

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS REANÁLISES CLIMÁTICAS NASA POWER E ERA5-LAND NA ESTIMATIVA DA PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DE GOIÁS

José Bonifácio Martins Filho¹;

¹UNESP, Botucatu, São Paulo.

<https://lattes.cnpq.br/4819207696239648>

Lineu Neiva Rodrigues².

²EMBRAPA, Brasília, Distrito Federal.

<http://lattes.cnpq.br/6975132145446157>

RESUMO: A precipitação é uma variável meteorológica essencial para estudos hidrológicos, agrícolas e ambientais, porém a baixa densidade de estações pluviométricas limita sua representação espacial. Nesse contexto, produtos de reanálise climática constituem uma alternativa para suprir a escassez de dados observados, desde que sua confiabilidade seja previamente avaliada. O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho das reanálises climáticas NASA POWER e ERA5-Land na estimativa da precipitação diária no estado de Goiás. Foram utilizados dados de 81 postos pluviométricos referentes ao período de 1988 a 2008, comparando-se as estimativas das reanálises com observações em superfície por meio dos indicadores MBE, MAE, RMSE, índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de determinação (R^2), eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) e eficiência de Kling-Gupta (KGE). Posteriormente, aplicou-se a correção de viés pelo método Linear Scaling. Os resultados mostraram desempenho moderado para ambas as reanálises, com predominância de subestimativas pelo NASA POWER e de superestimativas pelo ERA5-Land. A correção de viés reduziu os erros médios e promoveu melhorias nos indicadores estatísticos, embora persistissem limitações na representação da variabilidade temporal da precipitação diária. Conclui-se que ambas as reanálises apresentam potencial de aplicação em regiões com escassez de dados observados, desde que submetidas previamente à correção de viés.

PALAVRAS-CHAVE: Precipitação. Reanálise climática. Correção de viés.

PERFORMANCE EVALUATION OF THE NASA POWER AND ERA5-LAND CLIMATE REANALYSES FOR PRECIPITATION ESTIMATION IN THE STATE OF GOIÁS

ABSTRACT: Precipitation is an essential meteorological variable for hydrological, agricultural, and environmental studies; however, the low density of rain gauge networks limits its spatial representation. In this context, climate reanalysis products represent an alternative source of precipitation data, provided that their reliability is properly evaluated. This study aimed to assess the performance of the NASA POWER and ERA5-Land climate reanalyses in estimating daily precipitation in the state of Goiás, Brazil. Daily precipitation data from 81 rain gauge stations covering the period from 1988 to 2008 were compared with

reanalysis estimates using the Mean Bias Error (MBE), Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), Willmott's Index of Agreement (d), Coefficient of Determination (R^2), Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE), and Kling–Gupta Efficiency (KGE). Subsequently, bias correction was performed using the Linear Scaling method. The results indicated moderate performance for both reanalyses, with NASA POWER predominantly underestimating precipitation and ERA5-Land tending to overestimate it. Bias correction reduced the mean errors and improved the statistical performance metrics, although limitations in representing the temporal variability of daily precipitation remained. Overall, both reanalysis products are suitable alternative data sources for regions with limited observational records, provided that bias correction is applied beforehand.

KEYWORDS: Precipitation. Climate reanalysis. Bias correction.

INTRODUÇÃO

No contexto do ciclo hidrológico, a precipitação corresponde ao processo pelo qual a água condensada na atmosfera retorna à superfície terrestre, constituindo o principal componente de entrada do balanço hídrico e exercendo forte influência sobre a agricultura, os ambientes urbanos e os ecossistemas (MINUZZI; LOPEZ, 2014). Sua distribuição espacial, temporal e intensidade são fundamentais para estudos relacionados ao cultivo em sistemas agrícolas de sequeiro (ROCHA et al., 2021), à erosividade das chuvas (OLIVEIRA, 2021) e aos riscos de inundações (VESTENA et al., 2020).

