










Matéria orgânica e estoque de carbono em solos sob diferentes sistemas de uso nos biomas Cerrado e Caatinga do Brasil

Maria Catiana de VASCONCELOS ¹ , Ramon Freire da SILVA ^{*2} , Bruno de Oliveira DIAS ^{2,3} ,
Julian Junio de Jesus LACERDA ^{1,4} , Witória de Oliveira ARAÚJO ^{3,5} ,
Maria Gabriela de Araújo SILVA ³ , Milton Cesar Campos COSTA ^{2,3} 

¹ Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus, PI, Brasil.

² Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, Brasil.

³ Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, Brasil.

⁴ Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus, PI, Brasil.

⁵ Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, Brasil.

⁵ Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, Brasil.

Email: ramonsilvagro@gmail.com

Submetido em: 26/06/2025; Aceito em: 23/01/2026; Publicado em: 10/02/2026.

RESUMO: A mudança no uso do solo pode provocar alterações na dinâmica do carbono e nas frações da matéria orgânica, especialmente em camadas mais profundas, variando conforme o bioma. Este estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes sistemas de uso do solo nos estoques de carbono e nas frações da matéria orgânica nos biomas Caatinga e Cerrado, no estado do Piauí, Brasil. O experimento foi conduzido em áreas sob três usos (vegetação nativa, pastagem e agricultura), com coletas de solo em sete profundidades (0–10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–60, 60–80 e 80–100 cm), totalizando 126 unidades amostrais. Foram determinados os teores de matéria orgânica do solo (MOS), carbono orgânico total (COT), estoque de carbono (EC), matéria orgânica particulada (MOP), carbono da MOP (C-MOP) e carbono associado aos minerais (C-CAM). Observou-se que os teores de MOP foram significativamente superiores nas camadas superficiais, com maior acúmulo nas áreas de pastagem no Cerrado. Os estoques de carbono nas áreas de pastagem e de agricultura não diferiram das áreas de vegetação nativa em ambos os biomas, indicando baixa degradação. Contudo, os biomas apresentaram respostas distintas ao uso agrícola, evidenciando a necessidade de manejo específico para manter os estoques de carbono e a qualidade do solo.

Palavras-chave: agricultura; pastagem; mata nativa; uso do solo; semiárido.

Organic matter and carbon stocks under different land-use systems in the Cerrado and Caatinga biomes of Brazil

ABSTRACT: Land-use change can alter carbon dynamics and soil organic matter fractions, especially in deeper soil layers, with variations depending on the biome. This study aimed to evaluate the influence of different land-use systems on carbon stocks and soil organic matter fractions in the Caatinga and Cerrado biomes, located in the state of Piauí, Brazil. The study was conducted in areas under three land-use types (native vegetation, pasture, and agriculture), with soil sampling at seven depths (0–10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–60, 60–80, and 80–100 cm), totaling 126 sampling units. The following parameters were analyzed: soil organic matter (SOM), total organic carbon (TOC), carbon stock (CSTOCK), particulate organic matter (POM), particulate organic carbon (C-POM), and mineral-associated organic carbon (MOC). Results showed that POM content was significantly higher in the surface layers, with greater accumulation in pasture areas of the Cerrado biome. Carbon stocks in pasture and the agricultural regions did not differ from those in native vegetation in both biomes, indicating low levels of degradation. However, the biomes responded differently to agrarian use, highlighting the need for biome-specific management strategies to maintain soil carbon stocks and ensure soil quality.

Keywords: agriculture; pasture; native vegetation; land use; semiarid.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui vasta extensão territorial, ocupando a quinta posição mundial em área (8.516.000 km²), e apresenta grande heterogeneidade de clima e ecossistemas, o que confere grande biodiversidade (MYERS et al., 2000;

CABALLERO et al., 2023). Os biomas brasileiros, que abrangem desde florestas tropicais úmidas, savanas florestadas, savanas parque e estépicas, são fundamentais para os ciclos regionais e globais de recursos hídricos, energia e carbono (CABALLERO et al., 2023). Alterações no uso e

na cobertura do solo, em períodos prolongados, remodelam substancialmente a paisagem dos biomas brasileiros terrestres, resultando em impacto profundo no ciclo do carbono (YANG et al., 2023). Assim, a expansão agrícola atrelada a sistemas produtivos intensivos ocasiona perdas graduais na qualidade do solo, acarretando redução drástica na produtividade de culturas e, conseqüentemente, evoluindo para a degradação da qualidade do solo, que, por sua vez, é mediada pela variação do clima, da topografia, da classe de solo, sobretudo pelo sistema de uso do solo (GOWTHAMCHAND et al., 2023).

Assim, variáveis como o carbono orgânico, são um dos mais importantes indicadores primários da qualidade do solo, desempenhando papel essencial na produção de alimentos, redução da emissão dos gases de efeito estufa, conseqüentemente na mitigação e adaptação às mudanças climáticas e impactando efetivamente na sustentabilidade dos ecossistemas, pois atua na estruturação do solo, ciclagem de nutrientes, dinâmica dos recursos hídricos, atividade microbiana e biodiversidade (TAUTGES et al., 2019; SANTOS et al., 2024).

Por outro lado, a quantificação das frações da matéria orgânica do solo constitui uma importante ferramenta para avaliar alterações nas frações lábeis ou estáveis, conforme o sistema de manejo e uso adotado. Notoriamente, há avanços no entendimento da dinâmica das frações da matéria orgânica no solo; entretanto, necessita-se elucidar e compreender quais fatores influenciam a estabilização do carbono em sistemas de uso de solos tropicais, principalmente relacionados à distribuição do carbono orgânico na fração particulada e às interações entre compostos orgânicos e a matriz mineral, representadas pelo carbono orgânico associado aos minerais (C-CAM) (TENELLI et al., 2025).

No Brasil, estudos recentes têm apontado para uma redução dos teores de carbono orgânico do solo na ordem de 14% em sistemas de preparo do solo para cultivos anuais, em comparação à vegetação nativa (MEDEIROS et al., 2022; MEDEIROS et al., 2025). Em sentido contrário, observa-se um aumento médio de 9% nos sistemas de plantio direto, em comparação com o sistema de preparo anual (MAIA et al., 2022; MEDEIROS et al., 2025). Já o acúmulo de carbono no sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto

demonstrou reduções de até 19% no carbono orgânico na fração particulada (C-MOP) em áreas convertidas para produção agrícola (COSTA et al., 2020). A redução nessa fração da matéria orgânica é mais significativa, pois é a fração mais sensível ao manejo agrícola, por apresentar elevada taxa de decomposição e curto período de permanência no ambiente, o que influencia fortemente a dinâmica dos ecossistemas agrícolas (PINHEIRO et al., 2023).

Considerando a complexidade dos biomas brasileiros e suas variabilidades edafoclimáticas, biodiversidade e sistemas de uso do solo, o trabalho teve as seguintes hipóteses: i) as frações da matéria orgânica e o estoque de carbono comportam-se de forma diferente conforme a configuração vegetacional dos biomas (Cerrado e Caatinga); e ii) os sistemas de uso da terra alteram o comportamento das frações da matéria orgânica e do estoque de carbono. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência de diferentes sistemas de uso do solo sobre os estoques de carbono e as frações da matéria orgânica do solo nos biomas Caatinga e Cerrado do Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição das áreas de estudo

As áreas estudadas estão localizadas na região sudoeste do estado do Piauí, sendo estas situadas nos seguintes biomas:

i) Cerrado piauiense na Serra do Quilombo (9°16.747'S 44°52.415' W): situada no município de Bom Jesus, apresentando relevo com ampla superfície tabular reelaborada, plana ou levemente ondulada, limitada por escarpas abruptas com altitude de 600 m, exibindo zonas rebaixadas e dissecadas, sob arenitos da Formação Piauí e vegetação de cerrado (Figura 1):

ii) Caatinga: o solo foi coletado no município de Santa Luz (08° 57' 14" S 44° 07' 46" W), com altitude de 345 m e relevo com superfície tabular, plana ou levemente ondulada, exibindo zonas rebaixadas e dissecadas, sob arenitos da Formação Piauí, e vegetação composta por florestas secas e por vegetação com predomínio de árvores baixas e arbustos (savana-estépica) (Figura 1).

