

ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NOS PERÍODOS CHUVOSO E SECO NO MUNICÍPIO DE RIO VERDE, GO, SAVANA BRASILEIRA

Nicolý Giroto Morais ¹
Cleane dos Santos de Sousa Migliat ²
Wellmo dos Santos Alves ³

INTRODUÇÃO

O município de Rio Verde, localizado no sudoeste do estado de Goiás, está inserido no bioma Cerrado, um dos mais diversos e importantes do Brasil, apresenta grande variabilidade climática, com um período chuvoso de outubro a março, e outro seco, de abril a setembro.

A região de Rio Verde, GO, possui uma economia predominantemente agrícola, destacando-se na produção de grãos, como soja e milho, além da pecuária. A paisagem é formada por essas áreas agrícolas extensivas e remanescentes de vegetação nativa do Cerrado. O relevo inclui chapadas e vales, juntamente com a presença de recursos hídricos e a variação da paisagem contribuem para a variabilidade espacial das chuvas (Hofmann *et al.*, 2021; Ferreira *et al.*, 2023).

O estudo da Climatologia, especialmente em relação à compreensão das variações de precipitação pluviométrica, é fundamental para o planejamento agrícola da região, pois, as culturas plantadas dependem da quantidade de água disponível, dessa forma, uma escassez hídrica afeta significativamente a produção agrícola, e portanto, a economia local. Estudos estimam perdas na produção, principalmente de milho e soja, em cenário de diminuição de chuvas (Campos *et al.*, 2024).

Compreender as variações de precipitação pluviométrica na área de estudo, além de contribuir para o planejamento da produção agrícola, é de suma importância para a gestão dos recursos hídricos, sustentabilidade das atividades econômicas locais e desenvolvimento de políticas de manejo sustentável, considerando as mudanças climáticas e seus impactos.

¹ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Jataí - UFJ, girottonicolý@gmail.com;

² Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade do Instituto Federal Goiano, IF Goiano – Campus Rio Verde, cleanesousa.eng.amb@gmail.com;

³ Professor orientador: Doutor em Geografia, Universidade Federal de Goiás - UFG, wellmoagro2@gmail.com.

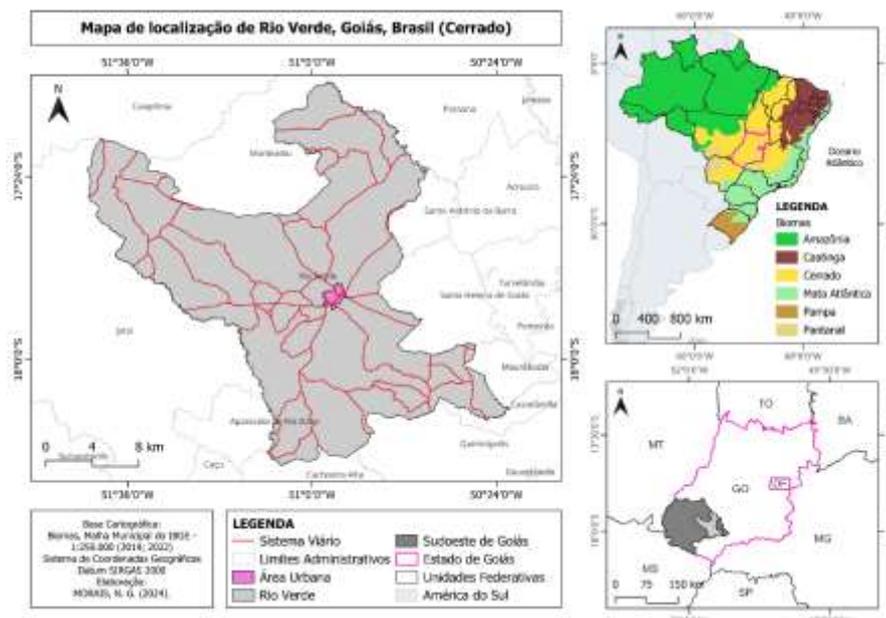
Rio Verde é o 4º município mais populoso de Goiás, com uma população estimada em 225.696 habitantes, sendo o maior produtor de grãos do estado (IBGE, 2022a). Sua economia é variada, com atividades agroindustriais, comércio e prestação de serviços (Resende; Silva, 2024). Devido sua representatividade, em termos de uso do solo e características ambientais, a região serve como um modelo para estudos climáticos no Cerrado.

