AGRARIAN
OPEN ACCESS
e-ISSN: 1984-2538

Carbono e matéria orgânica do solo em sistema de manejo de produção de pastagem: uma revisão sistemática com meta-análise

Soil carbon and organic matter in a pasture production management system: a systematic review with meta-analysis

Larissa da Luz Silva
Universidade Estadual de Goiás (UEG)
E-mail: larissaetebg@gmail.com
OrcID: https://orcid.org/0000-0001-9756-6139

Adriana Aparecida Ribon
Universidade Estadual de Goiás (UEG)
E-mail: adriana.ribon@ueg.br
OrcID: https://orcid.org/0000-0003-1286-487X

Clarice Backes
Universidade Estadual de Goiás (UEG)
E-mail: clarice.backes@ueg.com.br
OrcID: https://orcid.org/0000-0002-7889-7714

Data de recebimento: 05/06/2023
Data de aprovação: 04/09/2023
DOI: https://doi.org/10.30612/agrarian.v16i56.17176

Resumo: O manejo produtivo de pastagem pode acarretar modificações relacionadas ao estoque de carbono, deste modo, dependendo do manejo adotado pode aumentar ou diminuir o carbono acumulado. A matéria orgânica é um atributo do solo que pode indicar sua qualidade. Objetivou-se realizar revisão sistemática com meta-análise para entender as relações entre os manejos (integração lavoura-pecuária-floresta - ILPF, integração lavoura-pecuária - ILP, e sistema convencional de produção de pastagem) e os atributos, matéria orgânica do solo, estoque de carbono e carbono orgânico total. A meta-análise evidenciou, para a variável matéria orgânica do solo no agrupamento dos sistemas de manejo, que o sistema convencional de produção de pastagem esteve próximo ao sistema referência floresta. Contudo, para as variáveis estoque de carbono no solo e carbono orgânico total, o sistema de ILP apresentou maior média quando comparado aos demais sistemas observados.

Palavras-chave: Atributos. Evidência. Forragem.

Abstract: Pasture management can lead to changes related to the carbon stock, thus, depending on the management adopted, it can increase or decrease the accumulated carbon. Soil organic matter is a soil attribute that can indicate its quality. The objective was to carry out a systematic review with meta-analysis, to understand the relationships between the managements (crop-livestock-forest integration - ILPF, crop-livestock integration - ILP, and conventional pasture production system), and the attributes, soil organic matter, carbon stock and total organic carbon. A meta-analysis showed, for the soil organic matter variable in the grouping of management systems, that the conventional

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

pasture production system was close to the forest reference system. However, for soil carbon stock and total organic carbon variables, the ILP system had a higher mean when compared to other observed systems.

Keywords: Attributes. Evidence. Forage.

1 Introdução

O manejo produtivo de pastagem pode acarretar modificações relacionadas ao estoque de carbono, deste modo, o manejo adotado tende a aumentar ou diminuir o carbono acumulado. Sendo assim, as alterações e uso do solo precisariam ser acompanhadas de forma a dar maior atenção a aspectos relacionados a viabilidade e sustentabilidade dos sistemas agropecuários de produção (Soares *et al*., 2018).

Segundo Silva, Sales e Veloso (2016) o carbono no solo é acumulável por meio da restauração dos solos degradados via práticas de manejos conservacionistas, assim como manutenção da matéria orgânica, rotação de culturas empregando culturas de cobertura, manejo integrativo de nutrientes, uso da água e melhor absorção dos nutrientes, pastagens bem manejadas incluindo espécies arbóreas, pastejo monitorado de animais e a utilização equilibrada dos fatores de produção.

Já a matéria orgânica do solo (MOS) é mais um atributo que pode indicar sua qualidade, visto que contribui de modo positivo para a formação e estabelecimento do vegetal, incidindo nas características físicas, químicas e biológicas do solo (Calil *et al*., 2016). Por sua vez, o carbono orgânico total (COT) e suas frações advindas da MOS determinam o índice do manejo de carbono permitindo avaliar de forma concomitante o reflexo dos sistemas de manejos na qualidade e quantidade da matéria orgânica, cooperando para determinar a qualidade do solo (Nanzer *et al*., 2019).

Nesse sentido, é necessário um entendimento detalhado desses atributos do solo, que pode ser feito por meio da aplicação de levantamentos e extração de informações já publicadas, na tentativa de reduzir o tempo e o uso de recursos para o desenvolvimento de novas pesquisas (Omuto, Nachtergaele, Rojas, 2013). Dessa forma, é possível utilizar a pesquisa, bem como os dados gerados por ela, para obter ou fortalecer novas conclusões, por meio desses dados legados, sendo essa metodologia é chamada de meta-análise (Roever, 2020).

Em face do exposto, objetivou-se realizar revisão sistemática com meta-análise, para entender as relações entre os manejos (integração lavoura-pecuária-floresta - ILPF, integração lavoura-pecuária - ILP, e sistema convencional de produção de pastagem), e os atributos, matéria orgânica do solo, estoque de carbono e carbono orgânico total.