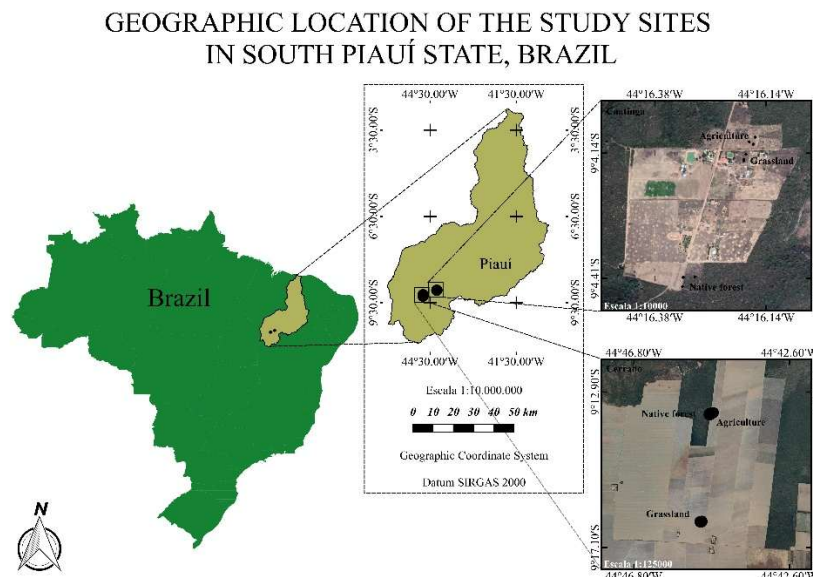


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo nos biomas caatinga (Santa Luz) e cerrado (Bom Jesus) no sudoeste do Piauí.

Figure 1. Location map of the study area in the Caatinga (Santa Luz) and Cerrado (Bom Jesus) biomes, southwestern Piauí, Brazil.

Os solos da região foram classificados como Latossolo Amarelo distrófico, de acordo com os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SANTOS et al., 2018). O clima da área sob influência do Cerrado apresenta temperaturas mínimas de 18 °C e máximas de 36 °C, com clima quente e semiúmido, precipitação de 800 a 1200 mm e período chuvoso que se estende de novembro a dezembro e de abril a maio (ALVARES et al., 2013).

Foram selecionados dois biomas (Caatinga e Cerrado) e três usos da terra (vegetação nativa, pastagem e agricultura), conforme a Tabela 1.

2.2. Métodos e amostragens de campo

Inicialmente, foram escolhidos três pontos aleatoriamente em cada um dos três usos da terra (vegetação nativa, pastagem e agricultura) nos biomas cerrado (Figura 2)

e caatinga (Figura 3). Nesses locais, foram coletadas amostras nas profundidades de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m para determinações físicas e químicas (TEIXEIRA et al. 2017).

Para a avaliação vertical da matéria orgânica do solo, foram selecionadas áreas nos biomas Cerrado e Caatinga, sob três formas de uso do solo (vegetação nativa, pastagem e agricultura), em sete profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm), com três repetições por parcela, totalizando 126 unidades amostrais. Para a operacionalização das coletas de solo, foram abertas cinco trincheiras por área (0,7 m de comprimento, 0,7 m de largura e 1 m de profundidade). Após a coleta, as amostras foram secas à sombra; em seguida, foram destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm para as determinações físicas e químicas (TEIXEIRA et al. 2017).

Tabela 1. Descrição do uso e do histórico das áreas nos biomas caatinga e cerrado, sob vegetação nativa, agricultura e pastagem, no sudoeste do Piauí.

Table 1. Description of land use and land-use history of the areas in the Caatinga and Cerrado biomes under native vegetation, agriculture, and pasture in southwestern Piauí, Brazil.

| Sistema de Uso | Histórico da área |
|-----------------------|---|
| Bioma Caatinga | |
| Vegetação Nativa | Área de caatinga nativa com vegetação composta de florestas secas e vegetação com predomínio de árvores baixas e arbustos (savana-estépica) |
| Agricultura | Área desmatada em 2011. Agricultura de pequeno porte, apenas para a manutenção alimentar das famílias. Em 2012/2013, plantio de milho e feijão. Em 2014, foi realizado o plantio de mandioca. Em 2016, plantio de milho. |
| Pastagem | Área desmatada em 2013. Em 2015, foi realizado o plantio do pasto (<i>Pennisetum purpureum</i> Schumach. - capim elefante). Área irrigada por aspersão. Não utilizou nenhum fertilizante químico. |
| Bioma Cerrado | |
| Vegetação Nativa | Área com vegetação de cerrado nativo formada por mata ripária, mata seca e cerradão |
| Agricultura | Área desmatada em 1999; em 2000 foram realizadas adubações (N-P-K: 8-24-12) e calagens (1,5 toneladas de calcário), seguidas, no ano agrícola de 2002 a 2006, pelo cultivo do milho. Ano agrícola 2012/2013: foi realizado o plantio de soja, seguido de milho e braquiária. De 2014 a 2017 foi realizado o plantio de soja. |
| Pastagem | Área desmatada em 1999; em 2000, foi aplicada calagem (1,5 toneladas de calcário) e adubações (100 kg/ha de P2O5 e 100 kg/ha de K2O) no plantio da soja; em 2006/2007, foram aplicados 400 kg/ha de superfosfato no plantio de milho; em 2008/2011, foi realizado o plantio de soja. Em 2012, foram aplicadas mais 1,5 toneladas de calcário e, em 2014, foi realizado o plantio de pasto (<i>Panicum maximum</i> cv. Massai). |



Figura 2. Áreas do bioma Cerrado: vegetação nativa (A), pastagem (B) e agricultura (C).

Figure 2. Areas of the Cerrado biome: native vegetation (A), pasture (B), and agriculture (C).



Figura 3. Áreas do bioma Caatinga: vegetação nativa (A), pastagem (B) e agricultura (C).

Figure 3. Areas of the Caatinga biome: native vegetation (A), pasture (B), and agriculture (C).

As amostras coletadas em anéis volumétricos foram utilizadas para a determinação da densidade do solo (Ds), em que, após a assepsia em laboratório, foram mantidas em

estufa a 105 °C por 24 horas. Posteriormente, foram levadas ao dessecador e pesadas, a partir das quais se obtiveram a massa do solo e o peso do anel. Após a retirada do solo do

anel, este foi pesado e seu volume registrado, obtendo-se as medidas necessárias para o cálculo da densidade do solo (TEIXEIRA et al., 2017).

A análise textural do solo foi determinada utilizando o método da pipeta, com solução de NaOH 1 mol L⁻¹ como dispersante químico e agitação mecânica com agitador do tipo Wagner, em aparato de rotação lenta, durante 16 horas a 50 rpm. As areias grossas e finas foram separadas por tamisação; as frações de argila e de silte foram separadas por sedimentação, conforme a metodologia de TEIXEIRA et al. (2017) (Tabela 2).

O cálcio (Ca²⁺), o magnésio (Mg²⁺) e o alumínio trocável (Al³⁺) foram extraídos com solução de KCl 1 mol L⁻¹. Os teores de Al³⁺ foram determinados por titulometria, utilizando NaOH a 0,025 mol L⁻¹ e azul de bromotimol como indicador colorimétrico. Já os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ foram determinados por espectrometria de absorção atômica, conforme a metodologia de TEIXEIRA et al. (2017) (Tabela 3).

O potássio (K⁺) e o fósforo (P) disponíveis foram extraídos com o extrato *Mehlich-1*. Os teores de P foram determinados por espectrofotometria UV-Vis e os de K⁺ por

espectrofotometria de chama. A acidez potencial (H+Al) foi determinada com acetato de cálcio tamponado a pH 7,00, utilizando NaOH a 0,025 mol L⁻¹ e fenolftaleína como indicador, conforme a metodologia de TEIXEIRA et al. (2017) (Tabela 3).

Tabela 2. Caracterização da textura do solo de um Latossolo Amarelo distrófico em diferentes biomas (Caatinga e Cerrado) e em diferentes sistemas de uso e manejo no sudoeste do Piauí.

Table 2. Soil texture characterization of a dystrophic Yellow Latosol in different biomes (Caatinga and Cerrado) and under different land-use and management systems in southwestern Piauí, Brazil.

| Sistemas de Uso | Areia (g kg ⁻¹) | Silte (g kg ⁻¹) | Argila (g kg ⁻¹) |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Caatinga | | | |
| Agricultura | 687 | 50 | 263 |
| Vegetação Nativa | 665 | 107 | 228 |
| Pastagem | 749 | 43 | 208 |
| Cerrado | | | |
| Agricultura | 757 | 50 | 193 |
| Vegetação Nativa | 706 | 54 | 240 |
| Pastagem | 710 | 43 | 242 |

Tabela 3. Caracterização química do solo de um Latossolo Amarelo distrófico em diferentes biomas (Caatinga e Cerrado) e em diferentes sistemas de uso e manejo no sudoeste do Piauí.

