



INFLUÊNCIA DO RELEVO NA DISTRIBUIÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO NOS SOLOS DA FLORESTA SECA NA CAATINGA

Aureliana Santos Gomes¹
Leonardo José Cordeiro Santos²
Luan Pedro-Silva³
Inocencio de Oliveira Borges Neto⁴
Erimáigna de Moraes Rodrigues⁵
José João Leis Leal de Souza⁶

RESUMO

A geomorfologia exerce um papel significativo na dinâmica do carbono orgânico dos solos por meio das condições topográficas e altitudinais do relevo. Este estudo, realizou uma comparação entre os teores de carbono orgânico de solos coletados em *inselbergs* e solos coletados em áreas de relevo plano dentro da Floresta Seca da Caatinga. Foram coletadas amostras de solos em Catenas de três *inselbergs*. O relevo foi compartimentado e os pontos de coleta seguiram a sequência de Topo, Terço Médio Superior, Meia Encosta, Terço Médio Inferior e Base. As coletas ocorreram em uma profundidade de 0-20 cm e o material foi levado para análise em laboratório. O carbono orgânico do solo foi determinado por oxidação úmida pelo método Walkley-Black. Os dados do carbono orgânico dos solos das superfícies planas foram adquiridos com base em literatura já existente que seguiram os mesmos métodos de coleta e determinação do carbono. O modelo de regressão ajustado R^2 de 0.7524 indicou uma variação de 75,2 % no carbono orgânico dos solos que explica os efeitos significativos das vertentes sobre a variável resposta. Foi verificado um efeito altamente significativo (-2.26267 , $p = 0.000153$) nas superfícies planas do relevo, que indicou uma redução substancial do carbono orgânico do solo. Os mais baixos teores de carbono orgânico, estiveram associados aos solos das superfícies planas. Em contrapartida, os teores de carbono orgânico nos solos dos *inselbergs* foram até 11% superiores. Os solos coletados na posição da Meia Encosta dos *inselbergs*, concentraram os maiores teores de carbono chegando até 12,81%. Com base nos resultados, destacamos que, no atual cenário climático de aquecimento global, os *inselbergs*, em Florestas Secas, assumem um importante papel na regulação do CO_2 , uma vez que, nos solos destas áreas, são encontrados os maiores teores de carbono orgânico, quando comparado com os solos das superfícies planas do relevo. Os resultados encontrados, evidenciam o potencial geomorfológico dos *inselbergs* sobre a dinâmica e os teores de carbono orgânico nos solos, sendo essenciais para conservação dos estoques de carbono em solos dos ecossistemas secos.

Palavras-chave: Pedogeomorfologia, *Inselbergs*, Mudanças climáticas.

¹Doutoranda do Curso de Geografia da Universidade Federal do Paraná - UFPR, aurelianagomes7@gmail.com;

²Doutor, Professor do Curso de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Paraná - UFPR, santos.ufpr@gmail.com

³Doutorando do Curso de Ecologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro- UFRJ, luanpedro@gmail.com;

⁴Doutorando do Curso de Geografia da Universidade Federal do Paraná - UFPR, jobngpb@gmail.com;

⁵Doutoranda do curso de Ecologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, erimagnarodrigues@gmail.com;

⁶ Professor orientador: Doutor, Universidade Federal de Viçosa - UFV, jjlelis@ufv.br.



INTRODUÇÃO

O relevo influi significativamente sobre as condições pedológicas e nos estoques de Carbono (C) em solos de todo o planeta (Conforti *et al.*, 2020; Oliveira Filho *et al.*, 2024). Dentro dos diversos ecossistemas globais, a geomorfologia local, a partir da dinâmica hídrica e microclimática, promove interações que definem a identidade pedológica e biodiversa de cada ecossistema (Souza *et al.*, 2025; Borges Neto *et al.*, 2025).

