

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **Previsões de chuva subestimaram volumes nas inundações de 2024 no RS**

*Ingrid Petry<sup>1</sup>; Fernando Fan<sup>2</sup>; Walter Collishconn<sup>3</sup>; Rafaela Cristina Oliveira<sup>4</sup>*

#### **ABSTRACT**

This study presents a post-event analysis of rainfall forecasts issued by the ECMWF (European) and NCEP (American) models during the historic floods that impacted the state of Rio Grande do Sul, Brazil, between April and May 2024. Forecasts with a 24-hour lead time were evaluated against data from the MERGE product, focusing on the Guaíba, Litoral, and Uruguai river basins. The results show that, even at short lead times, both models exhibited significant errors—particularly in the Guaíba basin, where rainfall was underestimated by up to 60 mm on the most critical days. In addition to the magnitude discrepancies, spatial displacements in the predicted rainfall cores were also observed. In contrast, forecast errors for the Litoral and Uruguai basins fluctuated around -20 and 20 mm. These findings highlight that, while ongoing improvements to hydrological models are essential, the reliability of flood forecasting remains highly dependent on the accuracy of rainfall predictions. Therefore, it is crucial to reassess precipitation predictability.

**Keywords:** Floods; rainfall forecasting; flood prediction.

#### **RESUMO**

O presente estudo realiza uma análise pós-evento das previsões de chuva emitidas pelos modelos ECMWF (Europeu) e NCEP (American) durante as inundações históricas que atingiram o estado do Rio Grande do Sul entre abril e maio de 2024. Foram utilizadas previsões com horizonte de 24 horas, comparadas com os dados produto MERGE, com foco nas bacias hidrográficas do Guaíba, Uruguai e Litorâneas. Os resultados indicam que, mesmo em horizontes curtos, os modelos apresentaram erros significativos, especialmente na bacia do rio Guaíba, onde foi registrada uma subestimativa de até 60 mm nos dias mais críticos. Além da magnitude, foram identificados deslocamentos espaciais nos núcleos de precipitação previstos. Em contraste, nas bacias Litorâneas e Uruguai, os modelos oscilaram em torno de 20 e -20 mm. Os achados reforçam que, embora o aprimoramento dos modelos hidrológicos seja essencial, a qualidade da previsão de cheias depende fortemente da acurácia da previsão de chuva. Assim, destaca-se a necessidade de reavaliar a previsibilidade da precipitação.

**Palavras-Chave** – Inundações; previsão de chuva; previsão de cheias.

1) IPH/UFRGS: [ingrid.petry@ufrgs.br](mailto:ingrid.petry@ufrgs.br)

2) IPH/UFRGS: [fernando.fan@ufrgs.br](mailto:fernando.fan@ufrgs.br)

3) IPH/UFRGS: [collischonn@iph.ufrgs.br](mailto:collischonn@iph.ufrgs.br)

4) IPH/UFRGS: [rafaela.cristina@ufrgs.br](mailto:rafaela.cristina@ufrgs.br)

## INTRODUÇÃO

A previsão de cheias é uma ferramenta essencial para mitigar os impactos das inundações. Técnicas de modelagem hidrológica são comumente utilizadas para estimar as condições hidrológicas futuras com base em dados observados, como precipitação, nível dos rios, vazão e umidade do solo. No entanto, para que o horizonte de previsão ultrapasse o tempo de concentração da bacia hidrográfica, é necessário incorporar dados de previsão de chuva.

Essas previsões são geralmente provenientes de Modelos Numéricos de Previsão do Tempo, desenvolvidos por instituições como o Centro Europeu de Previsão Meteorológica de Médio Prazo (ECMWF), o Serviço de Meteorologia do Reino Unido (Met Office), os Centros Nacionais de Previsão Ambiental dos Estados Unidos (NCEP) e o Serviço Meteorológico Alemão (ICON). Esses dados não são apenas utilizados por especialistas da área de previsão, mas também fazem parte do cotidiano de pessoas do mundo todo após os smartphones se tornarem essenciais nas tarefas diárias. A previsão do tempo com dados de temperatura e de chuva está facilmente acessível nos dispositivos móveis, tanto para locais específicos quanto em formatos gráficos, como mapas interativos.

