IX SINMCA
IX Simpósio do Noroeste Mineiro de Ciências Agrárias e
VIII Semana Acadêmica
25 a 27 de novembro de 2025

Variabilidade espacial da umidade e do armazenamento de água em solo de área úmida sob Cerrado na Bacia do Rio Preto, Noroeste de Minas

Roberto. M. F. S. Filho[1,*], Northon M. S. Castro[2] Fabricio S. Terra[3] Ingrid Horák-Terra[3]

[1,] Graduando em Agronomia - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, Unaí-MG*
[2] Mestre em Produção Vegetal - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, Diamantina-MG
[3] Professor adjunto, UFVJM, Unaí-MG

***E-mail do autor principal:** roberto.ferraciole@ufvjm.edu.br

RESUMO EXPANDIDO

INTRODUÇÃO

As áreas úmidas configuram-se como ecossistemas de transição entre ambientes terrestres e aquáticos, caracterizados por variações no regime hídrico e elevada capacidade de armazenamento de água. Esses ambientes exercem papel essencial na regulação do microclima, na recarga hídrica e na manutenção da umidade do solo, influenciando diretamente o balanço hídrico local e regional (CAMPOS et al., 2011; SOUZA et al., 2025).

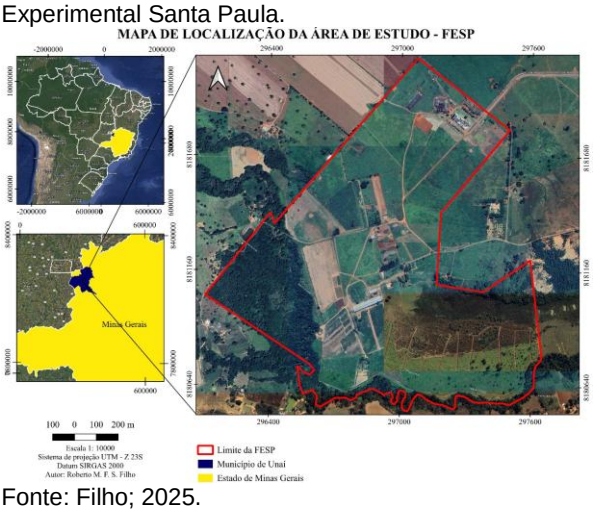
A variabilidade espacial da umidade e do armazenamento de água nesses solos está relacionada a fatores como a composição físico-química, o teor de matéria orgânica e as condições de drenagem. Solos ricos em carbono orgânico, comuns em áreas com turfa, apresentam maior capacidade de retenção de água, o que os torna fundamentais para o equilíbrio hidrológico e para a mitigação dos efeitos das secas sazonais (SOUZA et al., 2025; ALMEIDA et al., 2023). Em estudos com turfas, observou-se que estágios de decomposição da matéria orgânica influenciam a porosidade e densidade do solo, diminuindo sua capacidade de retenção conforme a decomposição aumenta (CAMPOS et al., 2011).

Dessa forma, compreender a distribuição espacial da umidade e do armazenamento de água é essencial para o manejo sustentável desses ecossistemas e para o desenvolvimento de estratégias de conservação em regiões sujeitas à pressão antrópica e às variações climáticas. Esse entendimento permite identificar partes do ecossistema mais vulneráveis à perda de função hidrológica, bem como orientar práticas de restauração ou proteção das coberturas de solo que mantém o carbono e estrutura dos solos úmidos (ALMEIDA et al., 2023; SOUZA et al., 2025; da CONCEIÇÃO et al., 2024).

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Fazenda Experimental Santa Paula, pertencente ao Instituto de Ciências Agrárias da UFVJM, localizada no município de Unaí (MG), entre as coordenadas -16,45° e -16,43° S e -46,91° e -46,89° W. A área experimental compreende 6 hectares inseridos em uma zona úmida do “Vão” de Unaí (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização da Fazenda Experimental Santa Paula.

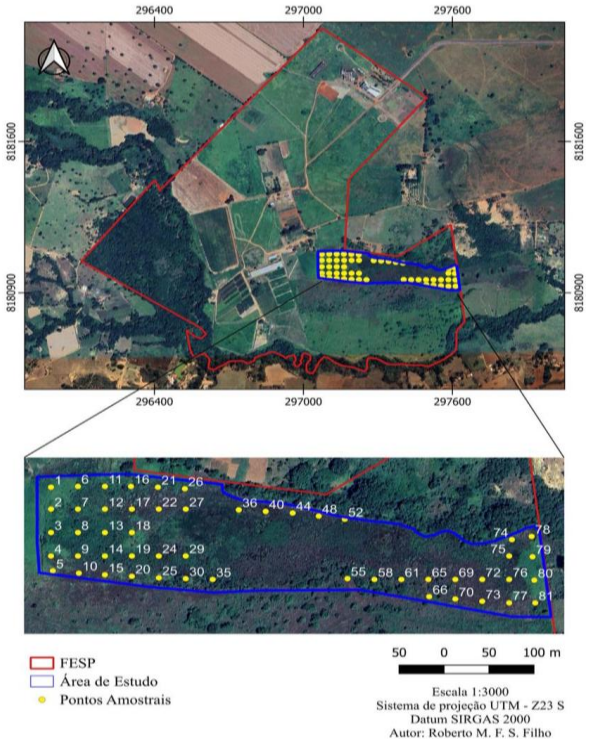


Fonte: Filho; 2025.

