

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ANÁLISE COMPARATIVA DE PRODUTOS DE PRECIPITAÇÃO POR SATÉLITE PARA O ESTADO DE MINAS GERAIS

*Micael de Souza Fraga¹; Marcel Carvalho Abreu²; Gustavo Bastos Lyra³;
Rayssa Balieiro Ribeiro⁴; Roberto Filgueiras⁵ & Guilherme Barbosa Reis⁶*

Abstract: The spatio-temporal variability of precipitation, low rain gauge density, and operational issues are complexity factors for hydrological studies in developing countries like Brazil. These limitations can be mitigated by using satellite-based precipitation. Therefore, the present study aimed to assess different satellite-estimated precipitation products in the Minas Gerais State, Brazil: CHIRPS v2.0, CMAP, CMORPH, GPCP v2.3, GPM IMERGM v06, MSWEP v2.8, PERSIANN CDR, and TRMM 3B43 v7. Monthly precipitation totals were compared with rain gauge data using different statistical indices, with the results disaggregated by Strategic Management Unit (SMU). The results show that there were differences among the products, as well as among the different analysis regions. Products such as CHIRPS, GPM IMERGM, and MSWEP showed the best results and appear to be the most promising options for hydrometeorological applications in Minas Gerais.

Resumo: A variabilidade espaço-temporal da precipitação, a baixa densidade de estações pluviométricas e os problemas operacionais são fatores de complexidade para estudos hidrológicos em países em desenvolvimento como o Brasil, o que pode ser amenizado pelo uso de estimativas de precipitação por satélite. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar diferentes produtos de precipitação no estado de Minas Gerais: CHIRPS v2.0, CMAP, CMORPH, GPCP v2.3, GPM IMERGM v06, MSWEP v2.8, PERSIANN CDR e TRMM 3B43 v7. Os totais precipitados mensais foram comparados com dados de estações pluviométricas por meio da aplicação de diferentes índices estatísticos, sendo os resultados discretizados por Unidade Estratégica de Gestão (UEG). Os resultados mostraram que houve diferença entre os produtos e entre as diferentes regiões de análise. Produtos como o CHIRPS, GPM IMERGM e o MSWEP apresentaram os melhores resultados e são as opções mais promissoras para aplicações hidrometeorológicas em Minas Gerais.

Palavras-Chave – pluviometria; sensoriamento remoto; validação de dados.

INTRODUÇÃO

As séries históricas de precipitação se constituem como base para uma diversidade de aplicações na hidrologia e na gestão dos recursos hídricos, tais como: análise de eventos extremos (Alcantara et al., 2023; Collischonn et al., 2024; Dalagnol et al., 2022; Lima et al., 2021), estudos de regionalização de vazões (Fraga et al., 2022; Pinheiro et al., 2024), análise da ocorrência e dos

1) Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Belo Horizonte/MG, Brasil; E-mail: micaelfraga@gmail.com

2) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica/RJ, Brasil; E-mail: marcelc.abreu@gmail.com

3) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica/RJ, Brasil; E-mail: gbjlyra@ufrj.br

4) Agência Peixe Vivo: Agência de Bacia, Belo Horizonte/MG, Brasil; E-mail: rayssabalieiro@gmail.com

5) 4intelligence, São Paulo/SP, Brasil, E-mail: betofilgueiras@gmail.com

6) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG, Brasil; E-mail: guilherme.eaa.reis@gmail.com

impactos da seca (Lima et al., 2019; Santos et al., 2024), estudo de chuvas intensas (Abreu et al., 2023; Garrido et al., 2025), dentre outros. Nesse sentido, a qualidade e a continuidade das séries utilizadas são essenciais, assegurando, assim, maior confiabilidade às análises.

Embora seja uma variável de elevada importância na hidrologia, é muito comum a ocorrência de dados faltantes nas séries temporais, seja em decorrência de falhas nos sensores das plataformas de coleta de dados automáticas, por erros humanos ao observar e anotar os dados nas estações convencionais, dificuldades logísticas na coleta e transmissão dos dados, desativação da estação no decorrer de sua operação ou por qualquer outro problema relacionado à operação das estações. Além disso, o monitoramento hidrológico nas bacias hidrográficas de países emergentes, tais como o Brasil, ainda é precário em termos de qualidade e quantidade dos dados medidos, podendo também as estações existentes apresentarem má distribuição espacial em determinadas regiões (De Andrade et al., 2022; Kidd et al., 2017). Como consequência, as incertezas associadas à precariedade ou a inexistência dos dados de precipitação podem restringir a sua aplicação ou provocar super ou subestimativa nos resultados das análises, uma vez que essa pode ser considerada a principal variável explicativa dos processos hidrológicos.

