônia Meridional, concluiu que os sistemas integrados conseguem maiores acúmulos de COS mesmo em prazos mais curtos, como 3 anos. Discorda também, do experimento realizado por Boeni *et al.* (2014), que compararam sistemas de ILP com lavoura contínua e pastagens permanentes por um período de 9 a 11 anos. Como conclusão, os autores citam as maiores quantidades de COS nos sistemas de ILP e destacam a grande adição de biomassa associada a menor perturbação do solo por longos períodos (BOENI *et al.*, 2014).

Entretanto, de modo geral, os resultados concordam com o trabalho de Salton *et al.* (2011) que também registrou sistemas de pastagens permanentes com teores mais elevados de carbono do que sistemas de integração lavoura-pecuária em avaliações que duraram de 9 a 11 anos.

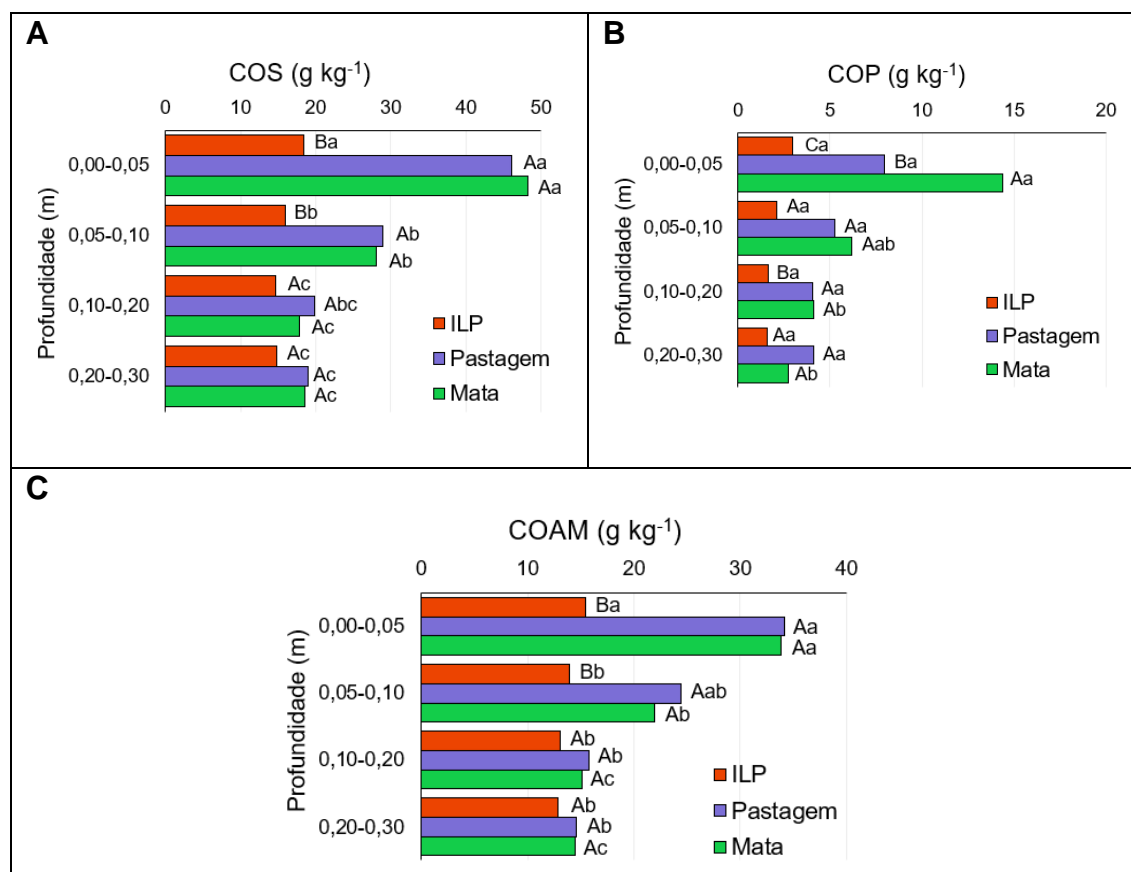


Figura 1. Teor de carbono orgânico do solo - COS (A), carbono orgânico particulado - COP (B) e carbono orgânico associado aos minerais - COAM (C), para os tratamentos ILP, Pastagem e Mata nas diferentes camadas de solo, correspondentes a primeira amostragem (Letras maiúsculas, comparação entre os tratamentos dentro da mesma camada e letras minúsculas, comparação entre as camadas dentro do mesmo tratamento. Letras maiúsculas ou minúsculas iguais não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%).

