

IMPACTOS DOS DIFERENTES USO DA TERRA SOBRE A DINÂMICA DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO NA TRANSIÇÃO AMAZÔNIA-CERRADO

Lana Costa Ferreira¹
Vitória Gleyce Sousa Ferreira²
Karina Vieira de Govêa³
Glécio Machado Siqueira⁴
Aldair de Souza Medeiros⁴

Resumo

As mudanças no uso e manejo da terra constituem uma ameaça potencial à conservação da biodiversidade e são um fator-chave na regulação da qualidade da matéria orgânica do solo e das emissões de carbono para a atmosfera. Desse modo, objetiva-se com o presente estudo analisar as condições do armazenamento carbono orgânico do solo (COS) para a manutenção da biodiversidade em diferentes usos da terra no Maranhão. Para tanto, foi realizada uma avaliação do efeito da mudança no uso da terra sobre os estoques de carbono em áreas vegetação nativa e de forma estimados para cultivos de soja e milho (plantio direto) e pastagem no Estado do Maranhão. Os dados secundários obtidos por meio de uma revisão sistemática da literatura para selecionar os estudos relacionados a matéria orgânica do solo. A substituição da vegetação nativa para sistema de pastagem degradada ($32,94 \text{ Mg C ha}^{-1}$) e em SPD ($30,78 \text{ Mg C ha}^{-1}$) houve redução dos estoques de COS em comparação a vegetação nativa ($33,11 \text{ Mg C ha}^{-1}$), pastagem natural ($35,04 \text{ Mg C ha}^{-1}$), portanto esses sistemas atuam como uma fonte de emissão de CO_2 para a atmosfera. Em contrapartida, os resultados dos estoques para pastagem melhoradas ($38,90 \text{ Mg C ha}^{-1}$) mostram ganhos de COS. Assim, os diferentes uso e manejo da terra podem influenciar o ciclo global do C e a conservação da biodiversidade. Portanto, através da análise do impacto das mudanças no uso da terra sobre a matéria orgânica do solo permite estudos para o desenvolvimento sustentável do setor agropecuário.

Palavras-chave: Carbono; Matéria orgânica do solo; Fauna e flora; Mudança de uso da terra.

INTRODUÇÃO

O solo desempenha papel fundamental para o gerenciamento da fauna e flora global, em que, concentra grande parte da biodiversidade presente no planeta, sendo uma peça vital para a manutenção da vida na Terra (Lopes et al., 2023). Nesse sentido, o solo é entendido como o produto de transformação das substâncias orgânicas e minerais da superfície terrestre sob a influência dos fatores ambientais, em que toda a biodiversidade depende do solo (Schaefer, 2023). Ademais, atua na regulação das emissões de gases do efeito estufa (GEE),

¹Graduando do Curso de Geografia da Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, lana.ferreira@aluno.ufop.edu.br;

²Doutoranda do Curso de Geografia da Universidade Estadual Paulista - UNESP, vitoria.gleyce@unesp.br;

³Graduada pelo Curso de Geografia da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, kvieira532@gmail.com;

⁴Docente do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, glécio.siqueira@ufma.br, aldair.medeiros@ufma.br;

como o dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera (Locatelli et al., 2022; Damian et al., 2023). Diante disso, a matéria orgânica do solo (MOS), atua como o indicador de sustentabilidade ambiental, desempenha influência sobre a qualidade dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Siqueira Neto et al., 2022), bem como na capacidade de armazenamento do carbono orgânico do solo (COS) contribuindo para o equilíbrio ecológico (Schaefer, 2023). Além disso, cabe pontuar que a maior parte do COS é encontrado como matéria orgânica do solo (Locatelli et al., 2022).

Neste contexto, o estoque de COS pode ser entendido como o equilíbrio dinâmico entre as taxas de adição devido ao aporte de material orgânico e as perdas de carbono (C) relacionadas às alterações nas taxas de decomposição, mineralização da MOS ou decorrente de processo erosivo do solo nos sistemas agropecuários (Ghosh et al., 2020), atuando como o sumidouro ou emissor de C atmosférico. Sendo que, os setores de Agropecuária e Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas são responsáveis pela emissão de 60,3% de CO₂ para a atmosfera (SIRENE-MCTI, 2022).