Diante dessa problemática, a utilização de produtos continentais e globais baseados em satélite tem apresentado vantagem por possuir resolução temporal adequada e resolução espacial com ampla cobertura, o que permite realizar estimativas acuradas da precipitação em regiões onde os dados são precários (Fraga et al., 2022; Kolling Neto et al., 2024; Pinheiro et al., 2024). Ao longo dos últimos anos, esforços foram feitos por diversas instituições e organizações globais para disponibilizar dados de precipitação baseados em satélite com várias resoluções e coberturas espaço-temporais (Fick; Hijmans, 2017; Sun et al., 2018). Entretanto, apesar do avanço, essas estimativas ainda apresentam limitações, uma vez que os sensores de satélite não detectam diretamente a chuva, sendo as estimativas obtidas passíveis de erros e incertezas originadas de várias fontes, que incluem calibração de sensores, aproximações algorítmicas e amostragem (De Andrade et al., 2022; Ramarohetra et al., 2013). Nesse sentido, surge a necessidade de avaliar e comparar tais produtos com os dados observados nas estações pluviométricas.

Na literatura recente é possível encontrar diversos estudos realizados para avaliar os produtos de precipitação em diferentes escalas. No Brasil, por exemplo, Andrade et al. (2022) avaliaram o desempenho das estimativas mensais de precipitação derivadas de cinco produtos de precipitação para toda a região Nordeste: CHIRPS, ERA5-Land, TerraClimate, TRMM e GPM-IMERG, comparando-os com a precipitação observada. Oliveira et al. (2018) avaliaram as características e a incerteza do GPM-IMERG sobre a Região Amazônica Central. No âmbito das estimativas de vazões mínimas de referência, Fraga et al. (2022) e Pinheiro et al. (2024) utilizaram os dados do TRMM e do WorldClim, onde foram analisadas as vantagens e limitações de ambas as bases em comparação com os dados observados nas estações pluviométricas, mediante a estimativa das vazões regionalizadas em bacias federais brasileiras.

Apesar de diversos estudos terem sido realizados, não foram encontrados, para a totalidade do estado de Minas Gerais, trabalhos realizados comparando uma diversidade de produtos de precipitação estimados por satélite com os dados das estações pluviométricas. No geral, os trabalhos encontrados para a região Sudeste do Brasil avaliaram áreas menores e/ou produtos específicos (dos Santos et al., 2023; Fraga et al., 2022; Kolling Neto et al., 2024; Lelis et al., 2018; Pinheiro et al., 2024). Em termos de gestão de recursos hídricos, sabe-se que uma avaliação abrangente de diferentes produtos de precipitação é essencial para sua aplicação prática, servindo de referência na tomada de decisão por parte dos gestores e pesquisadores na seleção do produto mais adequado. Considerando tais lacunas, o presente estudo teve como objetivo avaliar diferentes produtos de precipitação estimados por satélite no estado de Minas Gerais, para responder aos questionamentos: i) os produtos apresentam desempenho semelhante? e ii) o desempenho dos produtos varia espacialmente?

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado para o estado de Minas Gerais, localizado na região Sudeste do Brasil, que possui uma área de aproximadamente 586 mil km². Teve como objetivo avaliar diferentes produtos de precipitação estimados por satélite, comparando-os com os dados observados nas estações pluviométricas. Para tal, foram utilizadas a totalidade das estações pluviométricas da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) inseridas na área de estudo, obedecendo, nessa ordem, aos seguintes critérios: i) seleção das estações pluviométricas gerenciadas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA); ii) considerando o período de disponibilidade dos produtos de sensoriamento remoto, optou-se por avaliar as séries com dados entre 1979 e 2022; iii) por fim, foram selecionadas estações pluviométricas com pelo menos 15 anos de dados válidos (180 meses completos sem falhas) dentro do período de análise. Considerando tais critérios, foram selecionadas 446 estações pluviométricas distribuídas em toda a área de estudo (Figura 1).