No final de abril de 2024, uma frente fria persistente sobre o Rio Grande do Sul, somado a complexos convectivos de meso-escala (Reboita et al., 2024), resultaram em chuvas sem precedentes. O evento atingiu seu ápice em 5 de maio, quando o nível do rio Guaíba alcançou 5,35 metros em Porto Alegre, configurando a enchente mais severa já registrada na capital gaúcha (Collischonn et al., 2024). O evento causou uma devastação significativa no estado, afetando 478 dos 497 municípios e desalojando mais de 423 mil pessoas. O impacto financeiro ultrapassou as fronteiras estaduais, considerando que o Rio Grande do Sul representa 6,5% do PIB do Brasil.

Dúvidas surgiram em relação à previsibilidade do evento de chuva volumosa e intensa, tanto pela comunidade científica quanto pela população que não conseguiu identificar nas previsões meteorológicas disponíveis o volume real de precipitação registrado por estações meteorológicas. Esse descompasso entre a previsão e a realidade observada levanta questionamentos sobre a eficácia dos modelos meteorológicos na previsão de chuvas extraordinárias.

Este trabalho apresenta uma análise pós-evento dos dados de previsão de chuva para o território do Rio Grande do Sul, focando em dois centros meteorológicos mais utilizados no Brasil, o ECMWF, comumente referido como modelo Europeu, e o NCEP, conhecido como modelo Americano. O objetivo é examinar e comparar os dados de previsão disponibilizados por esses centros, promovendo uma reflexão sobre o papel da previsão de chuva na antecipação de eventos de cheia. Cabe ressaltar, contudo, que esta análise se concentra em um único evento extremo e, portanto, não se propõe a avaliar de forma abrangente o desempenho dos modelos considerados — o que exigiria uma amostra mais extensa e uma abordagem estatística robusta para validação.

## METODOLOGIA

Foram utilizados dados de previsão de chuva emitidos a partir de 28 de abril de 2024, gerados diariamente à meia-noite, com valores acumulados em intervalos de 24 horas. Dessa forma, a análise considerou exclusivamente o horizonte de previsão de 24 horas (ou horizonte 1). As previsões foram comparadas com os dados do produto MERGE (Rozante; Rozante, 2024), que mescla dados observados de estações de monitoramento com dados doIMERG, proveniente de dados de satélite do GPM. Para isso, foram baixados os dados horários do MERGE referentes ao período do evento e, posteriormente, acumulados em intervalos de 24 horas, de modo a viabilizar a comparação direta com os dados de previsão.

O estado do Rio Grande do Sul foi dividido conforme suas principais bacias hidrográficas: Litoral, Guaíba e Uruguai. Para cada bacia, foi calculada a precipitação média a partir da média aritmética simples dos valores de todos os pixels contidos dentro dos seus limites geográficos. Como os pixels possuem o mesmo tamanho espacial, cada um contribui igualmente para o valor final, não sendo necessário aplicar ponderações por área. Em seguida, realizou-se a comparação entre os acumulados médios previstos e os valores do MERGE, a fim de avaliar o desempenho dos produtos de previsão em representar adequadamente a distribuição espacial da chuva prevista.

Em seguida, foi calculada a diferença entre os volumes de precipitação previstos e observados para cada bacia, permitindo a quantificação do viés dos modelos. Esses valores foram plotados ao longo dos dias analisados, com o objetivo de identificar possíveis padrões sistemáticos de superestimação ou subestimação nas previsões.

