

Desempenho do projeto POWER/NASA para estimativa de precipitação pluvial e temperatura do ar no semiárido brasileiro

André dos Anjos Correia^{1*}

¹Mestre em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil. (*Autor correspondente: andreanjos53@gmail.com)

Histórico do Artigo: Submetido em: 21/06/2024 – Revisado em: 03/08/2024 – Aceito em: 23/09/2024

RESUMO

Dados meteorológicos estimados por satélites pode ser uma alternativa a escassez ou ausência de estações meteorológicas terrestres além de falhas temporais nos bancos de dados dessas estações. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho do projeto POWER/NASA em estimar dados de precipitação pluvial e temperatura do ar em escala diária, mensal e anual na região do Semiárido brasileiro. Foram utilizadas 30 estações do INMET distribuídas no Semiárido brasileiro para comparar com os dados fornecidos pelo projeto POWER/NASA no mesmo ponto de localização das estações do INMET. Para isso, considerou-se 12 anos de dados (2010 a 2021) de precipitação pluvial diária e temperatura do ar diária, com posterior conversão em escala mensal e anual. Para avaliar o desempenho do projeto POWER/NASA foi utilizado algumas técnicas estatísticas: coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de concordância de Willmott (d), erro médio (EM), erro absoluto médio (EAM) e erro médio percentual (EMP). O projeto teve melhor desempenho em estimar dados mensais e anuais de precipitação pluvial ($R^2 = 0,949$ e $0,907$, respectivamente), com tendência de superestimar. Para temperatura do ar, o projeto apresentou ótimos resultados para a escala mensal ($R^2 = 0,949$), também com tendência de superestimar, porém, os resultados para temperatura do ar diária e anual foram considerados satisfatórios.

Palavras-Chaves: Validação. POWER NASA. Nordeste. Estação meteorológica. Satélite.

Project power/nasa performance for rainfall and air temperature estimation in the brazilian semiarid region

ABSTRACT

Meteorological data estimated by satellites can be an alternative to the scarcity or absence of terrestrial meteorological stations, in addition to temporal failures in the databases of these stations. Thus, the objective of this work was to evaluate the performance of the POWER/NASA project in estimating data on rainfall and air temperature on a daily, monthly and annual scale in the Brazilian semiarid region. Thirty INMET stations distributed in the Brazilian semi-arid region were used to compare with the data provided by the POWER/NASA project at the same location as the INMET stations. For this, 12 years of data (2010 to 2021) of daily rainfall and daily air temperature were considered, with subsequent conversion to a monthly and annual scale. To evaluate the performance of the POWER/NASA project, some statistical techniques were used: coefficient of determination (R^2), Pearson correlation coefficient (r), Willmott concordance index (d), mean error (EM), mean absolute error (EAM) and mean percentage error (EMP). The project performed better in estimating monthly and annual rainfall data ($R^2 = 0.949$ and 0.907 , respectively), with a tendency to overestimate. For air temperature, the project presented excellent results for the monthly scale ($R^2 = 0.949$), also with a tendency to overestimate, but the results for daily and annual air temperature were considered satisfactory.

Keywords: Validation. POWER NASA. Northeast. Weather station. Satellite

Correia, A. A. (2024). Desempenho do projeto POWER/NASA para estimativa de precipitação pluvial e temperatura do ar no Semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.5, n.3, p.46-60.



1. Introdução

As regiões semiáridas ocorrem em todos os continentes, com exceção da Antártida, e são caracterizadas como regiões de cobertura vegetal reduzida, baixa precipitação pluviométrica, baixa amplitude térmica e solos sujeitos a erosão, o que leva ao processo de desertificação desses locais (Brovkin, 2013; Joseph; Gbenga; Langyit, 2018; Barbosa *et al.*, 2019).

No Brasil, o semiárido ocupa 12% do território nacional; com isso, estende-se por nove estados da região Nordeste e também pelo norte de Minas Gerais (INSA, 2013). Tem precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm e Índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 (SUDENE, 2017). Além das baixas médias de precipitação total anual, o semiárido possui grande irregularidade de chuvas no espaço e no tempo e dessa forma a seca é tida como principal problema climático na região (Mattos; May, 2020).

