

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

DESEMPENHO DOS PRODUTOS DE PRECIPITAÇÃO MERGE E CHIRPS

NA BACIA DO RIO SANTA MARIA DA VITÓRIA (ES)

Fabrício Raig Dias Lima¹; Diogo Costa Buarque²; Mino Viana Sorribas³ & Murilo Brazzali

Rodrigues⁴

Abstract: The scarcity of rainfall data in many regions of Brazil hampers accurate monitoring of precipitation. In this context, remote sensing products such as CHIRPS and MERGE offer viable alternatives. This study evaluated the accuracy of these products in the Santa Maria da Vitória River Basin (ES), using data from National Water and Sanitation Agency (ANA) rain gauge stations as a reference. Daily precipitation data from the CHIRPS and MERGE products were extracted at the station locations, and comparative analyses were performed using metrics such as Pearson correlation, mean absolute error, and contingency statistics (POD, FAR, and CSI), considering rainy and dry seasons separately. The results indicated that MERGE outperformed CHIRPS, particularly during the rainy season. MERGE exhibited higher correlation, lower errors, and better rainfall event detection. In the dry season, both products performed poorly, but MERGE maintained greater consistency. CHIRPS, on the other hand, showed more pronounced limitations, including low correlation and a high false alarm rate. When analyzing mean accumulated precipitation on a longer time scale, such as monthly and annual, the CHIRPS product showed superior performance. We concluded that MERGE is more suitable for short-term hydrological applications due to its better representation of daily precipitation, while CHIRPS proves to be more reliable for climate analyses and long-term trend assessments.

Resumo: A escassez de dados pluviométricos em diversas regiões do Brasil dificulta o monitoramento preciso das chuvas. Neste contexto, produtos de sensoriamento remoto, como o CHIRPS e o MERGE, oferecem alternativas viáveis. Este estudo avaliou o desempenho desses produtos na bacia do rio Santa Maria da Vitória (ES), utilizando dados de estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) como referência. Foram extraídos dados diários de precipitação dos produtos CHIRPS e MERGE, correspondentes aos pontos das estações, e realizadas análises comparativas por meio de métricas como correlação de Pearson, erro absoluto médio (MAE) e estatísticas de contingência (POD, FAR e CSI), considerando separadamente os períodos chuvoso e seco. Os resultados indicaram desempenho superior do MERGE em relação ao CHIRPS para a precipitação diária, sobretudo durante o período chuvoso. Além disso, o MERGE apresentou maior correlação, menores erros e melhor detecção de eventos de chuva. No período seco, ambos os produtos apresentaram desempenho inferior, mas o MERGE manteve maior consistência. O CHIRPS mostrou limitações mais acentuadas, com baixa correlação e alta taxa de falsos alarmes. Quando analisados os acumulados médios de precipitação em escala de tempo mais longa, como mensal e anual, o produto CHIRPS obteve maior desempenho. Conclui-se que o MERGE é mais adequado para aplicações hidrológicas com maior discretização temporal, devido à melhor representação da precipitação diária, enquanto o CHIRPS se mostra mais adequado para análises climáticas e de tendências de longo prazo.

Palavras-Chave – Chuva. Sensoriamento remoto. Desempenho.

1) Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Av. Fernando Ferrari, 514 - Goiabeiras, Vitória - ES, 29075-910, fabricioraigdiaslima@gmail.com

2) Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Av. Fernando Ferrari, 514 - Goiabeiras, Vitória - ES, 29075-910, diogo.buarque@gmail.com

3) Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Av. Fernando Ferrari, 514 - Goiabeiras, Vitória - ES, 29075-910, mino.sorribas@gmail.com

4) Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Av. Fernando Ferrari, 514 - Goiabeiras, Vitória - ES, 29075-910, murilobrazzali@gmail.com

INTRODUÇÃO

Os dados de precipitação são essenciais para a compreensão e o gerenciamento do ciclo hidrológico, desempenhando um papel fundamental em diversas aplicações, como previsão de eventos extremos, planejamento agrícola, modelagem hidrológica e gestão de recursos hídricos (Amorim *et al.*, 2020). Entretanto, a alta variabilidade espacial e temporal da precipitação é uma característica que dificulta a representação adequada dos processos hidrológicos nas bacias (Pereira *et al.*, 2024; Wang; Liu; Zhu, 2020).

No Brasil, a principal fonte de dados de precipitação provém de medições pontuais por meio de pluviógrafos ou pluviômetros, formando uma rede de monitoramento acessível principalmente pelo portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). No entanto, essas redes frequentemente apresentam limitações, como baixa densidade espacial, séries históricas com muitas falhas e, em muitos casos, falta de manutenção adequada, o que compromete a qualidade e a disponibilidade dos dados (Amorim *et al.*, 2020; Uliana e David, 2024). Essa situação é agravada pela grande extensão territorial do país, a diversidade climática e as características físicas (Nascimento, 2021).