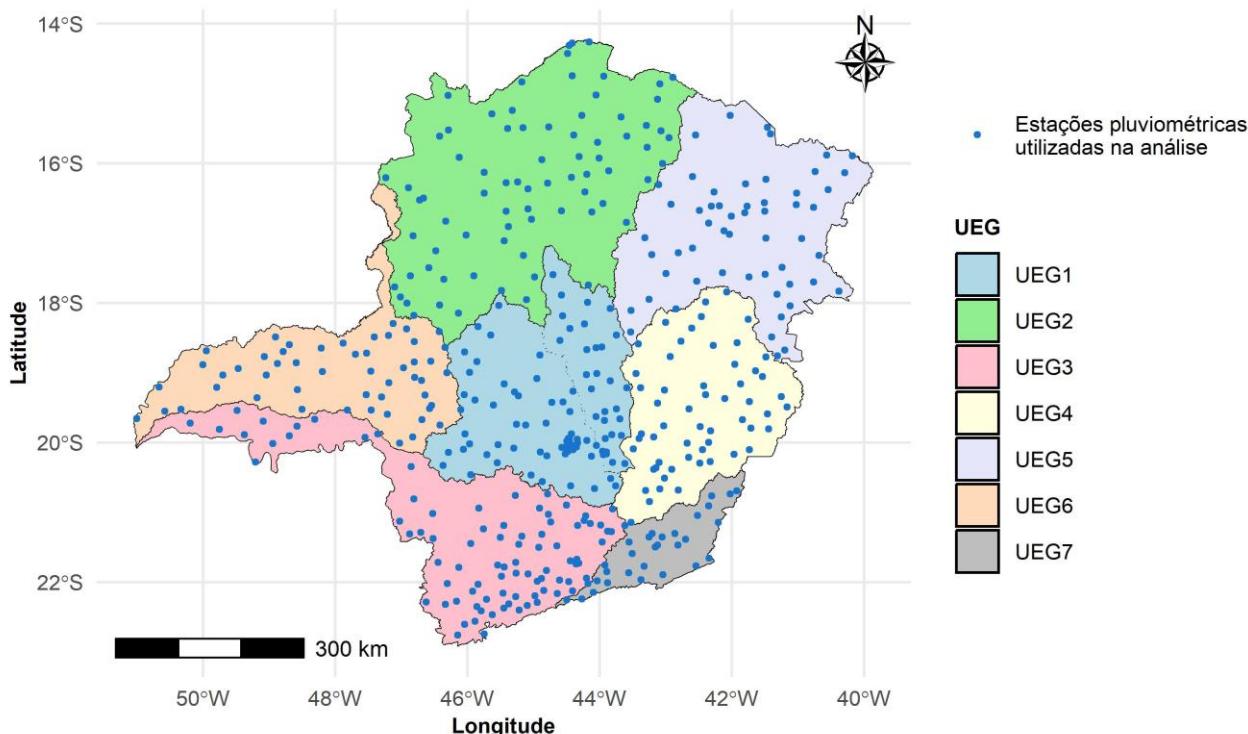


Figura 1. Estado de Minas Gerais com divisão pelas Unidades Estratégicas de Gestão (UEG) e estações pluviométricas utilizadas no estudo

Em relação aos produtos de precipitação estimados por satélite, foram analisados um total de oito, sendo: CHIRPS v2.0, CMAP, CMORPH, GPCP v2.3, GPM IMERGM v06, MSWEP v2.8, PERSIANN CDR e TRMM 3B43 v7. A aquisição dos produtos foi realizada utilizando o pacote *pRecipe* (Godoy; Markonis, 2023), que consiste em um banco de dados de precipitação global em intervalos de tempo mensais, implementado em linguagem R (R Core Team, 2025). Na Tabela 1 estão descritas mais informações a respeito de cada um dos oito produtos utilizados.

A comparação dos totais precipitados mensais entre os dados de precipitação observados nas estações pluviométricas e os estimados por satélite foi realizada por meio da aplicação dos seguintes índices estatísticos: índice de concordância de Willmott (d); erro médio absoluto (MAE); coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE); percentual de tendências (PBIAS); coeficiente de

determinação (R^2); e a raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE). As análises foram realizadas utilizando o pacote *hydroGOF* (Zambrano-Bigiarini, 2024), também implementado em linguagem R.

Tabela 1. Informações dos produtos de precipitação por satélite utilizados

Base de dados	Resolução	Cobertura	Referência
CHIRPS v2.0	0,05°	50°S-50°N Solo	Funk et al. (2015)
CMAP	2,5°	Globo	Xie & Arkin (1997)
CMORPH	0,25°	60°S-60°N Globo	Joyce et al. (2004)
GPCP v2.3	2,5°	Globo	Adler et al. (2018)
GPM IMERGM v06	0,1°	Globo	Huffman et al. (2019)
MSWEP v2.8	0,1°	Globo	Beck et al. (2019)
PERSIANN CDR	0,25°	60°S-60°N Globo	Ashouri et al. (2015)
TRMM 3B43 v7	0,25°	50°S-50°N Globo	Huffman et al. (2010)

Fonte: Adaptado de Godoy & Markonis (2023)