Assim, o objetivo deste estudo é analisar a precipitação pluviométrica nos períodos chuvoso e seco no referido município, utilizando uma série temporal de dados históricos disponibilizados pela Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço (acrônimo em inglês NASA) por meio da plataforma *online* do Projeto de Previsão de Recursos Energéticos Mundiais (acrônimo em inglês POWER) (NASA POWER, 2022).

MATERIAIS E MÉTODOS

Rio Verde localiza-se na microrregião sudoeste do estado de Goiás, Brasil, nas coordenadas geográficas 17°47'26'' de latitude sul e 50°55'11'' de longitude oeste (Figura 1). Com uma área de cerca de 8.374,2 km², situada no bioma Cerrado, destaca-se por sua relevante produção agropecuária e crescimento econômico (IBGE, 2022a). Seu regime pluviométrico, que apresenta uma precipitação anual que varia 1233-1418 mm, favorece a agricultura de grãos e a pecuária, essenciais para sua economia. Além disso, sua localização estratégica ao longo de importantes rodovias contribui para a infraestrutura de transporte, facilitando o escoamento da produção e o desenvolvimento regional.

Figura 1 – Localização do município de Rio Verde, Goiás, no bioma Cerrado



Fonte: IBGE (2019; 2022b). Organização dos autores (2024).

Para realização do estudo foram compilados dados de precipitação pluviométrica da plataforma *online* NASA POWER do Centro de Pesquisa Langley (LaR) da NASA, financiado pelo Programa de Ciências da Terra/Ciências Aplicadas dessa agência, mais especificamente derivados do modelo de assimilação GMAO MERRA-2 (NASA POWER, 2024). Para validar esses dados, foi utilizada uma série histórica de precipitação pluviométrica local registrada pela estação climatológica de Rio Verde, compilada da plataforma *online* do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2024). Esta série histórica abrange um período de 36 anos, de 1986 a 2022, e inclui medições mensais, a partir da qual foram realizadas agregações para os períodos chuvoso e seco.

A interpolação dos dados foi realizada utilizando o *Thin Plate Spline* (TPS), que é um método flexível e eficiente para a interpolação de superfícies suavizadas a partir de dados dispersos (Wahba, 1990). Este método foi escolhido devido à sua capacidade de lidar com dados espaciais complexos e fornecer superfícies de interpolação suaves que capturam bem as variações espaciais.

Os dados foram divididos em conjuntos de treinamento (70%) e teste (30%) para validação cruzada. A validação cruzada é uma técnica robusta para avaliar o desempenho do modelo, pois permite a verificação da sua capacidade preditiva (James *et al.*, 2021). Um modelo TPS foi ajustado com os dados de treinamento e utilizado para prever valores nos pontos de teste.

Para avaliar a precisão das previsões do TPS ajustado, foram calculadas diversas métricas de desempenho, incluindo o Erro Médio Absoluto (acrônimo em inglês MAE) (Willmott; Matsuura, 2005), Erro Quadrático Médio da Raiz (acrônimo em inglês RMSE) (Chai; Draxler, 2014) e o Coeficiente de Determinação (R^2) (Pearson, 1896). O R^2 ajustado (Wherry, 1931) também foi calculado para fornecer uma estimativa mais precisa da performance do modelo, corrigindo possíveis superestimções do R^2 simples.

Os dados foram analisados utilizando o *software* R (R Core Team, 2023), versão 4.4.1 (2024-06-14 ucrt), em um ambiente de desenvolvimento Windows (x86_64-w64-mingw32/x64), com o emprego de pacotes específicos para processamento e visualização de dados geoespaciais e análise estatística e geoestatística.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os resultados das métricas de desempenho do TPS no processo de interpolação da precipitação pluviométrica para a área de estudo nos períodos chuvoso e seco, permitindo avaliar a representatividade do modelo ajustado.

Tabela 1 – Métricas de desempenho para a interpolação dos dados de precipitação

Período	MAE (mm)	RMSE (mm)	R ²	R ² ajustado
Período chuvoso	6,17	7,55	0,99	0,98
Período seco	2,76	3,55	0,99	0,99

MAE: Erro Médio Absoluto; RMSE: e Erro Quadrático Médio.
Fonte: Autores (2024).

