DESEMPENHO DOS MODELOS DE PREVISÃO DO SAH PARNAÍBA NA ANTECIPAÇÃO DAS COTAS DE ATENÇÃO, ALERTA E INUNDAÇÃO ENTRE 2022 E 2026

Claudio Damasceno de Souza [1]; Roberto José Amorim Rufino Fernandes [1]; Josélia de Carvalho Leão[2]; Ana Héllen Sales Sobral[3]

Palavras-Chave – alerta de cheias; previsão hidrológica; desastres hidrológicos.

INTRODUÇÃO

Os sistemas de previsão e alerta hidrológico são importantes medidas não estruturais para a redução dos impactos das inundações ribeirinhas. O monitoramento dos níveis dos rios e a previsão de sua evolução permitem antecipar situações críticas e ampliar o tempo disponível para a atuação dos órgãos de proteção e defesa civil.

A avaliação de previsões hidrológicas deve considerar tanto métricas contínuas, relacionadas à magnitude dos erros, quanto métricas categóricas, associadas à capacidade de identificar corretamente a ocorrência ou não de condições críticas (Wilks, (2019); Jolliffe, Stephenson (2012); WMO (2025)). Nesse contexto, a avaliação do desempenho frente à ultrapassagem de cotas operacionais fornece informação diretamente relacionada à finalidade dos sistemas de previsão e alerta.

O Serviço Geológico do Brasil – SGB opera, desde dezembro de 2015, o Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Parnaíba – SAH Parnaíba, que realiza previsões em sete pontos dos rios Parnaíba, Poti, Marathaoan e Longá, abrangendo municípios do Piauí e Maranhão.

Os modelos utilizados são do tipo cota–cota e autorregressivos, baseados em regressões lineares múltiplas que relacionam os níveis observados nas estações de montante e na própria estação de previsão. As antecedências nominais variam entre 8 e 12 horas.

Avaliações anteriores concentraram-se em indicadores contínuos, como correlação e erro percentual. Este estudo adota uma abordagem categórica e operacional, com o objetivo de avaliar a capacidade dos modelos de antecipar corretamente as condições de normalidade, atenção, alerta e inundação entre 2022 e 2026, considerando acertos, subestimativas, superestimativas, probabilidade de detecção, razão de falso alarme e índice crítico de sucesso.

METODOLOGIA

Foram analisados 3.055 pares de cotas previstas e observadas, referentes às estações Barão de Grajaú, Teresina CHESF, Coelho Neto, Luzilândia, Fazenda Cantinho II, Pedrinhas e Esperantina. Os registros abrangem o período de 2022 a 2026 e correspondem às previsões operacionais produzidas pelo SAH Parnaíba.

Para o cálculo dos indicadores categóricos POD, FAR e CSI, cada par individual de previsão e observação foi considerado uma ocorrência independente na matriz de contingência. Assim, durante um mesmo evento de cheia, ultrapassagens consecutivas de determinada cota operacional geraram múltiplos pares de previsão–observação. Os indicadores apresentados, portanto, avaliam o

1) Pesquisador em Geociências – SGB, Rua Goiás, 312, Frei Serafim, Teresina-PI, CEP 64.001-620, Tel. (86) 3222-4153, e-mail: claudio.damasceno@sgb.gov.br; roberto.fernandes@sgb.gov.br
2) Professora do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual do Piauí; Rua espirito Santo, 996, Acarape, Teresina/PI, CEP 64003-750, Tel (86) 3213-2424, e-mail: joselialeao@gmail.com
3) Mestranda Universidade Federal do Piauí – UFPI. E-mail: anahellen132@hotmail.com

desempenho operacional das previsões emitidas ao longo do período analisado e não a capacidade de detecção de eventos de cheia considerados individualmente.

Essa abordagem foi adotada por representar a rotina operacional do SAH Parnaíba, na qual cada previsão emitida constitui uma informação utilizada para acompanhamento da evolução dos níveis e suporte à tomada de decisão.

As tabelas 1 e 2 apresentam as cotas de atenção, alerta e inundação utilizadas na classificação dos níveis, bem como a antecedência nominal dos modelos e os indicadores utilizados na avaliação operacional das previsões.

Tabela 1 – Cotas operacionais e antecedências dos modelos de previsão.