O índice de concordância de Willmott varia de 0 a 1, onde valores próximos de 1 indicam uma concordância quase perfeita entre as estimativas do satélite e as observações de superfície, sugerindo que as variações nos dados simulados refletem as variações nos dados observados. O erro médio absoluto (MAE) e a raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) quantificam a magnitude dos erros. Menores valores de MAE e RMSE são desejáveis, pois indicam menor desvio entre as estimativas e as observações. É importante notar que o RMSE penaliza erros maiores mais severamente do que o MAE, sendo mais sensível a valores extremos. O NSE é uma métrica amplamente utilizada para avaliar a capacidade preditiva de modelos. Um NSE igual a 1 indica uma correspondência perfeita, enquanto valores entre 0 e 1 são geralmente considerados aceitáveis, indicando que o modelo é melhor preditor do que a média dos dados observados. Valores negativos sugerem que a média dos dados observados seria um preditor superior ao produto de satélite. Por sua vez, o percentual de tendências (PBIAS) indica a superestimação ou subestimação da precipitação. Valores próximos de zero são ideais, enquanto PBIAS positivo aponta para uma superestimação e PBIAS negativo para uma subestimação das estimativas do satélite em relação às observações de superfície. Finalmente, o R^2 mede a proporção da variância na precipitação observada que é explicada pelas estimativas do satélite. Um R^2 mais próximo de 1 indica uma relação linear mais forte e que o produto de satélite consegue explicar uma maior parte da variabilidade da precipitação observada.

Para facilitar as análises, os resultados dos índices foram obtidos por Unidade Estratégica de Gestão (UEG), sendo: UEG - 1 Afluentes do Alto Rio São Francisco; UEG - 2 Afluentes do Médio Rio São Francisco; UEG - 3 Afluentes do Rio Grande; UEG - 4 Afluentes do Rio Doce; UEG - 5 Afluentes dos Rios Mucuri, São Mateus, Jequitinhonha e Pardo; UEG - 6 Afluentes do Rio Paranaíba; e UEG - 7 Afluentes do Rio Paraíba do Sul, Rio Preto (Itabapoama), Rio São João e Rio Caparaó (Figura 1). Embora essas não sejam necessariamente regiões hidrologicamente homogêneas, as UEGs são regiões hidrográficas com características comuns ou similares (de usos, demandas e disponibilidades hídricas) para fins de gestão, com ênfase no planejamento e monitoramento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 é apresentada a precipitação total anual média dos produtos por satélite para o estado de Minas Gerais, considerando os dados disponíveis para o período de análise (1979 e 2022). Conforme pode ser observado, a distribuição espacial das chuvas no estado de Minas Gerais foi notavelmente heterogênea, refletindo a vasta extensão territorial do estado, sua complexidade

topográfica e a atuação diferenciada de diversos sistemas meteorológicos e fatores climáticos (e.g. altitude).

Observou-se que todos os produtos apresentam resultados similares, e representam a distribuição espacial das chuvas observadas nas estações pluviométricas. As regiões Norte de Minas (Nordeste da UEG2) e o Vale do Jequitinhonha (UEG5) se destacam como as regiões mais secas do estado. Em algumas áreas, o clima assume características semiáridas (SUDENE, 2024), com chuvas escassas e irregulares, e totais precipitados anuais frequentemente inferiores a 1.000 mm, o que resulta em uma estação chuvosa mais curta e invernos rigorosamente secos. O Triângulo Mineiro (Noroeste da UEG3 e Oeste da UEG6), Alto Paranaíba (Leste da UEG6) e Noroeste de Minas (Noroeste da UEG2) apresentaram um regime de chuvas mais bem definidos, com verões chuvosos e invernos secos, e totais precipitados anuais em torno de 1.500 mm. As regiões do Sul de Minas (UEG3) e Zona da Mata (UEG7 e Sul da UEG4) são reconhecidas como as mais úmidas do estado. A proximidade com o oceano Atlântico e a presença de formações orográficas significativas, como a Serra da Mantiqueira, intensificam as chuvas, especialmente no verão. Nestas áreas, os volumes anuais superam os 2.000 mm. A Região Central, que inclui a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), segue um padrão de verão chuvoso e inverno seco, com volumes anuais entre 1.400 mm e 1.600 mm, onde o relevo serrano também pode influenciar a precipitação local. Por fim, o Leste de Minas (Norte da UEG4), que abrange o Vale do Rio Doce, exibe volumes de chuva intermediários, com concentração também no período de verão, sendo também influenciado pela proximidade da costa, mas com chuvas menos intensas que na Zona da Mata.