Os resultados apresentados na Tabela 1 indicam que o modelo de interpolação *Thin Plate Spline* (TPS) teve um desempenho excepcional na estimativa da precipitação para os períodos chuvoso e seco no município de Rio Verde, GO. Com valores baixos de Erro Médio Absoluto (MAE) e Erro Quadrático Médio (RMSE), aliados a coeficientes de determinação (R²) e R² ajustado próximos de 1, o modelo demonstrou alta precisão e confiabilidade na captura das variações espaciais da precipitação. Durante o período chuvoso, o modelo manteve uma excelente performance, com um MAE de 6,17 mm e RMSE de 7,55 mm, e durante o período seco, os erros foram ainda menores, refletindo a menor variabilidade das chuvas. A consistência desses resultados indica que o TPS é uma ferramenta robusta e eficiente para análise de precipitação em diferentes contextos sazonais no Cerrado, sendo útil para aplicações práticas como a gestão de recursos hídricos e o planejamento agrícola na região.

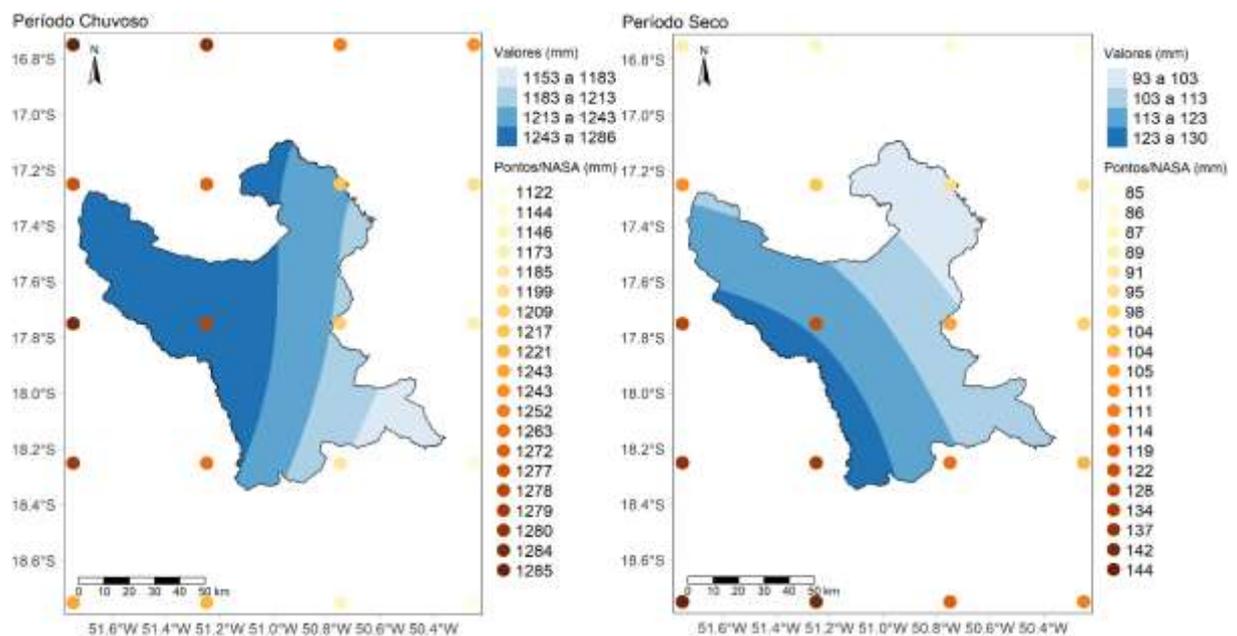
Os resultados da precipitação para os períodos chuvoso e seco estão apresentados na Tabela 2 e geoespacializado na Figura 2. Observa-se uma significativa variação na precipitação entre os dois períodos, com uma média de precipitação consideravelmente maior durante o período chuvoso.

Tabela 2 – Resultados da análise da precipitação pluviométrica nos períodos chuvoso e seco no município de Rio Verde, GO, Cerrado

Estatística	Precipitação pluviométrica (mm)	
	Período Chuvoso	Período Seco (mm)
Mínimo	1153	93
Primeiro Quartil	1218	106
Mediana	1240	114
Média	1241	113
Terceiro Quartil	1273	120
Máximo	1286	130
Concentração geográfica	Norte e noroeste	Oeste e sudoeste

Fonte: Autores (2024).