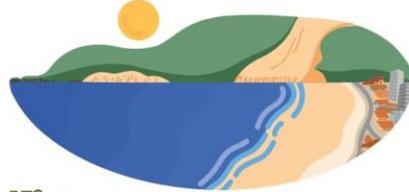
Ecossistemas semiáridos, como Caatinga, destacam-se pela sua eficiência na captura de CO₂, mesmo em períodos de estiagem, contribuindo significativamente diante das mudanças climáticas (Mendes *et al.*, 2020; Lourenço *et al.*, 2022). A Caatinga é a Floresta Tropical Sazonalmente Seca (FTSS) da América do Sul e apesar da sua significativa contribuição na regulação climática global, a dinâmica do Carbono Orgânico (CO) nos solos da Caatinga e das FTSS, de modo geral, permanece pouco compreendida (Souza *et al.*, 2024).

Essa limitação, espelha a baixa proteção as FTSS, das quais, menos de 25% encontram-se devidamente protegidos em contraste com as Florestas úmidas que são mais bem assistidas em termos de incentivos a proteção (Stan; Sanchez-Azofeifa; Hamann, 2024; Siyum, 2020).

O aumento na emissão dos Gases do Efeito Estufa (GEE) tem provocado danos significativos ao planeta. Modelos preditivos apontam um aumento na temperatura de aproximadamente 4° C e redução de até 20% nos níveis de precipitação até o ano de 2.100 (Aguirre-Gutiérrez *et al.*, 2025). De acordo com o Painel Intergovernamental sobre a Mudança do Clima (IPCC, 2023), o planeta experimentou um aumento na temperatura de 1,1° em um período de nove anos.

Como consequência, a Caatinga tem enfrentado redução dos níveis de precipitação, podendo gerar impactos socioeconômicos significativos (Malecha; Manes; Vale, 2025). O agravamento no aumento de índices de aridez e de áreas desertificadas (Niemeyer; Vale, 2022) e alterações fenológicas em espécies de plantas (Ivanov *et al.*, 2022), também tem sido observado dentro da Caatinga.

Diante disto, o solo surge como um importante aliado climático, devido sua capacidade em reter cerca de 80% do CO terrestre (Lal, 2008). Nas FTSS, os solos estocam cerca de 32% do CO global (Plaza *et al.*, 2018) e apesar dos seus baixos teores



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA

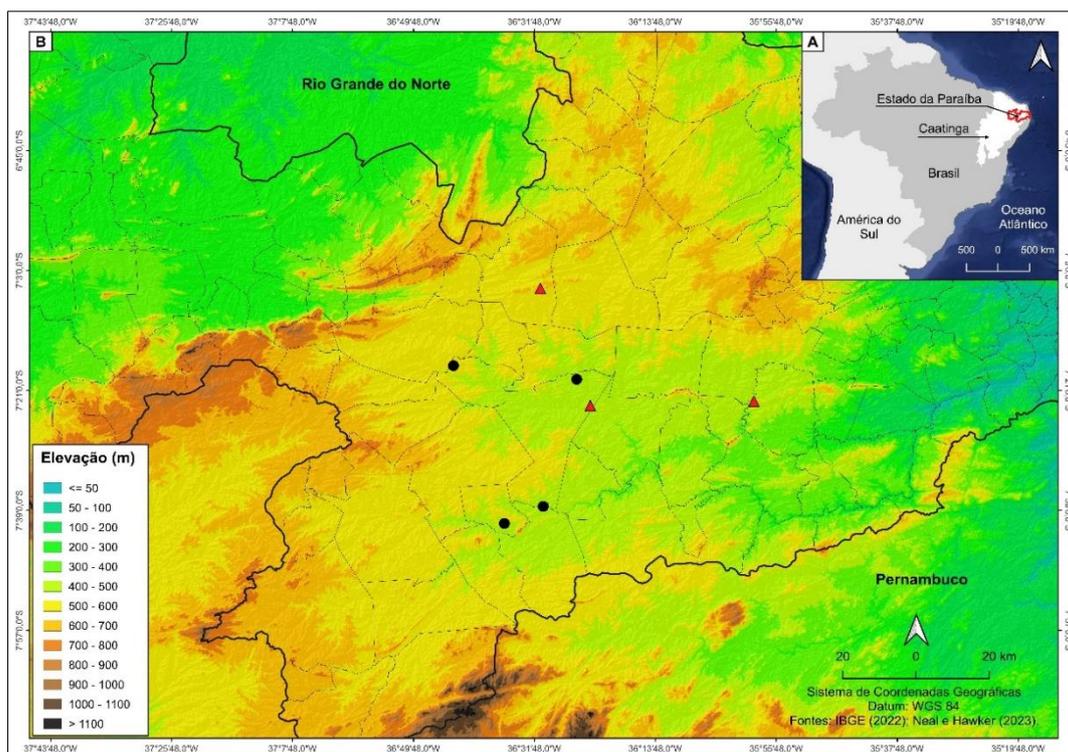
de matéria orgânica, a diversidade pedológica dentro das FTSS gera capacidades distintas para o armazenamento de C, com destaque para os solos dos *inselbergs* (Souza *et al.*, 2022; Salvador *et al.*, 2023).