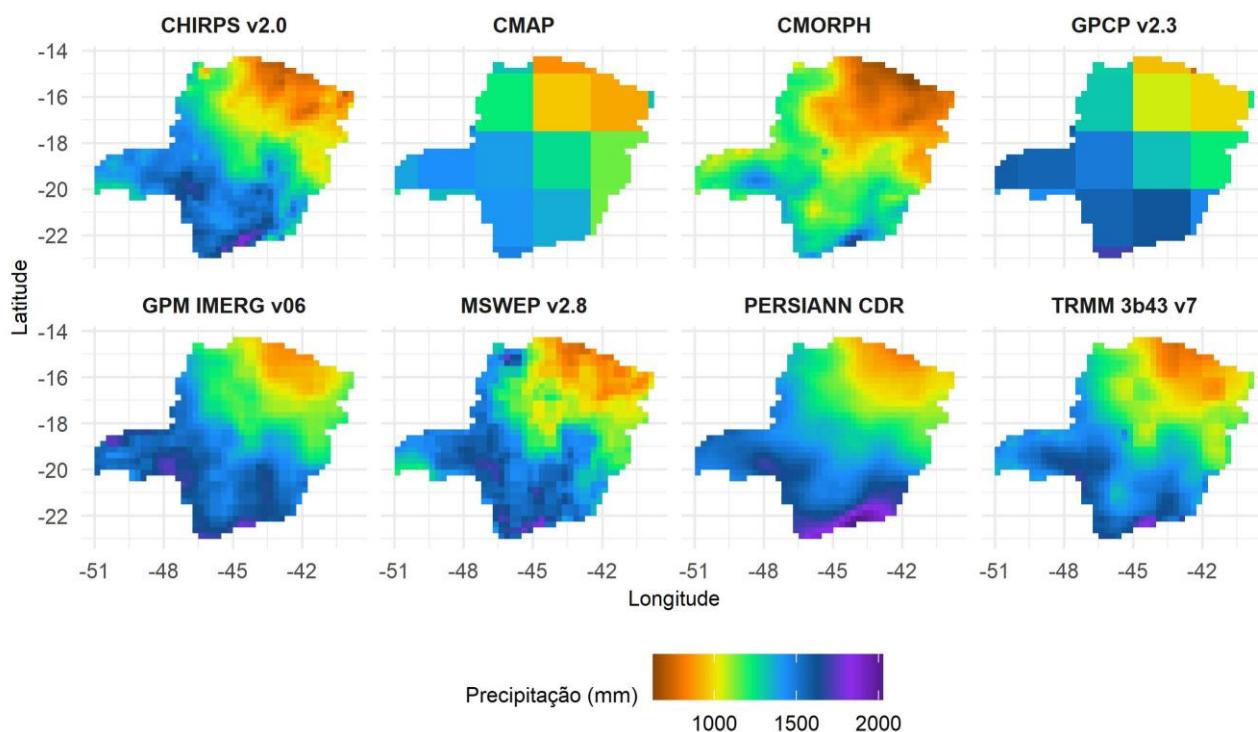


Figura 2. Média da precipitação total anual dos produtos de precipitação por satélite

Essa distribuição é moldada pela atuação de sistemas meteorológicos complexos. O principal responsável pelas chuvas volumosas e persistentes durante a estação chuvosa (outubro a março) em grande parte de Minas Gerais é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (IGAM, 2020). Esta é uma faixa de umidade que se estende da região amazônica até o Atlântico Sul, passando sobre

o Sudeste brasileiro, cuja persistência é frequentemente associada a eventos de cheias e inundações. A atuação dos sistemas frontais (SF's) também contribui para a definição do padrão de distribuição espacial das chuvas, condicionando o gradiente negativo de sul/sudoeste para norte/nordeste do Estado. Destaca-se também a influência do relevo, que influencia nos maiores totais precipitados em regiões como a Serra da Mantiqueira.

Na Figura 3 é possível observar o resultado das métricas estatísticas utilizadas na avaliação da precipitação mensal dos produtos de precipitação por satélite, em comparação aos dados observados nas estações pluviométricas, discretizados por UEG. A análise geral dos resultados por produto revelou que alguns apresentaram desempenho superior, enquanto outros demonstraram limitações evidentes. Produtos como o CHIRPS v2.0, GPM IMERG v06 e MSWEP v2.8 apresentaram os melhores resultados em uma avaliação geral das métricas, evidenciado por valores de NSE, d e R^2 mais elevados, e menores MAE e RMSE. O CHIRPS v2.0, embora focado em aplicações de monitoramento de seca agrícola, demonstrou boa capacidade de capturar a variabilidade da precipitação (Funk et al., 2015). O GPM IMERG v06, por sua vez, beneficia-se de uma combinação robusta de sensores de micro-ondas e infravermelho de última geração a bordo do satélite GPM, juntamente com algoritmos avançados de fusão e correção de viés que incorporaram dados de estações de superfície (Huffman et al., 2019). Da mesma forma, o MSWEP v2.8 é um produto multi-sensor que combina dados de satélite, reanálises e dados de estações pluviométricas, o que contribuiu significativamente para sua acurácia (Beck et al., 2019). Em relação ao PBIAS, também se verificou que os três produtos foram os que apresentaram a menor superestimativa ou subestimativa da precipitação, com valores próximos a zero e baixo intervalo interquartil.