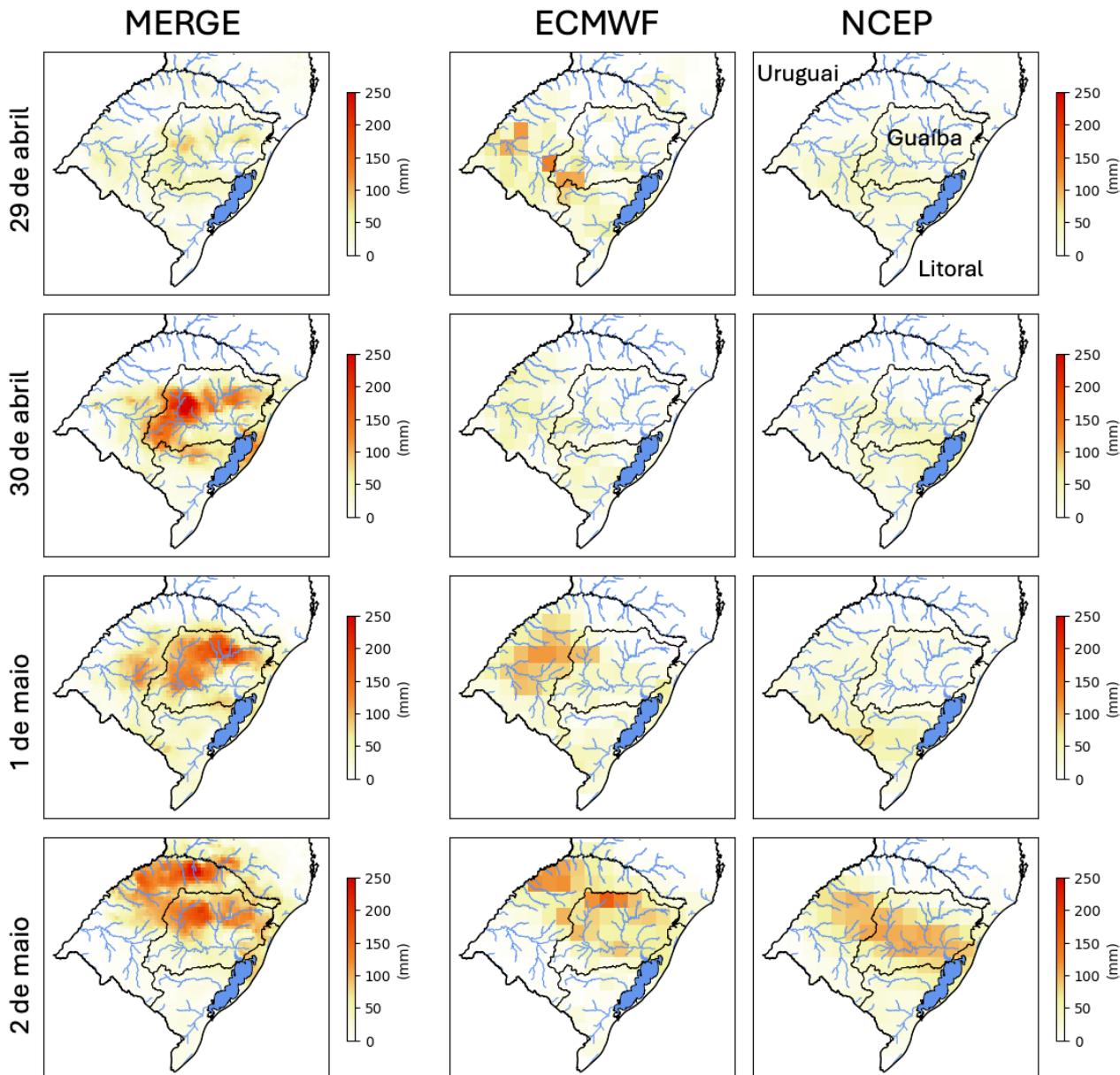
## RESULTADOS

A avaliação da qualidade das previsões de chuva emitidas pelos modelos ECMWF e NCEP foi iniciada por meio da comparação espacial entre os campos previstos e os dados de precipitação do MERGE. A Figura 1 apresenta os mapas com os acumulados diários de precipitação, no período de 28 de abril a 2 de maio de 2024, tanto para os dados MERGE quanto para as previsões emitidas à meia-noite de cada respectivo dia. Essa análise permite visualizar, de forma qualitativa, a distribuição espacial da chuva prevista em relação àquela registrada, possibilitando a identificação de padrões de acerto, deslocamentos espaciais e possíveis sub ou superestimativas nas diferentes regiões do estado do Rio Grande do Sul.