Nesse cenário, a utilização de produtos de precipitação derivados de técnicas de sensoriamento remoto apresenta-se como uma alternativa para suprir a ausência de dados em regiões com cobertura observacional limitada (Gadelha *et al.*, 2019). Entre esses produtos, destaca-se o Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS), que integra dados de sensores infravermelho de satélites com medições de precipitação em estações meteorológicas de superfície (Funk *et al.*, 2015). São várias as pesquisas que avaliaram os dados de precipitação do CHIRPS nas diferentes regiões do Brasil, apontando-o como um produto de precipitação confiável que pode ser utilizado em regiões com pouca densidade de pluviômetros (Tórnio *et al.*, 2024; Uliana; David, 2024).

Outro produto de precipitação por sensoriamento remoto é o MERGE, que é disponibilizado operacionalmente pelo CPTEC/INPE e combina dados de satélites com dados de observações de superfície, fornecendo estimativas de precipitação em uma grade regular com resolução de 10x10 km (Rozante *et al.*, 2010). Os trabalhos de Cassalho *et al.* (2020), Jiménez (2017) e Capozzoli *et al.* (2020) obtiveram resultados satisfatórios ao comparar os dados estimados pelo MERGE com dados de medição direta de pluviômetros.

Contudo, embora esses produtos tenham sido avaliados em escala nacional, conforme apontado por autores como Saragih *et al.* (2022), a sua utilização em aplicações relacionadas à gestão de recursos hídricos demanda uma validação local, em razão das variações regionais e sazonais associadas às incertezas dos erros inerentes a esses produtos. Dessa forma, uma comparação com dados observacionais de superfície é importante para verificar a precisão e a acurácia das estimativas.

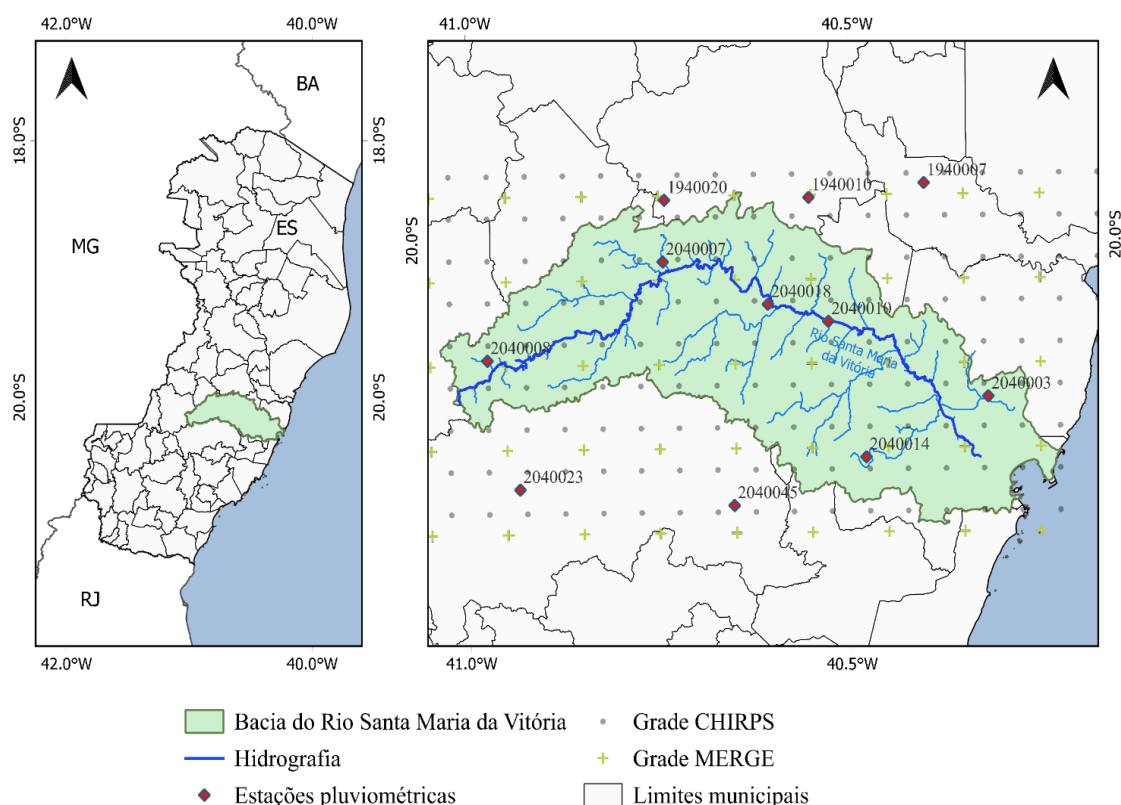
A bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória, responsável pelo abastecimento de aproximadamente metade da população da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), tem sido afetada por eventos hidrológicos extremos, marcados por períodos recorrentes de escassez hídrica e inundações (Buarque *et al.*, 2023). Na bacia, a disponibilidade de dados de chuva por telemetria é escassa ou apresenta falhas nos dados disponíveis, dificultando a estimativa da chuva para diversas finalidades como na modelagem hidrológica, previsão de vazão em tempo real, estimativas de curvas IDF etc. Nesse contexto, a compreensão da dinâmica hidrometeorológica da região é essencial para a gestão eficiente dos recursos hídricos. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar e comparar os produtos de precipitação CHIRPS e MERGE com dados de estações pluviométricas convencionais na bacia do rio Santa Maria da Vitória, de forma a avaliar uma potencial fonte de informação para estudos diversos na bacia, especialmente na modelagem.