No semiárido brasileiro, a escassez de água leva a população a criar estratégias de sobrevivência; logo, a precipitação pluvial é um elemento climático que influencia as atividades socioeconômicas, criando situações de deficiência hídrica e riscos para a segurança alimentar e energética (Dornellas *et al.*, 2020; Costa *et al.*, 2019). O monitoramento meteorológico da região é fundamental para auxiliar nos estudos socioambientais pois ajuda políticas públicas de convivência com o semiárido, como o planejamento urbano e a prevenção de desastres naturais (Mello; Kohls; Oliveira, 2017, Rabelo, Santos; Sousa Filho, 2022).

O Brasil possui grande extensão territorial com grande variabilidade de climas, relevo, e biomas, desse modo, para o acompanhamento das variáveis climáticas é necessária uma densa rede de estações meteorológicas ou postos pluviométricos distribuídos no território nacional (Mello; Kohls; Oliveira, 2017). No entanto, o que ocorre é a escassa cobertura de estações meteorológicas no país, com regiões, o semiárido, por exemplo, apresentando poucas estações e a grande maioria com panes mecânica e dados ausentes, ou seja, lacunas em series históricas devido à falta de manutenção adequada (Melo *et al.*, 2015; Junqueira; Amorim; Oliveira, 2018).

O avanço do Sensoriamento Remoto nos últimos anos está permitindo estimativas de precipitação e vários outros dados climáticos como alternativa a estações terrestres, é um método que fornece dados meteorológicos para qualquer região do globo, esses dados sintéticos pode representar uma alternativa adequada para suprir a falta de dados observados (Monteiro; Sentelhas; Pedra, 2017, Paredes-Trejo; Barbosa; Lakshmi Kumar, 2017).

Como resultado desse avanço, por exemplo, é o projeto POWER/NASA. O projeto Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) da National Aeronautics and Space Administration (NASA) foi criado para melhorar o atual conjunto de dados de energia renovável e criar novos conjuntos de dados a partir de novos sistemas de satélite (NASA POWER, 2021). O projeto fornece conjunto de dados meteorológicos com cobertura quase global desde 1981 até os dias atuais, esses dados são calculados em grades geográficas de 0,5° de latitude por 0,625° de longitude (aproximadamente 55,5 x 70,0 km) (Paul Stackhouse, 2020).

Portanto, a ausência de dados climáticos para determinadas regiões, como o semiárido brasileiro, representa um obstáculo significativo para agricultores, pesquisadores e entidades públicas que dependem dessas informações para a gestão de atividades essenciais.

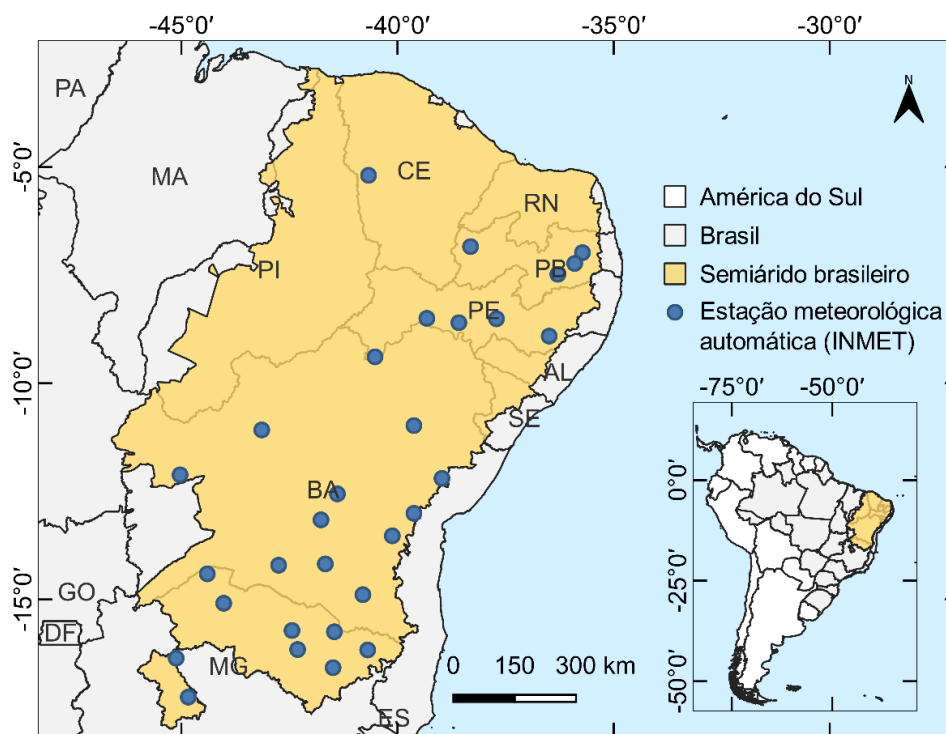
Nesse contexto, as estimativas baseadas em satélites emergem como uma solução viável, oferecendo alta resolução espaço-temporal em áreas vastas e carentes de dados. Este avanço tecnológico, exemplificado pelo projeto POWER/NASA, é crucial para suprir a falta de informações observacionais e garantir o monitoramento climático necessário para o desenvolvimento sustentável e a mitigação dos impactos socioeconômicos nas regiões semiáridas. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho do projeto POWER/NASA em estimar dados de precipitação pluvial e temperatura do ar em escala diária, mensal e anual na região do Semiárido brasileiro.

