

ESTUDO DE MODELOS DE PREVISÃO DE CHEIA EM TEMPO REAL PARA O MUNICÍPIO DE IBIRAMA/SC

Pedro Rodrigues Dourado, Bárbara Rafaela Mohr, Ana Carla da Silva, Rogério Simões, João
Marcos Bosi Mendonça de Moura

INTRODUÇÃO

As inundações representam uma das principais ameaças socioeconômicas no Brasil e no mundo (Sousa; Silva, 2025). Na região do Alto Vale do Itajaí, em Santa Catarina, esses eventos são recorrentes, como demonstrado pelos severos impactos ocorridos em outubro e novembro de 2023 (Garrote, 2012). Embora a região conte com barragens de contenção, a mitigação de danos exige o fortalecimento de medidas não estruturais, principalmente o estabelecimento de sistemas eficazes de monitoramento e alerta precoce em tempo real (Moura; Vieira; Bohn, 2015).

Os modelos físicos tradicionais de previsão hidrológica enfrentam desafios significativos por exigirem, em alguns casos, alto custo computacional e operacional. Nesse contexto a Inteligência Artificial (IA), com destaque para as Redes Neurais Artificiais (RNA), surge como uma solução robusta e de alta performance. Por meio do aprendizado orientado a dados, essas ferramentas identificam padrões complexos entre os índices de chuva, vazão e nível dos rios, entregando previsões ágeis e precisas (Refadah, 2025; Duangkhwon et al., 2026).

Apesar do avanço desses estudos, a literatura existente sobre a bacia do rio Itajaí ainda apresenta uma lacuna em relação a modelos focados especificamente no município de Ibirama/SC (Cordero et al., 2011; Alberton et al., 2021). Nesse contexto, o objetivo dessa pesquisa é desenvolver modelos de previsão de cheia em tempo real para o município de Ibirama/SC e estabelecer perspectivas de aplicação de IA para o desenvolvimento dos mesmos por meio de uma revisão de literatura.

DESENVOLVIMENTO

Ibirama é recorrentemente atingida por desastres socioambientais, com destaque para as inundações e os movimentos gravitacionais de massa. O município se encontra no Alto Vale do Itajaí, na bacia hidrográfica do rio Hercílio, e conta com uma ampla e densa rede de estações hidrometeorológicas sob a propriedade da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e da Secretaria de Estado de Proteção e Defesa Civil de Santa Catarina.

O presente estudo contemplou o desenvolvimento de modelos empíricos de previsão de cheia em tempo real por meio de regressão linear múltipla. Os dados foram provenientes das séries históricas disponíveis nas estações 83430000 e a 83441000 da ANA e nas estações telemétricas da Defesa Civil do Estado de Santa Catarina. Cada modelo de previsão teve sua eficiência quantificada nas etapas de calibração e validação a partir da aplicação dos coeficientes de determinação de Person (R^2).

Na etapa de calibração, foram selecionados de maneira aleatória os eventos de 03/10 a 06/10/2023 e 11/10 a 15/10/2023 para a calibração dos modelos. A partir desses eventos, foram ajustados os coeficientes dos modelos, permitindo identificar a contribuição das diferentes variáveis explicativas para a variação do nível fluviométrico. Posteriormente, na etapa de validação, os modelos calibrados foram testados nos eventos de 06/10 a 11/10/2023, 27/10 a 01/11/2023 e 01/11 a 06/11/2023. As previsões obtidas foram comparadas aos níveis de rio efetivamente observados nesses eventos.

Após esse processo, e com o objetivo de identificar potencialidades no contexto da aplicação de RNA à previsão de cheia em tempo real, foi realizada uma revisão de literatura na base ScienceDirect, considerando apenas artigos publicados em periódicos no ano de 2026. Foram utilizadas como critérios de busca as palavras-chave “machine learning AND neural network AND flood forecasting”, com o objetivo de identificar estudos que integrassem explicitamente essas três dimensões. A partir

dessa busca, selecionaram-se os primeiros 100 artigos elencados pela plataforma, sendo observado que os demais listados possuíam menor aderência temática. Em seguida, foi realizada uma triagem baseada na leitura dos títulos, resumos e conclusões, resultando na exclusão de artigos que não abordavam simultaneamente os três termos definidos como objeto de estudo.

RESULTADOS

Os resultados demonstraram desempenho satisfatório dos modelos de previsão em tempo real para o município de Ibirama/SC com razoável precisão na previsão dos níveis com duas a quatro horas de antecedência (Figura 1). As previsões com antecedência de quatro horas apresentaram maior potencial de incorporação ao sistema de previsão e alerta de inundação do município, pois oferece tempo suficiente para ações de preparação de possíveis eventos de cheia.