Salienta-se que, as alterações sobre a MOS indicam a mudança na qualidade e na capacidade de armazenamento de COS (Santos et al., 2022). Assim como, ocorre a perda da biodiversidade pelo manejo inadequado do solo, devido as alterações no meio ambiente ocasiona processos de degradação do solo, os quais sofrem com modificações, gerando diversas transformações no espaço geográfico (Souza et al., 2021). Frente ao exposto, o objetivo com o presente estudo foi, analisar as condições da matéria orgânica do solo sobre o armazenamento do COS e para a manutenção da biodiversidade em diferentes usos e manejos da terra no Estado do Maranhão.

MATERIAIS E MÉTODOS

As amostragens de solos foram realizadas em áreas vegetação nativa, e os estoques de COS forma estimados para cultivos de soja e milho (plantio direto) e pastagem no Estado do Maranhão (Figura 1), avaliando-se o efeito da mudança no uso e manejo da terra sobre a matéria orgânica do solo e os estoques de carbono nestas áreas. As estimativas dos estoques de COS foram realizadas usando o método descrito pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC (2006), conforme equação (1).

$$COS = \sum e, m(C_{Ref} * F_{MU} * F_{MJ} * A) \quad (1)$$

Em que, e = representa as associações entre os tipos de solos e tipo de vegetações nativas; m = área do município avaliado; C_{Ref} = estoque médio de COS na área de vegetação

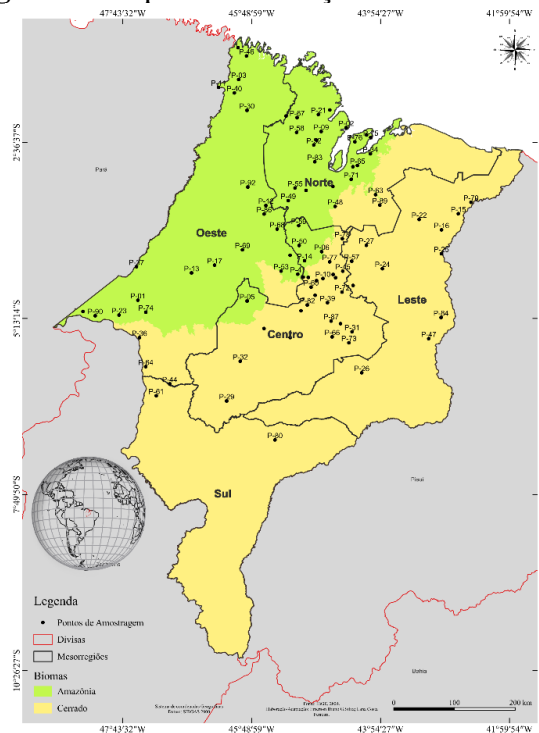
nativa (Mg C ha^{-1}); F_{MU} = fator de alteração no estoque de COS para a mudança de uso da terra; F_{MJ} = fator de alteração de estoque para as práticas de manejo (Tabela 1); A = área (ha) para cada tipo de uso da terra.

Tabela 1: Fatores de alterações nos estoques de COS para diferentes tipos de usos da terra, derivados para a camada 0-30 cm no Brasil.

Fatores de alterações de COS	Pastagem			Plantio direto
	Natural	Degradada	Boas condições	
F_{MU}	1,00	1,00	1,00	1,0
F_{MJ}	1,00	0,94	1,11	0,96 Amazônia 0,92 Cerrado

F_{MU} - fator de alteração no estoque de COS para a mudança de uso da terra; F_{MJ} - fator de alteração de estoque para as práticas de manejo. Fonte: Adaptado de Brasil (2020).

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Os autores, 2024.

Os dados secundários foram obtidos a partir de uma revisão sistemática da literatura para selecionar os estudos relacionados a MOS e COS sob a perspectiva de bioindicador para garantir o equilíbrio da biodiversidade. O levantamento bibliográfico desses estudos foi realizado nas bases de dados Web of Science, Scopus, ScienceDirect, Scielo, Google Acadêmico e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações, utilizando uma combinação das palavras, sendo 'biodiversidade', 'matéria orgânica do solo', 'carbono orgânico do solo',

‘usos da terra’, ‘biomas brasileiros’ e ‘solos’.

REFERENCIAL TEÓRICO

A matéria orgânica do solo (MOS) é de grande relevância para o desenvolvimento sustentável, manejo de ecossistemas naturais ou que estejam em recuperação (Silva et al., 2023). Sendo que, alterações no aporte de MOS podem resultar em diminuir ou aumentar a capacidade do solo de absorver atributos químicos importantes além do C, como nitrogênio, fósforo, magnésio entre outros (Medeiros et al., 2020; Souza et al., 2021; Medeiros et al., 2022; Macedo et al., 2023). Por conseguinte, o aumento da temperatura pode, entre outros fatores, aumentar a taxa de decomposição da MOS e COS, elevando a concentração atmosférica de CO₂, e portanto, contribuindo com o aquecimento global e perda de biodiversidade (Delarmelina et al., 2022; Medeiros et al., 2022).

