

## **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O MODELO DE APRENDIZADO DE MÁQUINA GRU E O MODELO ARIMA PARA FAZER PREVISÃO DOS NÍVEIS DE RIO PARA RIOS DA BACIA AMAZÔNICA**

Alison Souza Nunes<sup>1</sup>  
Edilson de Carvalho Filho<sup>2</sup>  
Anna Flávia Azevedo dos Santos<sup>3</sup>  
Jeovane da Silva Rodrigues<sup>4</sup>  
Silvalleney Manduca do Carmo<sup>5</sup>

### **1 INTRODUÇÃO**

A Bacia Amazônica, uma das maiores do planeta, sustenta uma vasta e intrincada rede fluvial, essencial para o equilíbrio ecológico do Brasil e de outras nações sul-americanas. Sua extensão territorial favorece a ocorrência de diversidades geográficas e climáticas, que, por sua vez, moldam o comportamento hidrológico de seus rios. No entanto, fenômenos como inundações e secas severas trazem consequências graves para as populações ribeirinhas, a biodiversidade, a economia regional e a saúde pública, aumentando, por exemplo, a incidência de doenças vinculadas à água. Diante disso, o desenvolvimento de métodos e tecnologias para prever a variação dos níveis dos rios amazônicos torna-se crucial, visando o planejamento socioeconômico, à preservação ambiental e à gestão sustentável dos recursos hídricos.

Conforme Pereira (2007), a oscilação entre períodos terrestres e aquáticos, decorrente das mudanças no volume dos rios, impõe restrições à vida nas várzeas, alterando profundamente o cotidiano das comunidades locais. Oliveira, Mafra e Soares (2012) ressaltam que, em áreas alagáveis, os habitantes frequentemente adaptam suas moradias às cheias, erguendo estruturas como passarelas elevadas para transitar entre os cômodos durante as enchentes — uma solução que revela as dificuldades enfrentadas diariamente.

---

<sup>1</sup> Graduando. Universidade do Estado do Amazonas – UEA. asn.mat22@uea.edu.br.

<sup>2</sup> Doutor. Universidade do Estado do Amazonas – UEA. edfilho@uea.edu.br.

<sup>3</sup> Graduanda. Universidade do Estado do Amazonas – UEA. afads.mat19@uea.edu.br.

<sup>4</sup> Graduando. Universidade do Estado do Amazonas – UEA. jdsrd.mat22@uea.edu.br.

<sup>5</sup> Graduanda. Universidade do Estado do Amazonas – UEA. smdc.mat22@uea.edu.br.

De acordo com Pereira (2025), um fator agravante recente foi a ocorrência de secas em mais da metade dos municípios da Amazônia Legal no ano de 2024, o que evidencia a intensificação desse fenômeno ao longo dos anos e ressalta a urgência de ações eficazes de monitoramento e mitigação para minimizar os impactos sobre as populações locais. Nesse contexto, destaca-se que:

Mais da metade dos municípios da Amazônia Legal esteve sob seca durante todo o ano de 2024. Uma análise exclusiva da InfoAmazonia, baseada nos dados do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (Cemaden), revela que, dos 772 municípios da região, 459 (59,5%) sofreram com o problema climático de 1º de janeiro a 31 de dezembro no ano passado (Pereira, 2025, s/p.).

Anualmente, o transbordamento dos rios impacta zonas urbanas, provocando enchentes que devastaram propriedades, mercadorias e infraestruturas (Campos, 2024). Nesse contexto, a previsão precisa dos níveis d'água emerge como uma ferramenta indispensável para a prevenção de desastres, permitindo a adoção de estratégias que minimizem danos sociais e econômicos.

Neste estudo, foram aplicados e comparados dois modelos distintos — ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) e GRU (Gated Recurrent Unit) — com o objetivo de aprimorar a previsão dos níveis dos rios Solimões, Negro, Madeira e Amazonas. A implementação inicial do modelo ARIMA permitiu compreender a estrutura temporal dos dados, embora tenha apresentado instabilidades devido à variabilidade e à forte sazonalidade das séries. Em seguida, o modelo GRU foi implementado nas mesmas estações, mostrando desempenho superior na modelagem das séries temporais, especialmente por sua capacidade de lidar com dependências de longo prazo.

## **2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Este estudo adota uma abordagem comparativa, implementando inicialmente o modelo ARIMA e, em seguida, o modelo GRU para prever os níveis de rios da Bacia Amazônica: Solimões, Negro, Madeira e Amazonas. A seleção desses métodos baseou-se na possibilidade de explorar diferentes características dos dados hidrológicos — o ARIMA, tradicionalmente eficaz na modelagem de padrões lineares em séries temporais, foi útil para análises preliminares; já o GRU, uma arquitetura de rede neural recorrente, demonstrou desempenho

superior na detecção de padrões não lineares e variações complexas, características marcantes nas séries analisadas.

## **2.1 Modelo ARIMA**

- Identificação da ordem do modelo ( $p$ ,  $d$ ,  $q$ ): Serão realizados testes estatísticos (como ACF e PACF) e análises gráficas para determinar os parâmetros adequados.
- Ajuste e validação: O modelo será calibrado com dados históricos de treinamento, e sua performance será avaliada em conjuntos de validação, utilizando métricas como RMSE (Root Mean Square Error).

## **2.2 Modelos de Machine Learning**

- Seleção de algoritmos: Serão testados modelos como Regressão Linear, Random Forest (RF) e Redes Neurais Recorrentes (RNN), visando capturar relações complexas nos dados.
- Treinamento e otimização: Os modelos serão treinados com dados históricos, e técnicas como validação cruzada e grid search serão aplicadas para ajustar hiperparâmetros e melhorar a precisão.
- Avaliação de desempenho: A performance será medida em dados de validação, comparando métricas de erro e capacidade de generalização.

