

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

PERFORMANCE DAS ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO HORÁRIA E DIÁRIA DAS BASES IMERG EARLY, LATE E FINAL DURANTE O EVENTO DE CHUVA DE JUNHO DE 2023 NO RIO GRANDE DO SUL

Camila Dalla Porta Mattiuzi¹; Karine Pickbrenner²

Abstract: Precipitation is one of the main hydrological variables, especially in the context of extreme weather events. This study analyzed the accuracy of IMERG satellite precipitation products (Early, Late, and Final) against in situ measurements from 19 rain gauges during the extratropical cyclone that affected Rio Grande do Sul, Brazil, in June 2023. The analysis was conducted at hourly and daily scales using statistical and categorical metrics. Results indicate that IMERG Early and Late products systematically underestimated rainfall, while the Final product tended to overestimate it. The IMERG Early performed best in locations with lower rainfall totals, showing significant underestimation in stations with higher observed accumulations. Daily-scale data showed better correlation than hourly-scale data across all products. Although satellite-based precipitation products can provide near real-time data, its use without ground validation may lead to wrong understandings when forecasting extreme events. These findings highlight the importance of maintaining rain gauge networks to obtain reliable data, which can be used for calibration and validation of satellite data.

Resumo: A precipitação é uma das principais variáveis do monitoramento hidrológico, especialmente no contexto de eventos extremos. O objetivo deste estudo foi avaliar a acurácia dos produtos de precipitação por satélite IMERG (Early, Late e Final) em comparação com medições in situ de 19 pluviômetros durante o ciclone extratropical que atingiu o Rio Grande do Sul em junho de 2023. A análise foi realizada nas escalas horária e diária, utilizando métricas estatísticas e categóricas. Os resultados apontaram que os produtos IMERG Early e Late subestimaram sistematicamente os volumes de precipitação, enquanto o produto Final superestimou. O IMERG Early teve melhor desempenho em pluviômetros com menores totais de precipitação, apresentando maiores desvios em estações com acumulados mais elevados. Os dados em escala diária apresentaram melhores resultados do que em escala horária. Apesar da vantagem que os produtos de precipitação por satélite têm de fornecer dados quase em tempo real, seu uso sem validação por dados in situ pode levar à interpretações erradas durante eventos extremos. Os resultados deste trabalho reforçam a importância da manutenção das redes pluviométricas para obtenção de informações de precipitação confiáveis, as quais podem ser utilizadas para calibração e validação dos dados de satélite.

Palavras-Chave – precipitação; IMERG; análise comparativa

1) SGB - Serviço Geológico do Brasil - Rua Banco da Província, 105 - Santa Teresa - Porto Alegre/RS - CEP 90.840-030, Tel.: (51) 3406-7300. camila.mattiuzi@sgb.gov.br, camilamattiuzi@gmail.com

2) SGB - Serviço Geológico do Brasil - Rua Banco da Província, 105 - Santa Teresa - Porto Alegre/RS - CEP 90.840-030, Tel.: (51) 3406-7300. karine.pickbrenner@sgb.gov.br

INTRODUÇÃO

A precipitação é uma das principais variáveis do monitoramento hidrológico, sendo essencial para a gestão dos recursos hídricos, para o dimensionamento de estruturas e obras e para estudos e calibrações de modelos hidrológico. Destaca-se a importância do conhecimento da precipitação de forma confiável e rápida, o que possibilita subsidiar as previsões hidrológicas em situações de eventos extremos, tais como inundações.

Nos últimos anos ocorreram eventos de precipitação que deflagraram desastres hidrológicos e geológicos extremos no Rio Grande do Sul, como os eventos ocorridos em abril e maio de 2024 (Collischonn *et al.*, 2025). Para a região sul do Brasil, estudos têm identificado tendências de aumento na frequência e intensidade de eventos extremos de precipitação, possivelmente associadas às mudanças climáticas (Petry *et al.*, 2025). No monitoramento hidrológico, as estimativas de precipitação por satélite têm sido utilizadas de forma complementar às observações de pluviômetros, já que permitem a quantificação contínua e homogênea da precipitação em diversas escalas espaciais e temporais. Entretanto, os produtos de satélite estão sujeitos a vieses e erros, sendo necessária a validação destes dados com medições *in situ*. (Bock *et al.*, 2023)

Portanto, o objetivo deste estudo é a acurácia das estimativas de precipitação do produto IMERG Early, Late e Final, em níveis horário e diário, em relação às magnitudes reais de precipitação registradas em pluviômetros automáticos em eventos extremos. Para isso, foi selecionado o evento do ciclone extratropical que ocorreu no Rio Grande do Sul em junho de 2023 como estudo de caso.

METODOLOGIA

Contextualização do evento

Entre os dias 15 e 16 de junho de 2023 um ciclone extratropical provocou inundações severas em parte do Rio Grande do Sul nas regiões dos Vales do rio Caí e rio dos Sinos. As consequências deste evento foram perdas de vida humana e animal, e impactos sociais e econômicos: foram confirmadas 16 mortes, 59 municípios com decretos de situação de emergência e/ou calamidade, e uma estimativa de cerca de R\$ 92 milhões para recuperação dos principais danos (RS, 2023; Pickbrenner, Weschenfelder e Pinto, 2023).