2. Material e Métodos

A delimitação do Semiárido brasileiro utilizado no presente trabalho seguiu as Resoluções do Conselho Deliberativo da Sudene de nº 107, de 27/07/2017 e de nº 115, de 23/11/2017. O Semiárido possui uma extensão territorial de aproximadamente 1.100.000 km² e população de 27.870.000 habitantes de acordo com a SUDENE (2017) (Figura 1).

O bioma predominante do Semiárido brasileiro é a Caatinga, composta por leguminosas, gramíneas, *euphorbiáceas*, bromeliáceas e cactáceas. As maiores árvores têm em média 3 a 9 m de altura (3). A vegetação é adaptada ao clima com presença de espinhos que emergem da folhagem cuja densidade depende das condições de clima e do estado de conservação do solo (Oliveira *et al.*, 2012). O período chuvoso predominante no semiárido brasileiro ocorre entre os meses de fevereiro a maio (Marengo; Torres; Alves, 2016).

Figura 1 - Delimitação do Semiárido brasileiro e a distribuição das estações meteorológicas automáticas do INMET.
Figure 1 - Delimitation of the Brazilian Semi-arid region and the distribution of INMET's automatic meteorological stations.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)
Source: Prepared by the authors (2023)

Para avaliar a performance do projeto POWER/NASA em estimar valores de precipitação e temperatura do ar foram adquiridos series temporais diárias do período de 2010 a 2021 (12 anos) de 30 estações meteorológicas automáticas (Figura 1) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET; disponível online em: www.inmet.gov.br) (INMET, 2023).

As estações foram selecionadas com base no número de dados faltantes na série temporal, entre todas as estações disponíveis no polígono do Semiárido selecionou-se as que apresentaram no mínimo 90% de dados

completos. A tabela 1 mostra as informações geográficas de cada estação selecionada. A fim de avaliar a performance em escala mensal e anual também, os dados foram reprojeto para obter as duas escalas.

Tabela 1 - Informações geográficas das estações meteorológicas automáticas selecionadas para o estudo.

Table 1 - Geographic information of the automatic meteorological stations selected for the study.