Os dados de precipitação são tradicionalmente obtidos por pluviômetros e estações meteorológicas. Entretanto, a baixa densidade das redes de monitoramento limita a representação da variabilidade espaço-temporal das chuvas em grandes áreas (ALTHOFF et al., 2020). Em Goiás, embora existam aproximadamente 400 pontos de monitoramento, essa cobertura ainda é insuficiente para representar adequadamente os fenômenos hidroclimáticos do estado, além de a expansão da rede exigir elevados investimentos (ANA, 2020; TAN et al., 2023).

Nesse contexto, produtos derivados de sensoriamento remoto e reanálises climáticas têm sido amplamente utilizados como alternativa aos dados observados. Desde o lançamento do satélite TIROS I, na década de 1960, avanços tecnológicos em sensores orbitais, radares e sistemas de reanálise ampliaram a disponibilidade e a qualidade das estimativas de precipitação (LIU, 2015). Esses produtos apresentam aplicações consolidadas em estudos hidrológicos e ambientais, especialmente em regiões com escassez de observações meteorológicas (JIANG; WANG, 2019; WORQLUL et al., 2014; LI et al., 2012).

Apesar de seu amplo potencial de aplicação, a precipitação permanece uma das variáveis meteorológicas mais complexas de estimar, e os produtos de reanálise podem apresentar vieses em relação aos dados observados. Assim, a validação dessas estimativas torna-se indispensável para verificar sua confiabilidade e subsidiar aplicações em estudos hidrológicos e agrícolas (HOEKSTRA et al., 2011; JIMÉNEZ-JIMÉNEZ et al., 2021).

OBJETIVO

Avaliar a acurácia, a consistência e a capacidade de representação dos dados de precipitação de longo prazo provenientes das reanálises climáticas NASA POWER e ERA5-Land, por meio da comparação com dados observados em superfície, visando verificar sua confiabilidade e potencial de aplicação.

METODOLOGIA

Área de estudo

O estado de Goiás ocupa uma área territorial de aproximadamente 340.242,856 km² (IBGE, 2021) e apresenta cerca de 98% de sua extensão inserida no bioma Cerrado, considerado o principal domínio fitogeográfico da região (RODRIGUES, 2023; BOLFE; SANO, 2020). Sob a perspectiva da classificação climática de Köppen, verifica-se o predomínio do clima tropical de savana, caracterizado por inverno seco (Aw), abrangendo a maior parte do território goiano. Entretanto, em determinadas microrregiões ocorrem variações climáticas, com a presença dos tipos Am (clima tropical de monção), Cwa (clima subtropical úmido com inverno seco e verão quente) e Cwb (clima subtropical de altitude com inverno seco e verão ameno), evidenciando a diversidade das condições climáticas existentes no estado (CARDOSO et al., 2014; NOVAIS, 2020).

Base de Dados de Precipitação Observada

Os dados históricos de precipitação foram obtidos junto ao Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET/BDMEP) e à Rede Hidrometeorológica Nacional da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). A seleção das estações e do período de análise seguiu as recomendações da Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2017), considerando: (i) séries históricas com pelo menos 20 anos de dados diários; (ii) percentual de falhas inferior a 10%; (iii) período de operação das estações; e (iv) compatibilidade temporal com os produtos de reanálise avaliados. Após o controle de qualidade das séries, definiu-se como período de referência o intervalo de 1º de janeiro de 1988 a 31 de dezembro de 2008, totalizando 20 anos de dados diários provenientes de 81 postos pluviométricos. As falhas nas séries históricas foram preenchidas pelo método da ponderação regional, utilizando os três postos pluviométricos mais próximos com dados disponíveis (DIAZ et al., 2018).