Em contraste, produtos como CMAP, GPCP v2.3 e PERSIANN CDR exibiram um desempenho inferior. O PERSIANN CDR, que depende predominantemente de dados infravermelhos geoestacionários (Ashouri et al., 2015), pode ter dificuldades em estimar a precipitação em áreas com formação de nuvens não precipitantes ou em capturar a intensidade de eventos convectivos extremos, resultando em MAE e RMSE mais altos, NSE e R^2 mais baixos e PBIAS mais pronunciado. Tal fato fica mais evidenciado na UEG7, onde ocorrem os maiores totais precipitados. O CMAP, um produto mais antigo, também pode apresentar limitações devido à sua resolução espacial mais grosseira e aos algoritmos de recuperação menos sofisticados em comparação com as gerações mais recentes de produtos de satélite. O TRMM 3B43 v7, por sua vez, embora represente uma geração anterior ao GPM IMERG v06, ainda se mostrou razoavelmente acurado, mas com desempenho inferior ao seu substituto. Beck et al. (2019) destacam as melhorias do IMERG em relação ao TRMM, também obtendo o mesmo resultado para um estudo realizado nos Estados Unidos da América, atribuindo o resultado às melhorias implementadas no novo algoritmo IMERG.

A discretização dos resultados por UEG permitiu obter informações sobre a variabilidade espacial da performance dos produtos. Regiões como a UEG3 e a UEG7, que são caracterizadas pela maior proximidade com o oceano e pela presença de relevo mais acidentado, podem desafiar a capacidade de alguns produtos de satélite de estimar com precisão a precipitação. Nestas áreas, produtos que utilizam sensores de micro-ondas e algoritmos que assimilam dados de estações pluviométricas, tendem a manter uma maior acurácia. Na UEG3, é possível observar uma grande quantidade de dados classificados como outliers, enquanto a UEG7 foi a que apresentou o maior intervalo interquartil em todas as métricas utilizadas (Figura 3).

As características inerentes da precipitação por satélite desempenham um papel fundamental na explicação dos resultados observados. Diferenças no tipo de sensor (infravermelho vs. micro-ondas, passivo vs. ativo), nos algoritmos de recuperação e fusão, na resolução espacial e temporal, e na incorporação de dados das estações pluviométricas para calibração e correção de viés, são fatores determinantes na acurácia dos produtos de satélite (Beck et al., 2019).