METODOLOGIA

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória está localizada na região Centro-Sul do Estado do Espírito Santo (Figura 1), abrangendo uma área de drenagem de aproximadamente 1.876 km². A bacia compreende o município de Santa Maria de Jetibá e parte dos municípios de Cariacica, Santa Leopoldina, Serra e Vitória. Juntamente com o Rio Jucu, é responsável por abastecer a Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), além de contribuir com 25% da energia elétrica gerada no estado do Espírito Santo. A bacia está inserida em uma região caracterizada por elevados índices pluviométricos, com chuvas distribuídas ao longo do ano e duas estações bem definidas: o período seco, que ocorre de abril a setembro, e o período úmido, de outubro a março.

Figura 1 – Bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória (ES).



Dados utilizados

Neste estudo, foram utilizados dois produtos de precipitação por satélite: o MERGE e o CHIRPS, que combinam dados observacionais com estimativas de sensoriamento remoto, sendo amplamente empregados em estudos climáticos e hidrológicos.

O produto MERGE foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) a partir da fusão de dados de precipitação de aproximadamente 1.500 estações pluviométricas de superfície com estimativas do satélite TRMM 3B42RT, com resolução espacial de 0,25° e resolução temporal diária (Rozante *et al.*, 2010). Com a descontinuação do TRMM, o MERGE passou a utilizar os dados do GPM/IMERG (*Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM*), que apresenta melhorias

significativas: aumento no número de estações observacionais (acréscimo de cerca de 2.500 pontos), maior resolução espacial ($0,1^\circ$), resolução temporal horária e correção sistemática de viés nas estimativas de precipitação (Rozante *et al.*, 2020). Importante destacar que o produto MERGE foi recentemente atualizado, acompanhando a alteração do GPMv06 para o GPMv07, estendendo a série por mais dois anos, e considerando um aumento significativo (mais do que o dobro) no número de postos pluviométricos assimilados. No entanto, tal atualização ocorreu após conclusão deste estudo.

O CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data*), por sua vez, é um produto global de precipitação disponível desde 1981, que integra dados de satélite com observações de estações pluviométricas. Com uma resolução espacial de $0,05^\circ$ ($\sim 5,5$ km) e cobertura entre 50°N e 50°S , é amplamente utilizado em aplicações de monitoramento climático, análise de secas e modelagem hidrológica, sendo reconhecido por sua longa série temporal e atualizações contínuas.

Para a validação dos produtos MERGE e CHIRPS, foram utilizados dados de chuva diária de 13 estações pluviométricas convencionais da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), obtidos por meio do portal Hidroweb (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>). As estações selecionadas estão situadas dentro do *bounding box* da área de interesse, que compreende as latitudes entre $-20,4^\circ\text{S}$ e $-19,9^\circ\text{S}$ e as longitudes entre $-41,1^\circ\text{W}$ e $-40,1^\circ\text{W}$. Com o intuito de preencher lacunas nas séries temporais, utilizaram-se dados complementares da rede do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN). O período analisado compreende janeiro de 2015 a setembro de 2024, por apresentar menor índice de falhas e maior viabilidade de preenchimento com os dados suplementares.

A comparação entre os dados observados diários e os produtos de satélite foi realizada utilizando a abordagem ponto a pixel com correspondência ao centroide do pixel mais próximo (*nearest-neighbor*). Os dados do CHIRPS foram extraídos diretamente da plataforma Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com/>), por meio de código em JavaScript baseado na coleção `ee.ImageCollection('UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY')`, com exportação em formato `.xlsx`. Para o produto MERGE, os arquivos diários de precipitação em formato GRIB2 foram inicialmente baixados do site do INPE (<https://ftp.cptec.inpe.br/modelos/tempo/MERGE/>). Em seguida, desenvolveu-se um código em Python para extrair os dados de precipitação diária de cada pixel na área de interesse, gerando arquivos organizados em formato `.csv`.

Com os dados organizados em planilhas, foi realizada a avaliação estatística do desempenho dos produtos CHIRPS e MERGE em relação às observações. Visando capturar possíveis variações sazonais, a análise foi segmentada entre o período chuvoso (outubro a março) e o período seco (abril a setembro). Esta separação permite identificar o comportamento dos produtos em contextos pluviométricos distintos, contribuindo para uma avaliação mais precisa de seu desempenho. Para avaliar o desempenho dos produtos em diferentes escalas de tempo, foi realizada a análise da precipitação diária, média mensal e média anual, com foco principal na precipitação diária.