O evento apresentou intensidade pluviométrica excepcional, com registros de acumulados de chuva superiores a 200 mm, sendo os maiores acumulados de chuva em áreas próximas ou junto à Serra do Mar, entre o Vale do Caí, o Vale dos Sinos e áreas entre a Serra e o Litoral Norte. A tragédia foi causada por um fenômeno que combina fortes chuvas com condições geomorfológicas e climatológicas específicas de determinadas regiões. O detalhamento da caracterização do evento pode ser encontrado em Pickbrenner, Weschenfelder & Pinto (2023) e Pickbrenner *et al.* (2025).

Dados de entrada

A área de estudo e a distribuição dos pluviômetros selecionados para análise estão apresentados na Figura 1 e na Tabela 1. Foram utilizados dados contínuos de precipitação de nove estações pluviométricas automáticas da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), operadas pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB) em parceria com a Agência Nacional de Águas (ANA), além de seis estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e o quatro estações do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN).

As imagens de precipitação por satélite do IMERG (Integrated Multi-satellitE Retrievals) são produtos da missão da GPM (Global Precipitation Measurement) da NASA, têm resolução espacial de 0,1° (aprox. 10km) e disponibilidade temporal de 01/01/1998 até o presente (NASA, 2025). As estimativas de precipitação do IMERG estão disponíveis em três formatos: Early, Late e Final, cuja

principal diferença são a latência, que é de 4h, 14h e 3,5 meses, respectivamente, e os métodos de correção dos dados.

A rapidez na disponibilização do IMERG Early pode permitir aplicações para as quais são necessários dados em tempo quase real, como monitoramento climático e estimativas de precipitação para previsões de inundações rápidas. Entretanto, o IMERG Early também apresenta a menor acurácia pois, devido ao curto intervalo para sua disponibilização, o dado passa por alguns algoritmos para ajuste e recalibração (forward morphing), além de considerar informações da climatologia mensal. Já os dados do IMERG Late, por terem uma latência um pouco maior, em torno de 14h, podem ser utilizados para análises de curto período que não requeiram dados em tempo quase real; nesta versão os dados passam por um processo com outras etapas de ajuste (forward and backward morphing) e também consideram informações da climatologia mensal. Por fim, os dados do IMERG Final são disponibilizados com latência de 3,5 meses e contam com ajustes de dados observados em estações *in situ* (ground observations). Mais informações podem ser obtidas em Huffman *et al.* (2024) e Huffman *et al.* (2023).

Foram utilizados os produtos IMERG Early, Late e Final na Versão 07; as imagens são disponibilizadas em intervalos de meia hora no horário UTC-0; a partir das coordenadas dos 19 postos pluviométricos foram extraídas as séries de precipitação IMERG. As observações *in situ* de precipitação foram obtidas através do portal Hidrotelemetria (ANA, 2025) e de *retrieves* de estações automáticas operadas pelo SGB, do portal BDMEP (INMET, 2025) e do Mapa Interativo (CEMANDEN, 2025). Todas as séries foram acumulados para intervalos de 1h, e corrigidos os horários para UTC-3. O período analisado foi de 13/06/2023 00:00 até 18/06/2023 00:00.