Com essas constatações, percebe-se a necessidade de analisar o tratamento ILP. Por ser uma integração onde ocorre a rotação das culturas: pastagem de braquiária, soja e milho safrinha; tem-se uma maior interferência através da dissecação, atividades mecanizadas e pastejo bovino. Essa maior interferência gera uma maior variabilidade na produção de matéria vegetal que será decomposta no solo. Pelo fato desses valores de carbono terem sido menores apenas nas camadas mais superficiais, provavelmente, foram resultados manejos que ocorreram apenas neste tratamento. Sendo assim, não é possível afirmar que o sistema ILP está, de fato, causando uma redução nas quantidades de C do solo.

Percebe-se que para no ILP, as duas primeiras camadas tiveram diferenças significativas nos teores de COAM (Figura 1 C). O COAM está relacionado às partículas menores que 53 μm e, geralmente, é menos alterado nas formas de manejo, em especial, quando estudado a curto prazo (Bayer *et al.*, 2004). Nesse caso, o trabalho pode discordar dessa constatação já que, o COAM para o tratamento ILP foi sim alterado significativamente em comparação ao valor obtido na mata nativa. No entanto, é válido destacar que o trabalho de Bayer *et al.* 2004, explica que essa falta de alterações é justificada pelo período de condução do sistema avaliado, que seria de 6 anos. Segundo os autores, pelo fato do COAM estar no interior dos microagregados e possuírem uma proteção física, apresenta uma ciclagem mais lenta, sendo necessário um período maior

de avaliação para que seja possível entender se o manejo está afetando esta fração.

Já para Tavanti (2020), ao analisar atributos de qualidade do solo em restaurações de pastagens no Cerrado, constatou que certas práticas de manejo do solo associadas ao cultivo do sorgo em consórcio com *U. brizantha* aumentam os estoques de COT através do COAM, concluindo que esta fração pode ser usada como um indicador sensível às práticas agrícolas.

Necessariamente, deve-se analisar também os demais tratamentos, pastagem e mata nativa, que apresentaram os maiores teores de CO. Para a área de mata destacamos a importância da serrapilheira, camada formada por resíduos animais e vegetais, acima do solo e com composição variando de acordo com o ecossistema do local. A serrapilheira é um depósito de nutrientes e matéria orgânica, estando diretamente relacionada com estoques de carbono e conseqüentemente, com a qualidade do solo (SPERANDIO *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2014).

Para a área de pastagem, entende-se que existe uma tendência ao acúmulo de carbono, principalmente nas camadas superficiais. Isso ocorre, pois, as gramíneas possuem grande parte de seu sistema radicular nas camadas mais superficiais, garantindo que sejam capazes de incorporar a mesma quantia ou até mais MO que outras coberturas vegetais. (PULROLNIK *et al.*, 2009; Nunes *et al.*, 2011). Dessa forma, esses resultados observados para o tratamento pastagem, estão de acordo com os obtidos por Soares (2021) em trabalho que comparou diversos sistemas integrados de produção agropecuária e áreas de pastagens contínua, em Latossolo Vermelho distrófico textura arenosa, por 4

anos seguidos. Dentre os vários fatores analisados destaca-se o COP que teve as maiores médias encontradas em sistemas de pastagens perenes após colheita da soja. Como conclusão, o trabalho destacou a superioridade da melhoria na qualidade do solo em sistemas de pastagens (SOARES, 2021).

Na comparação entre camadas nos teores de COS (Figura 1 A) a camada de 0 - 0,05 m foi a que apresentou os maiores valores, seguida pela camada de 0,05 m – 0,10 m. As camadas de 0,10 m – 0,20 m e 0,20 m – 0,30 m não tiveram diferença significativa entre si e tiveram os menores valores de COS.

Para os teores de COP, a área de mata apresentou valores iguais e significativamente inferiores nas camadas de 0-0,10 m e 0,20 -0,30 m em relação a camada de 0-0,05 m, sendo que ambas não diferiram da camada de 0,05-0,10 m para o mesmo tratamento. Em todas as camadas dos tratamentos ILP e pastagem, não houve diferença significativa.