Métricas de desempenho

Para avaliar a acurácia dos produtos CHIRPS e MERGE na bacia do rio Santa Maria utilizaram-se as seguintes métricas estatísticas: Coeficiente de Correlação de Pearson (r), Erro Médio Absoluto (MAE) e Viés Percentual (PBIAS). Além disso, foram utilizadas métricas estatísticas de contingência, que medem o desempenho de produtos de precipitação em detectar corretamente eventos de chuva. As estatísticas de contingência utilizadas nesse estudo foram a Probabilidade de Detecção (POD), a Taxa de Falso Alarme (FAR) e o Índice de Sucesso Crítico (CSI). As métricas são aplicadas

considerando-se dados no período chuvoso e seco. A Tabela 1 exibe todas as métricas utilizadas com os correspondentes valores de referência.

Tabela 1 – Métricas de desempenho utilizadas para a validação dos produtos de precipitação

Métrica	Fórmula	Significado	Valor de referência
r	$r = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - P_m)(O_i - O_m)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - P_m)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - O_m)^2}}$	Mede o grau de correlação linear entre os valores observados e estimados.	Varia de -1 (correlação negativa perfeita) a +1 (correlação positiva perfeita).
MAE (mm)	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i - O_i $	O MAE mede o erro médio absoluto entre os valores estimados e observados.	Menores valores de MAE indicam melhor ajuste.
PBIAS	$PBIAS = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n O_i}$	Mede a tendência sistemática do modelo em superestimar ou subestimar os valores observados.	Valores positivos indicam superestimação. Valores negativos indicam subestimação. Idealmente, o PBIAS deve estar próximo de 0.
POD	$POD = \frac{a}{a + c}$	Mede a proporção de eventos de chuva observados que também foram previstos.	Varia de 0 a 1; quanto maior o valor, melhor a performance.
FAR	$FAR = \frac{b}{a + b}$	Indica a proporção de chuvas previstas que não ocorreram.	Varia de 0 a 1; quanto menor o valor, melhor a performance.
CSI	$CSI = \frac{b}{a + b + c}$	Indica o percentual de acertos nas estimativas, descontando as vezes em que a não ocorrência do evento foi corretamente prevista.	Varia de 0 a 1; quanto maior o valor, melhor a performance.

Para a qualificação do desempenho de alguns indicadores, foram adotadas como referência as faixas propostas por Gilewski e Nawalany (2010). As correlações foram classificadas como ‘muito boas’ ($r > 0,85$), ‘boas’ ($0,70 < r \leq 0,85$), ‘satisfatórias’ ($0,60 < r \leq 0,70$), ‘aceitáveis’ ($0,40 < r \leq 0,60$) e ‘insatisfatórias’ ($r \leq 0,40$). Quanto ao viés percentual (PBIAS), valores inferiores ou iguais a 20% são considerados adequados, enquanto valores superiores a 20% são inadequados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados dos indicadores de desempenho obtidos na comparação entre a precipitação diária estimada por sensoriamento remoto e os dados das 11 estações pluviométricas da ANA, referentes aos períodos chuvoso e seco, respectivamente.

No período chuvoso os valores de correlação (r) do MERGE variaram entre 0,36 e 0,76, sendo superior a 0,6 na maioria das estações, indicando uma relação linear satisfatória ou boa com os dados observados. Já o CHIRPS apresentou valores mais baixos, entre 0,12 e 0,40, sendo classificados como insatisfatórios, evidenciando uma capacidade mais limitada de representar a variabilidade temporal da precipitação diária.

Em relação ao PBIAS, ambos os produtos apresentaram, predominantemente, viés negativo na maioria das estações analisadas no período chuvoso, indicando uma tendência à subestimativa da precipitação observada. O produto MERGE apresentou subestimativas mais acentuadas, com valores variando de -34,15% a 9,62%, enquanto o CHIRPS demonstrou um viés mais moderado, entre -29,30% e 16,81%, sugerindo desempenho ligeiramente melhor. De modo geral, o desempenho de

ambos os produtos foi considerado adequado na maior parte das estações, de acordo com a classificação proposta por Gilewski e Nawalany (2010).

Tabela 2 – Indicadores de desempenho dos produtos MERGE e CHIRPS em representar a precipitação diária para o período chuvoso.