Figura 1 – Localização da área de estudo e das estações pluviométricas

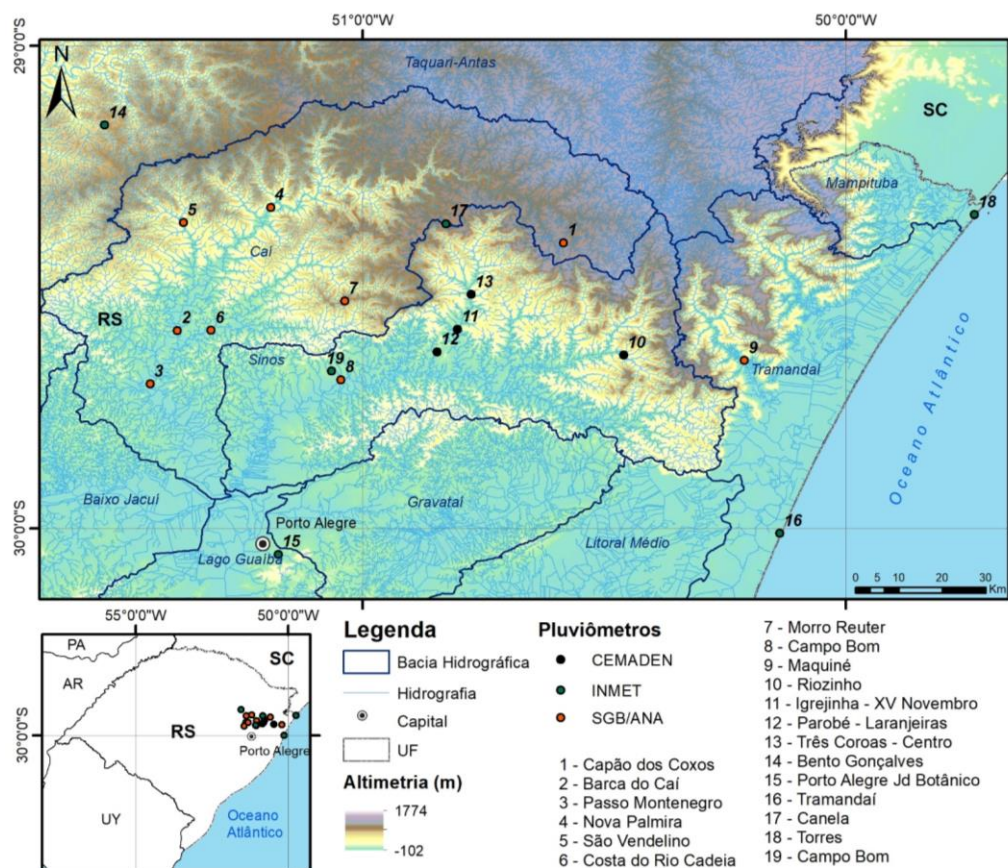


Tabela 1 – Dados das estações pluviométricas utilizadas

ID	Estação	Código	Município	Sub-bacia	Operador	Alt (m)	Lat	Long
1	Capão dos Coxos	2950045	São Francisco de Paula	Caí	SGB/ANA	890	-29.4083	-50.5842
2	Barca do Caí	2951143	São Sebastião do Caí	Caí	SGB/ANA	-1,00	-29.59	-51.3833
3	Passo Montenegro	2951080	Montenegro	Caí	SGB/ANA	10,0	-29.7008	-51.44
4	Nova Palmira	2951022	Caxias do Sul	Caí	SGB/ANA	80,0	-29.335	-51.1903
5	São Vendelino	2951027	São Vendelino	Caí	SGB/ANA	140	-29.3664	-51.3711
6	Costa do Rio Cadeia	2951081	São Sebastião do Caí	Caí	SGB/ANA	23,0	-29.5897	-51.3136
7	Morro Reuter	2951142	Morro Reuter	Caí	SGB/ANA	492	-29.5289	-51.0369
8	Campo Bom	2951139	Campo Bom	Sinos	SGB/ANA	12,0	-29.6919	-51.045
9	Maquiné	2950117	Maquiné	Tramandaí	SGB/ANA	13,0	-29.6519	-50.2092
10	Riozinho	431575001A	Riozinho	Sinos	CEMADEN	85,0	-29.6407	-50.4596
11	Igrejinha - XV Novembro	431010807A	Igrejinha	Sinos	CEMADEN	30,0	-29.5872	-50.8036
12	Parobé - Laranjeiras	431405001A	Parobé	Sinos	CEMADEN	51,0	-29.634	-50.846
13	Três Coroas - Centro	432170903A	Três Coroas	Sinos	CEMADEN	55,0	-29.515	-50.775
14	Bento Gonçalves	A840	Bento Gonçalves	Taquari	INMET	623,3	-29.1646	-51.5342
15	Porto Alegre Jd Botânico	A801	Porto Alegre	Lago Guaíba	INMET	41,2	-30.0536	-51.1747
16	Tramandaí	A834	Tramandaí	Tramandaí	INMET	4,6	-30.0103	-50.1358
17	Canela	A879	Canela	Caí	INMET	830,9	-29.3689	-50.8272
18	Torres	A808	Torres	Mampituba	INMET	8,4	-29.3503	-49.7333
19	Campo Bom	A884	Campo Bom	Sinos	INMET	23,4	-29.6743	-51.064

Métricas de avaliação

A análise do ajuste entre as estimativas de precipitação de satélite e os valores observados nos pluviômetros foi realizada em níveis horário e acumulado diário através de três parâmetros estatísticos e dois parâmetros categóricos, os quais foram escolhidos através de revisão bibliográfica de outros estudos de comparação de precipitação observada e estimada (Lv e Wu, 2024; Silva *et al.*, 2024; Arregocés *et al.*, 2023; Bock *et al.*, 2023; Horta *et al.*, 2023; López-Bermeo *et al.*, 2022; Ramadhan *et al.*, 2022; Zhu *et al.*, 2022; Sharifi *et al.*, 2016).