Neste caso, diferentes usos e manejos da terra contribuem para mudanças na MOS, afetando assim a capacidade de armazenamento dos estoques de COS e criando impactos na biodiversidade (Freitas et al., 2020; Oliveira et al., 2022), devido ao desenvolvimento inter-relacionado de áreas agrícolas em que a vegetação nativa é removida para conversão em cultivos agrícolas e sistemas de pastoreio (Sofu et al., 2020; Damian et al., 2023), afetando áreas de todos os biomas brasileiros. Nessa perspectiva, Delarmelina et al. (2022), constataram maior integração entre a cobertura vegetal e os atributos químicos dos solos, principalmente, dos solos cobertos por vegetação nativa, no qual, à decomposição contínua da matéria orgânica depositada em área de floresta resulta em menores perdas de nutrientes. Medeiros et al. (2023), constataram que, após a substituição da vegetação nativa para o sistema agrícola com culturas anuais, geralmente milho e feijão, a entrada de MOS é reduzida para 2,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ em regiões agrícolas do semiárido brasileiro.

Nesse sentido, estudos atuais indicam que os processos de decomposição e mineralização da MOS, em escala local, são afetados pela propriedade do ambiente edáfico e do microambiente (Silva et al., 2023). Souza et al. (2021), estudaram a agricultura na região Nordeste do Brasil, situados nos biomas Amazônia, Cerrado e Caatinga, e observaram que o tipo de uso, o manejo do solo, as alterações de temperatura e de regime pluviométrico podem interferir na dinâmica da MOS, sendo governada pelo balanço de C e N no solo. Em que, as perdas de MOS, por exemplo, podem representar o aumento da degradação física do solo, uma vez que a MOS está associada a qualidade física do solo (Locatelli et al., 2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apontam que os diferentes usos da terra geram alterações nos estoques de COS após 20 anos da conversão de vegetação nativa para sistemas agropecuários (Tabela 2). No Maranhão, ocorre perda de C no sistema de plantio direto (SPD) (30,78 Mg C ha⁻¹) e em pastos degradados (32,94 Mg C ha⁻¹) em comparação a vegetação nativa (33,11 Mg C ha⁻¹), pastagem natural (35,04 Mg C ha⁻¹) e pastagem melhorada (38,90 Mg C ha⁻¹). Semelhantemente, os biomas Amazônia e Cerrado apresentam perdas para SPD e pastagem degradada e ganhos nos demais sistemas analisados (Tabela 2).

Tabela 2: Estoque de COS em diferentes usos da terra na transição Amazônia-Cerrado no Estado do Maranhão, Brasil

Ambientes avaliados	COS (Mg C ha ⁻¹)				
	Vegetação Nativa	Plantio Direto	Pastagem Natural	Pastagem Degradada	Pastagem Melhoradas
Maranhão	33.11	30.78	35.04	32.94	38.90
Bioma Amazônia	28,29	27,16	30.93	29.07	34.33
Bioma Cerrado	35.01	32.21	40.16	37.75	44.58

Fonte: Dados da pesquisa, 2024

A substituição da vegetação nativa para sistemas agropecuários pode ser tanto um dreno quanto uma fonte de CO₂ atmosférico. Em sistema de pastagem degradada e em SPD houve redução dos estoques de COS, portanto esses sistemas atuam como uma fonte de emissão de CO₂ para a atmosfera. Em contrapartida, os resultados dos estoques para pastagem melhoradas mostram ganhos de COS, esses resultados evidenciam o potencial de armazenamento de COS em sistemas de pastagens bem manejadas ou melhoradas, e conseqüentemente, nessas áreas ocorrem maior acúmulo de MOS, refletindo em melhor qualidade desses solos.

Delarmelina et al. (2022) analisaram a variabilidade espacial do estoque de carbono orgânico do solo sob Mata Atlântica, e concluíram que avaliar os valores dos atributos físicos e químicos do solo, da MOS e do estoque de COS nos ambientes é fundamental para manter a qualidade dos solos, e podem gerar subsídios para a instalação de sistemas de gestão e colaborar para a sustentabilidade da biodiversidade. De acordo com Silva et al. (2023), a sustentabilidade em agroecossistemas pode ser alcançada através das interações energéticas, ciclagem de nutrientes e biodiversidade.