Table 3. Soil chemical characterization of a dystrophic Yellow Latosol in different biomes (Caatinga and Cerrado) and under different land-use and management systems in southwestern Piauí, Brazil.

| Sistemas de Uso | Prof. m | pH H ₂ O | P mg kg ⁻¹ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ cmol _c kg ⁻¹ | Al ³⁺ | H+Al |
|------------------|------------|------------------------|--------------------------|----------------|------------------|--|------------------|------|
| Bioma Caatinga | | | | | | | | |
| Agricultura | 0,00-0,10 | 4,44 | 4,90 | 0,09 | 0,11 | 0,11 | 0,23 | 2,54 |
| Agricultura | 0,10-0,20 | 4,17 | 4,46 | 0,05 | 0,03 | 0,05 | 0,32 | 2,53 |
| Vegetação Nativa | 0,00-0,10 | 4,56 | 2,85 | 0,07 | 0,04 | 0,07 | 0,27 | 3,10 |
| Vegetação Nativa | 0,10-0,20 | 4,46 | 1,26 | 0,04 | 0,01 | 0,02 | 0,32 | 3,11 |
| Pastagem | 0,00-0,10 | 5,19 | 44,23 | 0,09 | 0,20 | 0,22 | 0,10 | 2,39 |
| Pastagem | 0,10-0,20 | 4,90 | 59,94 | 0,04 | 0,27 | 0,14 | 0,18 | 2,05 |
| Bioma Cerrado | | | | | | | | |
| Agricultura | 0,00-0,10 | 6,15 | 63,40 | 0,28 | 0,76 | 0,54 | 0,05 | 2,01 |
| Agricultura | 0,10-0,20 | 4,94 | 17,28 | 0,12 | 0,13 | 0,21 | 0,20 | 2,92 |
| Vegetação Nativa | 0,00-0,10 | 4,18 | 2,36 | 0,03 | 0,02 | 0,05 | 0,56 | 4,63 |
| Vegetação Nativa | 0,10-0,20 | 4,34 | 1,25 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,37 | 3,33 |
| Pastagem | 0,00-0,10 | 6,17 | 70,18 | 0,16 | 0,73 | 0,70 | 0,10 | 2,42 |
| Pastagem | 0,10-0,20 | 5,04 | 61,10 | 0,20 | 0,22 | 0,23 | 0,23 | 4,68 |

Prof.: profundidade (m); Prof.: depth (m).

O fracionamento físico foi determinado segundo a metodologia de Cambardella e Elliot (1992), pesando-se 20 g, adicionando-se 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L⁻¹) e homogeneizando-se por 16 horas em agitador horizontal; posteriormente, realizando-se o peneiramento das amostras (abertura de malha de 53 µm). Após o peneiramento, o material retido na peneira correspondeu ao carbono orgânico particulado associado à fração areia (COP), e o material que passou na peneira correspondeu ao carbono orgânico associado às frações silte + argila (C-CAM). O material retido na peneira foi transferido para uma placa de Petri e seco em estufa a 60 °C por 24 horas. Após isso, o material foi triturado em gral de porcelana e analisado o teor de carbono orgânico por digestão úmida, conforme o método de Walkley-Black, modificado por Yeomans e Bremner (1988).

O teor de carbono orgânico associado às frações silte + argila (C-CAM) foi calculado pela diferença entre o carbono

orgânico do solo e o carbono orgânico da fração particulada associado à fração areia (COP). Após o fracionamento e a quantificação do carbono, estimou-se a matéria orgânica da fração particulada (MOP) multiplicando o COP pelo fator 1,724, que se refere à estimativa de que a matéria orgânica possui 58% de esqueleto de carbono em suas estruturas orgânicas. Ademais, calculou-se o carbono orgânico associado aos minerais (C-CAM) pela diferença entre o carbono orgânico total do solo (COT) e o carbono orgânico da fração particulada (C-MOP).

Os estoques de carbono do solo (EC) foram calculados pelo método da massa equivalente ajustada à espessura do solo, conforme descrito por Ellert e Bettany (1995):

$$EC (Mg ha^{-1}) = (C_{conc} \times Ds \times E)/10 \quad (01)$$

em que: C_{conc} (g kg⁻¹): massa de carbono; Ds: densidade do solo (g cm⁻³); E: espessura da camada (cm).

Os índices de manejo de carbono foram calculados, considerando a área nativa como referência conforme Blair et al. (1995) com adaptação de Vieira et al. (2007):

$$IMC = IEC * ILC * 100 \quad (02)$$

em que: IEC: índice de estoque de carbono, ILC: índice de labilidade do carbono.

$$IEC = \text{Estoque de carbono (Área estudada)} / \text{Estoque de carbono (Área de referência)} \quad (03)$$

$$ILC = LC \text{ carbono (Área estudada)} / LC \text{ (Área de referência)} \quad (04)$$

$$LC = C \text{ (Lábil)} / C \text{ (Não lábil)} \quad (05)$$

em que: LC (Lábil) = MOP, C (Não lábil) = COM.

2.3. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância por meio do modelo misto, e o teste de médias de Tukey ($p \leq 0,05$) foi utilizado para avaliar a influência dos diferentes sistemas de uso do solo em cada profundidade estudada nos biomas Caatinga e Cerrado. A análise de componentes principais (ACP) foi utilizada para avaliar as correlações entre as frações de carbono em diferentes profundidades de sistemas de uso do solo nos biomas Caatinga e Cerrado. As análises foram realizadas no software estatístico R, versão 4.3.0 (R CORE TEAM, 2018). Foram usados os pacotes glmmTMB e factominer 2.4 para as análises de modelos mistos e de ACP, respectivamente.

3. RESULTADOS

Ao analisar a distribuição vertical da matéria orgânica do solo (MOS) e sua variação conforme o sistema de uso do solo nos biomas Caatinga e Cerrado, observam-se os maiores teores de MOS nas camadas superficiais (0-10 cm), com diminuição constante à medida que se avança na profundidade do solo (Figura 4). No bioma Caatinga, na camada superficial (0-10 cm) sob vegetação nativa,

observaram-se os maiores teores de matéria orgânica (18,35 g kg⁻¹) em comparação às áreas de agricultura (13,58 g kg⁻¹) e de pastagem (10,24 g kg⁻¹) (Figura 5A). No bioma Cerrado, ocorre o inverso: a maior quantidade de matéria orgânica foi observada na pastagem (22,88 g kg⁻¹), seguida da agricultura (21,18 g kg⁻¹) e da vegetação nativa (19,33 g kg⁻¹) (Figura 4B). Embora as diferenças entre os usos não tenham sido estatisticamente significativas ($p \leq 0,05$), observa-se um aporte diferente de matéria orgânica nas camadas superficiais entre os sistemas de uso do solo nos dois biomas.

A fração particulada da matéria orgânica do solo (MOP) (Figura 5) apresentou comportamento semelhante ao da matéria orgânica do solo nos biomas (Figura 4), com maiores quantidades observadas nos primeiros 10 cm de profundidade, variando de 0,48 a 3,22 g kg⁻¹ de MOP entre os sistemas de uso nos dois biomas, e apresentando declínio à medida que a profundidade aumentava.

Na Caatinga, os teores de MOP foram significativamente maiores nas camadas superficiais do solo, porém não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os sistemas de uso em profundidade ($p \leq 0,05$) (Figura 5A). No entanto, no bioma Cerrado, houve tendência de redução com a profundidade semelhante à do bioma Caatinga, e os solos sob pastagem destacaram-se por apresentarem os maiores teores de MOP (3,22 g kg⁻¹) nos primeiros 10 cm, mantendo esse comportamento até 20 cm de profundidade (Figura 5B).

O carbono associado à matéria orgânica particulada (C-MOP) apresentou uma distribuição vertical mais homogênea nos sistemas de uso nativo em ambos os biomas (Figura 6). No bioma Caatinga, a pastagem apresentou os maiores teores dessa fração em quase todas as profundidades analisadas; entretanto, ao comparar os diferentes usos do solo em cada profundidade, não se observaram diferenças de C-MOP ($p \leq 0,05$). Comportamento diferente foi observado no bioma Cerrado, onde, superficialmente (0-10 cm), a atividade agrícola apresentou os maiores valores de C-MOP (0,24 g kg⁻¹), em comparação com o uso de pasto (0,20 g kg⁻¹) e com a mata nativa (0,25 g kg⁻¹). Essa tendência manteve-se independentemente das profundidades avaliadas (Figura 6B).