Produto de satélite	Estações	r	PBIAS	MAE	POD	FAR	CSI
MERGE	1940010	0,76	-34,15	3,77	0,75	0,14	0,67
	1940020	0,68	-23,09	3,84	0,78	0,29	0,59
	2040007	0,72	-15,35	3,27	0,81	0,29	0,61
	2040010	0,78	-28,99	3,79	0,81	0,22	0,66
	2040014	0,44	-2,52	5,76	0,62	0,67	0,27
	2040018	0,72	-24,81	3,59	0,76	0,25	0,61
	2040023	0,66	-18,25	4,12	0,84	0,31	0,61
	2040045	0,67	-23,43	4,11	0,75	0,27	0,59
	1940007	0,75	-23,48	4,23	0,86	0,43	0,52
	2040003	0,36	9,62	5,40	0,75	0,55	0,39
	2040008	0,71	-13,93	4,20	0,84	0,45	0,50
	Média	0,66	-18,03	4,19	0,78	0,35	0,55
CHIRPS	1940010	0,36	-21,04	7,01	0,38	0,40	0,30
	1940020	0,40	-9,60	6,27	0,45	0,41	0,34
	2040007	0,38	-3,07	6,00	0,46	0,43	0,34
	2040010	0,33	-22,26	6,69	0,40	0,42	0,31
	2040014	0,12	16,81	7,74	0,43	0,75	0,19
	2040018	0,36	-11,83	6,22	0,43	0,42	0,33
	2040023	0,35	-16,55	6,55	0,43	0,43	0,32
	2040045	0,37	-29,30	5,82	0,40	0,35	0,33
	1940007	0,37	-17,00	6,72	0,47	0,55	0,30
	2040003	0,28	-3,87	5,68	0,39	0,55	0,26
	2040008	0,33	-9,35	6,69	0,48	0,54	0,31
	Média	0,33	-11,55	6,49	0,43	0,48	0,30

Legenda (r)

	Muito bom
	Bom
	Satisfatório
	Ruim/aceitável
	Insatisfatório

Legenda (PBIAS)

	Adequado
	Inadequado
	Sem classificação

Durante a estação chuvosa, o MAE evidencia o melhor desempenho do produto MERGE em relação ao CHIRPS na estimativa das precipitações diárias observadas. Os valores de MAE para o MERGE variam entre 3,27 e 5,76 mm, indicando erros relativamente baixos entre as estações analisadas. Em contraste, o CHIRPS apresenta MAE significativamente maiores, entre 5,68 e 7,74 mm, evidenciando uma menor precisão nas estimativas.

A análise das estatísticas de contingência revelou um desempenho superior do produto MERGE em relação ao CHIRPS na detecção de eventos de precipitação durante a estação chuvosa. Os valores médios do POD (Probability of Detection) indicam que o MERGE apresenta maior capacidade de identificar corretamente os eventos chuvosos (média de 0,78) em comparação ao CHIRPS (média de 0,43). Além disso, o MERGE obteve uma média de FAR inferior (média de 0,35) à do CHIRPS (média de 0,48), sugerindo menor ocorrência de alarmes falsos. No que se refere ao CSI (Critical Success Index), o MERGE também se destacou com média de 0,55 frente à média de 0,30 do CHIRPS. Esses resultados evidenciam que, para o período chuvoso, o produto MERGE apresenta maior confiabilidade na representação dos eventos de precipitação diária observados nas estações analisadas, sendo, portanto, mais adequado para aplicações hidrológicas que demandam maior acurácia na estimativa de chuva nessa escala temporal.

Tabela 3 – Indicadores de desempenho dos produtos MERGE e CHIRPS em representar a precipitação diária para o período seco.

Produto de satélite	Estações	r	PBIAS	MAE	POD	FAR	CSI
MERGE	1940010	0,56	-44,58	2,03	0,62	0,15	0,56
	1940020	0,55	7,21	1,36	0,69	0,44	0,45
	2040007	0,49	10,41	1,32	0,79	0,35	0,56
	2040010	0,58	-18,21	1,95	0,74	0,29	0,57
	2040014	0,47	5,39	2,82	0,55	0,71	0,23
	2040018	0,49	-23,73	1,70	0,74	0,22	0,62
	2040023	0,52	10,00	1,48	0,74	0,44	0,47
	2040045	0,59	-21,60	2,08	0,69	0,31	0,53
	1940007	0,60	-14,20	1,98	0,78	0,49	0,44
	2040003	0,42	-33,53	2,71	0,49	0,63	0,26
	2040008	0,44	31,43	1,54	0,73	0,66	0,30
	Média	0,52	-8,31	1,91	0,69	0,43	0,45
CHIRPS	1940010	0,17	-46,56	3,58	0,19	0,57	0,15
	1940020	0,16	-6,95	2,06	0,20	0,68	0,14
	2040007	0,11	0,95	2,28	0,18	0,70	0,13
	2040010	0,17	-25,68	3,29	0,21	0,62	0,16
	2040014	0,11	-35,68	3,07	0,18	0,82	0,10
	2040018	0,15	-27,30	2,87	0,21	0,61	0,16
	2040023	0,14	19,24	2,53	0,21	0,72	0,14
	2040045	0,33	-17,63	3,33	0,28	0,53	0,21
	1940007	0,20	-21,86	3,07	0,25	0,69	0,16
	2040003	0,11	-8,76	3,75	0,22	0,74	0,14
	2040008	0,18	13,80	1,92	0,18	0,82	0,10
	Média	0,17	-14,22	2,89	0,21	0,68	0,14

Legenda (r)

- Muito bom
- Bom
- Satisfatório
- Ruim/aceitável
- Insatisfatório

Legenda (PBIAS)

- Adequado
- Inadequado
- Sem classificação

Durante o período seco, o desempenho geral de ambos os produtos piorou, mas o MERGE teve maior capacidade de representação dos volumes de precipitação. A correlação média entre os dados estimados por satélite e observados diminuiu de aproximadamente 0,66 no período chuvoso para 0,52 no período seco, indicando maior capacidade do produto de capturar a variabilidade temporal das chuvas mais intensas. O produto CHIRPS também apresentou desempenho inferior no período seco, com valores de correlação (r) geralmente abaixo de 0,20, indicando baixa capacidade de representar a precipitação observada.