Ainda na Figura 1, para os teores de COAM, no tratamento ILP e pastagem houve diferença significativa entre a primeira camada e as demais, sendo que a camada de 0 - 0,05 m apresentou valores mais elevados que os demais. As camadas de 0,05 m - 0,10 m até 0,20 m - 0,30 m não tiveram diferença significativa entre si. Para o tratamento mata, constata-se diferença significativa entre as camadas, sendo que a camada de 0 - 0,0 5m obteve os maiores valores, seguido pela camada 0,05 m - 0,10 m. As duas camadas mais profundas não têm diferenças significativas entre si nesse tratamento e apresentam os menores valores de carbono.

De forma geral, para todos os tratamentos, tem-se que os maiores teores de COS, COP e COAM foram encontrados na camada de 0 - 0,05 m, seguidos

pela camada de 0,05 m - 0,10 m. Houve uma tendência a decair os teores de carbono conforme aumentava-se a profundidade das camadas.

De fato, existe um entendimento de que os maiores aportes de matéria orgânica se encontram nas camadas superficiais do solo (Costa *et al.*, 2009). Esse fato concorda com os trabalhos de Rangel e Silva (2007) e Santos *et al.* (2017) que também constataram maiores teores de carbono nas camadas mais superficiais. Além disso, está de acordo com o trabalho de Severiano *et al.* (2021) que, ao comparar teores de COS em diversas camadas até 2,00 m de profundidade em áreas de plantio direto de 3, 8, 10 e 12 anos, constatou que, ambos os tratamentos estão causando acréscimo dos estoques de carbono, mas não em profundidade, restringindo-se até 0,20 m de profundidade.

Analisando a comparação entre tratamentos para a segunda coleta, referente a Figura 2, percebe-se a mesma constatação feita na Figura 1 sobre a diferença significativa para os teores de COS e COAM entre o tratamento ILP e os demais. Isso significa que, no intervalo de 11 meses, o tratamento ILP na camada mais superficial continuou apresentando valores menores que os demais tratamentos, provavelmente relacionado as interferências realizadas nessa área. De qualquer forma, para afirmar uma redução no teor de C do solo neste tratamento, seriam necessários mais dados de coletas em um maior prazo, já que a dinâmica do C é complexa, o solo possui uma variabilidade inerente e teores de MOS podem levar muitos anos para se recuperarem (Awale *et al.*, 2017).