Olhar com atenção para os ecossistemas secos é essencial, de modo a assegurar os serviços ambientais, como o estoque de C, e assim, contribuir tanto para a regulação climática quanto, para a conservação da biodiversidade local. Assim, este trabalho analisou a influência do relevo sobre os teores de CO em solos da Caatinga, buscando entender sua importância no atual contexto das mudanças climáticas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para explicar a influência do relevo sobre os teores de CO, foram coletadas amostras de solos na encosta sul de três *inselbergs*, na profundidade de 0-20 cm, seguindo um esquema de Catena em áreas específicas da Caatinga (Figura 1). A encosta dos *inselbergs* foi compartimentada em cinco pontos específicos (P1-Topo; P2-Terço Médio Superior; P3-Meia Encosta; P4-Terço Médio Inferior; P5-Base). Em seguida, os teores de COS dos *inselbergs* foram comparados com os dados obtidos por Souza *et al.*, (2022), coletados em relevos planos na Caatinga. As médias pluviométricas anuais de todas as áreas variam entre 380 e 478 mm (Francisco *et al.*, 2015) e todas as amostras de solos foram coletados na mesma profundidade.

Figura 1: Mapa de localização das áreas de coleta





Ambos os solos foram analisados seguindo as técnicas determinadas para solos tropicais e o COS foi determinado por oxidação úmida pelo método Walkley-Black (Teixeira *et al.*, 2017).

Os valores do COS foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett para verificar a normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias. As variáveis foram transformadas em escala de *log* para adequar ao pressuposto de normalidade e foi realizada uma regressão linear. O modelo foi gerado a partir de 22 amostras. Todas as análises foram feitas no software R versão 4.4.2. (R Core Team, 2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de regressão ajustado R^2 de 0.7524 indicou uma variação de 75,2 % no COS. Esta variação pode ser explicada pelas posições das encostas que exerce um impacto significativo sobre a variável resposta. Em sua totalidade, os teores de COS de todos os sítios de amostragem, *inselbergs* e superfícies planas, variaram entre 12,81 e 0,08%. Os maiores teores foram observados nos solos dos *inselbergs* que apresentaram aproximadamente 11% a mais de CO quando comparados com os teores observados nas áreas planas, conforme os dados de (Souza *et al.*, 2022).

