ANÁLISE RETROSPECTIVA DE PREVISÃO DOS GRANDES EVENTOS DE INUNDAÇÃO NA ESTAÇÃO CAIS MAUÁ (PORTO ALEGRE – RS)

Rafaela Cristina de Oliveira [1]; Fernando Mainardi Fan [2]; Matheus Sampaio Medeiros[2]; Ingrid Petry[2]; Juan Martin Bravo[2], Francisco F. N. Marcuzzo[3]; Camila Dalla Porta Mattiuzi [3]; Franco Turco Buffon [3]

Palavras-Chave – Previsão Hidrológica, MGB, enchentes.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos ocorreram grandes eventos de inundação em várias bacias hidrográficas do estado do Rio Grande do Sul, tendo como destaque a excepcional inundação de maio de 2024 em que parte dos rios monitorados atingiram níveis máximos registrados em suas séries históricas (Marcuzzo *et al.*, 2026). No ano de 2023 destacam-se as cheias históricas ocorridas nos meses de setembro e novembro na bacia do rio Taquari (Moraes *et al.*, 2024) e no mês de novembro tanto na bacia do rio Caí (SGB, 2024) quanto na bacia do rio Uruguai (Mattiuzi e Matos, 2023). Já nos meses de abril e maio de 2024 as cheias anteriores foram ultrapassadas e eventos mais fortes foram registrados na bacia que drena para a Laguna dos Patos, impactando também na bacia do rio Uruguai (Collischonn *et al.*, 2025). Em 2025, o estado voltou a ser impactado por novos eventos de cheia, afetando em especial as bacias dos rios Uruguai e Jacuí (G1, 2025).

Paiva *et al.* (2025a) analisaram o histórico da ocorrência de inundações na bacia hidrográfica do Rio Guaíba, identificando que a década mais recente, entre os anos de 2015 e 2024, as cheias extremas podem estar se tornando maiores e mais frequentes do que o esperado. Petry *et al.* (2025) identificou que existe um sinal de intensificação dos eventos de cheia em rios como o Taquari e o Caí, onde a vazão máxima no período histórico com TR de 5 anos pode dobrar e para o TR 100 anos pode ter um aumento 5 vezes na frequência de ocorrência no período futuro.

Diante desse cenário, a utilização de métodos para desenvolver resiliência climática torna-se essencial para mitigar os impactos das inundações, como o investimento em medidas estruturais e não estruturais. Collischonn *et al.* (2025) ressalta que sistemas de previsão e alerta devem existir independente de medidas estruturais ou não estruturais e que a existência de medidas estruturais não elimina a possibilidade de ocorrerem inundações, já que essas obras hidráulicas podem falhar durante a ocorrência de cheias.

Mediante a necessidade do aprimoramento das previsões, buscando a preparação para eventos de cheia, o objetivo principal desse trabalho é avaliar a previsibilidade hidrológica das principais bacias do Rio Grande do Sul Hidrológico (RSH), quantificando o desempenho das previsões ao longo de diferentes horizontes e os limites operacionais do sistema de previsão, usando diferentes cenários de chuva: modelo meteorológico, chuva zero e chuva perfeita. Essa configuração permite avaliar separadamente as incertezas associadas a propagação hidrológica e à previsão meteorológica. Os resultados contribuem para o aprimoramento do sistema de alerta de cheias, fornecendo subsídios para a interpretação e comunicação de incertezas.

METODOLOGIA

As previsões foram geradas usando o Modelo de Grandes Bacias (MGB), que é um modelo hidrológico semi-distribuído, que simula os processos hidrológicos em bacias hidrográficas de grande escala (Pontes *et al.*, 2007). O modelo possui uma versão adaptada para a geração de previsões no denominado Rio Grande do Sul Hidrológico (RSH), que corresponde à região hidrográfica do estado do Rio Grande do Sul, estendendo-se para além de seus limites administrativos (Fan *et al.*, 2021; Sampaio Medeiros *et al.*, 2025; Paiva *et al.*, 2025b). As previsões foram emitidas para o período de

1) Doutoranda no PPGRHSA (UFRGS, IPH), Porto Alegre (RS), rafaela.cristina@ufrgs.br
2) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Porto Alegre (RS).
3) Serviço geológico do Brasil (SGB), Porto Alegre, (RS).

simulação de 31/12/2019 até 31/12/2025, de forma diária, sempre considerando começando às 22h devido à disponibilidade dos dados de previsão de chuva. Para gerar previsões retrospectivas o modelo hidrológico é forçado com diferentes cenários de precipitação considerando as previsões e cenários ocorridos no passado.