2 Materiais e Métodos

Para a realização deste estudo, foram analisados os metadados obtidos em revistas indexadas, de acesso livre, sendo que o tipo de publicação analisada foi exclusivamente, artigos científicos, visto que estes apresentam uma confiabilidade de dados maior, pois são submetidos a revisão de pares. Restringiu-se a busca aos últimos 10 anos (2013 a 2023). As plataformas eletrônicas de realização das buscas, foram: Scopus, Web of Science e Cab Direct. Os critérios utilizados para seleção das amostras estão descritos a seguir:

1. Apresentar a palavra-chave pesquisada. A fim de obter a maior quantidade e qualidade de artigos.

2. Apresentar os parâmetros inicialmente estabelecidos: matéria orgânica do solo, estoque de carbono e carbono orgânico total. Foram incluídos há amostra artigos, que apresentaram pelo menos um desses atributos.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

Foram coletados 3390 artigos, dos quais 308 artigos foram selecionados para leitura dos resumos. Após esta etapa (validação dos artigos incluídos), foram selecionados 26 artigos que apresentavam características pré-determinadas para validar sua inclusão na amostra geral.

Os dados coletados foram inseridos em uma planilha do Microsoft® Excel® 2016. A meta-análise foi realizada globalmente e por agrupamento por sistemas de manejo e profundidade do solo. Gráficos específicos de meta-análise, denominados Forestplots, foram elaborados para mostrar os efeitos individuais de cada estudo com seus respectivos intervalos de confiança

Para avaliar a presença heterogeneidade, a mesma foi obtida através do teste de I^2 (I-quadrado), que é considerado significativo quando $p<0,05$. Todas as análises foram realizadas utilizando o pacote "meta" (Balduzzi, 2019) no ambiente R 4.0.4 (Team, 2021).

Os estudos incluídos somaram 26, todos realizados no Brasil. Os manejos de produção de pastagem identificados, foram: Integração Lavoura-Pecuária ILP (30,07% dos estudos incluídos), Sistema convencional de produção de pastagem (27,43% dos estudos incluídos) e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta – ILPF (9,72 % dos estudos incluídos). As profundidades de amostragem do solo verificadas variavam de 0,00 a 0,40 m, onde a maior frequência de amostragem observada foi na profundidade de 0,10-0,20 m.

3 Resultados e Discussão

Matéria Orgânica do Solo – (MOS)

A matéria orgânica do solo apresentou efeito de modelo 18,35 g kg^{-1}, sendo o intervalo de confiança a 95% com limite inferior 15,78 g kg^{-1} e 20,72 g kg^{-1} limite superior. Para Lal (2016) a MOS é um elemento crítico da qualidade do solo e exerce numerosos serviços ecossistêmicos, como melhorias na qualidade física, química e biológica do solo. O I^2=99,6% indicou alta heterogeneidade, sendo identificados 109 grupos para esse parâmetro.

As profundidades encontradas que integram esse estudo, passíveis de análises metanalíticas variaram entre 0,00 a 0,40 m, em que os intervalos de confiança a 95%, comprovaram diferenças estatísticas, nas diferentes profundidades identificadas, sendo na profundidade de 0,05-0,10 m a maior média de MOS identificada (22,79 g kg^{-1}), e a menor média observada na profundidade de 0,10-0,20 com 13,93 g kg^{-1} (Tabela 1). Grande quantidade do carbono orgânico encontra-se nas camadas superficiais do solo, isso está relacionado a maior deposição de resíduos sobre o solo e a maior concentração de raízes na camada superficial (Oliveira *et al*., 2018). Mascarenhas *et al*. (2017) afirmam que os maiores níveis de carbono orgânico no solo são observados na camada superficial porque os resíduos culturais em decomposição resultam em maior acúmulo de matéria orgânica nessas camadas. Para Santos *et al*. (2013) a quantidade de matéria orgânica do solo na camada superficial pode ser medida por meio das mudanças nos estoques de carbono do solo e suas frações químicas e físicas, ou uma combinação de ambas.

A heterogeneidade foi alta nas profundidades de 0,00-0,05 m (I^2=97,0%) e 0,05-0,10 m (I^2=99,8%), 0,10-0,20 m (I^2=98,1%), e moderada na profundidade de 0,30-0,40 m (I^2=68,0%).

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

Tabela 1. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para matéria orgânica do solo (MOS) com agrupamento profundidade de coleta.
Table 1. Meta-analysis model, confidence intervals (CI) and heterogeneity test (I_2) for soil organic matter (MOS) with collection depth grouping.

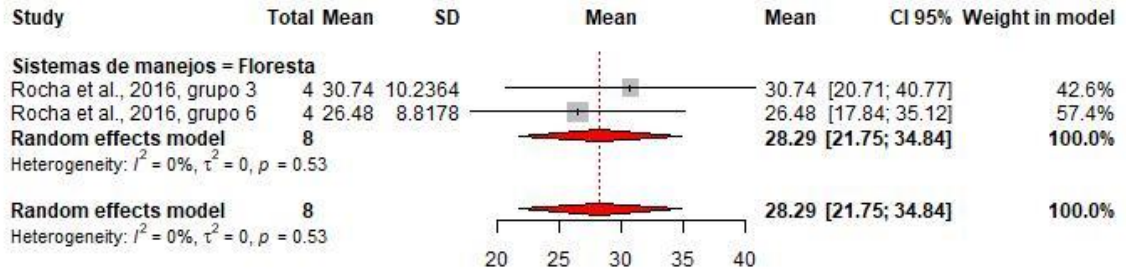
MOS Profundidade (m)	Efeitos do modelo	IC 95%		I^2 e p-valor de heterogeneidade	N Art	N Gp
		Inf	Sup			
0,00-0,05	17,83	14,40	21,26	I^2 =97,0% p<0,01	5	24
0,05-0,10	22,79	16,96	28,62	I^2 =99,8% p<0,001	7	35
0,10-0,20	13,93	10,01	17,85	I^2 =98,1% p<0,001	7	42
0,30-0,40	18,95	17,68	20,23	I^2 =68,0% p<0,01	2	8