Estação	Atenção (cm)	Alerta (cm)	Inundação (cm)	Antecedência
Barão de Grajaú	550	680	898	8 h
Teresina CHESF	490	550	687	8 h
Coelho Neto	650	700	800	8 h
Luzilândia	400	500	570	12 h
Fazenda Cantinho II	800	900	1000	10 h
Pedrinhas	320	390	420	8 h
Esperantina	540	640	740	8 h

Tabela 2 – Indicadores utilizados na avaliação operacional das previsões.

Indicador	Fórmula	Significado dos termos	Interpretação
Probabilidade de detecção — POD	$POD = \frac{H}{H+M}$	(H): ultrapassagens corretamente previstas; (M): ultrapassagens observadas, mas não previstas.	Mede a capacidade do modelo de detectar as ultrapassagens das cotas operacionais. Quanto mais próximo de 1, melhor o desempenho.
Razão de falso alarme — FAR	$FAR = \frac{F}{H+F}$	(F): ultrapassagens previstas, mas não confirmadas pelos níveis observados; (H): ultrapassagens corretamente previstas.	Representa a proporção de previsões de ultrapassagem que não se confirmaram. Quanto mais próximo de 0, melhor o desempenho.
Índice crítico de sucesso - CSI	$CSI = \frac{H}{H+M+F}$	(H): ultrapassagens corretamente previstas; (M): ultrapassagens observadas, mas não previstas; (F): ultrapassagens previstas, mas não confirmadas.	Avalia conjuntamente os acertos, os eventos não detectados e os falsos alarmes. Quanto mais próximo de 1, melhor o desempenho.

Nota: os valores previstos e observados foram classificados nas condições normal, atenção, alerta e inundação, conforme as cotas operacionais de cada estação. A previsão foi considerada correta quando os valores previsto e observado pertenciam à mesma classe, subestimada quando a classe prevista era inferior à observada e superestimada quando era superior.

RESULTADOS

Das 3.055 previsões analisadas, 2.948 apresentaram a mesma classe operacional dos níveis observados, correspondendo a um acerto global de 96,50%. As subestimativas, nas quais a classe prevista foi inferior à observada, representaram 1,80% dos registros, enquanto as superestimativas corresponderam a 1,70%. Esses resultados indicam ausência de tendência sistemática de previsão de condições mais ou menos críticas. Entretanto, as subestimativas apresentam maior relevância para a gestão de riscos, pois podem representar situações críticas não antecipadas.

O percentual de acerto permaneceu superior a 96% entre 2022 e 2025. O melhor resultado ocorreu em 2025, com 98,15%, embora esse valor deva ser interpretado com cautela devido ao menor número de registros. Em 2024, o acerto alcançou 97,19%, mesmo com a ocorrência de alguns erros elevados

em centímetros. Isso demonstra que diferenças numéricas relativamente altas podem permanecer dentro da mesma faixa operacional, sem alterar a decisão associada à previsão.

Tabela 3 – Evolução anual da classificação operacional das previsões.

Ano	N - pares dados	Acerto	Subestimativa	Superestimativa
2022	1.24	96,69%	1,77%	1,53%
2023	653	96,32%	2,30%	1,38%
2024	640	97,19%	1,41%	1,41%
2025	108	98,15%	1,85%	0,00%
2026	414	94,69%	1,69%	3,62%

Em 2026, o acerto diminuiu para 94,69%, principalmente em razão do aumento das superestimativas, que atingiram 3,62%. As subestimativas permaneceram próximas dos valores observados nos demais anos, indicando que a redução do desempenho esteve mais relacionada à previsão de condições superiores às posteriormente registradas do que ao aumento de situações críticas não detectadas.

Detecção das cotas operacionais

A capacidade de antecipar as ultrapassagens das cotas de atenção, alerta e inundação apresentou desempenho elevado em todo o período analisado.

Tabela 4 – Indicadores de detecção das cotas operacionais entre 2022 e 2026.

Cota	Acertos (H)	Não detectados (M)	Falsos alarmes (F)	POD	FAR	CSI
Atenção	1.493	16	19	98,94%	1,26%	97,71%
Alerta	882	33	22	96,39%	2,43%	94,13%
Inundação	146	6	11	96,05%	7,01%	89,57%

Para a cota de atenção, 1.493 das 1.509 ultrapassagens observadas foram corretamente previstas, resultando em probabilidade de detecção de 98,94% e CSI de 97,71%. Na cota de alerta, a probabilidade de detecção foi de 96,39%, com 33 ocorrências não detectadas e 22 falsos alarmes.