Para representar o desempenho de previsões oriundas de produtos de modelos meteorológicos foram escolhidas as previsões determinísticas utilizando o membro controle, oriundas do modelo geral de circulação atmosférica do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) (Molteni *et al.*, 1996). O uso de chuva com valor zero em todo o horizonte de previsão buscou investigar por quanto tempo os dados observados de chuva anteriores a data de início da previsão influenciam a resposta hidrológica da bacia hidrográfica, e como consequência, influenciam os resultados de previsão. No cenário da chuva "perfeita" os dados de precipitação prevista utilizados no modelo hidrológico são substituídos por valores observados em estações pluviométricas, buscando representar de forma mais fidedigna a precipitação que realmente ocorreu na bacia hidrográfica. Para avaliar os resultados foram feitas análises visuais das previsões durante os grandes eventos de cheia e também foram calculadas métricas de desempenho.

RESULTADOS

Na estação 87450004 (Cais Mauá C6) (Figura 1) as previsões do MGB conseguiram informar, no evento de setembro de 2023, que as cotas de atenção, alerta e inundação seriam ultrapassadas, em três momentos diferentes ao longo do mês. Ocorreu uma superestimativa do pico entre os dias 07 e 08 de setembro, e um deslocamento de pico nos dias 14 e 27 de setembro. Já na cheia de novembro de 2023 as previsões indicavam desde outubro que a cota de atenção seria ultrapassada, com uma superestimativa, que foi sendo diminuída com a proximidade ao dia 05. As previsões começaram a indicar que a cota de inundação poderia ser ultrapassada prevendo níveis próximos a 3 metros, que foram aumentando de magnitude aproximando-se do dia 21.