Reanálise NASA POWER

O conjunto de dados NASA POWER foi desenvolvido para aplicações nos setores agrícola, energético e ambiental (STACKHOUSE et al., 2015). Possui cobertura global, resolução espacial de 1° × 1° e séries históricas disponíveis desde 1981. Neste estudo, foram utilizadas apenas as estimativas de precipitação, obtidas em formato NetCDF e posteriormente convertidas para CSV. Os dados foram compatibilizados com o período das estações pluviométricas de referência, ajustados para o fuso horário UTC-3 e para o

sistema de referência geodésico SIRGAS 2000.

Reanálise ERA5-Land

A reanálise ERA5-Land, desenvolvida pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF), fornece estimativas meteorológicas com resolução espacial de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$, resolução temporal horária e séries históricas disponíveis desde 1950 (MUÑOZ SABATER, 2019). Neste estudo, foram utilizadas apenas as estimativas de precipitação, obtidas em formato NetCDF e posteriormente convertidas para CSV. Os dados foram compatibilizados com o período das séries observadas, ajustados para o fuso horário UTC-3 e para o sistema de referência SIRGAS 2000.

Avaliação do Desempenho das Reanálises Climáticas

O desempenho das estimativas diárias de precipitação das reanálises NASA POWER e ERA5-Land foi avaliado por comparação com os dados observados nas estações pluviométricas. Para quantificar a precisão das estimativas, utilizaram-se o Erro Médio de Viés (MBE; Equação 1), Erro Médio Absoluto (MAE; Equação 2) (ABRO et al., 2020), Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE; Equação 3), Índice de Concordância de Willmott (d; Equação 4), Coeficiente de Determinação (R^2 ; Equação 5), Eficiência de Nash–Sutcliffe (NSE; Equação 6) (NASH; SUTCLIFFE, 1970) e Eficiência de Kling–Gupta (KGE; Equação 7) (GUPTA et al., 2009).

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m (Sim_i - Obs_i)$$

(1)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m |Sim_i - Obs_i|$$

(2)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^m (Obs_i - Sim_i)^2}$$

(3)

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Obs_i - \overline{sim}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|Sim_i - \overline{Obs}| + |Obs_i - \overline{Obs}|)}$$

(4)

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Obs_i - \overline{Obs}_i) i (Sim_i - \overline{Sim}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (Obs_i - \overline{Obs}_i)^2} \sqrt{(\sum_{i=1}^n Sim_i - \overline{Sim}_i)^2}}$$

(5)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obsi} - Q_{simi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obsi} - Q_{meani})^2}$$

(6)

$$KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + (\beta - 1)^2 + (\gamma - 1)^2}$$

(7)

Em que

n = número de observações; Obs_i e Sim_i = valores de precipitação estimada com dados observados e oriundos de reanálise no dia i , respectivamente; $\bar{O}$ e $\bar{S}$ = média aritmética da precipitação estimada de dados observados e de dados oriundos de reanálises, respectivamente, r = coeficiente de correlação.

Correção de Viés das Estimativas de Precipitação

A correção de viés das estimativas de precipitação das reanálises foi realizada por meio do método de escalonamento linear, proposto por Lenderink et al. (2007). Esse

método consiste na aplicação de um fator de correção obtido pela razão entre a média da precipitação observada e a média da precipitação estimada pela reanálise, conforme a Equação 8.

$$P_{(c)} = P_{(sim)} \left(\frac{\overline{P_{obs}}}{\overline{P_{sim}}} \right) \quad (8)$$