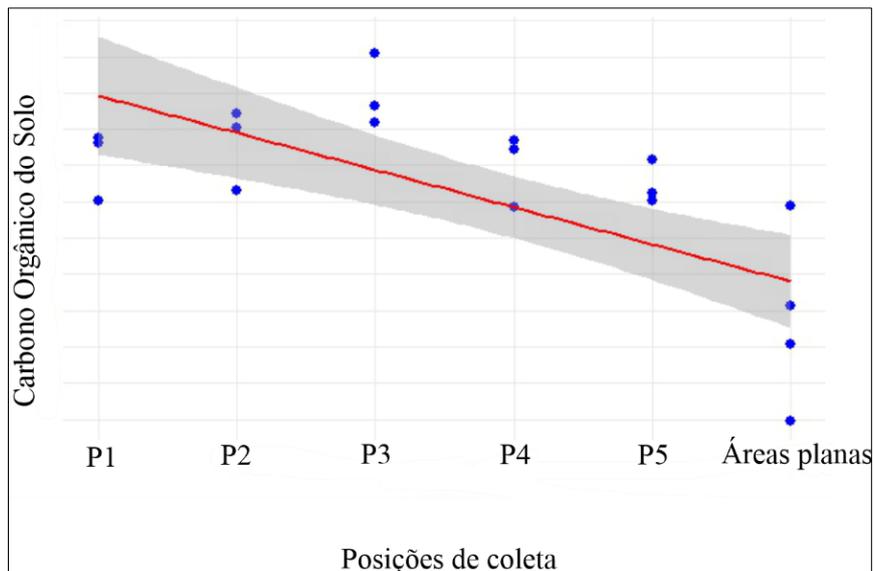
A significância dos dados para o Topo e Terço Médio Superior foi de (0.22585, $p = 0.683$). A Meia Encosta apresentou uma tendência de aumento do COS (0.92490, $p = 0.108$). O Terço Médio Inferior (-0.06952, $p = 0.900$) e Base (-0.32809, $p = 0.555$) apresentaram pequenas variações. Foi verificado um efeito altamente significativo (-2.26267, $p = 0.000153$) na superfície plana do relevo, indicando uma redução substancial do COS.

Os resultados sugerem um melhor estado de conservação da matéria orgânica e do COS dos *inselbergs* em detrimento das superfícies planas. A tendência a redução substancial do COS, observada nas superfícies planas do relevo (Figura 2), reflete os estágios de degradação e os impactos provenientes dos diferentes tipos de uso do solo na Caatinga (RAD 2023 - Map Biomas). As variações examinadas nos dados estatísticos, nas diferentes posições das encostas dos *inselbergs*, refletem a dinâmica microclimática destes ambientes que possibilita a formação de microhabitats em virtude do microclima que se forma, conforme destacado por (Ferreira; Stehmann, 2023).



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

Figura 2: Gráfico de tendência de distribuição do COS



Na Caatinga, os inselbergs formam gradientes altitudinais e topográficos que sustentam uma biodiversidade singular (Correia et al., 2021). Esses ambientes atuam como importantes refúgios ecológicos, caracterizados por altas taxas de endemismo e pela presença de uma biota frequentemente associada a outros domínios fitogeográficos, como o Cerrado e a Mata Atlântica (Salvador et al., 2023).

As curvaturas do relevo e as reentrâncias nas rochas desses inselbergs favorecem a formação de superfícies de acúmulo, onde se depositam diferentes frações de material erodido, originando os chamados *soil pockets*, conforme descrito por Burke (2003). Essas superfícies acumulativas possibilitam a retenção da água das chuvas e de resíduos vegetais ao longo das vertentes e na base dos inselbergs, contribuindo para o aumento da umidade do solo e a criação de microambientes favoráveis ao estabelecimento de uma biota endêmica, distinta da vegetação típica da Caatinga (Monger; Bestelmeyer, 2006).