Observando-se os mapas apresentados na Figura 1, nota-se que os modelos de previsão subestimaram de forma consistente os volumes de precipitação em comparação com os dados do MERGE. Essa subestimativa é particularmente evidente no dia 30 de abril de 2024, quando foram registrados os maiores acumulados, mas também se repete nos dias subsequentes, 1º e 2 de maio. Em geral, os modelos apresentaram dificuldades em capturar a magnitude dos núcleos de chuva mais intensa.

Além da subestimativa dos volumes, também se observa, em alguns casos, um deslocamento espacial nas previsões em relação à localização real das áreas com maior precipitação. Esse comportamento é particularmente notável na previsão do modelo ECMWF para o dia 1º de maio, quando o núcleo de chuva intensa foi previsto em uma posição diferente daquela registrada pelos dados do MERGE.

Figura 1 – Mapas de precipitação diária (acumulada em 24 horas) no estado do Rio Grande do Sul, entre os dias 28 de abril e 2 de maio de 2024. A primeira coluna apresenta os valores do MERGE horário, acumulados entre 00h e 23h de cada dia. As colunas seguintes mostram as previsões dos modelos ECMWF e NCEP, respectivamente, também acumuladas em 24 horas, com base nas rodadas emitidas à meia-noite do respectivo dia.



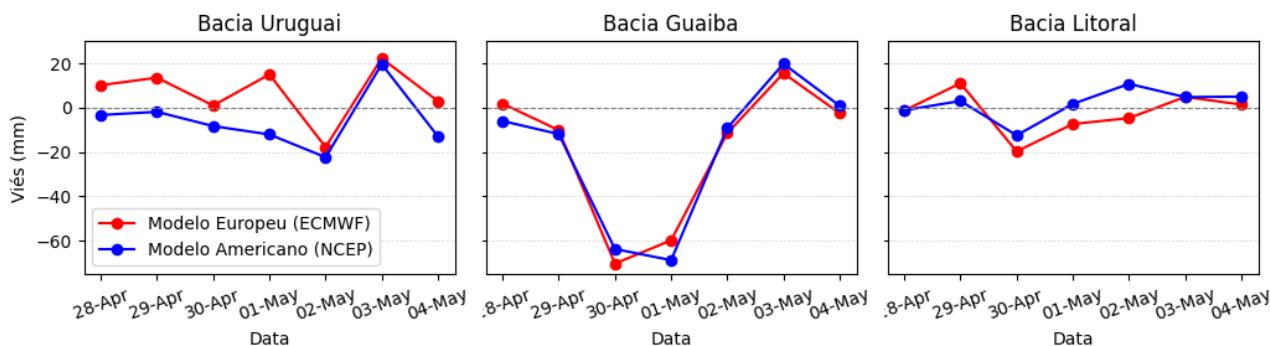
A Figura 2 apresenta o viés diário da precipitação média prevista em relação aos dados do MERGE para os modelos ECMWF e NCEP, nas bacias do Uruguai, Guaíba e Litoral, no período de 28 de abril a 4 de maio de 2024. O viés foi calculado como a diferença entre os valores previstos e observados (MERGE), expressa em milímetros. Valores positivos indicam que o modelo superestimou a precipitação, enquanto valores negativos indicam subestimativa. A linha pontilhada em zero serve como referência, indicando ausência de viés.

A análise da Figura 2 revela que, na bacia do rio Guaíba, ambos os modelos — ECMWF e NCEP — apresentaram uma subestimativa de até 60 mm de precipitação nos dias 30 de abril e 1º de maio, justamente quando foram registrados os núcleos de chuva convectiva mais intensos. Esse comportamento pode indicar uma limitação dos modelos meteorológicos em representar adequadamente eventos de precipitação convectiva, que tendem a ser mais localizados e de curta duração, dificultando sua previsão mesmo em horizontes curtos. Em contraste, nas bacias do Litoral

e do rio Uruguai, o desempenho dos modelos foi mais equilibrado, com os valores de viés entre 20 e -20 mm.