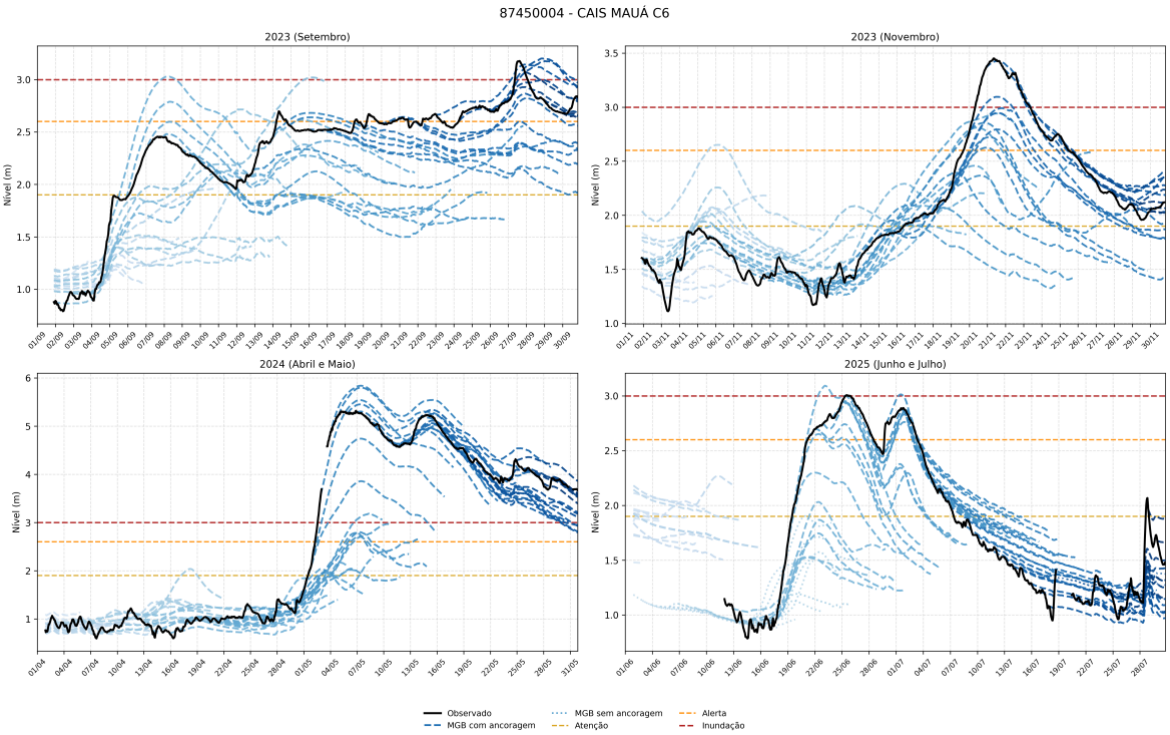


Figura 1. Previsões geradas com o modelo MGB para a estação 87450004 usando a chuva prevista do ECMWF para os meses de cheia dos anos de 2023, 2024 e 2025. Fonte: autoria própria.

No evento histórico dos meses de abril e maio de 2024 as previsões indicavam que a cota de inundação seria ultrapassada no dia 02 de maio, e que o pico seria próximo do dia 07 de maio. Com

a proximidade ao evento a acurácia das previsões foi aumentando para os horizontes menores, e novas informações como repique da cheia e duração puderam ser extraídas das previsões. Após a interrupção das medições da estação Cais Mauá C6, cuja série foi complementada com informações da estação Usina do Gasômetro, é possível observar que as previsões do MGB conseguiram representar o comportamento da cheia ao longo de todo o mês de maio, com uma tendência de leve superestimativa dos picos.

Nos meses de junho e julho de 2025 as previsões do MGB indicaram que ocorreriam dois picos no evento de inundação, cujo primeiro tangenciaria a cota de inundação e o segundo ficaria entre as cotas de alerta e inundação. Assim como no evento histórico de 2024, as previsões foram apresentando maior acurácia na representação dos níveis a medida em que os picos se aproximavam da data de emissão da previsão.

Na sequência, foram calculadas as métricas do erro médio absoluto (EMA), erro médio relativo (EMR) e Nash–Sutcliffe (NSE) ao longo das antecedências dos 15 dias de previsão, para o período de 2020 a 2025. Na estação 87450004 (Cais Mauá C6) (Figura 2) as métricas indicam que a previsibilidade da bacia é de aproximadamente 48 horas, o EMA pode variar até 0,25 metros, o EMR varia, aproximadamente de -5% a 5% e o NSE pode-se aproximar de 0,7 nos horizontes próximos a 15 dias. Os resultados com ondulações ocorrem em função das grandes cheias no contexto da avaliação das métricas. Como novas previsões foram emitidas diariamente, estas grandes cheias aparecem regularmente em horizontes de previsão avaliados, ocasionando uma alteração na métrica apenas nestes horizontes onde elas são computadas a cada nova previsão. Esses eventos históricos distanciam-se muito dos valores dos níveis médios da bacia e acabam sendo propagados ao longo dos diferentes horizontes de previsão, gerando esse tipo de comportamento do gráfico de métricas (um ruído). Com séries maiores de previsão este ruído tende a ficar diluído. De qualquer forma, os resultados são suficientes para averiguação do sinal, não sendo o ruído comprometedor para compreensão destes.

