

MODELAGEM HIDROLÓGICA E ANÁLISES DE SECAS HIDROLÓGICAS NO CONTEXTO DE TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS

*Letícia Lopes Martins¹; Jener Fernando Leite de Moraes²; Édson Luis Bolfe³; Isabella Clerici
De Maria⁴; Jane Maria de Carvalho Silveira⁵ & Gabriel Constantino Blain⁶*

Palavras-Chave – Modelo SWAT, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos.

INTRODUÇÃO

Mudanças nos padrões meteorológicos, como temperatura, precipitação e umidade relativa, têm provocado impactos significativos no clima em escalas global e regional. Essas alterações intensificam a frequência e a severidade de eventos extremos, como secas e inundações, afetando o ciclo hidrológico e setores essenciais, como agricultura, abastecimento público. Entre os diferentes tipos de seca, destaca-se a seca hidrológica, caracterizada por déficits prolongados nas vazões e reservatórios, causa impactos mais duradouros e severos que a seca meteorológica, especialmente sobre o abastecimento urbano, produtividade agrícola e ecossistemas aquáticos (Teutschbein et al., 2023). Nesse contexto, compreender a dinâmica da seca hidrológica em bacias hidrográficas é fundamental para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

Este estudo integra análises estatísticas de séries históricas hidrometeorológicas com modelagem hidrológica, utilizando métodos estatísticos não paramétricos para detecção de tendências e mudanças abruptas nas séries, além do modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tools), que permite simular processos hidrológicos sob diferentes cenários de clima e de uso do solo (Neitsch et al., 2011).

O objetivo deste estudo foi analisar os sinais de mudanças climáticas e a ocorrência de secas hidrológicas na bacia do Distrito Agrotecnológico de Jacupiranga (SP), quantificando impactos climáticos nas vazões, identificando padrões de seca e fornecendo subsídios técnicos para a gestão de recursos hídricos na região.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado no Distrito Agrotecnológico (DAT) de Jacupiranga, estado de São Paulo. Foram utilizados dados meteorológicos diários de precipitação, temperatura máxima e mínima, no período de 1961 a 2019 (Xavier et al., 2022). Para detectar mudanças abruptas nas séries temporais, aplicou-se o teste de Pettitt, enquanto o teste de Mann-Kendall foi utilizado para detectar mudanças tendências anuais e mensais. Além disso, distribuições paramétricas não estacionárias foram ajustadas por meio de Modelos Aditivos Generalizados para Localização, Escala e Forma (GAMLSS), com o objetivo de caracterizar padrões temporais de mudança (Prela-Pantano et al., 2025). A avaliação da seca hidrológica foi realizada por meio do Índice Padronizado de Vazão (Standardized Streamflow

1) Sensoriamento Remoto – Embrapa Agricultura Digital, Av. Dr. André Tosello, 209, Campinas – SP. leticia.lufv@gmail.com

2) Centro de Solos – Instituto Agronômico de Campinas, Av. Barão de Itapura, 1481, Campinas – SP. jener.moraes@sp.gov.br

3) Sensoriamento Remoto – Embrapa Agricultura Digital, Av. Dr. André Tosello, 209, Campinas – SP. edson.bolfe@embrapa.br

4) Centro de Solos – Instituto Agronômico de Campinas, Av. Barão de Itapura, 1481, Campinas – SP. isabella.maria@sp.gov.br

5) Centro de Biosistemas e Pós-colheita – Instituto Agronômico de Campinas, Av. Theodureto de Almeida Camargo, 1500, Campinas – SP. jane.silveira@sp.gov.br

6) Centro de Biosistemas e Pós-colheita – Instituto Agronômico de Campinas, Av. Theodureto de Almeida Camargo, 1500, Campinas – SP. gabriel.blain@sp.gov.br

Index - SSI), calculado com base na distribuição Generalized Extreme Value (GEV) para períodos de 1-, 3-, 6- e 9-meses, utilizando dados de vazão média mensal. A modelagem hidrológica foi realizada com o modelo SWAT, utilizando dados meteorológicos históricos (1961–2019). Esta integração de dados e técnicas permitirá análises robustas dos impactos combinados das mudanças climáticas e do uso do solo, apoiando o planejamento de estratégias de gestão hídrica sustentável na região.

RESULTADOS

As análises de tendência das variáveis meteorológicas entre 1961 e 2019 indicam um aquecimento significativo na bacia, com aumentos anuais nas temperaturas mínima e máxima. As tendências mensais reforçam esse padrão, com elevações mais acentuadas nos meses de janeiro e outubro. Também foi observado um aumento significativo na precipitação no mês de janeiro. Foram observados padrões não-estacionários nas séries de temperatura e precipitação, indicando variações complexas ao longo do tempo que apontam para sinais consistentes de mudanças climáticas. Esses resultados indicam alterações no balanço energético da bacia, com potencial intensificação da evapotranspiração e consequente modificação dos regimes hidrológicos, com implicações diretas na gestão de recursos hídricos da região. A modelagem hidrológica preliminar realizada com o SWAT para o período de 1966–1971 mostrou que o modelo conseguiu reproduzir razoavelmente o padrão sazonal das vazões, embora tenha superestimado os picos, apontando para a necessidade de calibração mais precisa dos parâmetros hidrodinâmicos. Desde a crise hídrica de 2013–2015, déficits persistentes de vazão foram observados em todas as escalas temporais, especialmente nas mais longas, e eventos úmidos recentes não foram suficientes para reverter esse quadro, sugerindo uma possível alteração no regime hidrológico da bacia.

CONCLUSÕES

As análises de tendência no período de 1961 a 2019 evidenciam aumentos significativos nas temperaturas mínima e máxima, indicando sinais de mudanças climáticas com potenciais impactos sobre a dinâmica hidrológica regional. A persistência das secas hidrológicas desde a crise hídrica de 2013–2015 evidencia uma recuperação lenta do sistema hídrico da bacia. Esses resultados reforçam a necessidade de aprimorar o monitoramento hidroclimático e fortalecer políticas públicas voltadas à conservação da água, visando aumentar a resiliência dos recursos hídricos em escala regional.

REFERÊNCIAS

- NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. *Soil and Water Assessment Tool (SWAT): User's Manual*. Version 2009. Texas Water Resources Institute. 2011.
- PRELA-PANTANO, A., BRUNINI, O., SOBIERAJSKI, G. R., MARTINS, L. L., BLAIN, G. A century and beyond: trends and implications of climate change from Agronomic Institute's historical weather dataset. **Bragantia**, 84, 2025. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20250019>
- TEUTSCHBEIN, C., JONSSON, E., TODOROVIC, A., TOOTOONCHI, F., STENFORS, E., GRABS, T. Future drought propagation through the water-energy-food-ecosystem nexus – A Nordic perspective. **Journal of Hydrology**, 617, 128963, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128963>
- XAVIER, A. C., SCANLON, B. R., KING, C. W., & ALVES, A. I. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). **International Journal of Climatology**, v.42, p.8390– 8404, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.7731>

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), Brasil. (Proc. 2022/09319-9; Proc.[2024/08132-8]).Ao CNPq processos #304609/2022-6 e #302963/2025-1.