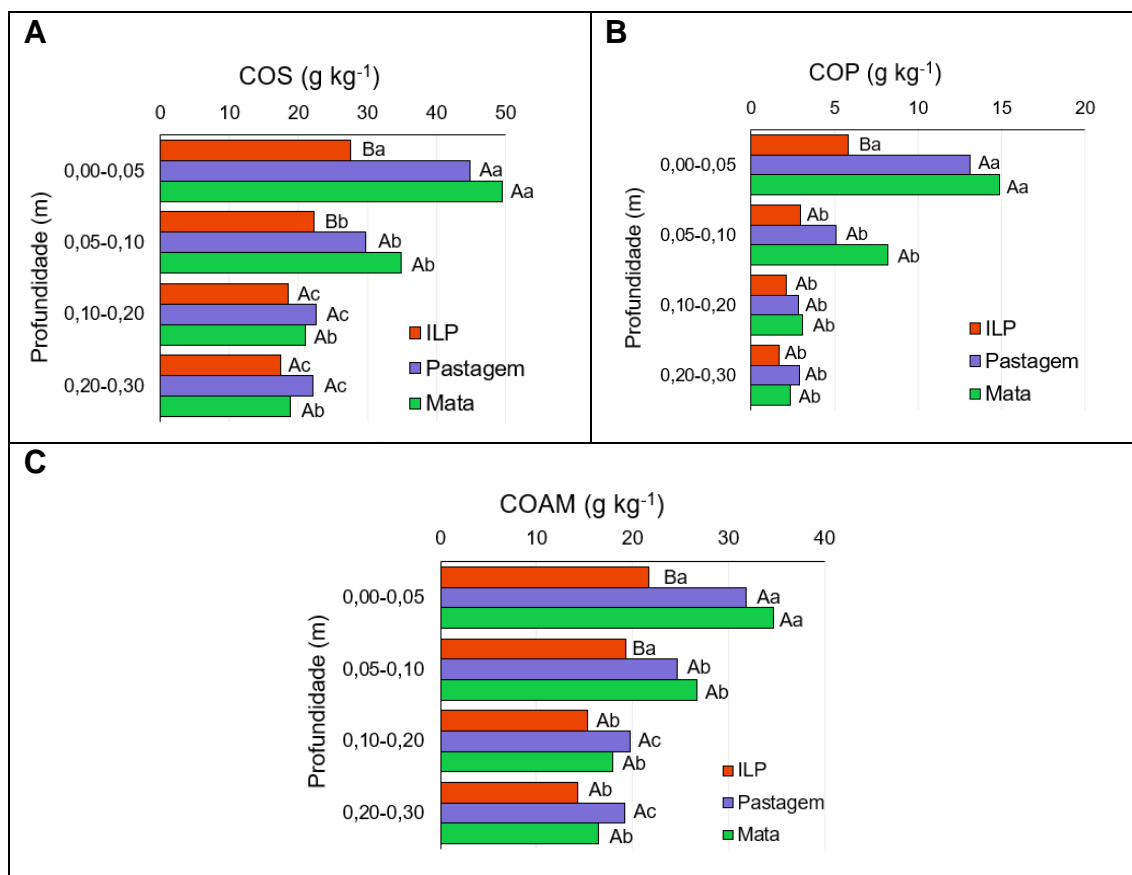


Figura 2. Teor de carbono orgânico do solo - COS (A), carbono orgânico particulado - COP (B) e carbono orgânico associado aos minerais - COAM (C), para os tratamentos ILP, Pastagem e Mata nas diferentes camadas de solo, correspondentes a segunda amostragem (Letras maiúsculas, comparação entre os tratamentos dentro da mesma camada e letras minúsculas, comparação entre as camadas dentro do mesmo tratamento. Letras maiúsculas ou minúsculas iguais não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%).

Para as médias de COP (Figura 2 B), percebe-se que o tratamento ILP, na camada 0 - 0,05 m continua tendo diferença significativa para os outros tratamentos, apresentando o menor teor de carbono. Apesar dessas constatações acerca do ILP, faz-se muito importante destacar que todas essas diferenças aconteceram em camadas subsuperficiais e que nenhum outro fator relacionado a qualidade ou conservação do solo foi analisado no trabalho.

A pastagem e a mata não tiveram diferença significativa entre si em todas as camadas para o COP, diferente do que foi constatado na primeira coleta. Além disso, outra discrepância é o fato de que, a primeira camada teve diferença significativa para as demais. Sendo assim, a camada de 0 - 0,05 m teve os

maiores valores de carbono para os três tratamentos. Nas camadas de 0,05 m - 0,10 m; 0,10 m - 0,20 m e 0,20 m - 0,30 m não houve diferença significativa em todos os tratamentos. Algumas constatações feitas para o COP da segunda coleta diferem das feitas para a primeira coleta. Isso significa que, nesse intervalo de tempo, as interferências ocorridas nos tratamentos refletiram principalmente no COP. Esse fato concorda com Iwata *et al.* (2021) ao perceber que o COP é mais sensível as modificações realizadas no manejo em relação ao conteúdo total da MOS em trabalho que analisou teores de COS, COP e relação de estratificação em sistemas agroflorestais na Caatinga.

Para os teores de COS (Figura 2 A), na comparação entre camadas, as constatações estão parecidas com as da primeira amostragem. Sendo assim, os tratamentos ILP, pastagem e mata tiveram diferença significativa entre os valores da camada de 0 - 0,05 m para as demais, sendo que a camada mais superficial apresentou os maiores teores de carbono.

Uma diferença entre as amostragens seria para a mata, pois, não houve diferença significativa a partir da camada 0,05 m - 0,10 m até a mais profunda. Enquanto na primeira coleta, o COS da camada 0,05 m - 0,10 m foi diferente significativamente das camadas 0,10 m - 0,20 m e 0,20 m - 0,30 m. Isso significa uma estabilização do COS em profundidade. Segundo Costa *et al.* (2008), áreas com vegetação nativa tendem a ter uma grande estabilidade nos estoques de C, isso se deve a adição de resíduos orgânicos, que se faz de forma muito uniforme, associada a ação microbiana estável.

Para o COAM (Figura 2 C), no tratamento ILP os maiores teores de carbono foram encontrados nas camadas 0 - 0,05 m e 0,05 m - 0,10 m que não

tiveram diferença significativa entre si. Os resultados obtidos para pastagem estão muito semelhantes aos constatados na primeira coleta. Para a mata, assim como na Figura 1, os maiores valores de carbono estão na camada de 0 - 0,05. Já nas três camadas mais profundas desse tratamento não houve diferença significativa.