O viés percentual (PBIAS) indica a tendência sistemática entre os valores observados (pluviômetro) e estimados (satélite), conforme Equação 1. O PBIAS varia entre -100% e +100%, sendo o valor ideal igual a zero, o qual representaria um ajuste sem viés; valores positivos de PBIAS indicam subestimação dos dados de satélite em relação aos dados observados, e valores negativos indicam superestimação. O erro quadrático médio (RMSE), apresentado na Equação 2, é um parâmetro que mede a dispersão entre os dados observados e estimados, ou seja, quanto menor o valor, menor será a incerteza dos dados. Idealmente, o valor do RMSE deveria ser zero. O coeficiente de correlação de Pearson (r) mede associação linear entre duas variáveis através da divisão entre a covariância das variáveis pelo produto dos seus desvios padrão. Este parâmetro pode variar de +1 a -1, sendo que valores positivos indicam associação positiva entre as variáveis, ou seja, quando o valor de uma variável aumenta, o valor da outra variável também aumenta, enquanto valores negativos indicam associação negativa; resultados de r igual a 0 indicam nenhuma associação entre as variáveis.

Nas Equações 1 a 3, P^{plu} corresponde à precipitação observada, P^{sat} à precipitação estimada através do satélite, e n é o tamanho da amostra.

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n P_i^{plu} - P_i^{sat}}{\sum_{i=1}^n P_i^{plu}} * 100 \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i^{sat} - P_i^{plu})^2}{n}} \quad (2)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{sat} - \bar{P}_{sat})(P_{obs} - \bar{P}_{obs})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{sat} - \bar{P}_{sat})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{obs} - \bar{P}_{obs})^2}} \quad (3)$$

Além de parâmetros estatísticos também foram utilizadas duas métricas categóricas para avaliar a capacidade de detecção de precipitação dos produtos de satélite, são elas: POD (probabilidade de detecção) e FAR (razão de falso alarme), apresentadas nas Equações 4 e 5, nas quais A representa o registro de precipitação que foi observada no pluviômetro e também no satélite, B representa o registro de precipitação que foi observada no satélite porém não foi observada no pluviômetro, e C representa a precipitação que foi observada no pluviômetro porém não foi observada no produto de satélite.

O parâmetro POD corresponde à fração de eventos de precipitação que foram corretamente identificados, ou seja, é a razão entre o número de acertos e a soma entre o número de acertos e de omissões; já o FAR corresponde à proporção de eventos que foram falsamente identificados pelos produtos de satélite, chamados de falsos positivos. Ambos parâmetros variam entre 0 e 1, sendo o valor ideal 1 para o POD e 0 para o FAR. Para a identificação dos eventos de precipitação no cálculo do POD e do FAR foi colocada uma restrição de utilizar somente os eventos com registro superior a 0,2 mm, pois este é o limite mínimo dos pluviômetros automáticos utilizados na Rede Hidrometeorológica Nacional.

$$POD = \frac{A}{A+C} \quad (4)$$

$$FAR = \frac{B}{A+B} \quad (5)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente serão apresentados os resultados em termos do conjunto das estações pluviométricas analisadas, em nível diário e horário e, na sequência, a análise individual por estação.

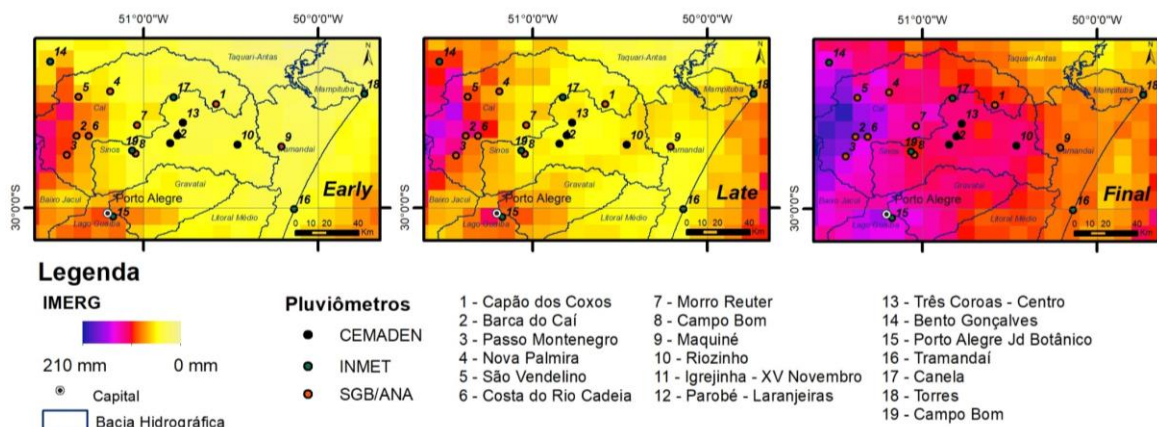
Precipitação do conjunto

Na Figura 2 estão apresentadas as imagens raster que correspondem à precipitação acumulada entre os dias 13/06/2023 00:00 e 18/06/2023 00:00 dos produtos de satélite IMERG Early, Late e Final. Além da variação em valores absolutos, observa-se que, na primeira estimativa (Early), a região central da imagem apresenta baixos valores acumulados, e que nas imagens seguintes (Late e Final), as quais contam com maior processamento, os valores acumulados já são maiores.