Estação/Código	Cidade	Estado	Coordenadas (°)		Altitude (m)
			Latitude	Longitude	
A549	Águas Vermelhas	MG	-16° 15 ' 0"	-42° 32 ' 24"	754
A508	Almenara	MG	-17° 49 ' 48"	-41° 18 ' 36"	189
A434	Amargosa	BA	-14° 59 ' 24"	-40° 22 ' 48"	398
A310	Areia	PB	-7° 1 ' 12"	-36° 16 ' 48"	573
A429	Barra	BA	-12° 55 ' 12"	-44° 51 ' 36"	408
A402	Barreiras	BA	-13° 52 ' 48"	-46° 58 ' 12"	474
A433	Brumado	BA	-15° 49 ' 12"	-42° 19 ' 48"	473
A348	Cabaceiras	PB	-8° 31 ' 12"	-37° 42 ' 36"	392
A329	Cabrobó	PE	-9° 30 ' 0"	-40° 40 ' 48"	343
A313	Campina Grande	PB	-8° 46 ' 12"	-36° 6 ' 0"	546
A342	Crateús	CE	-6° 48 ' 36"	-41° 19 ' 48"	298
A413	Feira de Santana	BA	-13° 48 ' 0"	-39° 1 ' 48"	230
A351	Floresta	PE	-9° 24 ' 0"	-39° 25 ' 12"	327
A322	Garanhuns	PE	-9° 5 ' 24"	-37° 30 ' 36"	828
A426	Guanambi	BA	-15° 47 ' 24"	-43° 15 ' 0"	552
A349	Ibimirim	PE	-9° 29 ' 24"	-38° 17 ' 24"	434
A550	Itaobim	MG	-17° 25 ' 12"	-42° 30 ' 36"	272
A407	Itirucu	BA	-14° 28 ' 12"	-41° 52 ' 48"	757
A425	Lençóis	BA	-13° 26 ' 24"	-42° 36 ' 36"	438
A539	Mocimbo	MG	-16° 54 ' 36"	-45° 58 ' 48"	454
A526	Montalvânia	MG	-15° 35 ' 24"	-45° 36 ' 0"	520
A307	Petrolina	PE	-10° 36 ' 36"	-41° 28 ' 48"	373
A430	Piata	BA	-14° 50 ' 24"	-42° 13 ' 48"	1.284
A545	Pirapora	MG	-18° 44 ' 24"	-45° 9 ' 36"	505
A436	Queimadas	BA	-11° 1 ' 12"	-40° 22 ' 48"	310
A551	Rio Pardo de Minas	MG	-16° 16 ' 48"	-43° 33 ' 36"	850
A552	Salinas	MG	-17° 50 ' 24"	-43° 41 ' 24"	487
A333	São Gonçalo	PB	-7° 9 ' 36"	-39° 41 ' 24"	237
A547	São Romão	MG	-17° 38 ' 24"	-46° 52 ' 48"	490
A414	Vitoria da Conquista	BA	-15° 6 ' 36"	-41° 12 ' 0"	879

Fonte: INMET (2023)

Source: INMET (2023)

Os dados de precipitação e temperatura do ar foram obtidos a partir do site do projeto POWER (<https://power.larc.nasa.gov/>) para cada localização da estação meteorológica do INMET, ou seja, foram determinados 30 pontos de mesmas coordenadas (Tabela 1) das estações terrestres e logo em seguida a

realização do download dos dados em médias diárias de precipitação e temperatura do ar.

A comparação entre os dados terrestres (observados) e dados de satélites (estimados) foram realizados entre cada par de dados dos 30 pontos coletados no interior do polígono do semiárido. Inicialmente ocorreu a tabulação dos dados em planilha eletrônica e com o auxílio da linguagem de programação R de código aberto realizou-se os procedimentos de validação dos dados através de técnicas estatísticas e gráficas.

As técnicas estatísticas utilizadas no presente estudo foram baseadas em uma comparação de pares, ou pareadas, para avaliar o desempenho dos dados meteorológicos fornecidos pelo projeto POWER. Desse modo, foram considerados o coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de correlação de Pearson (r), erro médio (EM) ou viés, erro absoluto médio (EAM), erro médio percentual (EMP) ou viés percentual e índice de concordância (d) (Tabela 2). A análise gráfica se deu através de gráfico de dispersão e Boxplot.

O R^2 e o r foram obtidos diretamente com auxílio de scripts pré-estabelecidos em código R, ou seja, sem utilização de equações. O R^2 varia de 0 a 1 e é usado para avaliar a qualidade do ajuste de um modelo de regressão, explica a associação entre dois fatores. O r mede a associação linear entre duas variáveis e varia de -1 a 1, ele mede o quão bem os dados estimados pelo satélite (Projeto POWER) corresponde aos dados observados (INMET).

Tabela 2 - Equações das técnicas estatísticas utilizadas.
Table 2 - Equations of the statistical techniques used.

Técnicas estatísticas	Equações
Erro médio (EM)	$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V_E - V_O)$
Erro absoluto médio (EAM)	$EAM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_E - V_O $
Erro médio percentual (EMP)	$EMP = \frac{\sum_{i=1}^n (V_E - V_O)}{\sum_{i=1}^n V_O} \times 100$
Índice de concordância (d)	$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (V_O - V_E)^2}{\sum_{i=1}^n (V_E - \bar{V}_E + V_O - \bar{V}_O)^2}$

Em que: V_O : dados observados pelas estações do INMET; V_E : dados estimados pelo projeto POWER e \bar{V}_E : média dos dados estimados.
Where: V_O : data observed by INMET stations; V_E : data estimated by the POWER project and \bar{V}_E : average of the estimated data.