Em todos os tratamentos, os maiores valores de carbono (COT, COP e COAM) foram identificados na camada mais superficial, fato que segue concordando com Rangel e Silva (2007), Santos *et al.* (2017) e Severiano *et al.* (2021).

Portanto, constata-se que, para as duas coletas, nas camadas mais superficiais (0 – 0,05 m e 0,05 – 0,10 m) o COS e COAM foram maiores na mata e na pastagem do que no ILP. Na camada 0 – 0,05 m do COP, a pastagem e a mata também apresentaram valores maiores de carbono do que o ILP. Para essa constatação é muito importante ressaltar que estas alterações em camadas superficiais não podem garantir que o ILP está causando perda de C no solo ou qualquer outro tipo de degradação. Pelo fato de o ILP ser um sistema com maior nível de interferência do que a pastagem e a mata, torna-se compreensível tais valores menores nessas camadas. Além disso, não houve outras avaliações que pudessem garantir o ILP como promotor de degradação, como por exemplo, avaliações de perdas de nutrientes, carbono da biomassa microbiana, índice de manejo do carbono, nitrogênio total, relação C:N do solo, entre outros. De modo geral, diversos estudos destacam os sistemas ILP como excelentes formas de garantir a qualidade dos solos, superando os sistemas de monocultura,

principalmente em relação a capacidade de sequestrar C e mitigar as consequências da emissão deste gás para a atmosfera.

Por fim, conclui-se também que, em todos os tratamentos das duas amostragens, os maiores teores de C foram encontrados nas camadas mais superficiais, evidenciando uma tendência de decaimento conforme o aumento da profundidade do solo.

5. CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho concluíram que nas camadas subsuperficiais os teores de COS, COP e COAM na área de ILP são semelhantes aos de pastagem e mata. Sendo assim, os resultados sugerem que o sistema de manejo interfere significativamente nas frações de carbono orgânico do solo apenas nas camadas superficiais.

Em todos os tratamentos os maiores teores de carbono foram constatados nas camadas superficiais nas áreas de ILP, pastagem e mata.

REFERÊNCIAS

- ADUAN, R. E.; VILELA, M. de F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do Cerrado brasileiro**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 30 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 105)
- ALVARENGA, R. C.; NETO, M. M. G.; RAMALHO, J. H.; GARCIA, J. C.; VIANA, M. C. M.; CASTRO, A. A. D. N. **Sistemas de integração lavoura-pecuária: o modelo implantado na Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2007. (Circular Técnica, 93). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/482993/sistema-de-integracao-lavoura-pecuaria-o-modelo-implantado-na-embrapa-milho-e-sorgo>. Acesso em: 10 mar. 2023.**
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; GROPPPO, J. D.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELLOS, E.; SANO, E. E.; PAVÃO, E.; LUNA, R.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. Mudanças nos estoques de carbono do solo no Brasil devido ao uso da terra: comparações de locais pareados e um levantamento regional de solos de pastagens. **Biogeosciences**, v. 10, p. 6141-6160, 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/90991/1/bg-10-6141-2013.pdf>
- AWALE, R.; EMESON, M. A.; MACHADO, S. Soil organic carbon pools as early indicators for soil organic matter stock changes under different tillage practices in Inland Pacific Northwest. **Frontiers in Ecology and Evolution**, Lausanne, v. 5, p. 1-13, 2017. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fevo.2017.00096/full>. Acesso em: 26 jun. 2024.
- BALDOTTO, M. A.; VIEIRA, E. M.; SOUZA, D. de O.; BALDOTTO, L. E. B. Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 62, n. 3, p. 301-309, maio/jun. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562030010>. Acesso em: 12 jan. 2024.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 07, p. 677-683, 2004.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 86, n. 2, p. 237-245, Apr. 2006.7
- BOENI, M.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; CONCEIÇÃO, P. C.; DICK, D. P.; KNICKER, H.; SALTON, J. C.; MACEDO, M. C. M. Organic matter composition in density fractions of Cerrado Ferralsols as revealed by CPMAS ¹³C NMR: Influence of pastureland, cropland and integrated crop-livestock. **Agriculture**,

ecosystems & environment 190:80-86. 2014. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880913003344>

BRAGA, G. N. M. **Carbono Orgânico Total (COT) determina a qualidade do solo**. [s.l.]: Na sala com Gismont, 21 de out. de 2011. Disponível em:
[https://agronomiacomgismonti.blogspot.com/2011/10/carbono-organico-total-cot-determina.html#:~:text=O%20carbono%20org%C3%A2nico%20total%20\(COT,carbono%20org%C3%A2nico%20total%20\(COT\).](https://agronomiacomgismonti.blogspot.com/2011/10/carbono-organico-total-cot-determina.html#:~:text=O%20carbono%20org%C3%A2nico%20total%20(COT,carbono%20org%C3%A2nico%20total%20(COT).)

