EFEITOS DA MECANIZAÇÃO SOBRE A MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO: UMA BREVE REVISÃO

Autores: Vanessa Moura Cardoso[1]. Bianca Callegari Freitas[1]. Daniel Ferreira Leal[1]. Aline Vieira da Silva[1].

[1]Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Alto Universitário s/n, 29500-000 - Alegre-ES, Brasil, alinevdasilva1998@gmail.com, bianca.callegarifreitas@outlook.com, danielleal942@gmail.com, vanessa.m.cardoso@edu.ufes.br.

Resumo
A mecanização agrícola é essencial para a eficiência e produtividade dos sistemas de cultivo, porém, dependendo da forma como é conduzida, pode provocar alterações na matéria orgânica do solo (MOS). Este trabalho teve como objetivo analisar os impactos da mecanização agrícola sobre a dinâmica da MOS, com ênfase no preparo convencional, na compactação e no uso do Sistema Plantio Direto como alternativa conservacionista. Para isso, foi realizada uma revisão de literatura com base em estudos relacionados à matéria orgânica e aos diferentes sistemas de manejo do solo. Os estudos analisados demonstraram que o revolvimento intensivo e o tráfego de máquinas favorecem a desagregação, a compactação, a mineralização da matéria orgânica e a perda de carbono. Em contrapartida, sistemas conservacionistas, especialmente o plantio direto associado ao uso de plantas de cobertura, contribuem para maior agregação, manutenção dos estoques de carbono e melhoria da qualidade do solo. Assim, o manejo adequado da mecanização é fundamental para conciliar produtividade e conservação do solo.
Palavras-chave: Manejo do solo. Carbono orgânico. Plantio direto. Compactação. Conservação do solo.

Área do Conhecimento: Ciências agrárias, agroecologia.

Introdução

A mecanização agrícola teve papel fundamental na modernização da agricultura e no aumento da produtividade dos sistemas de cultivo. Entretanto, a intensificação das operações mecanizadas também trouxe preocupações relacionadas à conservação do solo, principalmente quando associada ao manejo inadequado e ao revolvimento excessivo (Roscoe *et al*., 2006; Bettiol *et al*., 2023). Entre os atributos afetados por essas práticas, destaca-se a matéria orgânica do solo (MOS), que participa de processos fundamentais, como ciclagem de nutrientes, agregação e estruturação do solo, retenção de água, atividade biológica e estoque de carbono (Silva *et al*., 2021; Bettiol *et al*., 2023).

O preparo convencional, caracterizado principalmente por operações como aração e gradagem, promove o rompimento dos agregados e aumenta a exposição da matéria orgânica à decomposição, favorecendo sua mineralização e a perda de carbono. Além disso, o tráfego frequente de máquinas, especialmente em condições inadequadas de umidade, pode aumentar a compactação, reduzir a porosidade e limitar o desenvolvimento radicular e a infiltração de água (Roscoe *et al*., 2006; Reichert *et al*., 2007). Em contrapartida, sistemas conservacionistas, como o Sistema Plantio Direto, reduzem o revolvimento e mantêm resíduos vegetais sobre a superfície, contribuindo para a conservação da matéria orgânica e para a melhoria da qualidade do solo (Roscoe *et al*., 2006; Bettiol *et al*., 2023).

Os efeitos da mecanização sobre a MOS dependem, portanto, da forma como as operações são realizadas e do sistema de manejo adotado. Práticas intensivas podem acelerar processos de degradação, enquanto estratégias conservacionistas apresentam potencial para manter ou aumentar os estoques de carbono e favorecer a estabilidade do solo (Lal, 2004; Bettiol et al., 2023; Maia et al., 2022). Assim, este trabalho teve como objetivo analisar os impactos da mecanização agrícola sobre a dinâmica da matéria orgânica do solo, com ênfase nos efeitos do preparo convencional e da compactação, bem como no Sistema Plantio Direto como estratégia para mitigar esses impactos e favorecer a conservação do solo.

Metodologia

O presente trabalho consiste em uma revisão bibliográfica de caráter narrativo, desenvolvida com o objetivo de reunir e analisar informações disponíveis na literatura sobre os efeitos da mecanização agrícola na dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS). Para a elaboração da revisão, foram utilizados artigos científicos, livros e documentos técnicos relacionados ao manejo e à conservação do solo.