## **2.3 Comparação e Seleção de Modelos**

- Análise comparativa: O desempenho do ARIMA será contrastado com os modelos de machine learning, considerando acurácia, confiabilidade e robustez em diferentes cenários.

## **2.4 Geração de Previsões e Análise de Resultados**

- Previsões em múltiplos horizontes temporais: O modelo selecionado será aplicado para prever níveis dos rios em diferentes períodos (curto, médio e longo prazo).

- Identificação de padrões e tendências: As previsões serão analisadas para detectar sazonalidade, tendências de cheias/secas e possíveis anomalias.
- Avaliação de sensibilidade: Serão testados diferentes cenários, variando parâmetros ambientais e hidrológicos, para verificar a robustez do modelo.

## 2.5 Ferramentas e Dados Utilizados

- Linguagem de programação: Python, com bibliotecas como *statsmodels* (ARIMA), *scikit-learn* (machine learning) e *TensorFlow/Keras* (redes neurais).
- Fontes de dados: Dados históricos de níveis dos rios, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (<https://www.gov.br/ana/pt-br>).

## 3 RESULTADOS PARCIAIS

Durante esta pesquisa foram revisados artigos científicos e trabalhos recentes relacionados à previsão de níveis de rios utilizando modelos estatísticos e técnicas de aprendizado de máquina. A revisão bibliográfica revelou que o modelo ARIMA é amplamente empregado em séries temporais hidrológicas, demonstrando boa capacidade na identificação de padrões lineares. No entanto, diversos estudos destacam que abordagens baseadas em aprendizado de máquina, como as RNNs e GRU, apresentam desempenho superior na modelagem de padrões não lineares presentes nos dados.

Observou-se ainda que, até o momento, são escassas na literatura as investigações que combinam o modelo ARIMA com técnicas de aprendizado de máquina, como RNN ou Random Forest, especialmente em contextos hidrológicos. Isso indica uma lacuna relevante a ser explorada no presente trabalho.

Os dados históricos dos níveis dos rios Solimões, Negro, Madeira e Amazonas foram obtidos junto à ANA, onde as estações estão localizadas respectivamente em Tabatinga, São Gabriel da Cachoeira, Manicoré e Jatuarana. Durante o pré-processamento, foram identificados “buracos” (dados faltantes), os quais foram tratados por meio de interpolação.

Foi feita a implementação do modelo ARIMA onde os testes preliminares apresentaram instabilidades no ajuste, possivelmente em decorrência da elevada variabilidade e da presença de sazonalidade nas séries. Ainda assim, foi possível realizar análises com base nas funções de

autocorrelação (ACF) e autocorrelação parcial (PACF), que contribuíram para uma melhor compreensão das características dos dados.

Posteriormente, foi implementado o modelo GRU (Gated Recurrent Unit) nas mesmas estações, com o objetivo de comparar sua performance com a do ARIMA. O GRU, por ser uma variação das RNNs que apresenta menor complexidade computacional e boa capacidade de lidar com dependências temporais, mostrou-se promissor na captura de padrões complexos nas séries hidrológicas analisadas demonstrando desempenho superior ao modelo ARIMA nos dados trabalhados.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados deste estudo indicam que a aplicação de modelos de previsão como o modelo ARIMA e modelos baseados em técnicas de machine learning representam uma estratégia promissora para previsão dos níveis dos rios amazônicos. Apesar das dificuldades iniciais relacionadas à seleção de parâmetros e à sazonalidade dos dados, as abordagens mostraram-se relevantes frente aos desafios hidrológicos da região.

A integração entre métodos estatísticos e computacionais possibilita uma análise mais precisa e robusta dos dados históricos, promovendo avanços na modelagem hidrológica. A escassez de estudos que exploram essa combinação aponta para o ineditismo e a contribuição potencial desta pesquisa para a gestão de riscos ambientais e planejamento regional.

Espera-se que as análises realizadas e os modelos gerados possam oferecer suporte à tomada de decisões em contextos de cheias e secas extremas, favorecendo políticas públicas preventivas e ações mais eficazes na Bacia Amazônica.

#### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Universidade do Estado do Amazonas (UEA), ao Programa PAIC/FAPEAM pelo apoio institucional e à ANA pela disponibilização dos dados utilizados nesta pesquisa.

#### **REFERÊNCIAS**

CAMPOS M. **Enchentes**. Mundo Educação. Disponível em < <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/enchentes.htm> >. Acesso em: 28 mar. 2025.

NGUYEN, X. H.; PHAN, T. T. H. **Combining statistical machine learning models with ARIMA for water level forecasting: The case of the Red river**. Advances in Water Resources, v. 142, p. 103656, 2020.

OLIVEIRA, V. P.; MAFRA, Marcela V. P.; SOARES, Ana P. A. **Eventos climáticos extremos na Amazônia e suas implicações no município de Manaquiri (AM)**. Revista Geonorte, Edição Especial 2, v.1, n.5, p. 977–987, 2012.

PEREIRA, H. S. **A dinâmica da paisagem Socioambiental das várzeas do rio Solimões-Amazonas**. In: (Org.) FRAXE, T. J. P.; PEREIRA, H. S.; WITKOSKI, A. C. Comunidades ribeirinhas Amazônicas: modos de vida e uso dos recursos naturais. Manaus: EDUA, 2007, p. 12.

PEREIRA, J. **Mais da metade dos municípios da Amazônia passou 2024 inteiro em seca**. Disponível em: < <https://infoamazonia.org/2025/01/25/mais-da-metade-dos-municipios-da-amazonia-passou-2024-inteiro-em-seca> >. Acesso em: 28 mar. 2025.