Destaca-se que, do COS uma parte considerável encontra-se na forma de matéria

orgânica do solo. Neste sentido, após a mudança de uso da terra por meio do desmatamento e da queima da vegetação nativa, as estimativas apresentadas neste estudo apontam que as conversões de vegetação nativa para agrossistemas no bioma Cerrado, contribuem para alteração da MOS e agrava os problemas gerados pela redução da biodiversidade (Oliveira et al., 2022). Esses resultados são justificados, pois o material orgânico no solo é facilmente decomposto quando realizado práticas de manejo não conservacionistas, causando agravamento do efeito estufa, devido à liberação de GEE, e maior perda de COS.

Sendo assim, o preparo intensivo do solo por meio do revolvimento, reduz a estabilidade dos agregados, da matéria orgânica e COS (Freitas et al., 2020), alterando o microclima do solo e a desestruturação física dos habitats, que contribui para a diminuição da abundância dos principais grupos da macrofauna (Sofa et al., 2020). Para Medeiros et al. (2020; 2022), os sistemas de uso da terra com a queima de vegetação nativa (VN) em áreas do bioma Caatinga e posterior implantação do cultivo convencional intenso e contínuo do solo, com práticas das monoculturas de baixo aporte de nutrientes e os períodos de pousio inadequados são causadores da degradação dos atributos físicos, químicos e biológicos dos solos, diminuindo os níveis de MOS e de COS e conseqüentemente causam impactos negativos à biodiversidade dessas áreas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mudanças na MOS relacionadas às diferentes formas de uso e manejo da terra influenciam o ciclo global do C e a conservação da biodiversidade. A MOS é de grande importância para os atributos do solo, integrando processos químicos, físicos e biológicos para promover a vida dos organismos, a biodiversidade e o equilíbrio ecológico. Neste sentido, o aumento do teor de MOS, resulta em maior produtividade dos cultivos agrícolas, equilíbrio das funções ecossistêmicas do solo e mitigação das mudanças climáticas pela menor liberação do CO₂. Nas áreas ocupadas pela agricultura os impactos na MOS estão associados aos sistemas convencionais de manejo, sobretudo, o preparo do solo e a redução do aporte de material orgânico. Nas áreas de pastagem, os impactos estão relacionados ao pisoteio excessivo dos animais, ocasionando a compactação do solo, diminuindo a infiltração de água, a aeração do solo e restringindo o desenvolvimento radicular, e por consequência, reduzem o aporte de MOS. Desse modo, é premente a necessidade da utilização de medidas mitigadoras, como adoção de sistemas conservacionais na agropecuária para promover o

incremento da MOS e do COS, que conseqüentemente, contribuem para a mitigação das mudanças climáticas globais.

Palavras-chave: Carbono; Matéria orgânica do solo; Fauna e flora; Mudança de uso da terra.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC**. - (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações). 2020. Disponível em:

https://issuu.com/mctic/docs/fourth_national_communication_brazil_unfccc. Acesso em: 20 de março de 2024.

DAMIAN, J. M.; MATOS, E. S.; PEDREIRA, B. C.; CARVALHO, P. C. F.; PREMAZZI, L. M.; CERRI, C. E. P. Intensification and diversification of pasturelands in Brazil: Patterns and driving factors in the soil carbon stocks. **Catena**, v.220, p.106750, 2023.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106750>.

DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; GOMES JUNIOR, D.; GODINHO, T. O.; CALIMAN, J. P.; GONÇALVES, E. O.; KUNZ, S. H.; PEREIRA, M. G.; SILVA, C. S. Soil attributes and spatial variability of soil organic carbon stock under the Atlantic Forest, Brazil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.32, n.3, p.1528-1551, 2022.

<https://doi.org/10.5902/1980509867028>.

FREITAS, I. C.; RIBEIRO, J. M.; ARAÚJO, N. C. A.; SANTOS, M. V.; SAMPAIO, R. A.; FERNANDES, L. A.; AZEVEDO, A. M.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. E. P.; FRAZÃO, L. A. Agrosilvopastoral systems and well-managed pastures increase soil carbon stocks in the Brazilian Cerrado. **Rangeland Ecology & Management**, v.73, p.776-785, 2020.