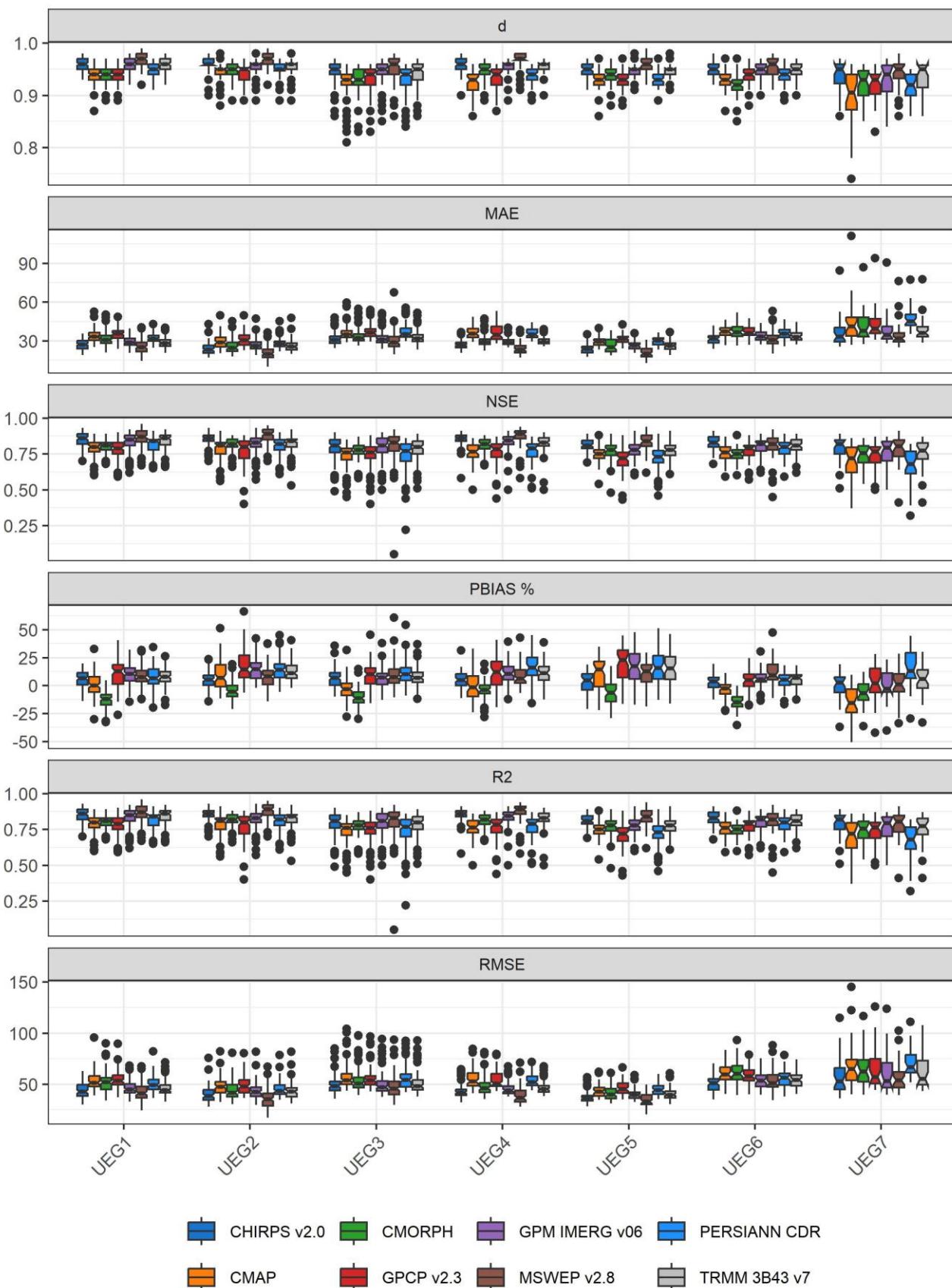


Figura 3. Resultado das métricas estatísticas utilizadas

CONCLUSÕES

Os resultados desta análise demonstram que, embora todos os produtos de satélite ofereçam um potencial valioso para o monitoramento da precipitação em Minas Gerais, sua acurácia varia consideravelmente, especialmente entre os produtos. A seleção do produto mais adequado deve considerar não apenas seu desempenho geral, mas também suas características específicas e a performance em unidades de gestão localizadas, especialmente aquelas com condições geográficas e climáticas desafiadoras, como foi o caso da UEG3 e UEG7. Produtos que integram múltiplas fontes de dados e sofisticadas técnicas de correção de viés, como o CHIRPS v2.0, GPM IMERGM v06 e o MSWEP v2.8, são as opções mais promissoras para aplicações hidrometeorológicas no estado, mas ressalta-se a contínua necessidade de análise e validação regional para otimizar sua utilização.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Marcel Carvalho *et al.* Disaggregation coefficients for obtaining rainfall intensity-duration-frequency curves: concepts, models, errors and trends in Minas Gerais, Brazil. **Urban Water Journal**, v. 20, n. 10, p. 1647–1660, 26 nov. 2023.
- ADLER, Robert F. *et al.* The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Analysis (New Version 2.3) and a Review of 2017 Global Precipitation. **Atmosphere** 2018, Vol. 9, Page 138, v. 9, n. 4, p. 138, 7 abr. 2018.
- ALCANTARA, Enner *et al.* Deadly disasters in southeastern South America: flash floods and landslides of February 2022 in Petrópolis, Rio de Janeiro. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 23, n. 3, p. 1157–1175, 21 mar. 2023.
- ASHOURI, Hamed *et al.* PERSIANN-CDR: Daily Precipitation Climate Data Record from Multisatellite Observations for Hydrological and Climate Studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 96, n. 1, p. 69–83, 1 jan. 2015.
- BECK, Hylke E. *et al.* Daily evaluation of 26 precipitation datasets using Stage-IV gauge-radar data for the CONUS. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 23, n. 1, p. 207–224, 16 jan. 2019.
- COLLISCHONN, Walter *et al.* Unprecedented April-May 2024 rainfall in South Brazil sets new record. **RBRH**, v. 29, p. e50, 20 dez. 2024.
- DALAGNOL, Ricardo *et al.* Extreme rainfall and its impacts in the Brazilian Minas Gerais state in January 2020: Can we blame climate change? **Climate Resilience and Sustainability**, v. 1, n. 1, p. e15, 1 fev. 2022.
- DE ANDRADE, João Maria *et al.* A comprehensive assessment of precipitation products: Temporal and spatial analyses over terrestrial biomes in Northeastern Brazil. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 28, p. 100842, 1 nov. 2022.
- DOS SANTOS, Bruno César *et al.* On the quality of satellite-based precipitation estimates for time series analysis at the central region of the state of São Paulo, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 151, n. 1–2, p. 467–489, 1 jan. 2023.
- FICK, Stephen E.; HIJMANS, Robert J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302–4315, 1 out. 2017.
- FRAGA, Micael de Souza *et al.* Assessment of streamflow regionalization using interpolated and satellite-based precipitation: a case study in a tropical watershed at Brazil. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 8, n. 4, p. 4853–4866, 1 nov. 2022.
- FUNK, Chris *et al.* The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data** 2015 2:1, v. 2, n. 1, p. 1–21, 8 dez. 2015.