Para a cota de inundação, 146 das 152 ultrapassagens observadas foram corretamente previstas, correspondendo a uma probabilidade de detecção de 96,05%. A razão de falso alarme foi de 7,01%, superior à das demais cotas, em parte devido ao menor número de ocorrências, que aumenta o peso percentual de cada erro.

A evolução da previsão de inundação entre 2022 e 2024 foi um dos principais resultados do estudo. Nesse período, o CSI aumentou de 71,43% para 97,44%, enquanto a probabilidade de detecção passou de 90,91% para 98,70% e a razão de falso alarme diminuiu de 23,08% para 1,30%. Em 2025 e 2026 não foram registradas ultrapassagens da cota de inundação na base analisada.

Desempenho por estação

O desempenho operacional variou entre as estações, conforme apresentado na Tabela 5.

Teresina CHESF apresentou 99,02% de acerto, com baixos percentuais de subestimativa e superestimativa. Barão de Grajaú alcançou 97,90%, tendo previsto corretamente todas as 52 ocorrências acima da cota de alerta, sem falso alerta. Esse resultado mostra que os erros absolutos identificados nessa estação nem sempre alteraram sua classificação operacional.

Coelho Neto apresentou 96,30% de acerto, embora sua análise seja limitada pelo menor número de registros e pela ausência de ocorrências acima das cotas de alerta e inundação. Luzilândia obteve

probabilidade de detecção de 98,76% para atenção, 97,63% para alerta e 100% para inundação. Todas as 25 ocorrências acima da cota de inundação foram corretamente previstas, sem falso alarme, resultado relevante considerando a antecedência nominal de 12 horas.

Tabela 5 – Desempenho da classificação operacional por estação.

Estação	Acerto	Subestimativa	Superestimativa
Barão de Grajaú	97,90%	0,84%	1,26%
Teresina CHESF	99,02%	0,39%	0,59%
Coelho Neto	96,30%	1,85%	1,85%
Luzilândia	94,91%	2,15%	2,94%
Fazenda Cantinho II	99,39%	0,00%	0,61%
Pedrinhas	95,78%	2,44%	1,78%
Esperantina	91,56%	5,33%	3,11%

Fazenda Cantinho II apresentou o maior acerto global, com 99,39%. Contudo, apenas seis registros ultrapassaram a cota de atenção, de modo que esse resultado foi influenciado pela predominância de condições normais. Pedrinhas apresentou 95,78% de acerto, com POD de 97,68% para alerta e 94,23% para inundação.

Esperantina apresentou o menor acerto global, com 91,56%, e o maior percentual de subestimativas, 5,33%. Para a cota de alerta, o POD foi de 92,61%, enquanto, para inundação, atingiu 96,00%. Esses resultados indicam maior dificuldade na classificação das transições entre atenção, alerta e inundação, justificando a priorização dessa estação em futuras avaliações e atualizações do modelo.

CONCLUSÕES

Os modelos do SAH Parnaíba apresentaram elevado desempenho operacional entre 2022 e 2026, com 96,5% de acerto na classificação das condições normal, atenção, alerta e inundação. As probabilidades de detecção foram de 98,94% para atenção, 96,39% para alerta e 96,05% para inundação, com baixos índices de falso alarme.

A previsão da cota de inundação apresentou evolução expressiva entre 2022 e 2024, com aumento do CSI de 71,43% para 97,44%. Luzilândia destacou-se pela elevada capacidade de detecção, mesmo com antecedência de 12 horas, enquanto Esperantina apresentou maior frequência de subestimativas e deve ser priorizada em futuras avaliações.

Os resultados demonstram que a análise categórica complementa os indicadores tradicionais de erro, pois permite verificar se a previsão altera a condição operacional e, consequentemente, a tomada de decisão. Recomenda-se, portanto, combinar métricas contínuas e categóricas na avaliação periódica dos modelos do SAH Parnaíba.

REFERÊNCIAS

JOLLIFFE, I. T.; STEPHENSON, D. B. (eds.). *Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science*. 2. ed. Chichester: Wiley-Blackwell, 2012. 304 p.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. Hidrologia estatística. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.

WILKS, D. S. Statistical methods in the atmospheric sciences. 4.ed. Amsterdam: Elsevier, 2019. 840 p.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION – WMO. *Guidelines on the Verification of Hydrological Forecasts*. Geneva: WMO, 2025. WMO-No. 1364.