IC: intervalo de confiança; Inf.: inferior; Sup.: superior; I^2: I-quadrado *teste de I^2, significativo quando p<0,05; N: número; Art.: Artigo; Gp: Grupo. **Fonte:** Elaborada pelas autoras (2023).
IC: confidence interval; Inf.: bottom; Sup.: superior; I^2: I-square *I^2 test, significant when p<0.05; N: number; Article: Article; GP: Group. **Source:** Prepared by the authors (2023).

O desfecho da meta-análise, para os sistemas de manejos do solo para produção de pastagem observados neste estudo do parâmetro MOS foram três, são eles: ILP, ILPF e Sistema Convencional de Produção de Pastagem, e o grupo Floresta como tratamento controle.

A MOS do grupo controle, floresta nativa (Figura 1), evidencia que o desfecho para este parâmetro, apresenta dados homogêneos, em que o efeito do modelo foi de 28,29 g kg^{-1} [21,75;34,84], sendo 21,75 g kg^{-1} o limite inferior do intervalo de confiança e 34,84 g kg^{-1} o limite superior, diferindo estatisticamente de todos os demais manejos. Velasquez & Righes (2019) notaram que em áreas de vegetação nativa, a decomposição da matéria orgânica, por meio das raízes e a atividade da macrofauna, resulta em canais no solo que beneficiam a passagem de um volume de água maior, e asseguraram que a presença da fauna e cobertura vegetal sob o solo, são essenciais a conservação da matéria orgânica do solo.

Figura 1. Modelo de meta-análise para matéria orgânica do solo (MOS) com sistema de manejo: Floresta.
Figure 1. Meta-analysis model for soil organic matter (MOS) with management system: Forest.



Fonte: Elaborada pelas autoras (2023). **Source:** Prepared by the authors (2023).

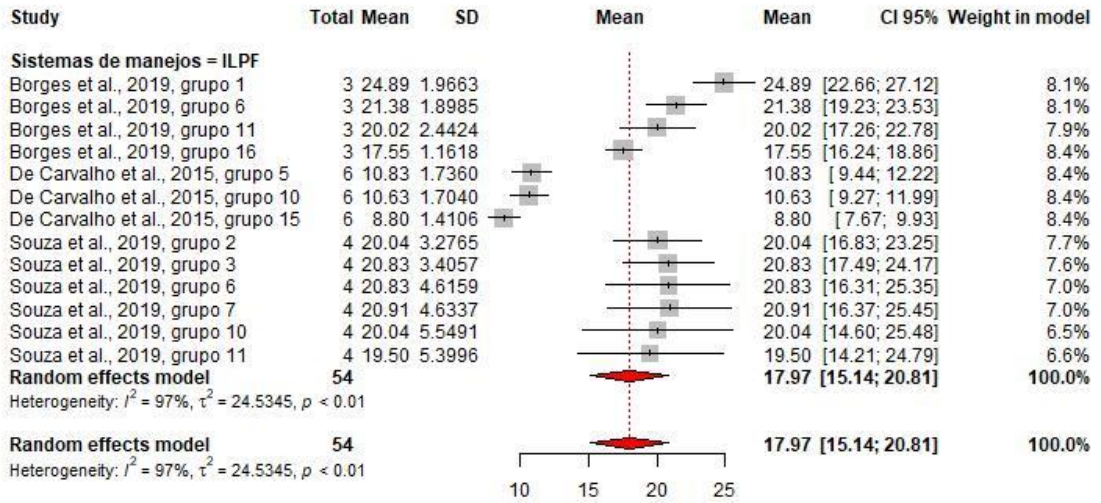
O desfecho para o manejo de solo de ILP, da variável MOS, demonstrou efeito do modelo de 8,90 g kg^{-1} [6,04;11,75], onde 6,04 g kg^{-1} foi o limite do intervalo de confiança inferior e 11,75 g kg^{-1} o limite de intervalo superior a 95%, diferindo estatisticamente dos demais sistemas, contudo para Santos *et al.* (2013) o aumento dos teores de MOS e a

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

melhoria da qualidade física do solo com a implantação das pastagens, em áreas agrícolas com níveis adequados de fertilidade indicam, que o sistema de ILP tem potencialidade para diminuir o impacto ambiental. Para Souza *et al*. 2019 o acúmulo e manutenção da MOS por ILP proporciona um solo bem estruturado, o que favorece: maiores taxas de infiltração de águas e, consequentemente, maior disponibilidade para culturas; redução do escoamento superficial, melhor penetração das raízes no perfil do solo, o que aumenta o volume de solo explorado pelo sistema radicular da cultura, resultando em eficiência no uso de água e nutrientes (Silva, Sales, Veloso 2016). A heterogeneidade demostrou-se alta (I^2 = 97%).