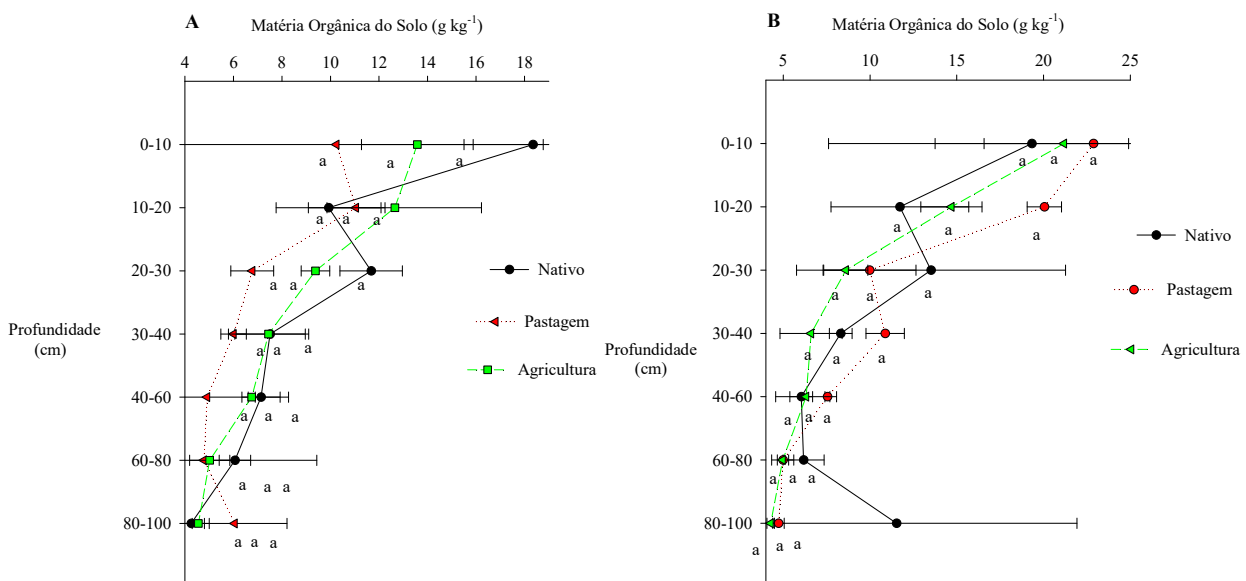


Figura 4. Distribuição vertical da matéria orgânica em diferentes sistemas de uso do solo nos biomas Caatinga (A) e Cerrado (B).
Figure 4. Vertical distribution of soil organic matter under different land-use systems in the Caatinga (A) and Cerrado (B) biomes.

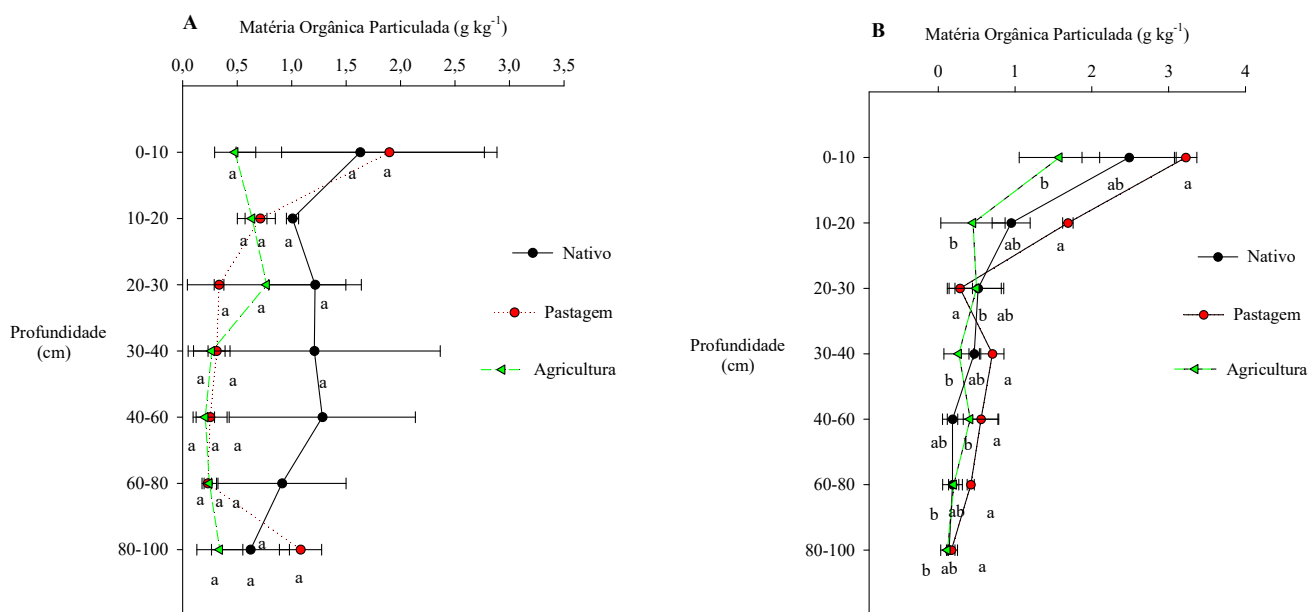


Figura 5. Distribuição vertical da fração particulada da matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de uso do solo nos biomas Caatinga (A) e Cerrado (B).

Figure 5. Vertical distribution of the particulate organic matter fraction under different land-use systems in the Caatinga (A) and Cerrado (B) biomes.

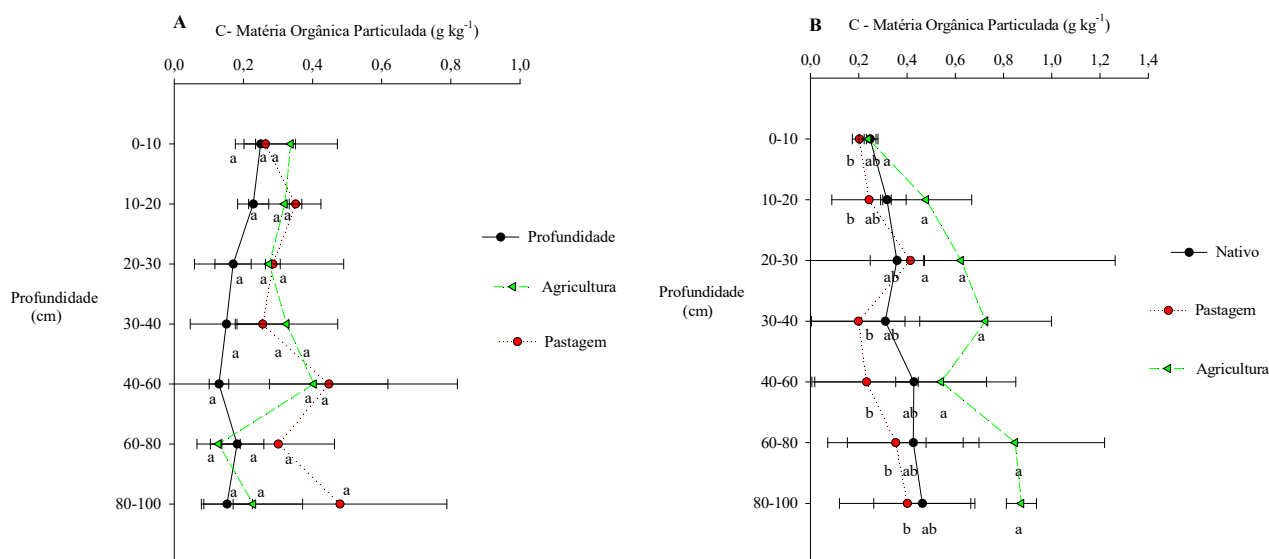


Figura 6. Distribuição vertical da C-matéria orgânica particulada em diferentes sistemas de uso do solo nos biomas Caatinga (A) e Cerrado (B).

Figure 6. Vertical distribution of carbon associated with particulate organic matter (C-POM) under different land-use systems in the Caatinga (A) and Cerrado (B) biomes.