Foram distribuídos e espacializados 51 pontos amostrais na área de estudo, por meio do software QGIS, visando representar diferentes condições e microvariações do relevo, bem como garantir adequada representatividade da variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo.

As coletas foram realizadas entre o final do período seco de 2024 e o início do período chuvoso de 2025, utilizando trado holandês para obtenção das amostras em incrementos de 20 centímetros. As amostras foram devidamente identificadas, acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas ao laboratório para análises (Figura 2).

Figura 2 - Mapa de localização dos pontos amostrados na Fazenda Experimental Santa Paula.



Fonte: Filho, 2025.

As análises laboratoriais seguiram os métodos descritos por Lynn et al. (1974) e Teixeira et al. (2017), com determinação da densidade aparente, umidade gravimétrica e umidade volumétrica. O armazenamento de água no solo foi calculado segundo Libardi (2012), considerando a espessura de 20 centímetros das camadas amostradas. Os dados obtidos foram submetidos à estatística descritiva e ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk (α ≤ 5%), sendo posteriormente analisados por meio da geoestatística.

A variabilidade espacial da umidade e do armazenamento de água foi avaliada com base no ajuste de semivariogramas teóricos e na interpolação por krigagem ordinária, permitindo a geração de mapas preditivos dos atributos estudados. Foram estimados os parâmetros de efeito pepita, patamar e alcance, além da medida de dependência espacial (MDE), conforme os critérios propostos por Appel, Seidel e Oliveira (2020). Todas as análises estatísticas e o mapeamento foram realizados com o auxílio dos softwares RStudio e QGIS (versão 3.34).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos atributos do solo na camada de 0 - 20 cm evidenciou elevada variabilidade espacial, refletindo a influência direta das condições superficiais sobre a dinâmica hídrica e o acúmulo de matéria orgânica (Tabela 01).

Tabela 1: Caracterização físico- hídrica dos pontos amostrais na área de estudo.

	BD *(g cm-^{3})*	**GM** *(g g^{-1})*	**VM** *(cm^{3}cm^{-3})*	**MO** *(%)*	**SWS** *(mm)*
Mínimo	0,19	0,14	0,09	5,80	17,96
Máximo	0,88	2,42	0,68	115,98	136,32
1° Quartil	0,33	0,37	0,19	12,99	37,08
3° Quartil	0,52	0,96	0,33	27,92	66,30
Média	0,44	0,73	0,29	22,07	57,92
DP	0,16	0,43	0,14	16,03	28,27
CV (%)	36,34	58,45	48,81	72,61	48,81
Curtose	0,41	3,50	0,16	23,65	0,16
Assimetria	0,73	1,41	0,90	4,12	0,90
Obs.	51	51	51	51	51
p-value	0,71	0,41	0,51	0,04	0,51
Nor.	Log	Log	Log	Log	Log

Fonte: Filho, 2025. BD: densidade do solo; GM: umidade gravimétrica; VM: umidade volumétrica; MO: matéria orgânica; SWS: armazenamento de água; DP: desvio padrão; CV (%): coeficiente de variação; Nor.: normalização; log: logaritmo.

Na camada de 0–20 cm foram observados 51 pontos amostrais. A BD indicou variação entre 0,19 e 0,88 g cm^{-3}, com média de 0,44 g cm^{-3} ± 0,16 g cm^{-3} e CV de 36,34%, indicando heterogeneidade. A GM variou de 0,14 a 2,42 g g^{-1}, com média de 0,73 g g^{-1} ± 0,43 g g^{-1} e CV de 58,45%, enquanto a VM apresentou valores de 0,09 a 0,68 cm^3 cm^{-3}, média de 0,27 cm^3 cm^{-3} ± 0,14 cm^3 cm^{-3} e CV de 48,81%.

Observou-se uma ampla amplitude para MO (5,80 a 115,98 g kg^{-1}), com valores médios de 22,07 g kg^{-1} e CV de 61,11%. O armazenamento de água no solo indicou variações entre 17,96 e 136,32 mm, com média de 57,92 mm e CV de 48,21%, indicando posições no relevo preferenciais para maior armazenamento de água em superfície.