Na Figura 2, é possível verificar o desfecho para o manejo de solo de ILPF, do parâmetro MOS, sendo o efeito do modelo de 17,97 g kg^{-1} [15,14;20,81], onde 15,14 g kg^{-1} é o limite do intervalo de confiança inferior e 20,81 g kg^{-1} é o limite de intervalo superior, a 95%. Mesmo que este resultado esteja próximo ao sistema referência floresta, satisfatórios resultados são observados na literatura. Conforme Calil *et al.* (2016), as árvores elevam a deposição de matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes, já que apresentam raízes profundas que promovem a reabsorção de nutrientes lixiviados no perfil do solo. Para Abreu *et al*. (2019) o elevado teor de matéria orgânica (MO) na superfície do solo é uma das principais vantagens dos sistemas integrados quando combinados com práticas de manejo e conservação do solo. Isso ocorre porque essas práticas melhoram as condições físicas, químicas e biológicas do solo, enquanto que monocultivos por vários anos causa perda de MO e posteriormente reduz a qualidade do solo. A heterogeneidade demostrou-se alta (I^2 = 97%).

Figura 2. Modelo de meta-análise para matéria orgânica do solo (MOS) com sistema de manejo: ILPF.
Figure 2. Meta-analysis model for soil organic matter (MOS) with management system: ILPF.



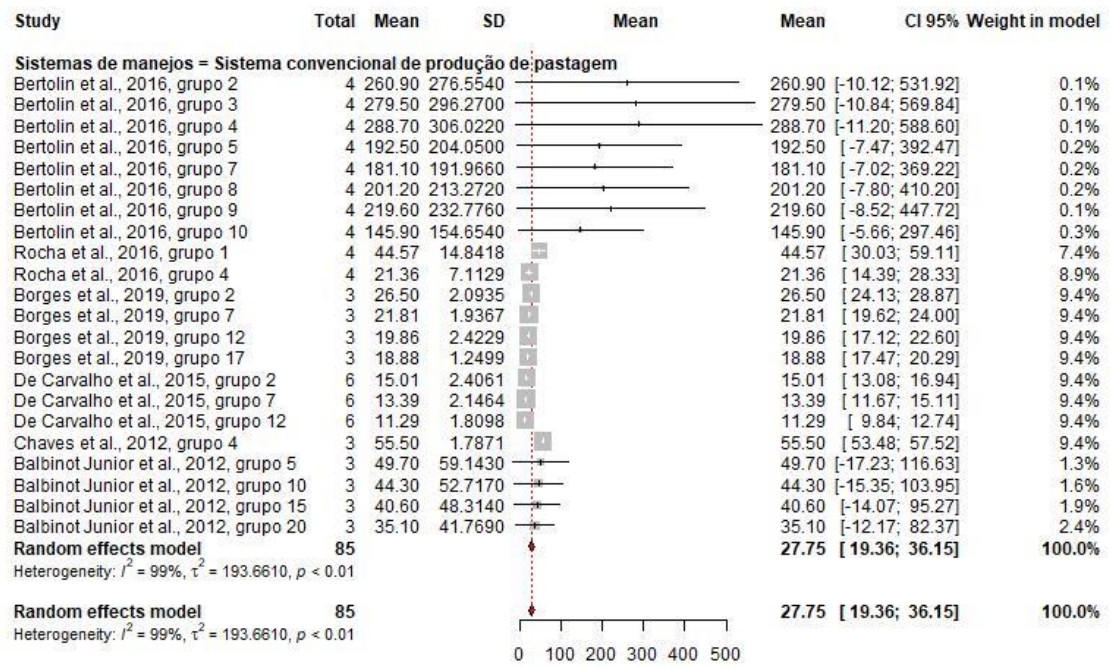
Fonte: Elaborada pelas autoras (2023). **Source:** Prepared by the authors (2023).

O sistema de manejo do solo de produção convencional de pastagem para o parâmetro MOS demonstrou efeito do modelo de 27,75 g kg^{-1} [16,36;36,15], sendo 16,36 g kg^{-1} o limite do intervalo de confiança inferior, e 36,15 g kg^{-1} o limite intervalo de confiança superior (Figura 3), este desfecho assemelha-se ao encontrado para o sistema floresta, resultado divergente ao observado por Assmann *et al*. (2013), que atestaram que a frequência e o método de pastejo (rotacionado ou contínuo) alteram dinâmica da matéria orgânica do solo. Para Silva *et al*. (2016) os sistemas integrados são capazes de aumentar os níveis de matéria orgânica a médio e longo prazo, ajudando assim na restruturação de

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

áreas anteriormente degradadas, devido manejo convencional das pastagens. Quanto a heterogeneidade dos dados apresentou-se alta (I^2 =99%).

Figura 3. Modelo de meta-análise para matéria orgânica do solo (MOS) com sistema de manejo: Sistema convencional de produção de pastagem.
Figure 3. Meta-analysis model for soil organic matter (MOS) with management system: Conventional pasture production system.



Fonte: Elaborada pelas autoras (2023). **Source:** Prepared by the authors (2023).