A Figura 3 apresenta o boxplot dos volumes acumulados considerando todas as estações pluviométricas e IMERG Early, Late e Final e as respectivas estatísticas, considerando os acumulados no período de 13/06/2023 00:00 a 18/06/2023 00:00. Observa-se que tanto o Early quando o Late apresentaram valores mínimos, medianos e máximos inferiores aos observados nas estações *in situ*, enquanto as estatísticas do IMERG Final foram superiores aos observados *in situ* em todos os parâmetros. Portanto, a partir da análise do conjunto completo dos pontos selecionados para

este estudo, observa-se que os resultados Early e Late estão subestimando e o Final superestimando os valores observados nos pluviômetros.

Figura 2 – Volumes acumulados IMERG Early, Late e Final no período de 13/06/2025 00:00 a 18/06/2025 00:00



A Tabela 2 apresenta o resultado das métricas de avaliação entre a precipitação acumulada das estações pluviométricas e os produtos de satélite. Os valores de PBIAS variaram entre + 49% (Early), +34% (Late) e -15% (Final), confirmando que o Early e Late subestimam os valores em relação aos observados, e o Final superestima. Os erros médios quadráticos estão na mesma ordem de grandeza em todos os produtos de satélite, sendo o Late ligeiramente menor. A correlação foi maior em nível diário do que em horário, o que já era esperado, em decorrência da menor dispersão e variabilidade dos valores horários; o r variou de 0,41 a 0,50 em nível horário, e subiu para 0,71 a 0,74 em nível diário. A probabilidade de detecção (POD) foi menor em nível horário, variando entre 52% a 64% dos eventos detectados, e entre 85% a 88% em nível diário. Por fim, os resultados da razão de falso alarme (FAR) apontam que foram erroneamente identificados entre 13% e 17% dos eventos em escala horária, e entre 0 e 2 % dos eventos em escala diária. Com exceção da análise de viés (PBIAS), os demais parâmetros apresentaram resultados em faixas de grandeza semelhantes entre o Early, Late e Final, em comparação com os dados *in situ*.

Figura 3 – Boxplot dos volumes acumulados nas estações pluviométricas e no IMERG Early, Late e Final (esq.) e tabela com os valores mínimos, a mediana, e máximos (dir.), ambos considerando os valores acumulados no período de 13/06/2023 00:00 a 18/06/2023 00:00 nos 19 pontos amostrados

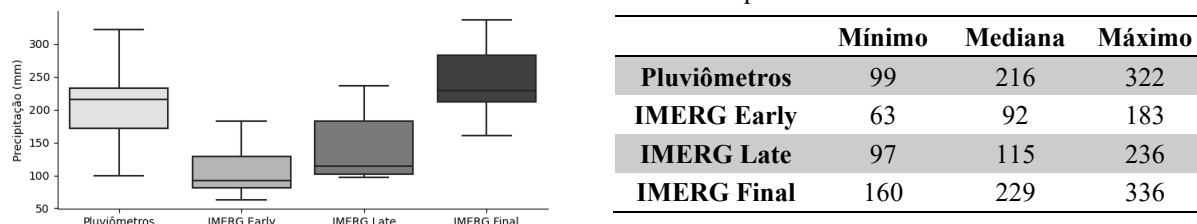


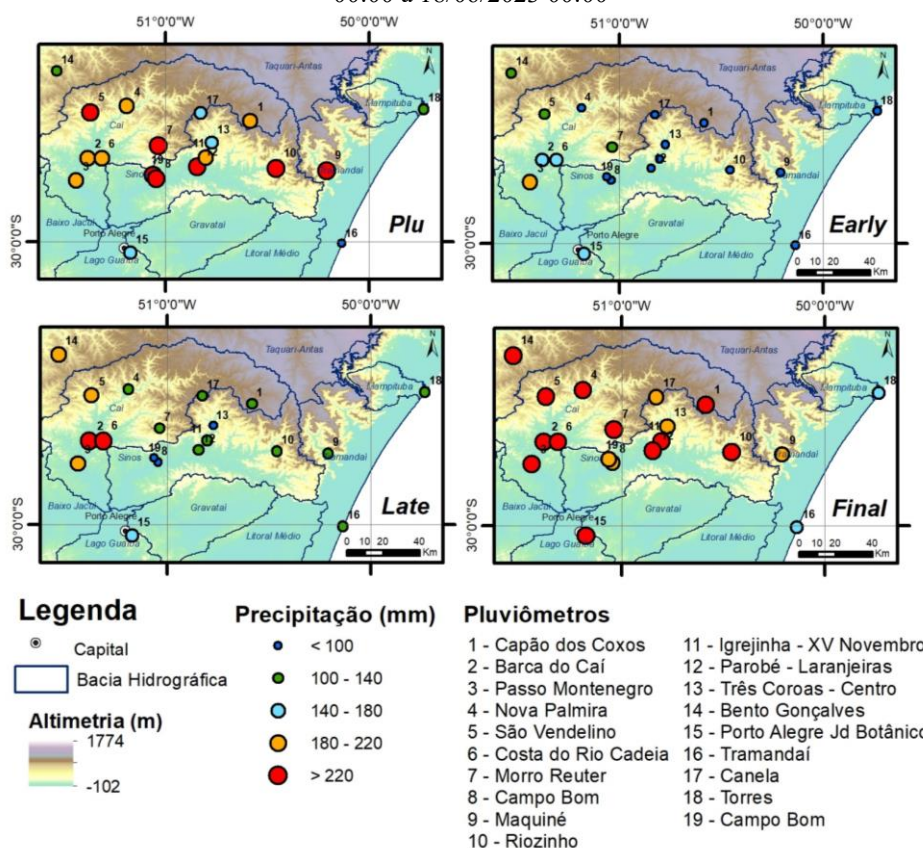
Tabela 2 – Métricas de avaliação entre precipitação acumulada das estações pluviométricas e dos produtos IMERG Early, Late e Final em nível horário e diário considerando todas as estações (13/06/2025 00:00 a 18/06/2025 00:00)