Os valores observados para MO e SWS resultam do intenso aporte de resíduos vegetais e da maior atividade microbiana, fatores que favorecem a ciclagem de nutrientes, uma maior estabilidade estrutural e o armazenamento de água no solo (SOUZA et al., 2017; POEPLAU et al., 2017).

A BD apresentou valores reduzidos nessa camada, o que indica maior porosidade e, consequentemente, maior infiltração e armazenamento de água. Essa relação inversa entre densidade e umidade reflete a influência da matéria orgânica na formação de agregados estáveis, que aumentam a macroporosidade e reduzem a compactação.

Esse comportamento confirma a importância do carbono como regulador físico-hídrico do solo, conforme observado por (LI et al. (2022) em estudos de variabilidade espacial da densidade em ambientes tropicais e semiáridos.

As análises de umidade gravimétrica e volumétrica mostraram ampla variação espacial, sugerindo que microvariações no relevo e nas condições do lençol freático interferem significativamente na distribuição da água no solo.

Essa heterogeneidade é típica de ambientes úmidos, nos quais pequenas diferenças

topográficas geram contrastes de saturação e drenagem, como também registrado por Lins, Lopes e Montenegro (2020) em solos aluviais do nordeste brasileiro.

A modelagem geoestatística aplicada aos dados da camada indicou dependência espacial moderada com uma distância máxima de 335,00 m com uma distância (h) de 30 m em todas as modelagens dos semivariogramas, com melhor ajuste para os modelos exponencial e gaussiano, conforme os coeficientes de determinação e as medidas de dependência espacial (MDE) (Tabela 2).

Tabela 2: Modelagem dos semivariogramas teóricos e determinação da sua medida de dependência espacial com os dados normalizados.

Fonte: Filho, 2025. BD: densidade do solo; GM: umidade gravimétrica; VM: umidade volumétrica; MO: matéria orgânica; SWS: armazenamento de água; Co+C: patamar; Co: efeito pepita; C: contribuição; A: alcance; Exp: exponencial; MDE: medida de dependência espacial.

Atributo	Co+C	Co	C	A	Modelo	MDE (%)
BD	0,03	0,01	0,02	329,00	Exp	18,29
GM	0,07	0,03	0,05	241,00	Exp	19,71
VM	0,07	0,01	0,06	329,10	Exp	26,42
MO	0,07	0,02	0,05	329,17	Exp	23,66
SWS	0,07	0,01	0,06	329,00	Exp	26,72

Esse comportamento demonstra que a variabilidade da umidade e do armazenamento de água está fortemente associada à distribuição da matéria orgânica e às características físicas do solo, o que confere confiabilidade à interpolação por krigagem ordinária.

De forma integrada, os resultados apontam que a camada superficial apresenta maiores teores de carbono e umidade, menor densidade e alta variabilidade espacial, fatores que reforçam sua importância na regulação hídrica e na manutenção do equilíbrio ambiental.

A preservação dessa camada é, portanto, essencial para o manejo sustentável das áreas úmidas, pois influencia diretamente o armazenamento de água, o sequestro de carbono e a resiliência do solo frente às variações climáticas. A seguir temos a espacialização dos atributos estudados da área de estudo (Figura 3).