- GARRIDO, Renan Bitencourt *et al.* Using satellite-based precipitation for developing intense rainfall equations for ungauged areas of the Southern Bahia Mesoregion. **RBRH**, v. 30, p. e13, 21 abr. 2025.
- GODOY, Mijael Rodrigo Vargas; MARKONIS, Yannis. pRecipe: A global precipitation climatology toolbox and database. **Environmental Modelling & Software**, v. 165, p. 105711, 1 jul. 2023.
- HUFFMAN, G. *et al.* GPM IMERG Final Precipitation L3 1 month 0.1 degree x 0.1 degree V06. 2019.
- HUFFMAN, G. J. *et al.* The TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis (TMPA). **Satellite Rainfall Applications for Surface Hydrology**, p. 3–22, 2010.
- IGAM. **Relatório Meteorológico do Período Chuvoso 2019-2020**. Belo Horizonte: [S.n.].
- JOYCE, Robert J. *et al.* CMORPH: A Method that Produces Global Precipitation Estimates from Passive Microwave and Infrared Data at High Spatial and Temporal Resolution. **Journal of Hydrometeorology**, v. 5, n. 3, p. 487–503, 1 jun. 2004.
- KIDD, Chris *et al.* So, How Much of the Earth's Surface Is Covered by Rain Gauges? **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 98, n. 1, p. 69–78, 1 jan. 2017.
- KOLLING NETO, Arthur *et al.* Estimating water balance in a Brazilian semiarid watershed using different spatial data. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 140, p. 104930, 15 jul. 2024.
- LELIS, Luísa Carolina Silva; DUARTE BOSQUILIA, Raoni Wainer; DUARTE, Sergio Nascimento. Assessment of Precipitation Data Generated by GPM and TRMM Satellites. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 1, p. 153–163, 1 mar. 2018.
- LIMA, Allana Oliveira *et al.* Extreme rainfall events over Rio de Janeiro State, Brazil: Characterization using probability distribution functions and clustering analysis. **Atmospheric Research**, v. 247, p. 105221, 1 jan. 2021.
- LIMA, Rafael Petruceli Coelho *et al.* Development of an annual drought classification system based on drought severity indexes. **Anais da Academia Brasileira de Ciencias**, v. 91, n. 1, 2019.
- OLIVEIRA, Rômulo *et al.* Using Satellite Error Modeling to Improve GPM-Level 3 Rainfall Estimates over the Central Amazon Region. **Remote Sensing 2018, Vol. 10, Page 336**, v. 10, n. 2, p. 336, 23 fev. 2018.
- PINHEIRO, Sávio Augusto Rocha *et al.* Flow regionalization using precipitation data from different bases as a predictive variable. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 133, p. 103516, 1 fev. 2024.
- R CORE TEAM. **R: The R Project for Statistical Computing**. 2025, 2025. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 31 maio. 2022
- RAMAROHETRA, Johanna *et al.* How satellite rainfall estimate errors may impact rainfed cereal yield simulation in West Africa. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 180, p. 118–131, 15 out. 2013.
- SANTOS, Juliana Aparecida Souza *et al.* The longest multiannual drought in Northeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 143, p. 104976, 1 set. 2024.
- SUDENE. Resolução CONDEL/SUDENE nº 176, de 03 de janeiro de 2024. 2024.
- SUN, Qiaohong *et al.* A Review of Global Precipitation Data Sets: Data Sources, Estimation, and Intercomparisons. **Reviews of Geophysics**, v. 56, n. 1, p. 79–107, 1 mar. 2018.
- XIE, Pingping; ARKIN, Phillip A. Global Precipitation: A 17-Year Monthly Analysis Based on Gauge Observations, Satellite Estimates, and Numerical Model Outputs. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 11, p. 2539–2558, 1 nov. 1997.
- ZAMBRANO-BIGIARINI, Mauricio. **hydroGOF: Goodness-of-fit functions for comparison of simulated and observed hydrological time series**. , 2024. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/hydroGOF/citation.html>>. Acesso em: 31 maio. 2025