De modo geral, observa-se que, no bioma Cerrado (Figura 7A), os valores de carbono associados aos minerais (C-CAM) são maiores do que os observados no bioma Caatinga (Figura 8A). No entanto, ao analisar a distribuição ao longo do perfil do solo, verificou-se maior homogeneidade entre as profundidades e os sistemas de uso. Não foram identificadas discrepâncias acentuadas no uso do solo. Além disso, as análises estatísticas não indicaram diferenças significativas entre os sistemas em cada profundidade ($p \leq 0,05$). Os valores de carbono associados aos minerais (C-CAM; Figura 7) foram maiores do que os da matéria orgânica particulada (Figura 6). No bioma Caatinga, as variáveis de carbono orgânico total (COT) e de estoque de

carbono (EC) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os usos de solo em cada camada avaliada (Tabela 4).

A densidade de solos (Ds) do bioma Caatinga apresentou o mesmo comportamento em todas as profundidades estudadas, com os menores valores observados no ambiente nativo e os maiores nos ambientes sob atividades antrópicas (pastagem e agricultura) (Tabela 4).

No bioma Cerrado, as variáveis comportaram-se de forma semelhante às do bioma Caatinga. O carbono orgânico total (COT) e o estoque de carbono (EC) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os tipos de uso e as profundidades (Tabela 5). Entretanto, a densidade do

solo (Ds) foi relativamente mais baixa no ambiente nativo, em comparação com os demais usos, não havendo diferença significativa entre a pastagem e a agricultura ($p \leq 0,05$). As Ds do solo nas áreas avaliadas em ambos os biomas apresentaram aumento com a profundidade, principalmente nas camadas de 10-40 cm. Os valores do índice de manejo de

carbono (IMC) ao longo do perfil do solo sob agricultura e pastagem nos biomas Caatinga (A) e Cerrado (B) são apresentados na Figura 8. No bioma Caatinga, a área de agricultura apresentou os maiores valores de IMC (311,15), seguida pela profundidade de 0-10 cm (181,8), com estabilidade nas demais profundidades.

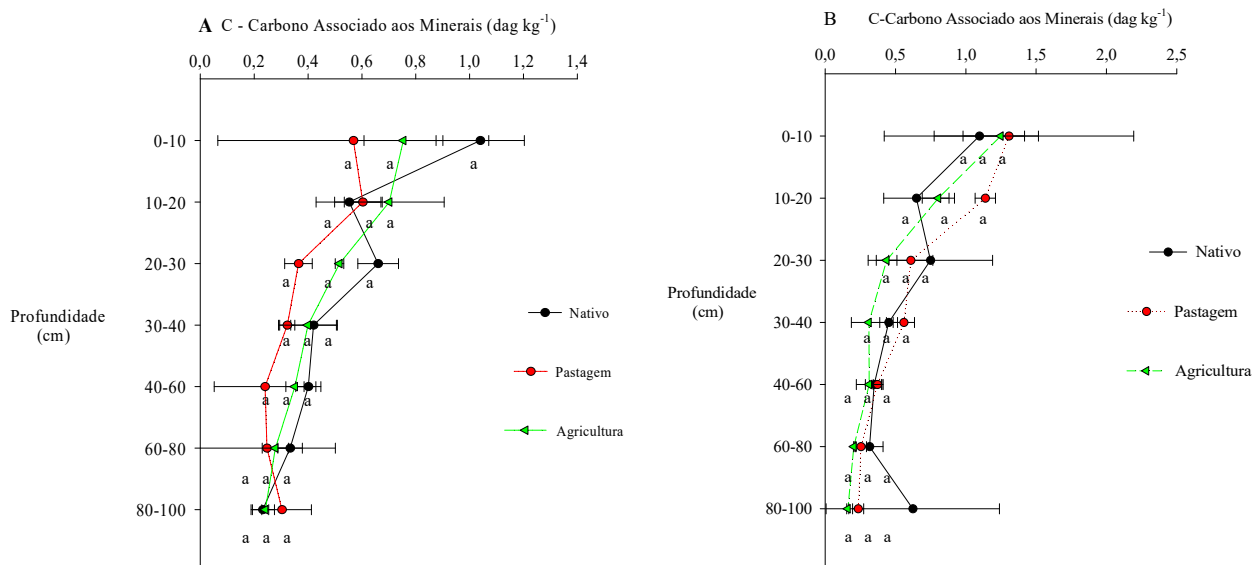


Figura 7. Distribuição vertical do carbono associado aos minerais em diferentes sistemas de uso do solo nos biomas Caatinga (A) e Cerrado (B).

Figure 7. Vertical distribution of mineral-associated carbon under different land-use systems in the Caatinga (A) and Cerrado (B) biomes.

Tabela 4. Carbono orgânico total, densidade do solo e estoques de carbono em áreas com diferentes usos de solo no bioma Caatinga.

Table 4. Total organic carbon, soil bulk density, and carbon stocks in areas under different land-use systems in the Caatinga biome.

| Densidade (cm) | COT (g kg ⁻¹) | | | Densidade aparente (kg m ⁻³) | | | EC (t ha ⁻¹) | | |
|----------------|---------------------------|-------|-------|--|-------|-------|--------------------------|-------|-------|
| | NA | AG | PA | NA | AG | PA | NA | AG | PA |
| 0-10 | 8,69a | 8,30a | 7,47a | 1,53b | 1,70a | 1,74a | 34,1a | 35,0a | 37,1a |
| 10-20 | 7,04a | 6,65a | 5,82a | 1,57b | 1,74a | 1,78a | 28,1a | 29,0a | 25,7a |
| 20-30 | 5,91a | 5,53a | 4,70a | 1,58b | 1,75a | 1,79a | 23,2a | 24,0a | 20,8a |
| 30-40 | 4,59a | 4,20a | 3,37a | 1,57b | 1,74a | 1,78a | 17,6a | 18,4a | 15,2a |
| 40-60 | 4,07a | 3,69a | 2,85a | 1,53b | 1,70a | 1,74a | 29,8a | 30,7a | 27,4a |
| 60-80 | 3,43a | 3,04a | 2,21a | 1,49b | 1,66a | 1,70a | 23,8a | 24,7a | 21,4a |
| 80-100 | 3,41a | 3,02a | 2,19a | 1,54b | 1,71a | 1,75a | 24,7a | 25,5a | 22,3a |

Sistemas de uso do solo: NA: Nativo; AG: Agricultura; PA: Pastagem; COT: carbono orgânico total; EC: estoque de carbono. Letras iguais nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Land use systems: NA: Native; AG: Agriculture; PA: Pasture; COT: Total organic carbon; EC: Carbon stock. Identical letters in the rows do not differ from each other by Tukey's test ($p \leq 0,05$).

Tabela 5. Carbono orgânico total, densidade do solo e estoques de carbono em áreas com diferentes usos de solo no Cerrado.

Table 5. Total organic carbon, soil bulk density, and carbon stocks in areas under different land-use systems in the Cerrado.

| Profundidade (cm) | COT (g kg ⁻¹) | | | Densidade aparente (kg m ⁻³) | | | EC (t ha ⁻¹) | | |
|-------------------|---------------------------|--------|--------|--|-------|-------|--------------------------|-------|-------|
| | NA | AG | PA | NA | AG | PA | NA | AG | PA |
| 0-10 | 12.59a | 11.76a | 12.86a | 1.47b | 1.54a | 1.59a | 48.4a | 44.5a | 50.2a |
| 10-20 | 9.17a | 8.34a | 9.44a | 1.52b | 1.60a | 1.65a | 36.9a | 33.0a | 38.7a |
| 20-30 | 6.62a | 5.80a | 6.90a | 1.51b | 1.59a | 1.63a | 26.0a | 22.1a | 27.9a |
| 30-40 | 4.99a | 4.17a | 5.27a | 1.49b | 1.56a | 1.49a | 19.5a | 15.6a | 21.4a |
| 40-60 | 4.02a | 3.20a | 4.29a | 1.44b | 1.52a | 1.57a | 29.6a | 25.7a | 31.5a |
| 60-80 | 3.30a | 2.48a | 3.57a | 1.40b | 1.48a | 1.53a | 23.6a | 19.7a | 25.4a |
| 80-100 | 4.15a | 3.33a | 4.42a | 1.39b | 1.47a | 1.52a | 29.3a | 25.4a | 31.2a |

Sistemas de uso do solo: NA: Nativo; AG: Agricultura; PA: Pastagem; COT: carbono orgânico total; EC: estoque de carbono. Letras iguais nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Land use systems: NA: Native; AG: Agriculture; PA: Pasture; COT: Total organic carbon; EC: Carbon stock. Identical letters in the rows do not differ from each other by Tukey's test ($p \leq 0,05$).