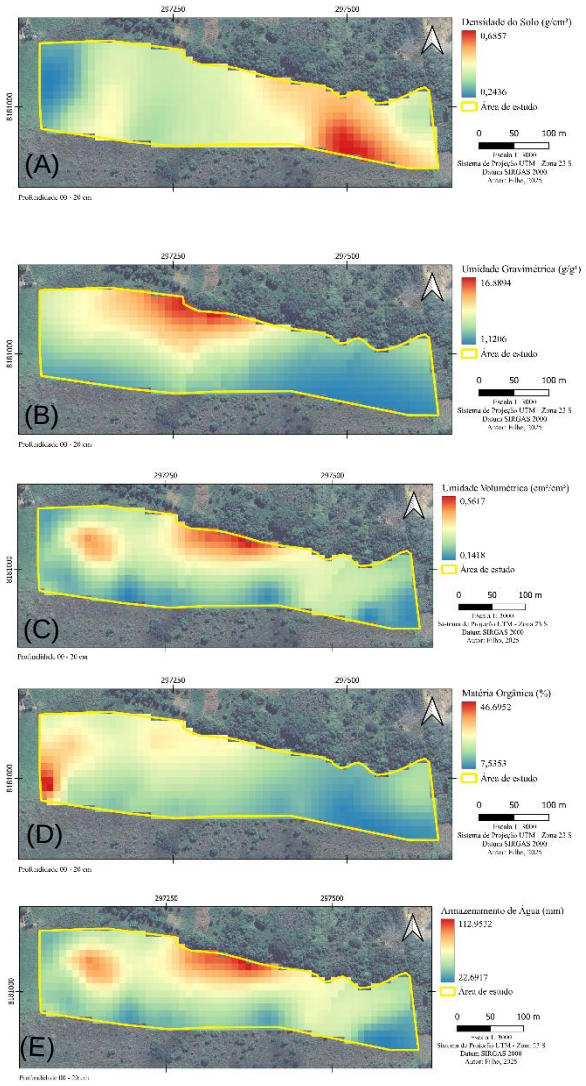


Figura 3 - Atributos físico-hídricos estudados: A) densidade do solo; B) umidade gravimétrica; C) umidade volumétrica; D) matéria orgânica e E) armazenamento de água no solo.

Fonte: Filho, 2025.

CONCLUSÃO

As áreas úmidas exercem papel essencial na regulação hídrica e no armazenamento de carbono, funcionando como importantes sumidouros e amortecedores das variações climáticas.

A alta concentração de matéria orgânica acumulada ao longo do tempo confere a esses ambientes capacidade singular de retenção de água e equilíbrio dos fluxos hidrológicos, aspectos diretamente relacionados à variabilidade espacial da umidade e do armazenamento de água no solo.

No entanto, a intensificação das atividades agropecuárias e a redução da proteção ambiental têm comprometido a integridade ecológica desses sistemas, reduzindo sua capacidade de prestar serviços ambientais essenciais.

No Brasil, a escassez de estudos detalhados e com alta resolução espacial ainda limita a compreensão da dinâmica hídrica e dos estoques de carbono em ecossistemas do Cerrado. Assim, o uso de abordagens geoestatística e análises

físico-hídricas representa um avanço fundamental para ampliar o conhecimento sobre esses ambientes e subsidiar políticas públicas voltadas à conservação e ao manejo sustentável das áreas úmidas.

AGRADECIMENTOS





REFERÊNCIAS

Appel, L. G.; Seidel, E. P.; Oliveira, D. P. (2020). *Geoestatística aplicada à agricultura de precisão: fundamentos e aplicações.* Revista de Ciências Agrárias, v. 43, p. 97–110.

Libardi, P. L. (2012). *Dinâmica da água no solo.* 2. ed. São Paulo: Editora da USP.

Li, X.; Zhang, H.; Tang, C.; Wang, Y. (2022). *Spatial variability of soil bulk density and its relationship with soil properties in tropical and semiarid regions. Catena*, 212, 106090.

Lins, C. E. C.; Lopes, I.; Montenegro, A. A. A. (2020). *Spatial distribution of soil moisture and its relation with microrelief and drainage in alluvial soils of Northeastern Brazil. Geoderma Regional*, 21, e00284.

Lynn, W. C.; McKinzie, W. E.; Grossman, R. B. (1974). *Field laboratory and morphological tests for characterization of Histosols.* In: Histosols: Their characteristics, classification, and use. Soil Science Society of America, Madison.

Poeplau, C.; Don, A.; Vesterdal, L.; Leifeld, J. (2017). *Effects of soil management on organic carbon stocks: Mechanisms and implications for climate change mitigation. Soil Biology & Biochemistry*, 105, 1–13.

Souza, Z. M.; Campos, M. C. C.; Marques Júnior, J.; Nascimento, J. L.; Carvalho, J. A. (2017). *Spatial variability of soil properties and carbon content in different management systems. Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 41:e0170020.

Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. (Eds.) (2017). *Manual de métodos de análise de solo.* 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa.

CAMPOS, José Ricardo da Rocha; SILVA, Alexandre Christófaro; FERNANDES, José Sebastião Cunha; FERREIRA, Mozart Martins; SILVA, Daniel Valladão et al. Water retention in a peatland with organic matter in different decomposition stages. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 4, p. 1217-1227, 2011. DOI:10.1590/S0100-06832011000400015.

SOUZA, Ianna Santana et al. Soil organic carbon stock in a peat-wetland ecosystem in the Cerrado biome under different land covers and its role in water storage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 49, e0240137, 2025. DOI:10.36783/18069657rbcs20240137.

ALMEIDA, M. I. S. et al. Soil properties changing and carbon losses by anthropic drainage in savanna palm swamp (vereda), central Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2023.

CONCEIÇÃO, Lucas F. C.; da ROCHA, Humberto R.; NAVARRETE, Nelson V.; ROSOLEM, Rafael; CABRAL, Osvaldo M. R.; de FREITAS, Helber C. Interannual Variability of Water and Heat Fluxes in a Woodland Savanna (Cerrado) in Southeastern Brazil: Effects of Severe Drought and Soil Moisture. *Atmosphere*, v. 15, n. 6, 2024. DOI:10.3390/atmos 15060668.