Em que

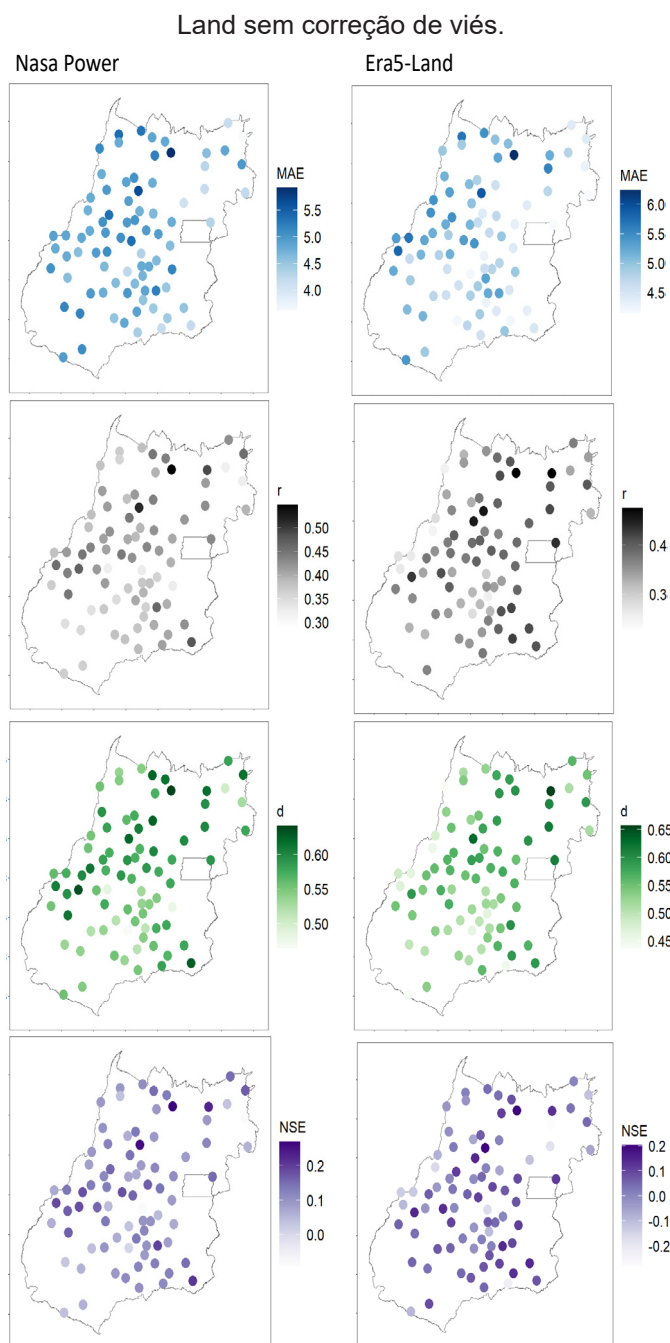
$P_{(c)}$ = Precipitação com correção de correção de viés; $P_{(sim)}$ = Precipitação obtida a partir de dados de reanálises; $\overline{P_{obs}}$ = média diária da precipitação observada; $\overline{P_{sim}}$ = média diária da precipitação oriunda de reanálises.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do desempenho das estimativas de precipitação diária do NASA POWER e do ERA5-Land, sem correção de viés, são apresentados na Figura 2. Para o NASA POWER, o MAE variou de 3,61 mm (São Domingos) a 5,91 mm (Campinaçu), enquanto o índice de concordância (d) oscilou entre 0,46 (Edeia) e 0,64 (Campinaçu). Em 96% das localidades, os valores de d situaram-se entre 0,50 e 0,64, indicando desempenho moderado. Os municípios de Inhumas e Posse apresentaram NSE igual a -0,09, evidenciando que a média dos valores observados foi um preditor mais eficiente da precipitação diária do que as estimativas fornecidas pelo NASA POWER.

Considerando a reanálise ERA5-land constatou-se que o erro médio na estimativa diária de chuva pode variar de 6,2 mm (Campinaçu) a 4,1 mm (Formosa), e foram registrados valores de correlação máximo de 0,47 em Campinaçu e um mínimo de 0,22 em Aporé. É relevante notar que, para 20% dos pontos avaliados, foram registrados valores negativos de NSE (-0,09), indicando que a média dos valores observados é um preditor mais eficaz do que as estimativas provenientes do ERA5-Land.