Estoque de carbono no solo

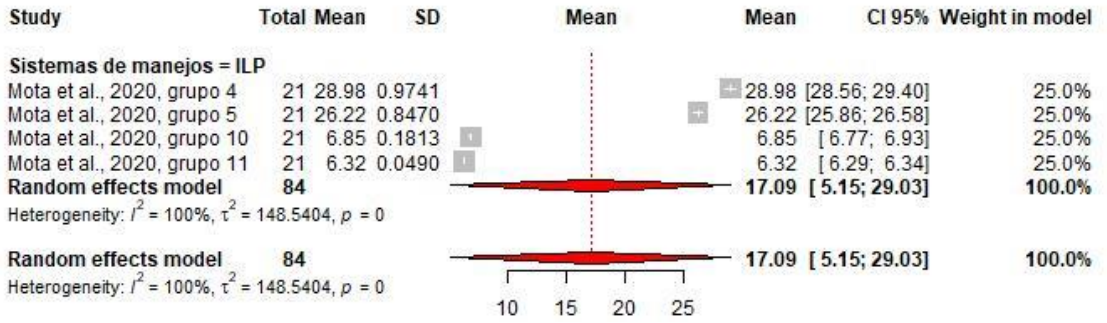
O efeito global do modelo da variável estoque de carbono, foi de 15,96 g kg^{-1}, o intervalo de confiança a 95% mostrou-se entre 10,21 g kg^{-1} limite inferior, e 21,70 g kg^{-1} limite superior. Para Nanzer *et al*. (2019), dentre os indicadores de qualidade do solo relacionados à matéria orgânica do solo, o estoque de carbono é um dos mais confiáveis, pois, dependendo do sistema de manejo adotado, seu teor pode se manter estável, aumentar ou diminuir em relação a áreas onde não há ação antrópica. A heterogeneidade dos dados gerais mostrou-se alta (I^2=100%).

O desfecho metanalítico para o agrupamento em profundidade deste parâmetro encontravam-se entre 0,00 a 0,20 m, onde os intervalos de confiança a 95%, comprovaram diferenças estatísticas nas profundidades identificadas. A profundidade de 0,00-0,05 m mostrou-se com maior média de estoque de carbono no solo (25,59 g kg^{-1}), e a profundidade de 0,10-0,20 m com 6,33 g kg^{-1}, a menor. Para Oliveira *et al*. (2018) grande percentual de carbono orgânico são encontrados nas camadas superficiais do solo, estes autores observaram ao avaliarem os estoques carbono orgânico até 1,00 m de profundidade, em diferentes sistemas de uso do solo, que 49% do carbono foi armazenado entre 0,00 e 0,30 m de profundidade e outros 51% entre 0,30 e 1,00 m. Essa distribuição no perfil do solo está vinculada a elevada deposição de resíduos no solo e a uma grande concentração de raízes na camada superficial. Portanto, grandes perdas de matéria orgânica podem ocorrer, porque a maior parte do carbono está susceptível, isto é, na camada superficial do solo, onde práticas de preparo e exposição do solo levam a sua perda. Deste modo, sistema de manejo conservacionista são recomendados.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

Os manejos de produção de pastagem encontrados, para a variável estoque de carbono no solo, foram: ILP e sistema convencional de produção de pastagem. O manejo de ILP para variável estoque de carbono no solo evidenciou desfecho do efeito de modelo de 17,09 g kg^{-1} [5,15;29,03], onde 5,15 g kg^{-1} é o limite inferior do intervalo de confiança e 29,03 g kg^{-1} é o limite superior (Figura 4). Baldotto, Vieira, Souza e Baldotto (2015) relataram a melhoria da fertilidade do solo associada ao aumento dos estoques de carbono orgânico do solo e à estabilidade em um sistema ILP. O sistema foi acompanhado por 25 anos em Minas Gerais, Brasil. Compostos orgânicos mais estáveis e menos solúveis foram observados, evidenciado por uma maior relação entre ácidos húmicos e ácidos fúlvicos. Sistemas que permitam maior acúmulo ou manutenção dos estoques de carbono orgânico do solo devem ser priorizados objetivando à sustentabilidade da produção agrícola, pecuária e florestal (Torres, Assis, Loss, 2018). A heterogeneidade foi alta (I^2=100%).

Figura 4. Modelo de meta-análise para estoque de carbono no solo com sistema de manejo: ILP.
Figure 4. Meta-analysis model for soil carbon stock with management system: ILP.



Fonte: Elaborada pelas autoras (2023). **Source:** Prepared by the authors (2023).

O desfecho para o parâmetro estoque de carbono do solo do sistema convencional de produção de pastagem, demonstra-se alta heterogeneidade (I^2=100%), onde o efeito do modelo é de 15,94 g kg^{-1} [5,09;26,79], sendo 5,09 g kg^{-1} é o limite do intervalo de confiança inferior e 26,79 g kg^{-1} é o limite intervalo de confiança superior. Coser *et al*. (2018) identificaram que após quatro anos de conversão de pastagens com baixa produtividade em sistema ILPF (consórcios de gliricídia com milho e *panicum*), houve acréscimo dos estoques de carbono orgânico no solo de 52,6 para 66,5 Mg ha^{-1}, na profundidade de 0-0,40 m. Inclusive, foi observado um aumento nos teores de carbono orgânico particulado e mineral. Os autores recomendam a utilização do sistema integrado estudado visando a otimização da qualidade do solo e como alternativa de sustentabilidade para as condições locais. Sistemas de ILPF com pastagens produtivas bem manejadas são eficazes no sequestro de carbono, levando ao aumento de seus estoques e mitigando os efeitos negativos das práticas produtivas inadequadas, que afetam o meio ambiente (Silva *et al*., 2016).