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 6. ed. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-de-emissoes-gee/arquivos/6a-ed-estimativas-anuais.pdf/@@download/file/6a%20ed%20Estimativas%20Anuais.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2024.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate Soil Organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Hoboken, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M, L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Revisão de Literatura: Potencial de Sequestro de Carbono em Diferentes Biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 34:277-289, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200001>.

CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M. de F.; FONSECA, I. C. B. Estabilidade de agregados sob diferentes sistemas de manejo do solo em um latossolo vermelho no estado do Paraná, Brasil. **Soil and Tillage Research**, v. Abr. 2002. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198701002756?via%3Dihub>

CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo da Amazônia. *In*: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da.; CANELAS, L. P.; CAMARGO, F. A O. (ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 654, il.

CHERLINKA, V. **EOS Data Analytics**. Mountain View, c2023. Disponível em:
<https://eos.com/pt/blog/sequestro-de-carbono-no-solo>. Acesso em: 10 dez. 2023.

CHRISTENSEN, B. T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. *In*: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (ed.). **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Press, 1996. Disponível em:
<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=855142>. Acesso em: 26 jun. 2024.

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

CONCEIÇÃO, P.C.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. **Soil and Tillage Research**, v.129, p.40-47, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198713000081?via%3Dihub>

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 425-432, 1999. Acesso em: 10 jan. 2024.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 323-332, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100030>

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. dos S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 39, p. 852-863, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140269>. Acesso em: 26 jun. 2024.

COSTA, O.V.; CANTARUTTI, R.B.; FONTES, L.E.F.; COSTA, L.M.; NACIF, P.G. S.; FARIA, J.C. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1137-1145, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500007>

DUVAL, M. E.; GALANTINI, J. A.; MARTÍNEZ, J. M.; LIMBOZZI, F. Labile soil organic carbon for assessing soil quality: influence of management practices and edaphic conditions. **Catena**, v. 171, p. 316-326, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.07.023>

EMBRAPA. **Agricultura e preservação ambiental**: análises do Cadastro Ambiental Rural. Campinas, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/car/sintese>. Acesso em: 21 out. 2023

EMBRAPA. **Sistema de Classificação dos Solos**: apresentação, características morfológicas do solo. Brasília, DF, [2019-2023]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/solos/sibcs/propriedades-do-solo>. Acesso em: 26 jun. 2024.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. **Seminário Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, ed. 2, p. 306, 2013.

FAO. **Solos saudáveis para as pessoas e para o planeta**: FAO pede reversão da degradação do solo. Rome, c2024. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/fr/c/1472352/#:~:text=%E2%80%9CA%20FAO%2C%20inclusive%20por%20meio,para%20tr%C3%A1s%E2%80%9D%2C%20disse%20Qu>. Acesso em: 10 out. 2023

FRANCHINI, J. C.; COSTA J. M.; DEBIASI H.; TORRES E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2011. (Documento, 327). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/897259/importancia-da-rotacao-de-culturas-para-a-producao-agricola-sustentavel-no-parana>. Acesso em: 26 jun. 2024.

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; DAILY, G. C.; GIBBS, H. K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. K. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, p. 570-574, 2005.

HE, Y.; et al. A modelling approach to evaluate the long-term effect of soil texture on spring wheat productivity under a rainfed condition. **Scientific Reports**, London, v. 4, n. 5736, p. 1-12, 2014. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/srep05736>. Acesso em: 26 jun. 2024.

HERNANI, L C. Agregação do solo. *In*: HERNANI, L. C. (ed.). **Sistema Plantio Direto**. Dourados: Ebrapa Solos, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/sistema-plantio-direto/fundamentos/beneficios/ao-solo/fisica-do-solo/agregacao-do-solo>. Acesso em: 20 mar. 2023.

IPCC (PAINEL INTERGOVERNAMENTAL PARA A MUDANÇA DE CLIMA). **Relatório especial sobre mudanças climáticas na terra**. [S.l.], 2019. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/ciencia_do_clima/painel_intergovernamental_sobre_mudanca_do_clima.html. Acesso em: 20 nov. 2023.