Figura 2. Desempenho estatístico da precipitação diária estimada pelas reanálises NASA POWER e Era5-



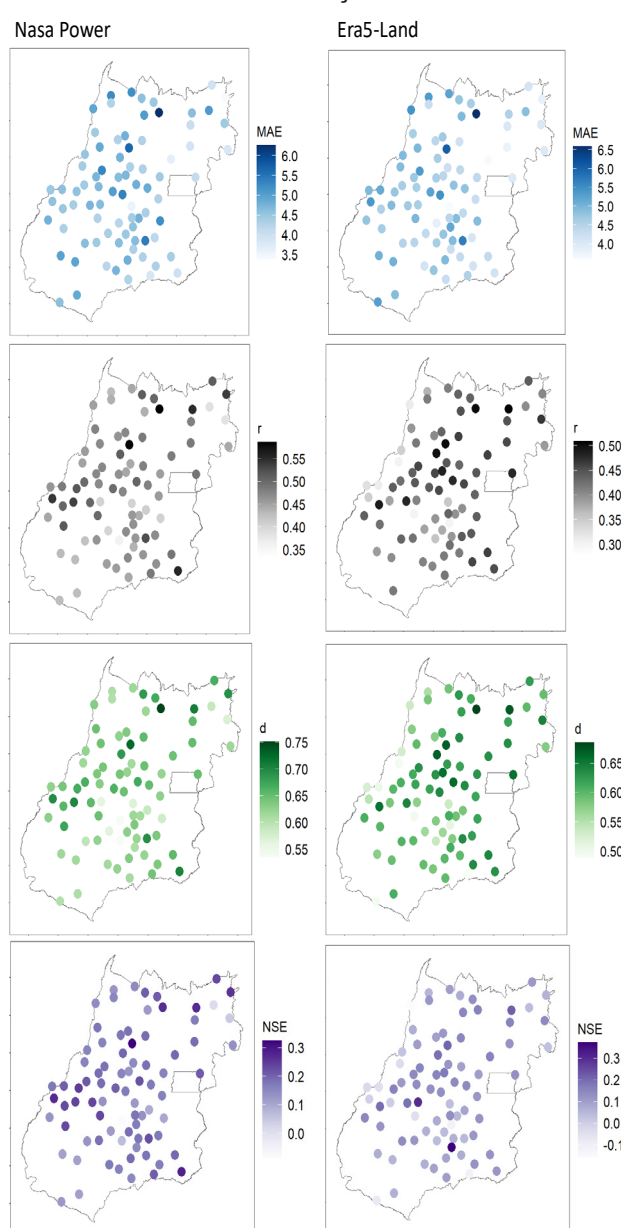
Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o NASA POWER, 48% dos pontos apresentaram valores negativos de BIAS, indicando tendência de subestimativa da precipitação observada. Já o ERA5-Land apresentou BIAS positivo em 53% das localidades, evidenciando predominância de superestimativas. Os resultados das estimativas com correção de viés são apresentados na Figura 3. Para o NASA POWER, observou-se redução do MAE na maioria das localidades, como em São Domingos, onde o erro diminuiu de 3,61 para 3,38 mm. O índice de concordância (d) apresentou melhora, com valores superiores a 0,50 em todas as localidades, assim

como o coeficiente de correlação, que superou 0,50 em aproximadamente 50% dos pontos avaliados.

Para o ERA5-Land, a correção de viés reduziu o erro médio em 83% das localidades e elevou o índice d para valores superiores a 0,50 em todos os pontos. As melhores e piores estimativas foram registradas em Campinaçu ($d = 0,70$) e Buriti ($d = 0,50$), respectivamente. Embora também tenha ocorrido melhora na correlação, cerca de 74% das localidades ainda apresentaram coeficientes inferiores a 0,40. A redução dos erros refletiu em maiores valores de NSE para ambas as reanálises, evidenciando ganho na acurácia das estimativas após a correção de viés.