Os valores do índice de manejo de carbono (IMC) ao longo do perfil do solo sob agricultura e pastagem nos

biomas Caatinga (A) e Cerrado (B) são apresentados na Figura 8. No bioma Caatinga, a área de agricultura apresentou

os maiores valores de IMC (311,15), seguida pela profundidade de 0-10 cm (181,8), com estabilidade nas demais profundidades. No Cerrado, a pastagem apresentou IMC significativamente mais elevados em todas as profundidades, com destaque para a camada de 10-20 cm, que atingiu valores próximos de 460 (Figura 9). O sistema de agricultura nesse bioma apresentou MCI baixíssimos, com decréscimo progressivo à medida que a profundidade aumentava.

A análise de componentes principais permitiu correlacionar as frações da matéria orgânica com os sistemas de uso do solo nos dois biomas. Para sumarizar os dados,

foram retidos dois componentes principais, atendendo aos critérios de Kaiser (autovalor < 1) e de variâncias acumuladas ($O_2 \geq 60\%$). Os componentes principais explicaram 77,7% da variância total dos dados, sendo que o CP1 foi responsável por 55,2% e explicado pelos atributos MOS, C-CAM, COT, EC e IMC, enquanto o CP2 foi responsável por 22,5% e explicado pelos atributos C-MOP, MOP e densidade aparente (Figura 9). Após o agrupamento em Cluster, houve separação entre os biomas, com as amostras da Caatinga estabelecendo-se à esquerda do eixo CP1 (grupo 2) e as do Cerrado, à direita (grupo 1).

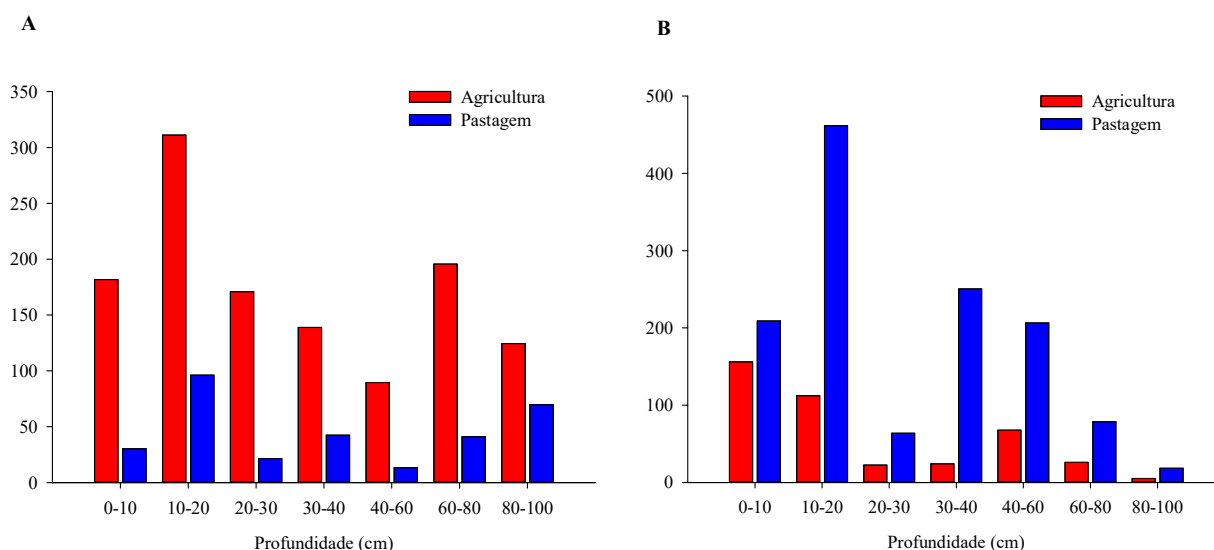


Figura 8. Índices de manejo de carbono em diferentes sistemas de uso do solo nos biomas Caatinga (A) e Cerrado (B).
 Figure 8. Carbon management indices under different land-use systems in the Caatinga biomes (A) and Cerrado (B).

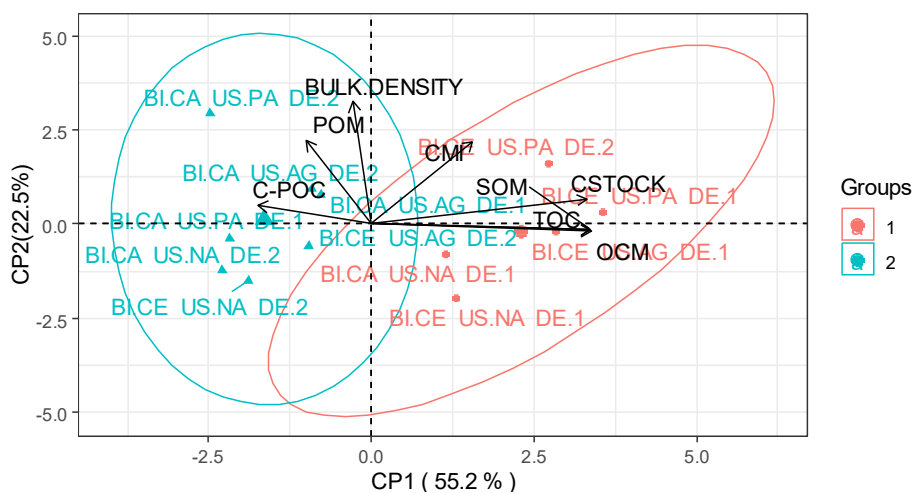


Figura 9. Análise dos componentes principais de frações da matéria orgânica do solo em sistemas de uso do solo até 20 cm de profundidade, em áreas da Caatinga e do Cerrado. Bi: Bioma; CA: Caatinga; CE: Cerrado; US: Uso do Solo; NA: Nativa; PA: Pastagem; AG: Agricultura; DE 1: Profundidade 0-10 cm; DE 2: Profundidade 10-20 cm.

Figure 9. Principal component analysis of soil organic matter fractions under different land-use systems up to 20 cm depth in Caatinga and Cerrado areas. Bi: Biome; CA: Caatinga; CE: Cerrado; US: Land use; NA: Native vegetation; PA: Pasture; AG: Agriculture; DE 1: 0–10 cm depth; DE 2: 10–20 cm depth.

4. DISCUSSÃO

A distribuição vertical da matéria orgânica do solo (MOS), com maiores teores nas camadas superficiais e redução à medida que se avança em profundidade, observada em ambos os biomas, segue um padrão amplamente descrito na literatura e está associada ao maior aporte de resíduos

orgânicos e à maior atividade biológica nas camadas superficiais do solo (TISDALL; OADES, 1982). Em profundidade, o menor aporte de resíduos e a maior estabilização do carbono na fração mineral explicam a redução dos teores de MOS. No bioma Caatinga, os maiores teores de MOS sob vegetação nativa evidenciam a

importância da cobertura vegetal natural para a manutenção do carbono orgânico do solo. As condições edafoclimáticas desse bioma, caracterizadas por restrição hídrica e elevadas temperaturas, exercem forte controle sobre a dinâmica da matéria orgânica, limitando o acúmulo de carbono e reduzindo a sensibilidade da MOS às mudanças no uso do solo (HU et al., 2022; OLIVEIRA FILHO et al., 2023; WANG et al., 2023). Esse comportamento explica a ausência de diferenças estatisticamente significativas entre os sistemas avaliados, mesmo diante de variações nos valores absolutos.

No Cerrado, os maiores teores de MOS observados em áreas de pastagem indicam que sistemas pastoris podem favorecer o acúmulo de carbono no solo, especialmente nas camadas superficiais. Esse padrão está associado ao elevado aporte de biomassa vegetal, particularmente de raízes finas, típico desse sistema de uso (FREITAS et al., 2018; LOPES et al., 2022). Ainda assim, a resposta da MOS mostrou-se fortemente condicionada às características edafoclimáticas locais.

A fração particulada da matéria orgânica (MOP) apresentou comportamento semelhante ao da MOS, com maiores teores concentrados nos primeiros 10 cm de profundidade, refletindo seu caráter mais lábil e maior sensibilidade ao uso e ao manejo do solo (BAI; COTRUFO, 2022). Na Caatinga, a ausência de diferenças significativas entre os sistemas de uso reforça o papel limitante do clima semiárido na produção e na decomposição da matéria orgânica (PLAZA et al., 2018; JUNIOR et al., 2024). No Cerrado, os maiores teores de MOP sob pastagem, especialmente até 20 cm de profundidade, indicam maior contribuição do sistema radicular das gramíneas para o acúmulo dessa fração (BAI; COTRUFO, 2022; WANG et al., 2025).