É importante destacar que todas as previsões analisadas possuem um horizonte de 24 horas, sendo, portanto, os produtos com maior acurácia normalmente disponíveis para a tomada de decisão. Ainda assim, observou-se uma subestimativa significativa, especialmente na bacia do rio Guaíba. Esse resultado reforça a limitação dos modelos mesmo em horizontes curtos, o que se agrava em previsões com maior antecedência, nas quais a variabilidade e a incerteza aumentam substancialmente.

Figura 2 – Viés diário da precipitação média prevista em relação aos dados do MERGE nas bacias do Uruguai, Guaíba e Litoral, entre 28 de abril e 4 de maio de 2024. Valores positivos indicam superestimativa, e negativos, subestimativa. As linhas representam os modelos ECMWF (vermelho) e NCEP (azul).



## CONCLUSÕES

Este estudo realizou uma análise pós-evento das previsões de chuva emitidas pelos modelos ECMWF e NCEP durante o evento extremo de precipitação que afetou o estado do Rio Grande do Sul no final de abril e início de maio de 2024. A comparação entre os dados previstos e os valores do MERGE revelou limitações importantes nos modelos, mesmo no horizonte de 24 horas — considerado o mais confiável para aplicações operacionais. Em especial, observou-se uma subestimativa dos volumes de precipitação na bacia do rio Guaíba de até 60 mm nos dias 30 de abril e 1º de maio, onde ocorreram os impactos mais severos associados à cheia histórica do rio Guaíba. Nas bacias do Litoral e do Uruguai, o desempenho dos modelos foi mais equilibrado, com o viés oscilando em torno de zero, alternando entre superestimativas e subestimativas de até 20 mm ao longo dos dias analisados.

Além do volume, também foram identificados deslocamentos espaciais nas previsões, com núcleos de chuva previstos em regiões distintas das registradas, como ocorreu com o modelo ECMWF em 1º de maio. Tais falhas comprometem a capacidade de antecipação e resposta a eventos extremos, especialmente em regiões urbanas vulneráveis. A análise do viés diário reforça a necessidade de avanços na modelagem numérica.

Por fim, é importante destacar que, enquanto se investem esforços contínuos no aprimoramento dos modelos hidrológicos com o objetivo de reduzir os erros nas previsões de cheias, a qualidade dessas previsões pode continuar comprometida se as estimativas de precipitação utilizadas como entrada apresentarem grandes desvios. Como demonstrado neste estudo, as previsões de chuva podem superestimar ou subestimar significativamente os volumes reais, afetando diretamente a acurácia dos modelos hidrológicos, mesmo que bem calibrados. Portanto, além do aperfeiçoamento dos modelos hidrológicos, é fundamental reavaliar e fortalecer a previsibilidade da chuva, com foco na melhoria dos modelos meteorológicos e na redução das incertezas associadas às suas previsões.

## REFERÊNCIAS

COLLISCHONN, Walter *et al.* The exceptional hydrological disaster of April-May 2024 in southern Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 2024.

REBOITA, Michelle Simões *et al.* A Multi-Scale Analysis of the Extreme Precipitation in Southern Brazil in April/May 2024. **Atmosphere**, v. 15, n. 9, 1 set. 2024.

ROZANTE, José Roberto; ROZANTE, Gabriela. IMERG V07B and V06B: A Comparative Study of Precipitation Estimates Across South America with a Detailed Evaluation of Brazilian Rainfall Patterns. **Remote Sensing**, v. 16, n. 24, 1 dez. 2024.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Serviço Geológico Brasileiro (SGB) pelo financiamento através do projeto 1.20.2501 (586) - Aprimoramento de Sistema de Alerta de Cheias para o Rio Grande do Sul Hidrológico, Convênio nº 971773/2024. A primeira autora também agradece ao CNPq pela bolsa de doutorado concedida.