Do mesmo modo, o aumento da produção de biomassa e o acúmulo de serrapilheira nessas áreas promovem uma maior entrada de matéria orgânica no solo, resultando em teores mais elevados de Carbono Orgânico (CO) (Teramage; Bassango; Sime, 2024). A interação desses fatores gera condições microclimáticas específicas, que influenciam diretamente a estrutura e organização das comunidades vegetais, bem como a quantidade e qualidade do Carbono Orgânico do Solo (COS) (Pires et al., 2014; Borges Neto et al., 2022). Esse efeito torna-se particularmente evidente na meia encosta dos inselbergs, onde foram registrados os maiores teores de COS.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa demonstram a significativa influência do relevo, especialmente dos *inselbergs*, sobre os teores de Carbono Orgânico do Solo (COS) na Caatinga. Essas feições geomorfológicas se caracterizam como ambientes com maior capacidade de armazenamento de carbono em comparação às áreas planas, evidenciando seu papel estratégico no contexto das mudanças climáticas, sobretudo em Florestas Tropicais Sazonalmente Secas.

Além disso, os dados indicam que os teores de CO nos solos em dos relevos planos podem ser sensivelmente afetados pelo uso da terra e pela retirada da vegetação nativa, o que reforça a urgência na conservação desses ecossistemas. Nesse sentido, destaca-se a importância ecológica das florestas secas tanto para a manutenção da biodiversidade quanto para o equilíbrio do ciclo do CO₂.

Dessa forma, entende-se que os *inselbergs*, assim como outras áreas com elevada capacidade de retenção de carbono, devem ser priorizados em estratégias de conservação ambiental e mitigação das mudanças climáticas.

AGRADECIMENTOS

A.S Gomes agradece à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), a concessão da bolsa de mestrado (Proc. n. 88887.822653/2023-00). Ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Estadual da Paraíba (PPGEC-UEPB). Ao Grupo de Ecologia Integrativa – ECOTROPICS (UEPB). Ao Programa de Pós-graduação em Geografia (UFPR) e ao LABS - Laboratório de Biogeografia e Solos (UFPR).

REFERÊNCIAS

ABBAS, F. et al. A Review of Soil Carbon Dynamics Resulting From Agricultural Practices. **Journal of environmental management**, V. 268, P. 110319, 2020.

AGUIRRE-GUTIÉRREZ, J. et al. Tropical forests in the Americas are changing too slowly to track climate change. **Science (New York, N.Y.)**, V. 387, P. 1-11, 2025.

ARAÚJO FILHO, J. C. et al. Semi-arid Soils of the Caatinga Biome of Northeastern Brazil. *In*: Schaefer, C. E. G. R. (Org.). **The Soils of Brazil**. Madison:Springer, 2023, p.175-193.

BORGES NETO, I. DE O. *et al.* Estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) de solos em terras secas: a importância dos afloramentos rochosos. *In*: XIX Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, XIX, 2022, Rio de Janeiro. Antropoceno: das transformações às metamorfoses das paisagens e do mundo. Rio de Janeiro: UERJ, 2022. 405 p.