Figura 2 – Precipitação nos períodos chuvoso e seco no município de Rio Verde, GO



A análise dos dados de precipitação (Tabela 2 e Figura 2) no município de Rio Verde revela padrões coerentes com as características climáticas do Cerrado. Durante o período chuvoso, a precipitação é significativamente maior, concentrada nas regiões norte e noroeste, impulsionada pela umidade transportada pelos "Rios Voadores", fluxos de vapor d'água oriundos da Amazônia (localizada ao norte e noroeste do município, conforme Figura 1), que intensificam a precipitação ao interagir com as chapadas próximas (Arraut *et al.*, 2012; Ferreira *et al.*, 2023). Além disso, a Amazônia atua como um "lago aéreo", acumulando e transportando umidade para o sul do Brasil, especialmente durante a estação chuvosa, o que contribui para a alta precipitação na região.

Durante o período seco, a precipitação é substancialmente menor, refletindo a redução no transporte de umidade da Amazônia e a ausência de sistemas de baixa pressão que

caracterizam a estação chuvosa. Essa variação é exacerbada pelo relevo regional, onde chapadas e vales promovem maior condensação nas áreas elevadas durante o período chuvoso (Ferreira *et al.*, 2023). As teleconexões climáticas, como as anomalias de Temperatura da Superfície do Mar nas regiões do El Niño, Dipolo do Atlântico Sul (DAS) e Modo Anular Sul (SAM), também modulam a precipitação em Rio Verde, com efeitos significativos durante o verão e outono (Marcuzzo; Romero, 2013; Silva, 2018; Carpenedo; Silva, 2022).

Além disso, o uso intensivo do solo para agricultura em Rio Verde, resultando na supressão da vegetação nativa, tem impactos negativos sobre a disponibilidade de água e os padrões climáticos locais, contribuindo para um clima mais quente e seco (Hofmann *et al.*, 2021; 2023). As mudanças nos padrões de precipitação pluviométrica, especialmente no sudoeste de Goiás, são evidentes nas análises dos índices climáticos (Neves *et al.*, 2024). Essas alterações climáticas têm implicações diretas na produtividade agrícola e na gestão dos recursos hídricos, evidenciando a necessidade de estratégias de adaptação e mitigação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta análise demonstram a importância de monitorar a variabilidade sazonal da precipitação no Cerrado, especialmente no município de Rio Verde, GO. O conhecimento dessas variações é essencial para o desenvolvimento de estratégias de manejo sustentável dos recursos hídricos e para a adaptação das práticas agrícolas às condições climáticas regionais.

Palavras-chave: Cerrado; Modelagem climatológica; Mudanças climáticas; Software R; Variabilidade sazonal.

REFERÊNCIAS

ARRAUT, J. M.; NOBRE, C.; BARBOSA, H. M. J.; OBREGON, G.; MARENGO, J. Aerial Rivers and Lakes: Looking at Large-Scale Moisture Transport and Its Relation to Amazonia and to Subtropical Rainfall in South America. **Journal of Climate**, Washington, v. 25, p. 543-556, January, 2012. DOI: 10.1175/2011JCLI4189.1. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/25/2/2011jcli4189.1.xml>. Acesso em: 19 jul. 2024.

CAMPOS, G. M.; SANTOS, G. O.; ALIEVI, L. A.; CANTÃO, V. C. G. Mudanças climáticas e seus efeitos sobre a água no solo no cultivo de milho e soja em sucessão no cerrado. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, [S. L.], v. 22, n. 5, p. 1-23, 23 maio 2024.

South Florida Publishing LLC. DOI: 10.55905/oelv22n5-152. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/4833>. Acesso em: 24 ago. 2024.

CARPENEDO, C. B.; DA SILVA, C. B. Influência de Teleconexões na Precipitação Pluvial do Cerrado Brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 30, n. 18, p. 26-46, 2022. DOI: 10.55761/abclima.v30i18.14607. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14607>. Acesso em: 8 ago. 2024.

CHAI, T.; DRAXLER, R. R. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE) – Arguments against avoiding RMSE in the literature. **Geoscientific Model Development**, Göttingen, v. 7, n. 3, p. 1247-1250, June, 2014. DOI: 10.5194/gmd-7-1247-2014. Disponível em: <https://gmd.copernicus.org/articles/7/1247/2014>. Acesso em: 21 jul. 2024.