Em relação ao MAE, o produto MERGE apresentou melhor desempenho. Verificou-se uma redução no valor médio do MAE entre a estação chuvosa e a estação seca, passando de aproximadamente 4,19 mm para 1,91 mm. Essa diminuição, contudo, é esperada devido aos maiores volumes de precipitação no período chuvoso, o que naturalmente amplia os valores absolutos de erro. Com relação ao PBIAS, verificou-se maior variabilidade no período seco, com predominância de viés negativo, mas também com ocorrência de valores positivos em algumas estações. Isso indica que, embora haja tendência geral de subestimativa da precipitação, em certas localidades o MERGE superestimou a precipitação observada.

O CHIRPS apresentou maior MAE e PBIAS durante a estação seca. O MAE médio no período seco foi de 2,89 mm, inferior ao da estação chuvosa, que foi de 6,49 mm, mas isso reflete a menor magnitude das chuvas na seca, onde erros relativos são mais significativos. O PBIAS na estação seca indicou forte subestimativa, com valores variando de -46,56% a 19,24%, enquanto no período chuvoso os valores variaram de -29,30% a 16,81%, ainda negativos na maioria das estações, mas menos extremos. Isso evidencia que, embora o CHIRPS subestime a precipitação em ambos os

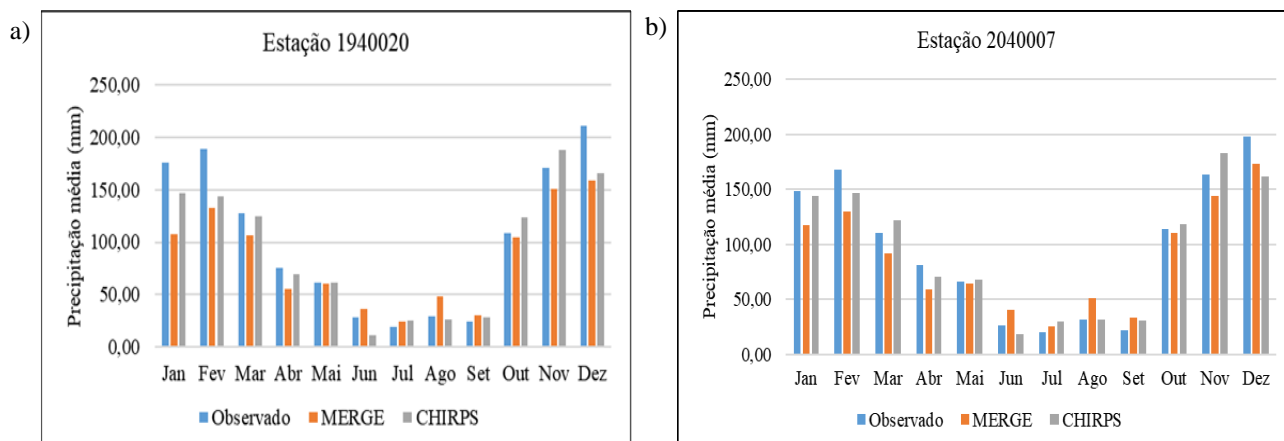
períodos, seu desempenho é ainda mais limitado na estação seca, com maior dificuldade em detectar eventos fracos e esparsos.

Quanto às estatísticas de contingência no período seco, o MERGE apresentou menor desempenho na detecção de chuvas diárias em comparação ao período chuvoso. O valor médio do POD caiu de 0,78 no período chuvoso para 0,69 no seco, enquanto o FAR médio aumentou de 0,35 para 0,43, indicando leve crescimento nos alarmes falsos. Já o CSI médio, que mede a qualidade geral da previsão, foi de 0,55 no período chuvoso contra 0,45 no seco. O CHIRPS apresentou menor desempenho na detecção de chuvas diárias em comparação ao período chuvoso, com redução no POD médio (de 0,43 para 0,21) e no CSI médio (de 0,30 para 0,14), além de aumento no FAR médio (de 0,48 para 0,68), indicando maior número de falsos alarmes e menor acurácia na identificação de eventos de precipitação fraca.

Ao analisar a média dos acumulados mensais (Figura 2) observa-se que ambos os produtos são capazes de representar o padrão sazonal de precipitação. Entretanto, o MERGE tende a subestimar a precipitação média mensal, principalmente nos meses mais chuvosos (como janeiro, fevereiro e dezembro), na maioria dos postos pluviométricos. O CHIRPS geralmente acompanha melhor os dados observados nos meses chuvosos, mas subestima nos meses de estiagem (como junho, julho e agosto). Em média o CHIRPS apresenta melhor desempenho do que o MERGE quando se analisa a precipitação acumulada média mensal. As Figuras 2a e 2b exemplificam o comportamento das precipitações médias mensais estimadas pelos produtos de precipitação na bacia.