O carbono associado à matéria orgânica particulada (C-MOP) apresentou distribuição mais homogênea sob vegetação nativa em ambos os biomas, sugerindo maior equilíbrio entre a incorporação e a decomposição dos resíduos orgânicos. No Cerrado, os maiores valores de C-MOP observados sob agricultura indicam que o acúmulo dessa fração depende fortemente do tipo e da intensidade do manejo adotado, como também observado em outros estudos (LOPES et al., 2022; COSTA et al., 2020).

Os maiores valores de carbono associado aos minerais (C-CAM) em relação ao carbono particulado indicam predominância de formas mais estáveis de carbono no solo, menos suscetíveis à decomposição microbiana (GUIMARÃES et al., 2018). A baixa sensibilidade dessa fração às mudanças de uso do solo corrobora estudos que apontam que alterações expressivas no C-CAM estão associadas à degradação estrutural do solo ao longo do tempo (MAFRA et al., 2015).

Na Caatinga, a ausência de diferenças significativas nos teores de carbono orgânico total (COT) e nos estoques de carbono entre os sistemas de uso reforça o papel do clima como principal fator controlador do acúmulo de carbono em solos semiáridos (HU et al., 2022; OLIVEIRA FILHO et al., 2023; WANG et al., 2023). Apesar disso, esses solos representam um importante compartimento de carbono em escala global (PLAZA et al., 2018; JUNIOR et al., 2024).

Os menores valores de densidade do solo observados sob vegetação nativa refletem maior teor de matéria orgânica e melhor estrutura do solo (FERREIRA et al., 2016), enquanto os maiores valores observados em áreas agrícolas e de pastagem estão associados ao manejo e ao tráfego de

máquinas (SALES et al., 2010). O aumento da densidade com a profundidade está relacionado à redução da matéria orgânica e da porosidade do solo (FREITAS et al., 2018).

Os valores do índice de manejo de carbono (IMC) evidenciaram diferenças entre os biomas e os sistemas de uso do solo. Na Caatinga, os maiores valores sob agricultura indicam melhor qualidade do carbono nas camadas superficiais (ASSMANN et al., 2014; SOLOMON et al., 2025), enquanto no Cerrado, os maiores valores sob pastagem reforçam o papel desse sistema na manutenção da qualidade do carbono do solo (ZANATTA et al., 2019).

A análise multivariada confirmou a separação entre os biomas, indicando maior influência das condições edafoclimáticas sobre a dinâmica do carbono orgânico do solo do que os sistemas de uso ou a profundidade, corroborando Falcão et al. (2020). A correlação entre as frações do carbono reforça a importância do carbono orgânico total para a estrutura do solo (TISDALL; OADES, 1982; FERREIRA et al., 2020), para a ciclagem de nutrientes (SANTOS et al., 2019), para o controle da erosão (LAL, 2018) e para a mitigação das emissões de CO₂ (GUERRINI et al., 2024).

5. CONCLUSÕES

A matéria orgânica do solo não foi influenciada pelos sistemas de uso do solo. Os teores de matéria orgânica particulada foram significativamente maiores nas camadas superficiais do solo, destacando-se o maior acúmulo nas áreas de pastagem no bioma Cerrado.

Os teores de carbono associado à matéria orgânica particulada foram maiores na área de agricultura do bioma Cerrado. Não houve diferença entre os sistemas de uso quanto ao carbono associado aos minerais e ao estoque de carbono nos biomas Caatinga e Cerrado. Observaram-se densidades menores do solo nas áreas de mata nativa em ambos os biomas.

Os estoques de carbono das áreas de agricultura e pastagem não diferiram dos das áreas nativas nos biomas Caatinga e Cerrado, o que indica baixo grau de degradação nessas áreas.

Os biomas apresentaram índices de manejo de carbono distintos em função das atividades agrícolas, evidenciando a necessidade de técnicas específicas de manejo do carbono do solo, visando à manutenção da qualidade do solo e da eficiência produtiva das áreas.

6. REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ASSMANN, J. M.; ANGHINONI, I.; MARTINS, A. P.; COSTA, S. E. V. G. A.; CECAGNO, D.; CARLOS, F. S.; CARVALHO, P. C. F. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop livestock system under no-tillage in southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 190, n. 1, p. 52-59, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.12.003>
- BAI, Y.; COTRUFO, M. F. Grassland soil carbon sequestration: Current understanding, challenges, and solutions. *Science*, v. 377, n. 6606, p. 603-608, 2022. <https://doi.org/10.1126/science.abo2380>

- BLAIR, G.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, n. 7, p. 1459-1466, 1995. <http://dx.doi.org/10.1071/AR9951459>
- CABALLERO, C. B.; BIGGS, T. W.; VERGOPOLAN, N.; WEST, T. A.; RUHOFF, A. Transformation of Brazil's biomes: The dynamics and fate of agriculture and pasture expansion into native vegetation. **Science of the Total Environment**, v. 896, e166323, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166323>
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 777-783, 1992. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>
- CARMO, F. F.; FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; VIVALDI, L. J.; ARAÚJO, L. G. Frações granulométricas da matéria orgânica em Latossolo sob plantio direto com gramíneas. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 3, p. 420-431, 2012.
- COTRUFO, M. F.; LAVALLEE, J. M. Soil organic matter formation, persistence, and functioning: A synthesis of current understanding to inform its conservation and regeneration. **Advances in Agronomy**, v. 172, p. 1-66, 2022. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.11.002>
- COSTA, A. A.; DIAS, B. D. O.; FRAGA, V. D. S.; SANTANA, C. C.; SAMPAIO, T. F.; SILVA, N. D. Physical fractionation of organic carbon in areas under different land uses in the Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 8, p. 534-540, 2020. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n8p534-540>
- COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; KENY, S. M. L.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema de Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140269>
- DENARDIN, R. B. N.; KOCHHANN, R. A.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S.; LIMA, J. E. F. W. Estoque de carbono no solo sob diferentes formações florestais, Chapecó - SC. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 1, p. 59-69, 2014. <https://doi.org/10.5902/1980509813323>
- ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 75, n. 4, p. 529-538, 1995. <https://doi.org/10.4141/cjss95-075>
- FALCÃO, K. S.; MONTEIRO, F. N.; OZÓRIO, J. M. B.; SILVA SOUZA, C. B.; FARIAS, P. G. S.; MENEZES, R. S.; PANACHUKI, E.; ROSSET, J. S. Estoque de carbono e agregação do solo sob diferentes sistemas de uso no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 55, n. 2, p. 242-255, 2020. <https://dx.doi.org/10.5327/Z2176-947820200695>
- FERREIRA, E. A. B.; BUSTAMANTE, M. M. C.; RESCK, D. V. S.; FIGUEIREDO, C. C.; PINTO, A. S.; MALAQUIAS, J. V. Carbon Stocks in Compartments of Soil Organic Matter 31 Years after Substitution of Native Cerrado Vegetation by Agroecosystems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, e0150059, 2016. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20150059>
- FERREIRA, C. R.; SILVA NETO, E. C.; PEREIRA, M. G.; GUEDES, J. N.; ROSSET, J. S.; ANJOS, L. H. C. Dynamics of soil aggregation and organic carbon fractions over 23 years of no-till management. **Soil and Tillage Research**, v. 198, e104533, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104533>
- FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; CASAGRANDE, J. C.; SILVA, L. S.; CAMPOS, M. C. C. Estoque de carbono de latossolos em sistemas de manejo natural e alterado. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 228-239, 2018. <https://doi.org/10.5902/1980509831575>
- GOWTHAMCHAND, S. S. D.; DHALIWAL, S. S.; SHARMA, V.; VERMA, G.; SINGH, J.; KAUR, M. Variation of physico-chemical properties among different soil orders under different land use systems of the Majha Region in North-Western India. **Sustainability**, v. 15, n. 6, e4479, 2023. <https://doi.org/10.3390/su15064779>
- GUERRINI, I. A.; SILVA, J. P. da; SIVISACA, D. C. L.; MORAES, F. G. de; PUGLLA, C. A. Y.; SILVA NETO, C. de M.; SILVA, R. B.; JUSTINO, S. T. P.; RODER, L. R.; JAMES, J. N.; CAPRA, G. F.; GANGA, A. Evaluating carbon stocks in soils of fragmented Brazilian Atlantic Forests (BAF) based on soil features and different methodologies. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, e10007, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-60629-y>
- GUIMARÃES, D. V.; SILVA, M. L. N.; BEINIACH, A.; BISPO, D. F. A.; CONTINS, J. G. P.; CURI N. Relationship between soil organic matter fractions and cover plants in Olive post planing. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 6, a027, 2018. <https://doi.org/10.1590/0100-29452018027>
- HU, Z.; SONG, X.; WANG, M.; MA, J.; ZHANG, Y.; XU, H.; HU, Z.; ZHU, X.; LIU, H.; MA, J.; YU, Q.; OSTLE, N. J.; LI, Y.; YUE, C. Aridity influences root versus shoot contributions to steppe grassland soil carbon stock and its stability. **Geoderma**, v. 413, e115744, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115744>
- PINHEIRO JUNIOR, C. R.; FERREIRA, T. O.; OLIVEIRA FILHO, J. S.; QUEIROZ, H. M.; CANISARES, L. P.; GRESCHUK, L. T.; CERRI, C. E. P.; PEREIRA, M. G.; PEREIRA, G. A. G.; CHERUBIN, M. R. Shallow soils in dryland ecosystems: Drivers of C accumulation and land management implications. **Geoderma Regional**, v. 38, e00849, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00849>
- LAL, R. Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. **Global Change Biology**, v. 24, n. 8, p. 3285-3301, 2018. <https://doi.org/10.1111/gcb.14054>
- LOPES, G. T.; ROSSET, J. S.; OZÓRIO, J. M. B.; SILVA, O. M. M. D.; SANTOS, W. V. D.; SANTOS, J. V. H. D.; GONÇALVES, A. S.; PANACHUKI, E. Influence of land use and occupation on the chemical and physical fractions of organic matter in cultivated and native areas in the Atlantic Forest biome. **Ambiente e Água**, v. 17, n. 5, e2814, 2022. <https://doi.org/10.4136/ambiente.2814>
- MAIA, S. M. F.; MEDEIROS, A. S.; SANTOS, T. C.; LYRA, G. B.; LAL, R.; ASSAD, E. D.; CERRI, C. E. P. Potential of no-till agriculture as a nature-based solution