- BURKE, A. Inselbergs in a changing world — global trends. **Diversity & distributions**, v. 9, n. 5, p. 375–383, 2003.
- CORRÊA, A. C. B. et al. Megageomorfologia e Morfoestrutura do Planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico, São Paulo**, V. 31, P. 35-52, 2010.
- CORREIA, J. S et al. Diversidade Florística dos Afloramentos Rochosos da Reserva Biológica de Pedra Talhada, Quebrangulo, Alagoas. **Revista Brasileira De Geografia Física**, V. 14, P. 743–757 2021.
- DRYFLOR. et al. Plant Diversity Patterns in Neotropical Dry Forests and Their Conservation Implications. **Science**, V. 353, P. 1383-1387, 2016.
- FERREIRA, V. L.; STEHMANN, J. R. Saxicolous vascular flora of karst outcrops: An overlooked component of Brazilian biodiversity. **Flora**, v. 305, n. 152314, p. 152314, 2023.
- FRANCISCO, P. R. M. et al. Köppen's and thornthwaite climate classification for Paraíba state. **Revista Brasileira de Geografia Física**, V. 8, P. 1006–1016, 2015.
- IPCC. Summary for Policymakers. *In*: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001
- IVANOV, M. M. M. et al. Seasonal Dynamics of the Phenology of Native Species from the Seasonally Dry Tropical Forest. **Floresta e Ambiente**, V. 29, P.1-12, 2022.
- KPEMOUA, T. P. I. et al. Drivers of the amount of organic carbon protected inside soil aggregates estimated by crushing: A meta-analysis. **Geoderma**, V. 427, P. 116089, 2022.
- LAL, R. Carbon sequestration. **Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences**, V. 363, P. 815–830, 2008.
- LI, X. et al. Topographic Metric Predictions of Soil Redistribution and Organic Carbon in Iowa Cropland Fields. **Catena**, V. 160, P. 222–232, 2018.
- LIU, D. et al. Storage and stability of soil organic carbon in two temperate forests in northeastern China. **Land**, V. 12, P. 1019, 2023.
- LOURENÇO, E. R. C et al. Temporal variation of soil CO₂ emission in different land uses in the Caatinga. **Applied Geography**, V. 140, P. 102661, 2022.
- MALECHA, A., MANES, S., VALE, M. M. Climate change and biodiversity in Brazil: What we know, what we don't, and Paris Agreement's risk reduction potential. **Perspectives in Ecology and Conservation**, V.23, P. 77-84, 2025.
- MENDES, K. R. et al. Seasonal Variation in Net Ecosystem CO₂ Exchange of a Brazilian Seasonally Dry Tropical Forest. **Scientific Reports**, V. 10, P. 9454, 2020.
- MONGER, H. C.; BESTELMEYER, B. T. The soil-geomorphic template and biotic change in arid and semi-arid ecosystems. **Journal of arid environments**, V. 65, P. 207–218, 2006.



MORO, M. F. et al. Biogeographical districts of the caatinga dominion: A proposal based on geomorphology and endemism. **The Botanical review; interpreting botanical progress**, V. 90, P. 376–429, 2024.

OCÓN, J. P. et al. Global Tropical Dry Forest Extent and Cover: A Comparative Study of Bioclimatic Definitions Using two Climatic Data Sets. **PloS one**, V. 16, P. e0252063, 2021.

OLIVEIRA FILHO, J. S. et al. Carbon and Nitrogen Stocks in Lithic Soils: Environmental Drivers and Land-use Implication in Brazilian Dry Ecosystems. **Journal of Soils and Sediments**, V. 24, P. 1476-1488, 2024.

PIRES, G. G. et al. Influência de variáveis ambientais na comunidade arbórea de inselbergs. **CERNE**, v. 20, n. 1, p. 97–104, 2014.

PLAZA, C et al. Soil Resources and Element Stocks in Drylands to Face Global Issues. **Scientific Reports**, V. 8, P. 13788, 2018.

RAD 2023: **Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2023**. São Paulo: Brasil-MapBiomias, 2024.

R Core Team (2024). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

SALVADOR, M. DO S. S. et al. Diversidade florística no Lajedo do Bravo, Cariri paraibano. **Revista Geotemas**, V. 13, P. e02328, 2023.

SOUZA, J. J. L. L. et al. Organic Carbon Rich-Soils in the Brazilian Semiarid Region and Paleoenvironmental Implications. **Catena**, V. 212, P. 106101, 2022.

SOUZA, J. J. L. L. et al. Brazilian Semiarid Soils Formed During the Last Glacial Maximum. **Catena**, V. 223, P. 106899, 2023.

SOUZA, B. I. D. et al. Rainwater runoff, soil, and vegetation interactions in inselbergs provide microrefugia in Brazil's Caatinga drylands. **Environ Monit Assess**, V. 197, P.1-17, 2025.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2017.

TERAMAGE, M. T.; BASSANGO, B.; SIME, G. Litterfall-associated carbon deposition and vertical profiles of soil organic carbon in different land-use systems. **Applied and environmental soil science**, V. 2024, P. 1–9, 2024.