IWATA, B. D. F.; BRANDÃO, M. L. S. M.; BRAZ, R. D. S.; LEITE, L. F. C.; COSTA, M. C. G. Total and particulate contents and vertical stratification of organic carbon in agroforestry system in caatinga. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 2, p. 443-451, abr. 202. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n220rc>

LAL, R.; BLUM, W. H.; VALENTINE, C.; STEWART, B. A. (Ed.). **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 199-212. (Advances in Soil Science, 9)

LAURITO, H. F. **Frações de carbono e nitrogênio mineralizável no solo em sistema de integração lavoura-pecuária**. 2021. 42f. Tese (Graduação em Engenharia Agrônoma), - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Ilha Jaboticabal, 2021. Disponível em:

<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/5ab79e90-8e53-43da-b20a-d1a86e4b5604/content>

LEITE, L. F. C. **Matéria orgânica do solo**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004. (Documento, 97). 16 p. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/36210/1/Doc97.pdf>.

Acesso em: 26 jun. 2024.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, p. 133-146, 2009. número especial. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbz/a/HYZzbRjWpgMbZBhDQ7LqcTj/abstract/?lang=pt>.

Acesso em: 26 jun. 2024.

MAGALHÃES, L. **Carbono orgânico e atributos físicos do solo após a aplicação de esterco bovino**. 2017. 32f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2017.

MAIA, N. J. C. **Indicadores de qualidade do solo em sistema de integração lavoura-pecuária**. 2019. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2019

NAIR, P. K. R.; TONUCCI, R. G.; GARCIA, R.; NAIR, V. D. **Silvopasture and carbon sequestration with special reference to the Brazilian Savanna (Cerrado)**. In: KUMAR, B. M.; NAIR, P. K. R. (Ed.). Carbon sequestration potential of agroforestry systems: opportunities and challenges. Dordrecht: Springer, 2011. p. 145-162. (Advances in Agroforestry, 8). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/226889512_Silvopasture_and_Carbon_Sequestration_with_Special_Reference_to_the_Brazilian_Savanna_Cerrado

NANZER, M. C.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; BARRETA, P. G. V.; OLIVEIRA, T. P. de; SILVA, J. R. M. da; 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**, Lages, v. 18, n. 1, p. 136-145, 2019. Disponível em:

<https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/10832/pdf>.

Acesso em: 26 jun. 2024.

NELSON, D. W. e SOMMERS, L. E. (1982) **Carbono Total, Carbono Orgânico e Matéria Orgânica**. Em: Page, AL, Miller, RH e Kenney, DR, Eds., Métodos de Análise de Solo, Parte 2, Sociedade Americana de Agronomia, Madison, 539-579.

NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; LANZANOVA, M. E. Balanço do carbono orgânico sob integração lavoura-pecuária no sol do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600020>. Acesso em: 14 mar. 2023.

NONATO, A. C. R.; XAVIER, F. A. da S.; MELO FILHO, J. F. de; DIAS, F. P. M. Estoque de carbono do solo em sistemas agroflorestais de produção orgânica. In: AGROECOL, 2016, Dourados, 2016. **Resumos** [...] Dourados-MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2016. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cpaio.embrapa.br/cds/agroecol2016/PDF's/Trabalhos/Estoque%20de%20Carbono%20do%20Solo%20em%20Sistemas%20Agroflorestais%20de%20Produ%C3%A7%C3%A3o%20Org%C3%A2nica.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2024.

NUNES, C. L.; FUENTES, G. M. D.; TOLENTINO, S.; OLIVEIRA DE SOUSA, R.; TIMM, L. C. Textura do solo: Conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 4, n. 1, p. 31-37, 8 dez. 2021.

NUNES, R. de S.; LOPES, A. A. de C.; SOUSA, D. M. G. de; MENDES, I. de C. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo de Cerrado com a sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1407-1419, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/68ZxMC9CKKpT9nhbVWRFDMK/?lang=pt#>

OLIVEIRA, E. S.; REATTO, A.; ROIG, H. L. Estoques de carbono do solo segundo os componentes da paisagem. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, DF, v. 32, n. 1/2, p. 71-93, jan./ago. 2015. Acesso em: 6 jan. 2024.