Carbono orgânico total - (COT)

O efeito geral do modelo, para carbono orgânico total teve desfecho de 21,69 g kg^{-1}, onde o intervalo de confiança do limite inferior foi de 18,94 g kg^{-1} e 24,43 g kg^{-1} o limite superior, para Assmann *et al*. (2013) sistemas integrados de produção, bem conduzidos, cooperam para elevar os estoques de carbono orgânico total e material particulado. Em decorrência da maior produção de resíduos orgânicos, que contribui para a sustentabilidade da produção agrícola, visto que aumento do carbono lábil reduz a oxidação da matéria orgânica presente no solo, aumentando o estoque de carbono, e

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

consequentemente, a qualidade do solo. Sendo que I^2=99,8% indicando alta heterogeneidade, foram identificados 15 grupos para esse parâmetro.

O carbono orgânico total e seu referente modelo de meta-análise, intervalos de confiança e teste de heterogeneidade estão sintetizados na Tabela 2. É possível observar que os efeitos do modelo são significativos para as profundidades identificadas, sendo que na profundidade de 0,05-0,10 m (15,31 g kg^{-1} [7,45;23,17]) houve diferença estatística quando comparado às demais profundidades. Santos *et al*. (2013) verificaram em estudo sobre a dinâmica da MOS, em Argissolo Vermelho submetido a diferentes usos no Rio Grande do Sul, que o sistema de ILPF apresentou na camada superficial, valores de carbono orgânico total e fração grosseira (fração lábil) da MOS semelhantes aos daqueles observados em vegetação nativa, tomados como referência, o que comprova o potencial de sustentabilidade do sistema, uma vez que as frações lábeis são mais suscetíveis às modificações promovidas no solo.

O intervalo de confiança a 95% variou com limite inferior de 7,45 g kg^{-1} e o limite superior de 26,41 g kg^{-1}. A heterogeneidade dos dados mostrou-se alta em todas as profundidades.

Tabela 2. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para carbono orgânico total com agrupamento profundidade de coleta.
Tabela 2. Modelo de meta-análise, intervalos de confiança (IC) e teste de heterogeneidade (I^2) para carbono orgânico total (COT)com agrupamento profundidade de coleta.

COT Profundidade (m)	Efeitos do modelo	IC 95%		I^2 e p-valor de heterogeneidade	N Art	N Gp
		Inf	Sup			
0,00-0,05	24,30	22,19	26,41	I^2 =99,9% p=0,00	1	6
0,05-0,10	15,31	7,45	23,17	I^2 =96,7% p<0,01	1	4
0,10-0,20	23,27	21,39	25,15	I^2 =99,5% p<0,01	1	6

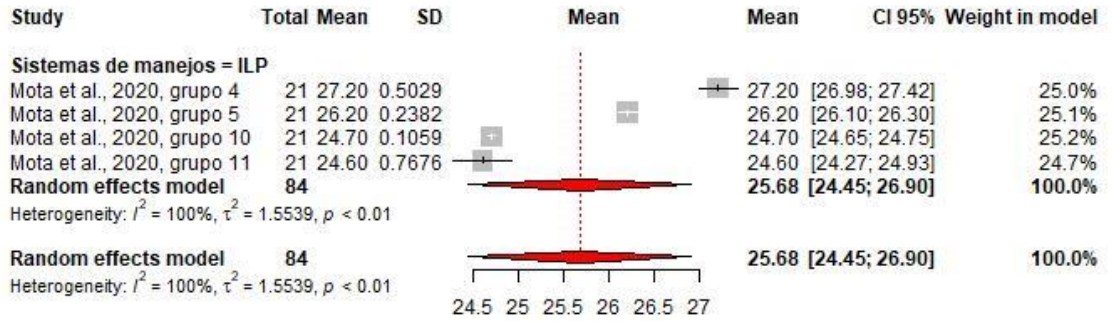
IC: intervalo de confiança; Inf.: inferior; Sup.: superior; I^2: I-quadrado *teste de I^2, significativo quando p<0,05; N: número; Art.: Artigo; Gp: Grupo. **Fonte:** Elaborada pelas autoras (2023).
IC: confidence interval; Inf.: bottom; Sup.: superior; I^2: I-square *I^2 test, significant when p<0.05; N: number; Article: Article; GP: Group. **Source:** Prepared by the authors (2023).

O desfecho da meta-análise, para os sistemas de manejo de produção de pastagem observados na variável carbono orgânico do solo, foram dois, são eles: ILP e Sistema Convencional de Produção de Pastagem.

Na Figura 5, é possível observar o desfecho para o manejo de solo de ILP, da variável carbono orgânico total, sendo o efeito do modelo de 25,68 g kg^{-1} [24,45;26,90], onde 24,45 g kg^{-1} é o limite do intervalo de confiança inferior e 26,90 g kg^{-1} é o limite de intervalo superior, a 95%. Loss, Ribeiro, Pereira e Costa (2014) no estado do Espírito Santo, examinaram a capacidade de aumentar e/ou manter os teores de carbono orgânico total do solo em um sistema IPF de cinco anos composto por eucalipto (*Eucalipto urograndis*) e capim colonião (*Panicum maximum*), em um cultivo de 8 x 4 m. Os autores observaram o acréscimo no teor de carbono orgânico particulado e carbono nas frações húmicas. De acordo com o estudo, a diversificação vegetal permitiu um maior aporte de resíduos vegetais, auxiliando no aumento do teor de matéria orgânica no solo, evidenciando as vantagens da adoção de sistema integrados. A heterogeneidade demostrou-se alta (I^2 = 100%).