O EM fornece informação sobre a estimativa de erro e pode assumir valores negativo ou positivo, valor positivo indica uma superestimação da precipitação do satélite, enquanto um valor negativo indica uma subestimação em relação à precipitação observada e valor zero é a pontuação perfeita (Bayissa *et al.*, 2017, Paredes-Trejo; Barbosa; Lakshmi Kumar, 2017).

O EAM fornece informação sobre a magnitude média das estimativas de erro, adquire apenas valores positivos. É uma análise estatística menos afetada pelos outliers (Paredes-Trejo; Barbosa; Lakshmi Kumar, 2017, COSTA *et al.*, 2019).

O EMP reflete quão bem a média da precipitação estimada por satélite corresponde à média do observado, em outras palavras, mede a tendência média dos valores estimados, que podem ser maiores ou

menores que os observados, com valor ótimo de 0 e da mesma forma que o EM, indica superestimação ou subestimação (Silva *et al.*, 2020).

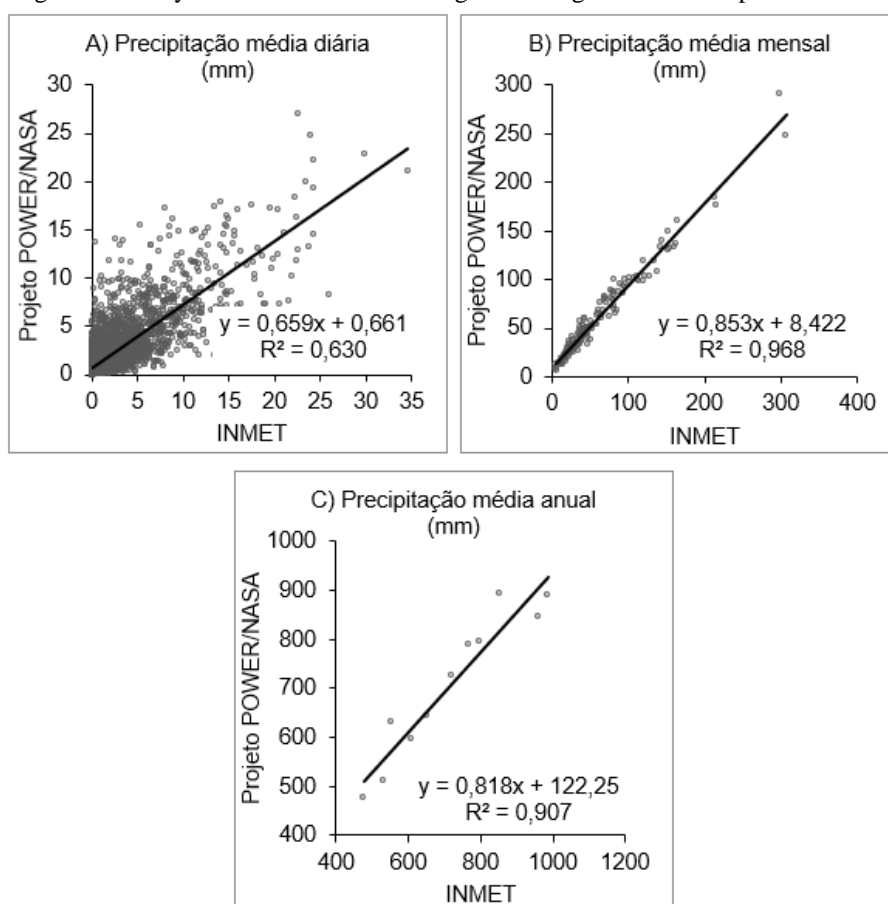
O d foi proposto por Willmott (1981) e consiste de uma medida padronizada do grau de erro de precisão do modelo e varia entre 0 e 1, em que 1 indica boa combinação e 0 nenhuma relação (Silva *et al.*, 2020).

3. Resultados e Discussão

A Figura 2 contém a comparação entre as observações de precipitação pelas estações meteorológicas do INMET e as estimativas realizada pelo projeto POWER/NASA em escala diária, mensal e anual para o período de 2010 a 2021, em que foi considerado a média das 30 estações utilizadas. O coeficiente de determinação (R^2) foi significativo ao nível de 5% se probabilidade ($p < 0,05$) de acordo com o teste t – Student para todas as escalas avaliadas. A média mensal de precipitação apresentou melhor R^2 , 0,968, entre o projeto POWER/NASA e o INMET seguida da média anual que apresentou 0,907 (Figuras 2B e 2C), isso indica uma forte associação entre os dados estimados e observados para as duas escalas de tempo.