	Horário			Diário		
	Early	Late	Final	Early	Late	Final
PBIAS	48,98	33,69	-15,38	48,98	33,69	-15,38
RMSE	3,69	3,67	4,44	40,57	37,68	43,50
r	0,41	0,47	0,50	0,71	0,71	0,74
POD	0,52	0,57	0,64	0,87	0,85	0,88
FAR	0,13	0,16	0,17	0,00	0,02	0,02

Precipitação por estação

Nesta etapa são apresentados os resultados por estação, ou seja, a comparação entre os valores individuais das estações pluviométricas e das séries extraídas dos produtos de satélite. Na Figura 4 estão os volumes acumulados nas estações pluviométricas e no IMERG Early, Late e Final no período de 13/06/2023 00:00 a 18/06/2023 00:00. A espacialização nos permite observar que os acumulados do evento ultrapassaram 220mm em 7 pluviômetros e ficaram entre 180 e 220mm em outras 6 estações. Nos resultados Early observa-se que somente um ponto apresentou acumulados entre 180 e 220mm, estando os outros 18 pontos abaixo de 180mm. No Late observa-se 2 pontos com acumulado superior a 220mm, e somente 3 entre 180 e 220mm. Já no Final a situação é oposta, com 12 pontos apresentando acumulados superiores à 220mm e outros 4 pontos entre 180 e 220mm.

Figura 4 – Volumes acumulados nas estações pluviométricas e no IMERG Early, Late e Final no período de 13/06/2023 00:00 a 18/06/2023 00:00



Na Tabela 3 estão as diferenças, em percentual, entre a precipitação total acumulada das estações pluviométricas e dos produtos IMERG Early, Late e Final, no período de 13/06/2025 00:00 a 18/06/2025 00:00.

Observa-se que as estimativas IMERG Early subestimam a precipitação em 18 das 19 estações analisadas: as diferenças entre o observado e o satélite variaram entre +5% e -79%, com mediana de -55%. As estimativas IMERG Late apresentaram resultados similares, com subestimativas em 14 das 19 estações, variando entre -69% e +52%, com mediana de -39%. Entretanto, as estimativas IMERG Final apresentaram resultados opostos, superestimando as precipitações em 11 estações, variando entre -43% e 117%, e mediana de +21%.

Como o objetivo deste estudo é avaliar a possibilidade da utilização deste tipo de produto de precipitação proveniente de satélite em aplicações de modelos de previsões de cheias, destacamos a

análise dos resultados do IMERG Early, que possui a menor latência dentre os três. Observa-se na Tabela 3 que os pontos em que houve menor diferença percentual foram as estações 14, 15 e 16, com diferenças entre -9% e +5%, os quais correspondem às estações de Bento Gonçalves, Porto Alegre Jardim Botânico e Tramandaí. Em termos de acumulados, essas três estações apresentaram os menores valores acumulados no período analisado, de 132mm, 165mm e 99mm, respectivamente.

As estações com os maiores desvios na análise do IMERG Early foram 9 (Maquiné) e 7 (Morro Reuter), com desvios de -79% e -68%, respectivamente. Essas duas estações apresentaram os maiores acumulados no evento, com 322mm e 318mm, respectivamente.