OLIVEIRA, J. de M.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. T de M.; ASSIS, P. C. R.; SILVEIRA, A. L. R.; LIMA, M. de L.; WRUCK, F. J.; MEDEIROS, J. C.; MACHADO, P. L. O de A. Sistemas agrícolas integrados para melhorar o balanço de carbono do solo na Amazônia meridional do Brasil. **Regional Environmental Change** 18, 105–116 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1146-0>

PAULA, T. A.; VALLE, C. M. Quantificação do estoque de carbono no solo e a mitigação da mudança climática. In: **Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica**, 2. João Pessoa, 2007

PULROLNIK, K. **Transformações do carbono no solo**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2009. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/664366/1/doc264.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2023.

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**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, nov./dez. 2007.

ROSSO, G. Qualidade do solo tem impacto na produção de alimentos. **Embrapa Pecuária Sudoeste**. 15 abril 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/88451423/qualidade-do-solo-tem-impacto-na-producao-de-alimentos>

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Viçosa, MG, v. 46, n. 10, p.1349-1356, out. 2011.

SANTOS, E. **Relatório da FAO com participação da Embrapa revela que 33% dos solos do mundo estão degradados**. Brasília, DF: Embrapa, 07 dez. 2015. Disponível em <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/8104410/relatorio-da-fao-com-participacao-da-embrapa-revela-que-33-dos-solos-do-mundo-estao-degradados>. Acesso em: 04 jul. 2023.

SANTOS, F. A. S.; PIERANGELI, M. A. P.; SILVA, F. L.; SERAFIM, M. E.; SOUZA, J. B.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica do carbono orgânico de solos sob pastagens em campos de murundus. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 18, n. 2, p. 43-53, 2017. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/995/99551919005.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2023.

SECRETI, M. L. **Aporte de carbono ao solo por sistemas de monocultura, sucessão e rotação de culturas**. 2017. 74f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrônoma) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados (MS), 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/471/1/MateusLuizSecretti.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2023.

SEVERIANO, R. M.; PIERANGELI, M. A. P.; SANTOS, N. de S.; XAVIER, V. Soil organic carbon in no-tillage systems of different ages in Southwest Mato Grosso, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 4, p. 250-255, abr. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n4p250-255>

SILVA, H. F.; BARRETO, P. A. B.; SOUSA, G. T. DE O.; AZEVEDO, G. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; OLIVEIRA, F. G. R. B. (2014). Decomposição de serapilheira foliar em três sistemas florestais no Sudoeste da Bahia. **Revista Brasileira De Biociências**, 12(3). Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/rbrasbioci/article/view/114838>

SIX, J.; GUGGENBERGER, G.; PAUSTIAN, K.; HAUMAIER, L.; ELLIOTT, E. T.; ZECH, W. **Sources and composition of soil organic matter fractions between and within soil aggregates**. *European Journal of Soil Science*, v. 52, n. 4, p. 607–618, 2001. Disponível em: <https://bsss-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-2389.2001.00406.x>. Acesso em: 26 jun. 2024.

SOARES, D. de A. **Dinâmica da matéria orgânica e qualidade do solo em sistemas de produção agropecuários**. 2021. 124f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrônoma), Especialidade Sistemas de Produção - Universidade

Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2021. Disponível em:
<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/f414bc4b-4d9d-41d3-a14d-46c71482408e/content>

SPERANDIO, H. V.; CECÍLIO, R. A.; SILVA, V. H.; LEAL, G. F.; BRINATE, I. B.; CALDEIRA, M. V.W. Emprego da serapilheira acumulada na avaliação de sistemas de restauração florestal em Alegre - ES. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 4, out, 2012. Disponível em:
<https://www.floram.org/article/10.4322/floram.2012.060/pdf/floram-19-4-460.pdf>

STROSSER, E. Methods for determination of labile soil organic matter: an overview. **Journal of Agrobiology**, v.27, p.49-60, 2010.

TAVANTI, R. F. R. **Indicadores de qualidade física e química de solo em sistemas de pecuária extensiva no cerrado brasileiro**. 2020. 95f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrônômica), Especialidade Sistemas de Produção - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2020. Disponível em:
<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/aa54e6bd-177b-4823-aa8b-6ab4af0273db/content>

TEIXEIRA, P. C.; CAMPOS, D. V. B. de; BIANCHI, S. R.; PÉREZ, D. V.; SALDANHA, M. F. C. Cátions trocáveis. *In*: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. revista e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 2017. Cap. 3, p. 209-232. Disponível em:
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181717/1/Manual-de-Metodos-de-Analise-de-Solo-2017.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2024.

TRUMBORE, S. (2009). Radiocarbon and soil carbon dynamics. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences** 37:47-66.