Figura 2 - Análise de regressão linear para precipitação pluvial considerando a média de todo o período estudado (2010 a 2021).

Figure 2 - Linear regression analysis for rainfall considering the average of the entire period studied (2010 to 2021).



Para o Nordeste brasileiro, Aguiar (2016) encontrou $R^2 = 0,77$ para precipitação mensal, esse é inferior ao encontrado no presente trabalho, porém, além abranger o semiárido brasileiro, o Nordeste apresenta outras

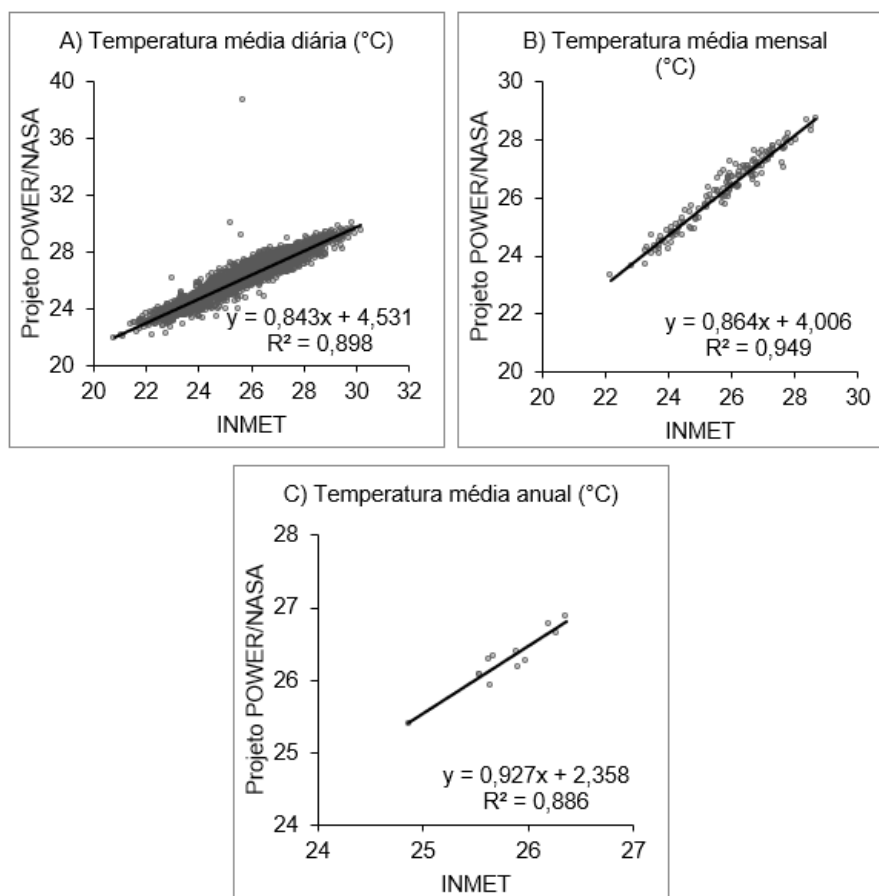
variações de climas e biomas, o que pode interferir nas estimativas por satélite (Paredes-Trejo; Barbosa; Lakshmi Kumar, 2017).

Valores entre 0 e 1,938 mm dia⁻¹ de precipitação pluvial tendem a ser superestimados pelo projeto POWER/NASA, enquanto tende a subestimar valores acima de 1,938 mm dia⁻¹. Valores entre 0 e 57,293 mm mês⁻¹ tendem a ser superestimados, enquanto valores acima de 57,293 mm mês⁻¹ tendem a serem subestimados. Para precipitação anual o projeto tende a superestimar valores entre 0 e 671,703 mm ano⁻¹ e tende a subestimar valores acima de 671,703 mm ano⁻¹.

A Figura 3 mostra a comparação entre as observações de temperatura do ar pelas estações meteorológicas do INMET e as estimativas realizada pelo projeto POWER/NASA em escala diária, mensal e anual para o período de 2010 a 2021, sendo também considerado a média entre todas estações. O R² foi significativo ao nível de 5% se probabilidade ($p < 0,05$) de acordo com o teste t – Student para todas as escalas avaliadas.