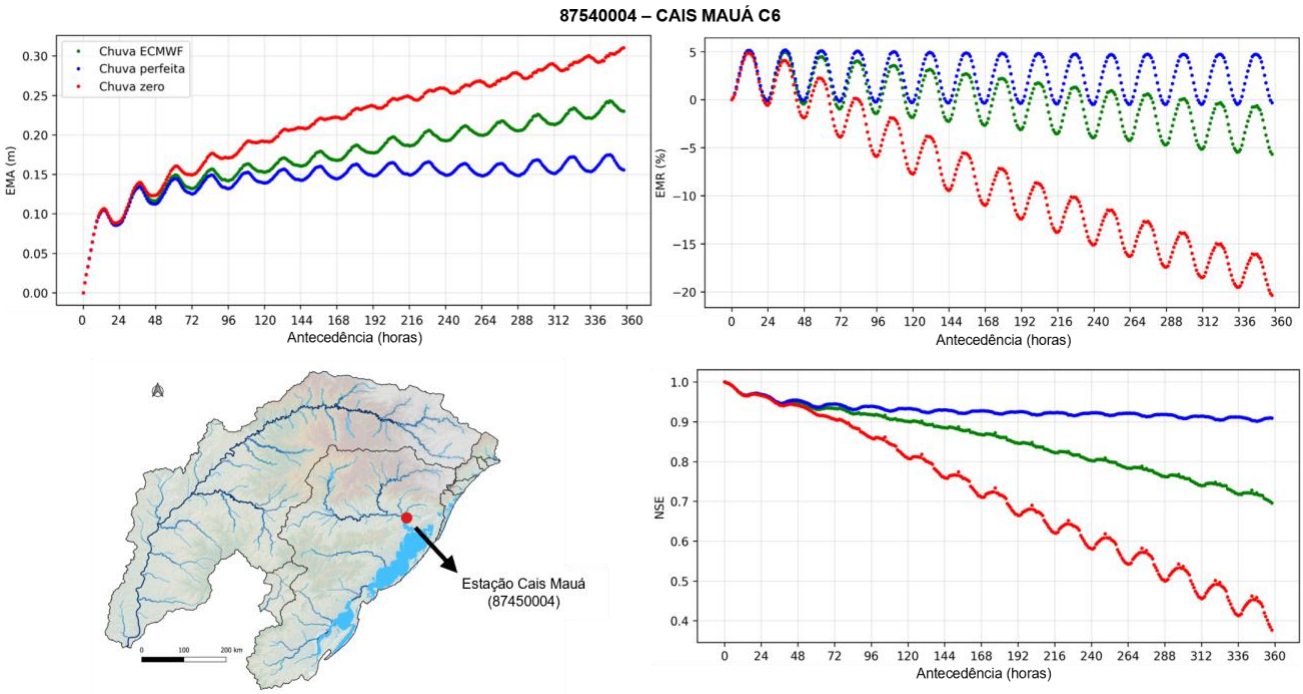


Figura 2. Resultado das métricas de desempenho para a estação 87450004 para o período de 2020 a agosto de 2025. Fonte: autoria própria.

CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que os valores de NSE obtidos nas simulações com chuva perfeita indicam que as limitações do sistema de previsão estão associadas às incertezas na previsão meteorológica, e não à estrutura do modelo hidrológico. A análise baseada nos cenários de chuva zero

e chuva perfeita permitiu identificar o tempo característico de previsibilidade da estação, identificando que em horizontes menores que 48h o desempenho das previsões é dominado pelas chuvas antecedentes na bacia, refletindo a propagação da onda de cheia já estabelecida na rede de drenagem. Para horizontes maiores, em especial maiores que 72h, o desempenho passa a ser controlado predominantemente pela qualidade da previsão de chuva. Do ponto de vista operacional, os resultados reforçam que o sistema de previsão hidrológica auxilia no suporte à tomada de decisão, especialmente quando interpretado considerando as incertezas associadas a cada uma das variáveis utilizadas. A comunicação clara dessas limitações é essencial para o uso das previsões em contextos de eventos extremos.

REFERÊNCIAS

COLLISCHONN, W.; FAN, F. M.; PAIVA, R. C. D.; et al. (2025). "The exceptional hydrological disaster of April-May 2024 in southern Brazil". Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.30.

Fan, F. M.; Alves, E. M.; Siqueira, V. A.; Fernandez, G. M. R.; Laipelt L.; Breda, J. P. L.; Ruhoff, A.; Paiva, R. C. D., Fleischmann, A.S. 2021. Relatório Final do Subprojeto Avaliação de Estimativas de Áreas Inundadas do Modelo MGB.

