

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

*Letícia Lopes Martins<sup>1</sup>; Jener Fernando Leite de Moraes<sup>2</sup>; Édson Luis Bolfe<sup>3</sup>; Isabella Clerici*

*De Maria<sup>4</sup>; Jane Maria de Carvalho Silveira<sup>5</sup> & Gabriel Constantino Blain<sup>6</sup>*

**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 global e regional. Essas alterações aumentam a frequência e intensidade de eventos extremos, como secas e inundações, afetando o ciclo hidrológico e setores essenciais, como agricultura, abastecimento hídrico e gestão ambiental. Dentre os tipos de seca, a seca hidrológica — caracterizada por déficits prolongados em vazões e reservatórios — causa impactos mais duradouros e severos que a seca meteorológica, especialmente no abastecimento urbano, produtividade agrícola e ecossistemas aquáticos (Teutschbein et al., 2023). Assim, compreender sua dinâmica em bacias hidrográficas é fundamental para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

Este estudo integra análises estatísticas de séries hidrometeorológicas históricas com modelagem hidrológica avançada, utilizando métodos não paramétricos para detectar tendências e mudanças abruptas e o modelo SWAT para simular processos hidrológicos sob cenários climáticos e de uso do solo (Neitsch et al., 2011).

O objetivo foi analisar os sinais de mudanças climáticas e a ocorrência de secas hidrológicas na bacia do Distrito Agropecuário de Jacupiranga (SP), quantificando impactos climáticos na vazão, identificando padrões de seca e fornecendo subsídios técnicos para a gestão adaptativa dos recursos hídricos.

### METODOLOGIA

O estudo foi realizado no Distrito Agropecuário (DAT) de Jacupiranga. Dados meteorológicos diários (precipitação, temperatura máxima e mínima) de 1961 a 2019 (Xavier et al., 2022) foram analisados usando o teste de Pettitt para detectar mudanças abruptas e o teste de Mann-Kendall para tendências anuais e mensais. Distribuições paramétricas não estacionárias foram aplicadas via Modelos Aditivos Generalizados para Localização, Escala e Forma (GAMLSS) para caracterizar padrões temporais de mudança (Prela-Pantano et al., 2025). O Índice Padronizado de Vazão (SSI) foi calculado com base na distribuição Generalized Extreme Value (GEV) para períodos acumulados de 1, 3,6 e 9 meses, utilizando dados de vazão média mensal. A modelagem hidrológica no modelo SWAT empregou dados climáticos históricos (1961–2022). O modelo está em fase de calibração/validação comparando vazões simuladas e observadas (1966–

1) Sensoriamento Remoto – Embrapa Agricultura Digital, Av. Dr. André Tosello, 209, Campinas – SP. [leticia.l.ufv@gmail.com](mailto:leticia.l.ufv@gmail.com)

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

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

4) Centro de Solos – Instituto Agronômico de Campinas, Av. Barão de Itapura, 1481, Campinas – SP. [isabella.marina@sp.gov.br](mailto:isabella.marina@sp.gov.br)

5) Centro de Biossistemas e Pós-colheita – Instituto Agronômico de Campinas, Av. Theodureto de Almeida Camargo, 1500, Campinas – SP. [jane.silveira@sp.gov.br](mailto:jane.silveira@sp.gov.br)

6) Centro de Biossistemas e Pós-colheita – Instituto Agronômico de Campinas, Av. Theodureto de Almeida Camargo, 1500, Campinas – SP. [gabriel.blain@sp.gov.br](mailto:gabriel.blain@sp.gov.br)

1971). 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 adaptação na região.

## RESULTADOS

As análises de tendência das variáveis hidroclimáticas entre 1961 e 2019 indicam um aquecimento significativo na bacia, com aumentos anuais de temperatura mínima e máxima em. As tendências mensais mostram tendência de aumento, especialmente em janeiro e outubro, além de um aumento significativo na precipitação em janeiro. Testes não paramétricos indicam que, enquanto a precipitação se manteve estável, as temperaturas mínima e máxima apresentaram elevações lineares significativas, evidenciando mudanças climáticas que afetam o balanço energético da bacia, podendo intensificar a evapotranspiração e alterar os regimes hidrológicos, com importantes impactos na gestão dos recursos hídricos. 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. Esses resultados, associados às tendências de aquecimento, indicam mudanças importantes no regime hidrológico regional, reforçando a urgência em calibrar o modelo para apoiar a análise dos impactos antrópicos e a formulação de estratégias de adaptação climática para a bacia.

## CONCLUSÕES

As análises de tendência no período de 1961 a 2019 revelam aumentos significativos nas temperaturas mínima e máxima, indicando evidências claras de mudanças climáticas com potenciais impactos sobre a dinâmica hidrológica regional. A continuidade das secas hidrológicas desde a crise hídrica de 2013–2015 sugere uma recuperação lenta do sistema hídrico da bacia. Esses resultados, somados à modelagem hidrológica preliminar, ressaltam a importância do fortalecimento de políticas públicas e da adoção de medidas eficazes de conservação da água, visando aumentar a resiliência dos recursos hídricos frente às mudanças climáticas.

## 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., TODOROVIĆ , A., TOOTONONCHI, 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])