Figura 3. Desempenho estatístico da precipitação diária estimada pelas reanálises NASA POWER e Era5-Land com correção de viés.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao avaliar as estimativas de precipitação em escala diária para o território da Espanha, Cebolla et al., (2023) observaram que as estimativas da reanálise Era5-Land representou adequadamente os padrões espaciais e as tendências temporais da precipitação da área estudada. Entretanto, segundo os autores o pior desempenho da reanálise é obtido durante os meses de verão, com uma superestimação generalizada.

Os dados de precipitação mensal da reanálise ERA5-land foram avaliadas por Longo-Minnolo, et al. (2022) para bacia do rio Simeto na Itália que obtiveram valores de MAE entre 18,26 e 49,32 mm. Os autores concluíram que muitas incertezas da reanálise ERA5-land estão relacionadas as condições microclimáticas específicas da região estudada. E recomendam aplicação de métodos de correção de viés para aumentar a acurácia dos dados estimados.

O desempenho da variação espaço-temporal da precipitação oriunda da reanálise ERA5 foi avaliada por Jiao et al. (2021) para territórios chineses que verificaram bons níveis de acurácia, sendo reportado coeficiente de correlação linear variando entre 0,79 a 0,95, os autores também destacaram que o bom desempenho das estimativas estava diretamente relacionado com a distribuição topográfica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As reanálises NASA POWER e ERA5-Land apresentaram desempenho moderado na estimativa da precipitação diária no estado de Goiás, com diferenças de desempenho entre os produtos e variações espaciais nas estimativas. Antes da correção de viés, o NASA POWER apresentou predominância de subestimativas, enquanto o ERA5-Land tendeu a superestimar a precipitação.

A correção de viés por escalonamento linear reduziu os erros médios e melhorou os índices estatísticos de desempenho para a maioria das localidades avaliadas. Entretanto, os coeficientes de correlação permaneceram baixos em parte das estações, principalmente para o ERA5-Land, indicando limitações na representação da variabilidade temporal da precipitação diária.

REFERÊNCIAS

- ABRO, M. I. et al. Statistical and qualitative evaluation of multi-sources for hydrological suitability inflood-prone areas of Pakistan. **Journal of Hydrology**, v. 588, n. April, p. 125-117, 2020.
- ALTHOFF, D.; DIAS, S. H. B.; FILGUEIRAS, R.; RODRIGUES, L. N. ETo-Brazil: A Daily Gridded Reference Evapotranspiration Data Set for Brazil (2000–2018). **Water Resources Research**, v. 56, n. 7, 2020.
- ANA - Agência Nacional de Águas. **Uso da água na agricultura de sequeiro no Brasil (2013-2017)**. Agência Nacional de Águas, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. - Brasília: ANA, 2020. 63 p.
- ANA & IBGE - Agência Nacional de Águas, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Uso da água na agricultura de sequeiro no Brasil (2013-2017). Brasília: ANA, 2020. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/27410-dependente-das-chuvasagricultura-de-sequeiro-tem-deficit-hidrico-de-37>.

BOLFE, E. L.; SANO, S. K. C. **DINÂMICA AGRÍCOLA NO CERRADO**: Análises e Projeções. 1a edição ed. Brasília, DF: 2020.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. **ACTA Geográfica**, v.8, n.16, p.40-55, 2014.

CEBOLLA, J.; RATTAYOVA, V.; SALAZAR-GALÁN, S.; FRANCÉS, F. Evaluation of ERA5 and ERA5-Land reanalysis precipitation datasets over Spain (1951–2020). **Atmospheric Research**, v. 284, n. 10, p. 1-18, 2023

DIAZ, C. C. F.; PEREIRA, J. A. S.; NÓBREGA, R. S. Comparação de dados estimados por dois diferentes métodos para o preenchimento de falhas de precipitação pluvial na bacia do rio Pajeú, Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, n. 14, p. 324 - 339, 2018.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M. Manual de avaliação da pegada hídrica: estabelecendo o padrão global. Londres: Earthscan, 2011.