A seleção do material considerou publicações que abordassem aspectos relacionados às funções da matéria orgânica no solo, aos efeitos do preparo convencional e do tráfego de máquinas, à compactação e às alterações nos estoques de carbono. Também foram considerados estudos sobre sistemas conservacionistas, principalmente o Sistema Plantio Direto, e trabalhos que compararam diferentes formas de manejo quanto ao carbono orgânico e à agregação do solo.

As informações obtidas foram analisadas de forma qualitativa e organizadas de acordo com os principais aspectos relacionados ao tema. A análise buscou comparar os efeitos associados ao manejo mecanizado intensivo com aqueles observados em sistemas conservacionistas, considerando seus reflexos sobre a manutenção da matéria orgânica, a estrutura do solo e o armazenamento de carbono.

Resultados e Discussão

A literatura analisada demonstra que a matéria orgânica do solo está diretamente relacionada à manutenção de atributos físicos, químicos e biológicos importantes para o funcionamento dos sistemas agrícolas. Sua presença favorece a agregação das partículas, a retenção e infiltração de água, a ciclagem de nutrientes e a atividade biológica, além de representar um importante compartimento de carbono no solo (Silva *et al*., 2021; Bettiol *et al*., 2023). Essa relação ajuda a compreender por que alterações provocadas pelo manejo mecanizado podem afetar não apenas os teores de matéria orgânica, mas também a própria qualidade estrutural e funcional do solo.

Entre as práticas de maior impacto, o preparo convencional baseado em aração e gradagens sucessivas promove o rompimento dos agregados e aumenta a exposição da matéria orgânica anteriormente protegida em seu interior. Com maior aeração e contato com os microrganismos, ocorre aceleração da decomposição e da mineralização do carbono, contribuindo para sua liberação na forma de CO_2 (Six *et al*., 2000; Balesdent *et al*., 2000; Salton *et al*., 2005). A ausência de cobertura vegetal também aumenta a exposição do solo à ação da chuva e aos processos erosivos. Hernani *et al*. (1999), Salton *et al*. (2005) e Roscoe *et al*. (2006) relatam que as perdas de solo nesses sistemas podem ser até seis vezes maiores em comparação com áreas sob plantio direto protegidas por palhadas.

Outro efeito associado à mecanização intensiva é a compactação provocada pelo tráfego de máquinas, principalmente quando as operações são realizadas em condições inadequadas de umidade. O aumento da densidade e a redução da macroporosidade limitam a circulação de ar e água, alteram a atividade biológica e dificultam o crescimento das raízes (Reichert *et al*., 2007; Bettiol *et al*., 2023). Esse processo também interfere na dinâmica da matéria orgânica, pois a restrição ao crescimento radicular reduz a entrada de carbono nas camadas mais profundas. Ao mesmo tempo, a perda de MOS torna o solo menos resistente à compactação, já que a matéria orgânica participa da formação e estabilização dos agregados e contribui para a elasticidade da estrutura (Menezes *et al*., 2020).

Os resultados encontrados para sistemas conservacionistas mostram um comportamento diferente. No Sistema Plantio Direto (SPD), a redução do revolvimento e a permanência dos resíduos vegetais na superfície diminuem a exposição da matéria orgânica à decomposição e favorecem sua manutenção no solo (Roscoe *et al*., 2006). Estudos realizados no Cerrado e na Região Sul encontraram taxas de acúmulo de carbono entre 0,35 e 0,68 Mg ha^{-1} ano^{-1} sob plantio direto (Bayer *et al*., 2006; Bernoux *et al*., 2006). Em avaliações de longo prazo no Cerrado, Maia *et al*. (2022) verificaram que, após vinte anos de adoção do sistema, os estoques de carbono foram 22% superiores aos do preparo convencional na camada de 0 a 30 cm e 25% maiores na camada de 0 a 50 cm.