- for climate-change mitigation in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 220, e105368, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105368>
- MAFRA, M. S. H.; CASSOL, P. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; GROSKOPF, M. A.; ANDRADE, A. P.; RAUBER, L. P.; FRIEDERICHS, A. Organic carbon contents and stocks in particle size fractions of a typic hapludox fertilized with pig slurry and soluble fertilizer. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1161-1171, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140177>
- MEDEIROS, A. S.; CESÁRIO, F. V.; SANTOS, T. C.; MAIA, S. M. F. Differences in the storage of soil organic carbon in Brazil's agricultural land: A meta-analysis. **Catena**, v. 249, e108680, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108680>
- 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 and Tillage Research**, v. 219, e105336, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105336>
- MYERS, N. MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- OLIVEIRA FILHO, J. S. How do climate and land-use affect soil carbon and nitrogen stocks and the chemical properties of floodplain soils in tropical drylands? **Catena**, v. 231, e107289, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107289>
- PINHEIRO, E. N.; CAMPOS, M. C. C.; BRITO FILHO, E. G.; CUNHA, J. M.; LIMA, A. F. L.; MARTINS, T. S.; DIAS, B. O.; SILVA, R. F.; ALMEIDA, R. G.; SANTOS, R. V. Fracionamento físico do carbono e suas interações com os atributos do solo em áreas de pastagens cultivadas e floresta na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 6, p. 2978-2993, 2023. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.6.p2978-2993>
- R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing; 2025. Available from: <https://www.r-project.org/>. Accessed at 2025 Mar. 26.
- SALES, L. E. O.; CARNEIRO, M. A. C.; SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; FERREIRA, M. M. Qualidade física de neossolo quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 667-674, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000300020>
- SANTOS, C. A.; REZENDE, C. D. P.; PINHEIRO, É. F. M.; PEREIRA, J. M.; ALVES, B. J.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Changes in soil carbon stocks after land-use change from native vegetation to pastures in the Atlantic Forest region of Brazil. **Geoderma**, v. 337, p. 394-401, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.045>
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5th ed. Brasília: Embrapa; 2018. 355p.
- SANTOS, F. A. S.; PIERANGELI, M. A. P.; SILVA, F. L.; SERAFIM, M. E.; SOUSA, J. B.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica do carbono orgânico de solos sob pastagens em campos de murundus. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 2, e43, 2017. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v18i2.50662>
- SANTOS, S. C. D.; BRITO, H. C. D.; RUFINO, I. A. A.; MAIA, S. M. F. Changes in Soil Organic Carbon Stocks Due to Land Use Changes in the Extended São Francisco River Basin. **Sociedade & Natureza**, v. 36, n. 1, e69655, 2023. <https://doi.org/10.14393/SN-v36-2024-69655>
- SOLOMON, N.; GUFU, Y.; GEBRU, H.; ARAYA, T.; BIRHANE, E. Impact of Vachellia etbaica on soil properties and socioeconomic benefits in Tigray, Ethiopia. **Agroforest Systems**, v. 99, n. 78, a78, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01173-0>
- TAUTGES, N. E.; CHIARTAS, J. L.; GAUDIN, A. C. M.; O'GEEN, A. T.; HERRERA, I.; SCOW, K. M. Deep soil inventories reveal that impacts of cover crops and compost on soil carbon sequestration differ in surface and subsurface soils. **Global Change Biology**, v. 25, n. 11, p. 3753-66, 2019. <https://doi.org/10.1111/gcb.14762>
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3rd ed. Brasília: Embrapa, 2017. 574p.
- TENELLI, S.; NASCIMENTO, A. F.; GRABETTO, F. P.; PIMENTEL, M. L.; STRAUSS, M.; BORDONAL, R. O.; CERRI, C. E. P.; CHERUBIN, M. R.; CARVALHO, J. L. N. Well-managed grass is a key strategy for carbon storage and stabilization in anthropized Amazon soils. **Journal of Environmental Management**, v. 373, e123742, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123742>
- VIEIRA, F. C. B.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J.; HE, Z. L. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. **Soil and Tillage Research**, v. 96, n. 1-2, p. 195-204, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.06.007>
- WANG, H.; LI, Y.; HE, Y.; CHEN, H. Y.; LIU, X.; GAO, Y.; ZHU, W.; XU, J.; LI, Y.; CHEN, Z.; SUN. Grazing exclusion facilitates more rapid ecosystem carbon sequestration of degraded grasslands in humid than in arid regions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 353, e108553, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108553>
- WANG, K.; MA, Z.; QIN, W.; LI, X.; SHI, H.; HASI, B.; LIU, X. Soil nutrients and pH modulate carbon dynamics in particulate and mineral-associated organic matter during restoration of a Tibetan alpine grassland. **Ecological Engineering**, v. 212, e107522, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2025.107522>
- YANG, F.; HE, F.; LI, S.; LI, M.; WU, P. A new estimation of carbon emissions from land use and land cover change in China over the past 300 years. **Science of the Total Environment**, v. 863, e160963, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160963>
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988. <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>
- ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; VIEIRA, F. C. B.; MIELNICZUK, J. Soil organic carbon

accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. **Soil and Tillage Research**, v. 94, n. 2, p. 510-519, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.10.003>

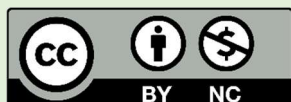
Agradecimentos: O projeto foi financiado pela CAPES e pelo CNPq, por meio do projeto Pesquisa em Mudança do Clima, na linha temática Análise dos Estoques e Fluxos de Carbono no Solo e na Vegetação do Brasil.

Contribuições dos autores: M. C. V. – conceitualização, metodologia e coleta de dados; R. F. S – análise estatística, validação, redação (rascunho original); B. O. D. – conceitualização, obtenção de financiamento, metodologia, administração, validação; J. J. L – conceitualização, metodologia, supervisão; W. O. A – redação (rascunho original); M. G. A. S – redação (revisão e edição); M. C. C. C – validação, redação (rascunho original). Todos os autores leram e aprovaram a versão publicada do manuscrito.

Financiamento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro concedido ao Projeto de Pesquisa 466137/2015-4 - Chamada MCTI/CNPq/ANA Nº 23/2015 - Pesquisa em Mudança do Clima.

Disponibilidade de dados: Os dados desta pesquisa poderão ser obtidos por e-mail, mediante solicitação ao autor correspondente ou ao segundo autor.

Conflito de interesses: Os autores declaram não haver conflitos de interesses.



Copyright: © 2026 by the authors. This article is an Open-Access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons **Attribution-NonCommercial (CC BY-NC)** license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).