De modo geral, os modelos apresentaram valores elevados de R^2 , predominantemente superiores a 0,90, indicando boa correspondência entre os níveis observados e previstos (Figura 1). Também foram desenvolvidos modelos capazes de realizar previsões com antecedência de cinco e seis horas, apresentando R^2 superior a 0,90. Contudo, para o evento de 06/10 a 11/10/2023, observou-se que esses modelos tiveram expressiva superestimação dos picos de cheia devido ao aumento da incerteza. Já a revisão de literatura realizada resultou na análise dos 78 artigos e mostrou a predominância das Long Short-Term Memory – LSTM (37,1%), principalmente por sua capacidade de capturar dependências temporais de longo prazo, essenciais para a previsão de cheias. As CNN (20,2%) aparecem em seguida, especialmente associadas ao uso de dados espaciais. Outras arquiteturas, como RNN, MLP, GRU, GNN, Operadores Neurais e KAN, apresentam menor participação, mas indicam uma tendência de evolução para modelos de integrem informações temporais, espaciais e características físicas das bacias hidrográficas.

Uma limitação importante observada refere-se à distribuição geográfica dos estudos analisados. Dos 100 artigos inicialmente selecionados, apenas dois abordavam regiões do hemisfério sul, revelando uma forte concentração de pesquisas em países do hemisfério norte. Tal lacuna indica a necessidade de ampliar investigações em países em desenvolvimento, onde os impactos das enchentes tendem a ser mais severos e os sistemas de monitoramento mais limitados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implantação de um modelo de previsão de nível de rio em tempo real para o município de Ibirama mostrou-se viável e necessária, sobretudo diante do histórico de eventos extremos e da inexistência de sistemas locais de previsão específicos para o Rio Itajaí do Norte. Os resultados obtidos ao longo do estudo demonstram que, mesmo com o uso de modelos empíricos, é possível atingir estimativas confiáveis e operacionalmente aplicáveis para suporte à gestão de riscos. Em relação ao alcance de previsão, verificou-se que os modelos com horizonte até seis horas apresentaram relevância prática para uso em sistemas de alerta.

A revisão de literatura evidenciou avanços significativos no uso de RNA para a previsão de cheia, com destaque para a predominância de arquiteturas recorrentes e a crescente integração de dados espaciais provenientes de sensoriamento remoto. Além disso, os achados reforçam a importância de futuras pesquisas que integrem diferentes fontes de dados, considerem variabilidades regionais e avancem na construção de modelos mais robustos, interpretáveis e adaptáveis a diferentes cenários hidrológicos sobretudo em países do hemisfério sul.

Com base nos resultados obtidos, recomenda-se que trabalhos futuros considerem: 1) A inclusão de variáveis operacionais da Barragem Norte, como abertura das comportas e nível defluente, visando melhorar a representatividade dos modelos, principalmente daqueles com maior previsão de alcance; 2) O emprego de abordagens híbridas, combinando regressão múltipla com técnicas RNA, com o objetivo de aumentar o desempenho das previsões.

Por fim, ressalta-se que os resultados alcançados constituem um passo importante para fortalecer o sistema de alerta local, reforçando a importância da integração entre ciência, gestão pública e monitoramento em tempo real. Este trabalho confirma que é possível prever o nível do rio em Ibirama com antecedência e boa confiabilidade, contribuindo de forma concreta para a segurança da população e a redução de danos causados por eventos hidrológicos extremos.

Palavras-chave: Redes Neurais Artificiais; Gestão de Riscos, Desastres, Inundação.