G1 (2025). "Chuva no RS: quase 8 mil pessoas estão fora de casa e 121 cidades sofrem prejuízos; há 3 mortos e 1 desaparecido". Disponível em: https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2025/06/21/chuva-no-rs-quase-8-mil-pessoas-estao-fora-de-casa-e-121-cidades-sofrem-prejuizos-ha-3-mortos-e-1-desaparecido.ghtml. Acesso em: 17 fev. 2026.

MARCUZZO, F. F. N.; KENUP, R. E.; ZANETTI, H. P.; BENVENUTTI, L.; OLIVEIRA, M. P. de; WILSON, E. da S.; ACOSTA, C. C.; BAO, R. (2026). Nota Técnica: aferição direta e avalição indireta do nível máximo de rios em estações fluviométricas e marcas de inundação no Rio Grande do Sul na grande cheia de maio de 2024. 16ª versão. Porto Alegre: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2026. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br//handle/doc/24939.18. Acesso em: 18 jun. 2026.

MATTIUZI, C. D. P.; MATOS, A. J. S. (2023). Relatório de operação do Sistema de Alerta Hidrológico da bacia do Rio Uruguai 2023. Serviço Geológico do Brasil (SGB), Brasília/DF.

MOLTENI, F.; BUIZZA, R.; PALMER, T. N.; PETROLIAGIS, T. (1996). "The ECMWF Ensemble Prediction System: Methodology and validation". Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v.122, n.529, p.73–119.

MORAES, S. R.; COLLISCHONN, W.; BUFFON, F. T.; ECKHARDT, R. R. (2024). Revisão e consolidação da série histórica dos níveis das cheias do rio Taquari em Lajeado de 1939 a 2023. Nota Técnica. Porto Alegre/RS. Disponível em: www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=001199403&loc=2024&l=7818d897802ef3c6.

PAIVA, R. C. D.; FAN, F. M.; COLLISCHONN, W.; MEDEIROS, M. S.; OLIVEIRA, R. C.; LIMA, S. G.; CAMARGO, P.; MEDEIROS, P. M. (2025b). Caracterização e modelagem das cheias de 2023 e 2024 no Rio Grande do Sul em escala regional. Relatório Técnico. Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS), Porto Alegre/RS.

PAIVA, R. C. D.; et al. (2025a). "Adaptação e resiliência a cheias no Rio Grande do Sul no contexto da variabilidade e mudança climática", in RS: Resiliência & Sustentabilidade: Reflexões para Reconstrução do Rio Grande do Sul. Org. por Ferrer, J. C. C.; Daneris, M. T.; Marques, P. R., ed. Libretos, Porto Alegre/RS, pp.262–291.

PETRY, I.; et al. (2025). "Changes in Flood Magnitude and Frequency Projected for Vulnerable Regions and Major Wetlands of South America". Geophysical Research Letters, v.52, n.5.

PONTES, P.; FAN, F. M.; FLEISCHMANN, AYAN SANTOS; PAIVA, R.; BUARQUE, D. C.; SIQUEIRA, V. A.; JARDIM, P.; SORRIBAS, M.; COLLISCHONN, WALTER. (2017) "MGB model for hydrological and hydraulic simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS. Environmental Modelling & Software". v. 94, p. 1-20.

SAMPAIO MEDEIROS, M.; FAN, F. M.; PAIVA, R. C. D. (2025). "Emergency forecasts for water levels in the Guaíba River during the 2024 unprecedented flood in South Brazil". Revista Brasileira de Recursos Hídricos.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB); BASIL (2024). "São Sebastião do Caí (RS) registra a 3ª maior cheia da história em seis meses". Disponível em: https://www.sgb.gov.br/w/sao-sebastiao-do-cai-rs-registra-a-3-maior-cheia-da-historia-em-seis-meses. Acesso em: 21 dez. 2024.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece as bolsas de financiamento da "Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior" (CAPES) e do projeto "Aprimoramento de Sistema de Alerta de Cheias para o Rio Grande do Sul", TED parceria entre o Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH-UFRGS) e o Serviço Geológico do Brasil (SGB).