FERREIRA, F. L. V.; RODRIGUES, L. N.; ALTHOFF, D.; AMORIM, R.S.S. Spatial–Temporal Variability of Climatic Water Balance in the Brazilian Savannah Region River Basins. **Water**, Basel, v. 15, n. 10: 1820, p. 1-16, May, 2023. DOI: 10.3390/w15101820. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/10/1820>. Acesso em: 21 jul. 2024.

HOFMANN, G. S.; CARDOSO, M. F.; ALVES, R. J.; WEBER, E. J.; BARBOSA, A. A. The Brazilian Cerrado is becoming hotter and drier. **Global Change Biology**, Washington, v. 27, p. 4060-4073, May, 2021. DOI: 10.1111/gcb.15712. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.15712>. Acesso em: 21 jul. 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil**: compatível com a escala 1:250 000. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. 168 p. (Relatórios metodológicos, ISSN 0101-2843; v. 45). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101676.pdf>. Acesso em 24 ago. 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Rio Verde**. 2022a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/rio-verde/panorama>. Acesso em: 22 ago. 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha Municipal**. Escala 1:250.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2022b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>. Acesso em: 24 ago. 2024.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 19 jul. 2024.

JAMES, G.; WITTEN, D.; HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R. An Introduction to Statistical Learning: with Applications in R. New York: **Springer**, 2021. DOI: 10.1007/978-1-0716-1418-1. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-0716-1418-1>. Acesso em: 21 jul. 2024.

MARCUZZO, F. F. N.; ROMERO, V. Influência do El Niño e La Niña na precipitação máxima diária do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 28, p. 429-440, 2013. DOI: 10.1590/S0102-77862013000400009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/zmZ5pNnyrF4BxbrNbhNbBKH/?lang=pt>. Acesso em: 29 jul. 2024.

NASA POWER. **Data Access Viewer Enhanced (DAVe)**. Atualizado em: 5 jun. 2024. Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Acesso em: 19 jul. 2024.

NEVES, G. Z. DE F., SANTOS, B. C. DOS, BUARQUE, P. F. S. M., SANCHES, R. G., PERUSSI, R., PEREIRA, D. N. B., & HORTA, I. T. L. G. Índices de extremos climáticos e tendências de precipitação no estado de Goiás e Distrito Federal (Brasil). **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 34, n. 20, p. 730–755, 2024. DOI: 10.55761/abclima.v34i20.17794. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/17794>. Acesso em: 06 ago. 2024.

PEARSON, K. Mathematical contributions to the theory of evolution. — III. Regression, heredity, and panmixia. **Philos. Trans. R. Soc. A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character**, London, v. 187, p. 253-318, January, 1896. DOI: 10.1098/rsta.1896.0007. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.1896.0007>. Acesso em: 21 jul. 2024.

RESENDE, J. T. L.; SILVA, W. F. da. Rio Verde (GO), Uma Cidade de Comando Regional. **Geofronter**, [S.L.], v. 10, p. 1-25, 27 jun. 2024. State University of Mato Grosso do Sul. DOI: 10.61389/geofronter.v10.8436. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/GEOF/article/view/8436>. Acesso em: 24 ago. 2024.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Version 4.3.0. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 11 ago. 2024.

SILVA, C. A. da. **Precipitações no cerrado: análise da variabilidade pluviométrica e influência do fenômeno El Niño oscilação sul**. 2018. xiii, 172 f., il. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Ciências Humanas, Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: <http://repositorio2.unb.br/jspui/handle/10482/34580>. Acesso em: 29 jul. 2024.

WAHBA, G. Spline Models for Observational Data. **Society for Industrial and Applied Mathematics**, Philadelphia, p. i – xvii + 161, September, 1990. DOI: 10.1137/1.9781611970128.fm. Disponível em: <https://epubs.siam.org/doi/10.1137/1.9781611970128.fm>. Acesso em: 21 jul. 2024.

WHERRY, R. J. A new formula for predicting the shrinkage of the coefficient of multiple correlation. **The Annals of Mathematical Statistics**, Shaker Heights, v. 2, n. 4, p. 440-457, November, 1931. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2957681>. Acesso em: 8 ago. 2024.

WILLMOTT, C. J.; MATSUURA, K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. **Climate Research**, Oldendorf/Luhe, v. 30, n. 1, p. 79-82, December, 2005. DOI: 10.3354/cr030079. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/24869236>. Acesso em: 19 jul. 2024.