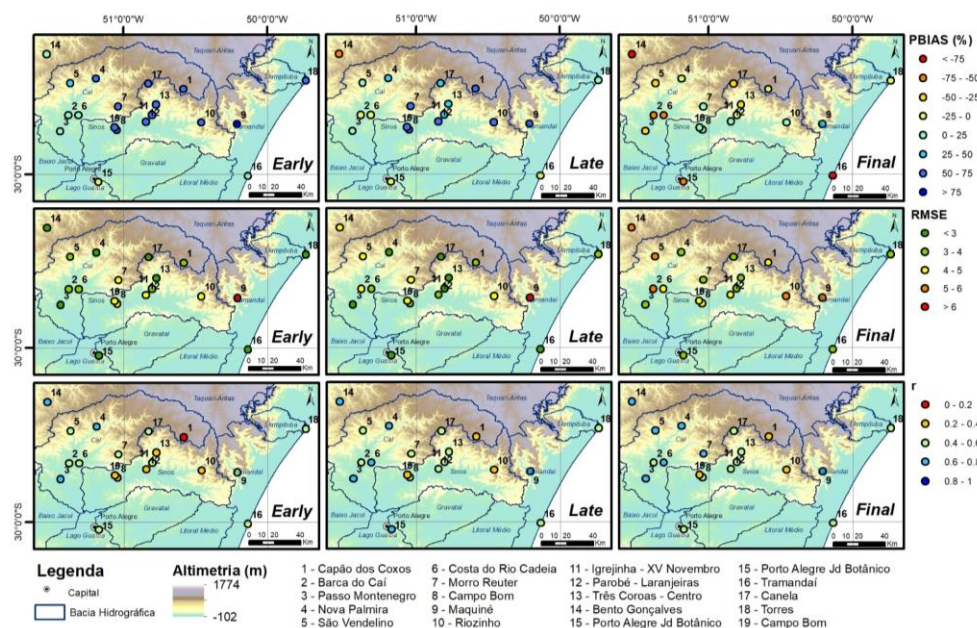
Portanto, para o evento analisado, os resultados da comparação entre os volumes de precipitação acumulados no IMERG Early se aproximaram mais dos volumes observados nos pluviômetros com menores acumulados, enquanto nas estações com precipitações maiores, os desvios da estimativa do IMERG Early foram maiores.

Tabela 3 – Diferença (%) entre a precipitação acumulada das estações pluviométricas e dos produtos IMERG Early, Late e Final (13/06/2025 00:00 a 18/06/2025 00:00); IDs de 1 a 9 correspondem ao operador SGB/ANA; 10 a 13 operador CEMADEN, 14 a 19 operador INMET.

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Early	-67%	-22%	-8%	-53%	-43%	-21%	-68%	-63%	-79%	-67%
Late	-52%	8%	-5%	-39%	-15%	9%	-64%	-57%	-69%	-55%
Final	3%	53%	49%	9%	29%	56%	-20%	-11%	-43%	-14%
ID	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Early	-59%	-59%	-57%	-5%	5%	-9%	-55%	-55%	-67%	
Late	-49%	-54%	-43%	52%	8%	4%	-37%	-5%	-61%	
Final	21%	-2%	28%	117%	70%	82%	26%	15%	-20%	

A Figura 5 apresenta a espacialização das métricas de comparação entre a precipitação horária *in situ* em comparação com as séries horárias dos produtos IMERG. Observa-se o conjunto de estações que tem os maiores viés no Early e Late estão localizadas na região que houve as maiores intensidades do evento de junho de 2023; a correlação também seguiu comportamento similar, com menores valores na região em que ocorreu o evento. Em relação ao erro médio quadrático, os resultados do Final foram inferiores aos observados no Early e no Late.

Figura 5 – Espacialização das métricas de comparação entre a precipitação horária observada nas estações pluviométricas em comparação com as séries horárias dos produtos IMERG Early, Late e Final



CONCLUSÃO

Os resultados da análise comparativa entre precipitação observada e precipitação estimada por satélite apontaram que houve subestimativa da precipitação observada nos produtos Early e Late, e superestimava no produto Final. Em termos de volumes absolutos, as melhores performances do produto Early foram em estações com os menores volumes acumulados, ou seja, mais distantes do evento; já as piores performances foram nas estações que registraram os maiores acumulados. Em termos de escala temporal, as análises dos valores acumulados em escala diária obtiveram melhores resultados nas métricas de avaliação do que a série horária.

Conforme os resultados deste estudo, a utilização do produto Early em tempo quase real para análises de eventos críticos e modelos de previsão sem a validação de pluviômetros *in situ* poderia ter levado a um subdimensionamento do evento do ciclone extratropical que atingiu o Rio Grande do Sul em junho de 2023. Portanto, destaca-se a importância da operação e da manutenção das redes pluviométricas para permitir a obtenção de informações confiáveis de volumes precipitados em eventos extremos e possibilitar as correções das precipitações provenientes de produtos do satélite.