Os dados observados de precipitação acumulada anual média apresentaram valores consistentemente superiores aos estimados pelos produtos MERGE e CHIRPS, indicando uma tendência de subestimativa por parte desses satélites (Figura 3). O CHIRPS demonstrou desempenho ligeiramente melhor, com estimativas mais próximas dos valores observados em comparação ao MERGE. Em alguns postos há maior discrepância de valores, como o caso das estações 1940010, 2040010 e 2040023. Por outro lado, as estações 2040007, 2040014 e 2040003 apresentaram as maiores concordâncias entre a precipitação acumulada anual média observada e estimada pelos produtos de precipitação.

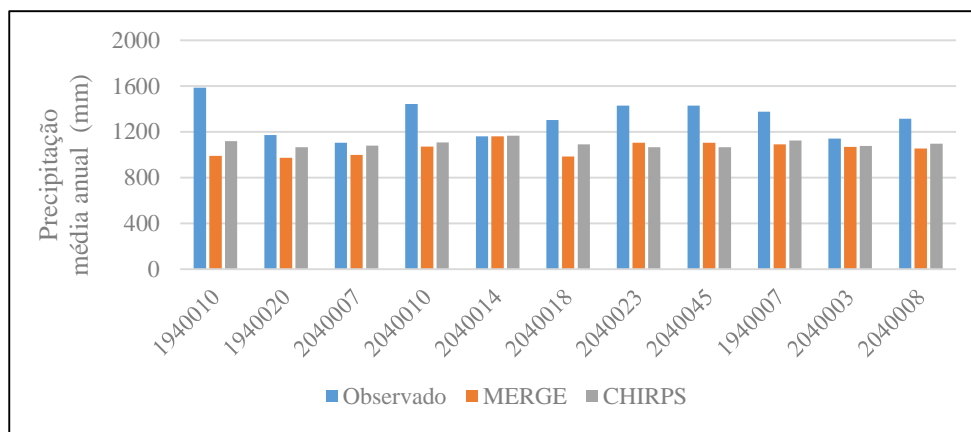
Figura 2 – Exemplos de comparação da precipitação acumulada mensal média.



Na escala diária, o desempenho do produto MERGE mostrou-se mais consistente do que o CHIRPS, o que pode estar relacionado à sua calibração com uma rede de estações pluviométricas no Brasil, favorecendo uma melhor representação espacial e temporal das precipitações (Silva *et al.*, 2022). Em contrapartida, o CHIRPS, embora globalmente reconhecido, pode apresentar desempenho limitado em regiões com escassez de dados observacionais, como é o caso da bacia do rio Santa Maria da Vitória. No entanto, em escalas mensais e anuais, o CHIRPS representou melhor a variabilidade da

precipitação, fornecendo estimativas mais consistentes e próximas dos valores observados, o que indica maior robustez na captura da variabilidade climática em períodos mais amplos.

Figura 3 – Média das precipitações acumuladas anuais.



CONCLUSÕES

A análise comparativa entre os produtos de precipitação CHIRPS e MERGE em relação aos dados observados de estações pluviométricas da ANA na bacia do rio Santa Maria da Vitória permitiu avaliar a confiabilidade dessas fontes alternativas de dados para aplicação hidrológica em regiões com cobertura pluviométrica limitada.

Com base nas análises realizadas, conclui-se que o produto MERGE representou melhor os eventos de chuva diária em ambas as estações do ano, especialmente durante o período chuvoso. A maior correlação e o menor MAE evidenciam a maior capacidade do MERGE em representar a variabilidade temporal e a magnitude das precipitações diárias observadas. Além disso, o desempenho nas estatísticas de contingência (POD, FAR e CSI) reforça a melhor representação do MERGE na detecção de eventos chuvosos nessa escala temporal, fator importante para aplicações hidrológicas.

Durante o período seco, ambos os produtos apresentaram desempenho inferior comparado com o período chuvoso, o que é esperado devido à menor frequência e intensidade das chuvas, que dificultam a detecção e quantificação precisa por sensoriamento remoto. No entanto, mesmo nesse contexto, o MERGE manteve indicadores melhores do que os do CHIRPS, ainda que com redução na precisão. O CHIRPS, por sua vez, demonstrou limitações mais acentuadas, com baixa correlação e elevada taxa de falsos alarmes.