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

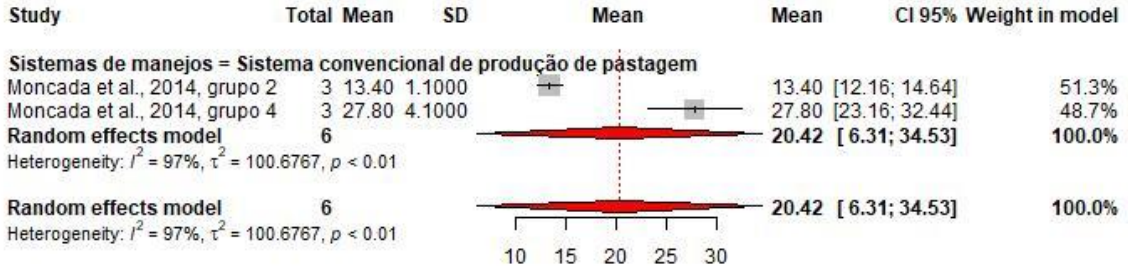
Figura 5. Modelo de meta-análise para carbono orgânico total com sistema de manejo: ILP.
Figure 5. Meta-analysis model for total organic carbon with management system: ILP



Fonte: Elaborada pelas autoras (2023). **Source:** Prepared by the authors (2023).

O sistema de manejo do solo para produção convencional de pastagem para o parâmetro carbono orgânico do solo demonstrou efeito do modelo de 20,42 g kg^{-1} [6,31;34,53], sendo 6,31 g kg^{-1} o limite do intervalo de confiança inferior e 34,53 g kg^{-1}o limite intervalo de confiança superior (Figura 6). Conceição, Matos, Bidone, Rodrigues e Cordeiro (2017) estudaram a zona de transição Cerrado/Amazônia após três anos de implantação. Os autores compararam os estoques de carbono orgânico do solo entre ILPF, plantio direto, monocultura de gramíneas e monocultura de eucalipto no estado de Mato Grosso, Brasil. Ganhos de carbono de 15, 13, 9 e 8% foram observados para ILPF, monocultivo de eucalipto, pastagem (monocultivo capim) e plantio direto, respectivamente. O teor de carbono orgânico total variou de 17,2 a 38,4 g kg^{-1}. Os autores vinculam o acréscimo dos teores de carbono orgânico do solo no sistema ILPF ao maior aporte de resíduos vegetais, que, ao contrário das pastagens convencionais, é favorecido pela combinação de árvores, pastagens e lavouras na mesma área de produção. Quanto a heterogeneidade dos dados apresentou-se moderada (I^2 =32%).

Figura 6. Modelo de meta-análise para carbono orgânico total com sistema de manejo: Sistema convencional de produção de pastagem.
Figura 6. Modelo de meta-análise para carbono orgânico total com sistema de manejo: Sistema convencional de produção a pasto.



Fonte: Elaborada pelas autoras (2023). **Source:** Prepared by the authors (2023).

5 Conclusão

A meta-análise para a variável matéria orgânica do solo, evidenciou que para o agrupamento dos sistemas de manejo, o sistema convencional de produção de pastagem (27,75 kg ha^{-1}) esteve próximo a média do sistema referência floresta nativa (28,29 kg ha-

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

^{1}), e o sistema de ILP (8,90 kg ha^{-1}) apresentou menor média de efeito do modelo deste parâmetro.

Para a variável estoque de carbono no solo o sistema o sistema de ILP (17,09 kg ha^{-1}) apresentou maior média de efeito do modelo, quando comparada ao sistema convencional de produção de pastagem (15,94 kg ha^{-1}), o mesmo desfecho foi observado para o parâmetro carbono orgânico total, onde o sistema de ILP apresentou média de efeito do modelo de 25,68 kg ha^{-1} e o sistema convencional de produção de pastagem 20,42 kg ha^{-1}, demonstrando que o sistema integrado de produção, podem atender satisfatoriamente os índices de estoque de carbono no solo e carbono orgânico total, visto que em sistemas integrados, as gramíneas produzem grande quantidade de biomassa e raízes, diferente dos sistemas convencionais.

6 Referências

Assmann, J. M., Anghinoni, I., Martins, A. P., de Andrade, S. E. V. G., Cecagno, D., Carlos, F. S., & de Faccio Carvalho, P. C. (2014). Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop–livestock system under no-tillage in southern Brazil. *Agriculture, ecosystems & environment*, *190(1)*, 52-59. 10.1016/j.agee.2013.12.003

Baldotto, M. A., & Baldotto, L. E. B. (2018). Relationships between soil quality indicators, redox properties, and bioactivity of humic substances of soils under integrated farming, livestock, and forestry. *Revista Ceres*, *65(1)*, 373-380. 10.1590/0034-737X201865040010

Baldotto, M. A., Vieira, E. M., Souza, D. D. O., & Baldotto, L. E. B. (2015). Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária. *Revista Ceres*, *62(3)*, 301-309.10.1590/0034-737X201562030010

Balduzzi, S., Rücker, G., & Schwarzer, G. (2019). How to perform a meta-analysis with R: a practical tutorial. *Evidence-based mental health*, *22*(4), 153-160. 10.1136/ebmental-2019-300117