GUPTA, H. V. et al. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. **Journal of Hydrology**, v. 377, n. 1–2, p.80–91, 2009.

JIANG, D.; WANG, K. The role of satellite-based remote sensing in improving simulated streamflow: A review. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 8, p. 10–14, 2019.

JIAO, D., XU, N., YANG, F.; XU, K. Evaluation of spatial-temporal variation performance of ERA5 precipitation data in China. **Scientific Reports**, v.11, n.17956, p1-13, 2021.

JIMÉNEZ-JIMÉNEZ, S. I.; OJEDA-BUSTAMANTE, W.; INZUNZAIBARRA, M. A. & MARCIAL-PABLO, M. J. Analysis of the NASA-POWER system for estimating reference evapotranspiration in the Comarca Lagunera, Mexico. **Ingeniería Agrícola y Biosistemas**, v. 13, n. 2, 201-226, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.5154/r.inagbi.2021.03.050>

LENDERINK, G., BUIHAND, A., VAN DEURSEN, W. Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. Hydrol. **Earth Syst. Sci.**, v.11, n. 3, p. 1145–1159, 2007.

LI, X. H. et al. Suitability of the TRMM satellite rainfalls in driving a distributed hydrological model for water balance computations in Xinjiang catchment, Poyang lake basin. **Journal of Hydrology**, v. 426–427, p. 28–38, 2012.

LIU, Z. Comparison of precipitation estimates between version 7 3-hourly TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) near-real-time and research products. **Atmospheric Research**, v. 53. 2015.

LONGO-MINNOLO, G.; VANELLA, D.; CONSOLI, S.; PAPPALARDO, S.; RAMÍREZ-CUESTA, J. M. Assessing the use of ERA5-Land reanalysis and spatial interpolation

methods for retrieving precipitation estimates at basin scale, **Atmospheric Research**, v. 271, n.106131, p. 1-13, 2022.

MINUZZI, R.B.; LOPEZ, F.Z. Variabilidade de índices de chuva nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. **Biosci. J.**, v. 30, n. 3, p. 697-706, 2014.

MUÑOZ SABATER, J. **ERA5-Land hourly data from 1981 to present**. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS) . 2019.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v. 10, n. 3, p. 282–290, 1970.

NOVAIS, G. T. Classificação climática aplicada ao Estado de Goiás e ao Distrito Federal, Brasil. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v. 40, n. 1, p. 1–29, 2020.

OLIVEIRA, J. A. M. Erosividade da chuva no município de Juramento-MG no período de 1987 a 2019. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.14, n.04, p. 1852-1860, 2021.

ROCHA, T. B. C. et al. Indicadores de Veranicos e de Distribuição de Chuva no Ceará e os Impactos na Agricultura de Sequeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 3, p. 579 589, 2021.

STACKHOUSE JR, P. W.; WESTBERG, D. W.; CHANDLER, W. S.; ZHANG, T.; HOELL, J. M. Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER): Agroclimatology methodology, version 1.1.0. Hampton, VA: NASA Langley Research Center, 2015. 72 p. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20130013357/downloads/20130013357.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2023.

VESTENA, L. R.; ALMEIDA, D. E. F.; GEFFER, E. Análise espacial e temporal da distribuição dos alagamentos e inundações na cidade de Guarapuava, **Brazilian Journal of Development**. v. 6, n.5, p.24923-24941, 2020.

WMO - World Meteorological Organization - **Guidelines on the Calculation of Climate Normals**. Switzerland, Geneva, 2017.

WORQLUL, A. W. et al. Comparison of rainfall estimations by TRMM 3B42, MPEG and CFSR with ground-observed data for the Lake Tana basin in Ethiopia. *Hydrology and Earth System Sciences*, Göttingen, v. 18, n. 12, p. 4871, 2014.