Essa diferença também foi observada por Loss *et al*. (2015) ao compararem o sistema de preparo convencional com o plantio direto de hortaliças associado a plantas de cobertura. Na camada de 0 a 5 cm, o preparo convencional apresentou 18,23 g kg^{-1} de carbono orgânico total, enquanto a área de mata utilizada como referência apresentou 52,83 g kg^{-1}. Os tratamentos conduzidos em plantio direto apresentaram valores intermediários, porém todos superiores ao sistema convencional. O preparo convencional também apresentou menores índices de agregação e menor proporção de macroagregados, enquanto os sistemas com plantas de cobertura favoreceram a formação de

agregados maiores e mais estáveis. Esses resultados reforçam a relação entre a redução do revolvimento, a proteção física da matéria orgânica e a conservação do carbono no solo.

Apesar dos benefícios associados ao plantio direto, os resultados encontrados na literatura não são iguais para todas as condições. Roscoe *et al*. (2006) destacam que alguns estudos registram aumento expressivo dos estoques de carbono, enquanto outros não encontram diferenças em relação ao sistema convencional. Essas variações estão relacionadas ao clima, ao histórico de uso da área e, principalmente, à quantidade de resíduos adicionados ao solo. Em regiões como o Cerrado, a elevada taxa de decomposição da palhada pode dificultar a manutenção da cobertura durante todo o ano, tornando a escolha das plantas de cobertura um fator importante para o funcionamento do sistema.

Assim, os trabalhos avaliados indicam que a mecanização não deve ser considerada isoladamente como responsável pela degradação da matéria orgânica do solo. Seus efeitos dependem da intensidade das operações, das condições em que as máquinas são utilizadas e das práticas de manejo adotadas em conjunto. O uso excessivo do preparo e o tráfego inadequado favorecem perdas de carbono e alterações estruturais, enquanto sistemas que reduzem o revolvimento e mantêm aporte contínuo de resíduos apresentam maior capacidade de conservar a MOS e melhorar a estabilidade do solo.

Conclusão

A mecanização agrícola exerce influência direta sobre a dinâmica da matéria orgânica do solo, principalmente quando associada ao revolvimento intensivo e ao tráfego excessivo de máquinas. Essas práticas favorecem a desagregação, a compactação e as perdas de carbono, comprometendo atributos importantes para a qualidade do solo. Por outro lado, sistemas conservacionistas, com destaque para o Sistema Plantio Direto e o uso de plantas de cobertura, apresentam maior potencial para preservar a estrutura do solo, manter os resíduos vegetais na superfície e favorecer o acúmulo de matéria orgânica. Os estudos analisados também mostram que esses benefícios podem variar conforme as condições ambientais, o histórico de uso da área e o aporte de resíduos. Assim, mais do que reduzir a mecanização, é necessário adequar seu uso a práticas de manejo que conciliem produtividade e conservação do solo.

Referências

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 53, p. 215-230, 2000.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, v. 86, p. 237-245, 2006.

BERNOUX, M. et al. Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil, a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 26, p. 1-8, 2006.

BETTIOL, W. et al. (Ed.). **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. 788 p.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 145-154, 1999.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v. 304, p. 1623-1627, 2004.

LOSS, A. et al. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1212-1224, 2015.

MAIA, S. M. F. et al. Potential of no-till agriculture as a nature-based solution for climate-change mitigation in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 220, 105368, 2022.

MENEZES, K. C.; PUIA, J. D.; MACHADO, A. H. R. A importância da elasticidade da matéria orgânica e de sua atuação na estabilidade dos agregados para o controle da compactação do solo. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 3, n. 3, p. 1349-1356, jul./set. 2020.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 5, p. 49-134, 2007.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (Ed.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 304 p.

SALTON, J. C. et al. **Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 58 p.

SILVA, R. M.; SILVA, R. M.; SOUZA, J. K. M.; SOUZA, J. R. M.; GEDIJESK, T. P. Um estudo de caso da remoção da palhada de cana-de-açúcar do solo: quais são as implicações no conteúdo de matéria orgânica do solo? **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, e71101421717, 2021.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, p. 2099-2103, 2000.

Agradecimentos

À Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP) e à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Expressamos também nossa gratidão ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Espírito Santo (PPGAG/UFES), pelo apoio institucional e suporte ao desenvolvimento deste trabalho, bem como à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo incentivo à pesquisa e ao fortalecimento da produção científica.