Por fim, sugere-se a continuidade nos estudos de avaliação de precipitação de satélite em eventos extremos, incluindo agregações em outros ciclos temporais entre horário e diário, a espacialização da chuva observada e a avaliação das métricas com outras variáveis, como altitude, deslocamento dos núcleos no resultado da chuva de satélite e efeito de diferentes processos de formação de chuvas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). (2025). “Portal Hidrotelemetria”. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/Mapa.aspx>. Acesso em: 2025.
- ARREGOCÉS, H.A.; ROJANO, R.; PÉREZ, J. (2023). “Validation of the CHIRPS dataset in a coastal region with extensive plains and complex topography”. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, v. 8, <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100452>.
- BOCK, L.E.; DA SILVA, A.G.; SCARIOT, N.; MARTIN, V.T.; PIMENTEL, F.; TASSI, R.; ALLASIA, D. (2023). “Comparação entre dados de precipitação de estimativas baseadas em satélites e monitorados por pluviômetros para diferentes regiões climáticas brasileiras”. In XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju/SE.
- CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). (2025). “Mapa Interativo: Download de dados”. Disponível em: <https://mapainterativo.cemaden.gov.br/#>. Acesso em: 2025.
- COLLISCHONN ET AL. (2025). “The exceptional hydrological disaster of April-May 2024 in Southern Brazil”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.302520240119>
- GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (RS). (2023). “Cálculo inicial do governo do Estado para apoio da União à reconstrução após o ciclone é de R\$ 91,6 milhões”. Disponível em: <https://estado.rs.gov.br/calculo-inicial-do-governo-do-estado-para-apoio-da-uniao-a-reconstrucao-apos-o-ciclone-e-de-r-91-6-milhoes> Acesso em: junho 2025.
- HORTA, I.R.L.; BORTOLOZO, L.A.P.; QUEVEDO, R.P.; MAUAD, F.D.; TECH, A.R.B. (2023). “Daily Rainfall Data Validation: IMERG, CHIRPS, And Gauges”. In Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis/SC.
- HUFFMAN, G.J ET AL. (2023). “Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG) Version

- 07". Disponível em: https://arthurhou.pps.eosdis.nasa.gov/Documents/IMERG_V07_ATBD_final.pdf. Acesso em: maio de 2025.
- HUFFMAN, G.J.; E.F. STOCKER, D.T.; BOLVIN, E.J.; NELKIN, J.T. (2024). “*GPM IMERG Early Precipitation L3 Half Hourly 0.1 degree x 0.1 degree V07, Greenbelt, MD, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC)*”. Acesso: maio de 2025.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). (2025). “*Banco de Dados Meteorológicos do INMET*”. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 2025.
- LÓPEZ-BERMEJO, C.; MONTOYA, R.D.; CARO-LOPERA, F.J.; DÍAZ-GARCÍA, J.D. (2002). “*Validation of the accuracy of the CHIRPS precipitation dataset at representing climate variability in a tropical mountainous region of South America*”. *Physics and Chemistry of the Earth*, v.127, <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103184>.
- LV, P., & WU, G. (2024). “*The Performance of GPM IMERG Product Validated on Hourly Observations over Land Areas of Northern Hemisphere*”. *Remote Sensing*, 16(22), 4334. <https://doi.org/10.3390/rs16224334>
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). (2025). “*Global Precipitation Measurement*”. Disponível em: <https://gpm.nasa.gov/>. Acesso em: maio de 2025.
- PETRY, I.; MIRANDA, P.T.; PAIVA, R.C.D.; COLLISCHONN, W.; FAN, F.M.; FAGUNDES, H.O.; ARAUJO, A.A.; SOUZA, S. (2025). “*Changes in Flood Magnitude and Frequency Projected for Vulnerable Regions and Major Wetlands of South America*”. *Geophysical Research Letters*, v52, <https://doi.org/10.1029/2024GL112436>.
- PICKBRENNER, K.; WESCHENFELDER, A.B.; PINTO, E.J.A. (2023). “*Atlas pluviométrico do Brasil: ciclone extratropical no Rio Grande do Sul em junho de 2023*”. Serviço Geológico do Brasil: Relatório Técnico, 40p, 2023. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/23985>. Acesso em: maio 2025.
- PICKBRENNER, K.; WESCHENFELDER, A.B.; PINTO, E.J.A.; MATTIUZI, C.D.P. (2025). “*Avaliação da excentricidade de evento de chuva ocorrido em junho de 2023 no Rio Grande do Sul*”. In *Anais do XXVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Vitória-ES,
- RAMADHAN, R., YUSNAINI, H., MARZUKI, M., MUHARSYAH, R., SURYANTO, W., SHOLIHUN, S., VONNISA, M., HARMADI, H., NINGSIH, A. P., BATTAGLIA, A., HASHIGUCHI, H., & TOKAY, A. (2022). “*Evaluation of GPM IMERG Performance Using Gauge Data over Indonesian Maritime Continent at Different Time Scales*”. *Remote Sensing*, 14(5), 1172. <https://doi.org/10.3390/rs14051172>
- SHARIFI, E., STEINACKER, R., & SAGHAFIAN, B. (2016). “*Assessment of GPM-IMERG and Other Precipitation Products against Gauge Data under Different Topographic and Climatic Conditions in Iran: Preliminary Results*”. *Remote Sensing*, 8(2), 135.
- SILVA, S. F.; ARAÚJO, D. C. S.; VIANA, J. F. S.; MEDEIROS, Y. D. P.; MONTENEGRO, S. M. G. L. (2024). “*Validation of the CHIRPS precipitation estimate in a Brazilian Savanna Basin*”. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v17, n2.
- ZHU, H., CHEN, S., LI, Z., GAO, L., & LI, X. (2022). “*Comparison of Satellite Precipitation Products: IMERG and GSMaP with Rain Gauge Observations in Northern China*”. *Remote Sensing*, 14(19), 4748. <https://doi.org/10.3390/rs14194748>