GHOSH, A.; SINGH, A. K.; KUMAR, S.; MANÁ, M. C.; BHATTACHARYYA, R.; AGNIHORTRI, R.; GAHLAUD, S. K. S.; SANNAGOUDAR, M. S.; GAUTAMA, K.; KUMAR, R. V.; CHAUDHARI, S. K. Differentiating biological and chemical factors of top and deep soil carbon sequestration in semi-arid tropical inceptisol: an outcome of structural equation modeling. **Carbon Management**, v.11, n.5, p.441-453, 2020.

<https://doi.org/10.1080/17583004.2020.1796143>.

LOCATELLI, J. L., SANTOS, R. S., CHERUBIN, M. R., CERRI, C. E. P. Changes in soil organic matter fractions induced by cropland and pasture expansion in Brazil's new agricultural frontier. **Geoderma Regional**, v.28, p.00474, 2022.

<https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00474>.

LOPES, M. J. S.; SANTIAGO, B. S.; SILVA, I. N. B.; GURGEL, E. S. C. Impacto do desmatamento e queimas na biodiversidade invisível da Amazônia. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.16, n.1, p.e9608, 2023. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2023v16n1e9608>.

MACEDO, R. S.; MORO, L.; LAMBAIS, E. O.; LAMBAIS, G. R.; BAKKER, A. P. Effects of degradation on soil attributes under Caatinga in the Brazilian Semi-Arid. **Revista Árvore**, v.47, p.e4702, 2023.

MEDEIROS, A. S.; GONZAGA, G. B. M.; SILVA, T. S.; BARRETO, B. S.; SANTOS, T. C.; MELO, P. L. A.; GOMES, T. C. A.; MAIA, S. M. F. Changes in soil organic carbon and soil aggregation due to deforestation for smallholder management in the Brazilian semi-arid region. **Geoderma Regional**, v.33, p.e00647, 2023.

<https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00647>.

MEDEIROS, A. S.; MAIA, S. M. F.; SANTOS, T. C.; GOMES, T. C. A. Soil carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region.

Agriculture, Ecosystems and Environment, v.287, p. 106690, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106690>.

MEDEIROS, A. S.; SANTOS, T. C.; MAIA, S. M. F. Effect of long-term and soil depth on soil organic carbon stocks after conversion from native vegetation to conventional tillage systems in Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.219, p.105336, 2022.

<https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105336>.

OLIVEIRA, D. C.; MAIA, S. M. F.; FREITAS, R. C. A.; CERRI, C. E. P. Changes in soil carbon and soil carbon sequestration potential under different types of pasture management in Brazil. **Regional Environmental Change**, v.22, p.87, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10113-022-01945-9>.

SANTOS, R. S.; WIESMEIER, M.; OLIVEIRA, D. M. S.; LOCATELLI, J. L.; BARRETO, M. S. C.; DEMATTÊ, J. A. M.; CERRI, C. E. P. Conversion of Brazilian savannah to agricultural land affects quantity and quality of labile soil organic matter. **Geoderma**, v.406, p.115509, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115509>.

SCHAEFER, C. E. G. R. (Org.). The Soil of Brazil. – World Soils Book Series. **Springer**. p.488, 2023. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-19949-3>.

SILVA, J. H. C. S.; BARBOSA, A. S.; GOMES, D. S.; AQUINO, I. S.; SILVA, J. R. Dynamics of plant organic matter decomposition in different agricultural landscapes. **Revista Caatinga**, v.36, n.1, p.135 – 144, 2023. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252023v36n115rc>.

SIQUEIRA-NETO, M.; POPIN, G. V.; FERRÃO, G. E.; SANTOS, A. K. B.; CERRI, C. E. P.; FERREIRA, T. O. Soybean expansion impacts on soil organic matter in the eastern region of the Maranhão State (Northeastern Brazil). **Soil Use Management**. v.38, p.1203–1216, 2022. <https://doi/10.1111/sum.12785>.

SIRENE - Sistema de Registro Nacional de Emissões. **Emissões de GEE por setor**. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/emissoes/emissoes-por-unidade-federativa>>. Acesso em: 15 de set. de 2023.

SOFO, A.; MININNI, A. N.; RICCIUTI, P. Soil macrofauna: a key factor for increasing soil fertility and promoting sustainable soil use in fruit orchard agrosystems. **Agronomy**, v.10, n.4, p.1-20, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040456>.

SOUZA, H. A.; LEITE, L. F. C.; MEDEIROS, J. C. **Solos Sustentáveis para a Agricultura no Nordeste**. Embrapa: Brasília - DF, 2021.