Dessa forma, apesar da comparação entre os valores diários de precipitação medidos pontualmente pelos postos com valores médios em uma quadrícula (pixel dos produtos de satélite), os resultados indicam que o produto MERGE apresenta melhor desempenho na representação da precipitação diária na bacia do rio Santa Maria da Vitória, especialmente durante o período chuvoso, mostrando-se mais adequado para aplicações em estudos hidrológicos de bacias com características similares. Quando analisados em escala de tempo mais longa, como mensal e anual, o produto CHIRPS representou melhor os acumulados de precipitação, indicando ser mais recomendado para análises climatológicas, de mudanças climáticas ou gestão de recursos hídricos de longo prazo. Ainda assim, recomenda-se a utilização complementar de dados observacionais de superfície, sempre que disponíveis, para avaliar os possíveis vieses e incertezas das estimativas de chuva por satélite.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, J.S.; VIOLA, M.R.; JUNQUEIRA, R.; OLIVEIRA, V.A.; MELLO, C.R. (2020). “*Evaluation of satellite precipitation products for hydrological modeling in the brazilian cerrado biome*”. Water (Switzerland), v. 12, n. 9.
- BUARQUE, D.C.; BARRETO, G.A.R.; FRAGOSO JÚNIOR, C.R. et al. (2023). “*Sistema de monitoramento e previsão de vazões para a bacia do rio Santa Maria da Vitória – ES*” in Anais do XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Aracaju - SE.
- CAPOZZOLI, R.C.; FUJITA, T.; FREITAS, E.D. (2020). “*Avaliação dos campos de precipitação Mswep, Chirps e Merge para a bacia do Alto Rio Paraná*” in Anais do XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte - MG.
- CASSALHO, F.; RENNÓ, C.D.; REIS, J.B.C.; SILVA, B.C. (2020). “*Hydrologic validation of MERGE precipitation products over anthropogenic watersheds*”. Water (Switzerland), v. 12, n. 5, p. 1–21.
- FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S.; HUSAK, G.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. (2015). *The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes*. Sci Data 2, 150066.
- GADELHA, A.N.; COELHO, V.H.R.; XAVIER, A.C.; BARBOSA, L.R.; MELO, D.C.D.; XUAN, Y.; HUFFMAN, G.J.; PETERSEN, W.A.; ALMEIDA, C.N. (2019). “*Grid box-level evaluation of IMERG over Brazil at various space and time scales*”. Atmospheric Research, v. 218, p. 231–244.
- GILEWSKI, P.; NAWALANY, M. (2018). “*Inter-comparison of Rain-Gauge, Radar, and Satellite (IMERG GPM) precipitation estimates performance for rainfall-runoff modeling in a mountainous catchment in Poland*”. Water (Switzerland), v. 10, n. 11, p. 1–23.
- JIMÉNEZ, K. Q. (2017). “*Previsão de vazão usando estimativas de precipitação por satélite e assimilação de dados*”. [Tese de Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- NASCIMENTO, T. V. M. (2021). “*Modelagem hidrológica mensal chuva-vazão utilizando dados de precipitação TRMM e mapas auto-organizáveis para a bacia do Alto Rio São Francisco*”. [Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental]. Universidade Federal da Paraíba.
- PEREIRA, D.R.; OLIVEIRA, A.R.; COSTA, M.S.; RAMOS, T.B.; ROLLNIC, M.; NEVES, R.J.J. (2024). “*Evaluation of precipitation products in a Brazilian watershed: Tocantins-Araguaia watershed case study*”. Theoretical and Applied Climatology, v. 155, n. 8, p. 7845–7865.
- ROZANTE, J.R.; GUTIERREZ, E.R.; FERNANDES, A.A.; VILA, D.A. (2020). “*Performance of precipitation products obtained from combinations of satellite and surface observations*”. International Journal of Remote Sensing, v. 41, n. 19, p. 7585–7604.
- SARAGIH, N. F., SITEPU, S., SIMANUNGKALIT, G. T., SINAMBELA, M., RAJAGUKGUK, E., LAROSA, F. G., & JAYA, I. K. (2022). “*Validation of CHIRPS Estimation Rainfall Data Using Numerical Accuracy Test with Precipitation Observation Data*”. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 1083, n. 1.
- SILVA, E.H.L.; SILVA, F.D.S.S.; SILVA JUNIOR, R.S.; PINTO, D.D.C.; COSTA, R.L.; GOMES, H.B.; CABRAL JÚNIOR, J.B.; FREITAS, I.G.F.; HERDIES, D.L. (2022). “*Performance Assessment of Different Precipitation Databases (Gridded Analyses and Reanalyses) for the New Brazilian Agricultural Frontier: SEALBA*”. Water (Switzerland), v. 14, n. 9.
- TÓRNIO, C.A.A.; KEDE, M.L.F.M.; SOUZA, L.S. (2024). “*Avaliação do desempenho das estimativas de precipitação do produto CHIRPS para os municípios de São Gonçalo e Niterói (RJ)*”. Revista Brasileira de Climatologia, v. 34, n. mm, p. 79–103.
- ULIANA, E. M.; DAVID, D. (2024). “*Validação e análise espaço-temporal de dados de precipitação obtidos por sensoriamento remoto CHIRPS para o estado de Mato Grosso, Brasil*”. p. 630–654.
- WANG, J.; LIU, G.; ZHU, C. (2020). “*Evaluating precipitation products for hydrologic modeling over a large river basin in the Midwestern USA*”. Hydrological Sciences, v. 65, n. 7, p. 1221–1238.