Calil, N. F., Nauara, L. L., Raissa, T. S., Mariana, D. A. D. M., Pedro, V. G. B., Pedro, A. F. L., ... & Abadia, D. R. N. (2016). Biomass and nutrition stock of grassland and accumulated litter in a silvopastoral system with Cerrado species. *African Journal of Agricultural Research*, 11(38), 3701-3709. 10.5897/AJAR2016.11369

Conceição, M. C., Matos, E. D. S., Bidone, E. D., Rodrigues, R. D. A. R., & Cordeiro, R. C. (2017). Changes in soil carbon stocks under Integrated Crop-Livestock-Forest system in the Brazilian Amazon Region. *Embrapa Agrossilvipastoril-Artigo em periódico indexado (ALICE),* 8(9), 904-913. http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1078539

Coser, T. R., de Figueiredo, C. C., Jovanovic, B., Moreira, T. N., Leite, G. G., Cabral Filho, S. L. S., ... & Marchão, R. L. (2018). Short-term buildup of carbon from a low-productivity pastureland to an agrisilviculture system in the Brazilian savannah. *Agricultural Systems*, *166(1)*, 184-195. 10.1016/j.agsy.2018.01.030

de Abreu, K. M., Ferreira, J. L. S., Vasconcelos, W. A., Calil, F. N., de Melo, C., & Neto, S. (2020). Biomassa e nutrientes na serapilheira acumulada em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em diferentes idades. Magistra, 31, 736-748. http://orcid.org/0000-0003-3487-2248

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

Loss, A., Ribeiro, E. C., Pereira, M. G., & Costa, E. M. (2014). Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em Santa Teresa. *ES. Bioscience Journal*, *30*(5), 1347-1357.

Mascarenhas, A. R. P., Sccoti, M. S. V., Melo, R. R., de Oliveira Corrêa, F. L., de Souza, E. F. M., Andrade, R. A., ... & Müller, M. W. (2017). Atributos físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Ocidental. *Pesquisa florestal brasileira*, 37(89), 19-27. https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.89.1295

Nanzer, M. C., Ensinas, S. C., Barbosa, G. F., Barreta, P. G. V., de Oliveira, T. P., da Silva, J. R. M., & Paulino, L. A. (2019). Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, *18*(1), 136-145. 10.5965/223811711812019136

Oliveira, J. D. M., Madari, B. E., Carvalho, M. T. D. M., Assis, P. C. R., Silveira, A. L. R., de Leles Lima, M., ... & Machado, P. L. O. D. A. (2018). Integrated farming systems for improving soil carbon balance in the southern Amazon of Brazil. *Regional Environmental Change*, *18*(1), 105-116. 10.1007/s10113-017-1146-0

Omuto, C., Nachtergaele, F., & Rojas, R. V. (2013). *State of the Art Report on Global and regional Soil Information: Where are we? Where to go?* (p. 81). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Roever, L. (2020). Guia Prático de Revisão Sistemática e Metanálise.

Santos, D. C. D., Farias, M. D. O., Lima, C. L. R. D., Kunde, R. J., Pillon, C. N., & Flores, C. A. (2013). Fracionamento químico e físico da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso. *Ciência Rural*, *43(5)*, 838-844. 10.1590/S0103-84782013005000037

Santos, D. C. D., Farias, M. D. O., Lima, C. L. R. D., Kunde, R. J., Pillon, C. N., & Flores, C. A. (2013). Fracionamento químico e físico da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso. Ciência Rural, 43(5), 838-844. doi: 10.1590/S0103-84782013005000037

Santos, G. G., Silveira, P. M. D., Marchão, R. L., Petter, F. A., & Becquer, T. (2012). Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em Latossolo do cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(11), 1171-1178. 10.1590/S1415-43662012001100005

Silva, A. R., Sales, A., & Veloso, C. A. C. (2016). Atributos físicos e disponibilidade de carbono do solo em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF), Homogêneo e Santa Fé, no estado do Pará, Brasil. *Agropecuária Técnica*, 37(1), 96-104. http://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/at/index

Soares, M. D. R., Campos, M. C. C., Cunha, J. M. D., Souza, Z. M. D., Oliveira, I. A. D., Aquino, R. E. D., ... & Oliveira, L. S. (2018). Variabilidade espacial do estoque de carbono e atributos físicos do solo em terra preta arqueológica sob pastagem. *Revista Ambiente & Água*, 13(6), 01-13. 10.4136/ambi-agua.2002

Souza, J. F. D., Perusso, R. L. S., Bonini, C. S. B., Souza, C. T., Lupatini, G. C., Andrighetto, C., ... & Pedro, F. G. (2019). Atributos físicos, matéria orgânica do solo e produção de capim

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

Marandu em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. *Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas*, 13(1), 51-64. 10.18011/bioeng2019v13n1p51-64

Team, R. C. (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org/.

Torres, J. L. R., Assis, R. L., & Loss, A. (2018). Evolução entre os sistemas de produção agropecuária no Cerrado: convencional, Barreirão, Santa Fé e Integração Lavoura-Pecuária. *Informe Agropecuário*, 39(302), 7-17.

Velasquez, R. P., & Righes, A. A. (2019). Controle de voçoroca em argissolo vermelho em São Valentim-RS. *Disciplinarum Scientia Naturais e Tecnológicas*, *20*(1), 53-69.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.