ANEXOS

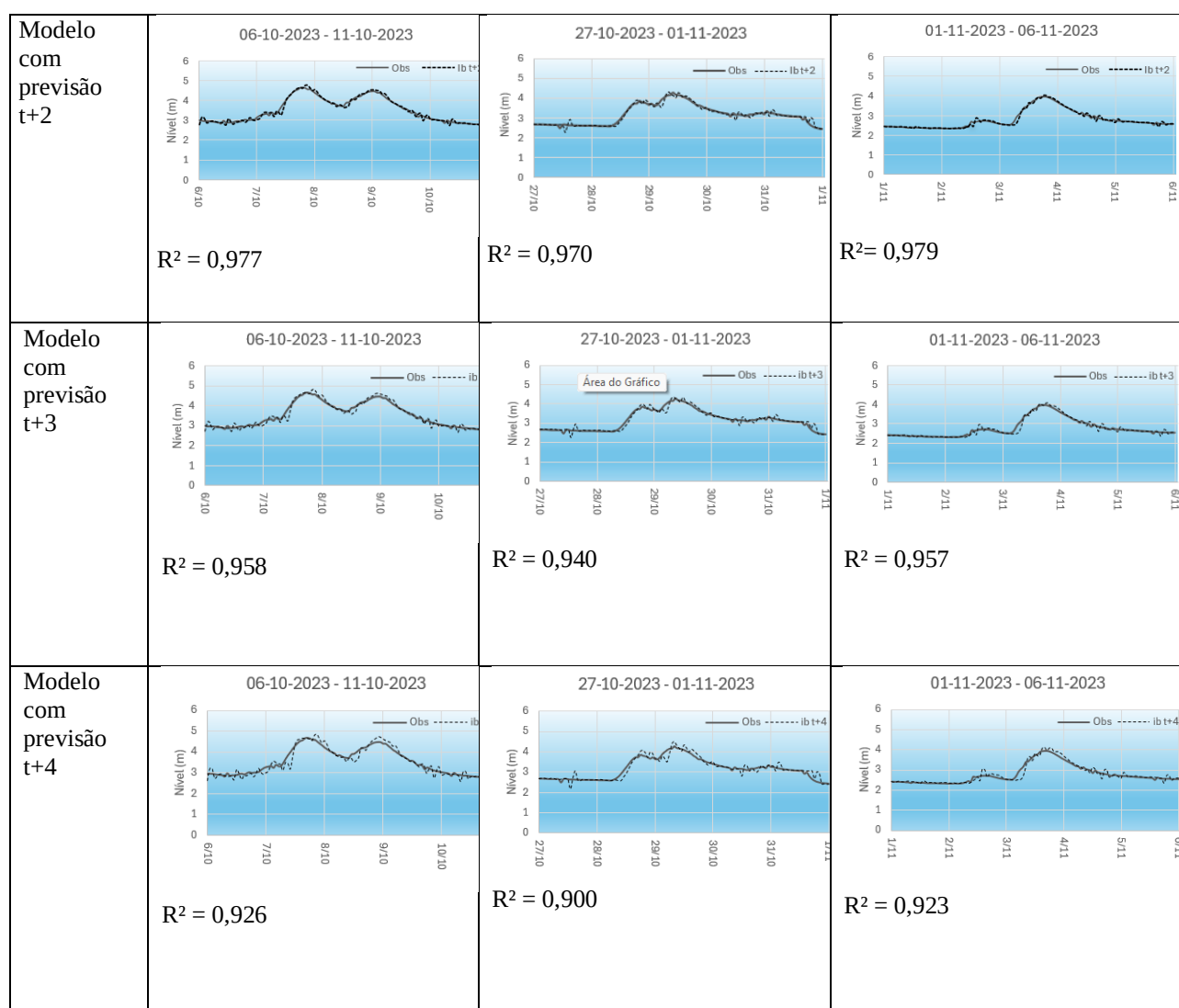


Figura 1. Validação dos modelos de previsão de cheia em tempo real para Ibirama/SC.

Fonte: Autores (2026).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) por meio da concessão de bolsa de iniciação científica aos dois primeiros autores. Agradecemos à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico ANA e à Secretaria de Estado da Proteção e Defesa Civil de Santa Catarina pelo compartilhamento de dados necessários à presente pesquisa. O trabalho

contou com apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina – FAPESC por meio da concessão de bolsa à terceira autora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alberton, Gabriel Barreto et al. Aplicação de redes neurais artificiais para previsão de enchentes no rio Itajaí-açu em Blumenau, SC, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 4, p. 686-696, 2021.

Cordero, A.; Momo, M.R.; Severo, D. L. Previsão de cheia em tempo atual, com um modelo ARMAX para a cidade de Rio do Sul-SC. In: I Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011. **Anais [...]**. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/81/ccad18bf02d5a87b17c23b64e5139d5b_d987acd551ef387e4e219508a27e69c5.pdf. Acesso em: 20 maio 2024.

Duangkhwan, Weeraphat et al. **Enhancing flood forecasting with deep learning: A scalable alternative to traditional hydrodynamic models**. Environmental Modelling and Software, [Oxford], v. 197, 106841, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2025.106841>. Acesso em: 30 abr. 2026.

Garrote, M.S. Os conflitos étnicos entre colonos e índios no sul de Blumenau/SC: memórias. In: Seminário de Pesquisa em Educação da Região Sul, 2012. **Anais [...]**. Disponível em: <https://gphavi.blogspot.com/2012/06/os-conflitos-etnicos-entre-colonos-e.html>. Acesso em: 12 maio 2024.

Moura, J. M. B. M de; Vieira, Rafaela; Bohn, Noemia. Barragem de Contenção de Cheias e Políticas Públicas: o caso de Ituporanga–Santa Catarina, Brasil. **Sustainability in Debate/Sustentabilidade em Debate**, v. 6, n. 3, 2015.

Refadah, Samyah Salem. **Development in flood forecasting: a comprehensive review of complex and machine learning models**. Physics and Chemistry of the Earth, [s. l.], v. 139, 103975, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2025.103975>. Acesso em: 30 abr. 2026.

Souza, Ícaro Andrade; Silva, Vinícius de Amorim. Flood prediction in Brazil: A review of trends, gaps and methodological perspectives. **Journal of South American Earth Sciences**, [s. l.], v. 164, 105637, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2025.105637>. Disponível em: www.elsevier.com/locate/jsames. Acesso em: 30 abr. 2026.