Figura 3 - Análise de regressão linear para temperatura do ar considerando a média de todo o período estudado (2010 a 2021).

Figure 3 - Linear regression analysis for air temperature considering the average of the entire period studied (2010 to 2021).



A média mensal de temperatura do ar apresentou melhor R², 0,949, entre o projeto POWER/NASA e o INMET (Figura 3B), seguido da média diária e anual, ambos com valores semelhantes (R² = 0,898 e 0,886, respectivamente), isso indica bom ajuste e forte associação entre os dados estimados e observados para as escalas avaliadas.

Valores entre 0 e 28,860 °C dia⁻¹ de temperatura do ar tendem a ser superestimados pelo projeto POWER/NASA, enquanto tende a subestimar esses valores acima de 28,860 °C dia⁻¹. Valores entre 0 e 29,456 °C mês⁻¹ tendem a ser superestimados, enquanto valores acima de 29,456 °C mês⁻¹ tendem a serem subestimados. Para temperatura do ar anual o projeto tende superestimar valores entre 0 e 32,301 °C ano⁻¹ e tende a subestimar valores acima de 32,301 °C ano⁻¹.

Monteiro, Sentelhas e Pedra (2017) avaliou o desempenho do projeto POWER/NASA em escala diária para as condições brasileira e a precipitação apresentou $R^2 = 0,18$ e $d = 0,62$, enquanto a temperatura apresentou $R^2 = 0,72$ e $d = 0,91$. Esses valores são inferiores ao encontrado no presente trabalho, o d para precipitação foi 0,919 e para temperatura foi 0,945, além de apresentaram boa correlação (r), 0,794 e 0,948, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3 - Performance e erros estatísticos do Projeto POWER/NASA considerando a média de todo o período estudado (2010 a 2021) para precipitação e temperatura do ar.

Table 3 - Performance and statistical errors of the POWER/NASA Project considering the average of the entire period studied (2010 to 2021) for precipitation and air temperature.

Período	r	d	EM (mm ou °C)	EAM (mm ou °C)	EMP (%)
Precipitação					
Diário	0,795	0,919	0,001	0,880	0,044
Mensal	0,986	0,989	0,059	7,068	0,098
Anual	0,966	0,980	0,714	31,522	0,098
Temperatura					
Diário	0,948	0,945	0,486	0,567	1,885
Mensal	0,974	0,950	0,487	0,511	1,888
Anual	0,941	0,755	0,485	0,485	1,881

Para as escalas mensal e anual, r e d foram ainda superiores com destaque para escala mensal ($r = 0,986$ e $d = 0,989$), o que indica alto grau de correlação e concordância entre os dados estimados e observados. Em relação aos erros estatísticos, a precipitação tende, em média, a ser superestimado pelo projeto POWER/NASA, indicado pelos valores positivo do EM e consistente com o valor positivo de EMP e independente da escala de tempo avaliada.

A média da diferença, ou do erro, (EM) entre a precipitação estimada e observada foram 0,001 mm dia⁻¹, 0,059 mm mês⁻¹ e 0,714 mm ano⁻¹ para as escalas diária, mensal e anual, respectivamente, isso significa que o projeto POWER/NASA pode estar errando nessas intensidades para mais ou para menos. Paredes-Trejo, Barbosa e Lakshmi Kumar (2017) avaliou o desempenho do produto CHIRPS em estimar dados de precipitação mensal no semiárido brasileiro e encontrou correlação de 0,93, esse valor é inferior ao encontrado neste trabalho, e com tendência de subestimar qualquer faixa de valor, efeito contrário ao encontrado pelo projeto POWER/NASA.

A EAM foram 0,880 mm dia⁻¹, 7,068 mm mês⁻¹ e 31,522 mm ano⁻¹ para precipitação diária, mensal e anual, respectivamente. Esses valores são mais precisos que o EM por não está sujeito a pontos extremos (outliers) e não considerar valores negativos. O EMP indica que projeto tende a superestimar cerca de 0,044% a precipitação diária observada do INMET e cerca de 0,098% a precipitação mensal e anual.

A temperatura do ar também tende, em média, a ser superestimada pelo projeto POWER/NASA, indicado pelo EM e EMP positivo. O EM apresentou valores semelhantes para as três escalas de tempo, ou seja, a distância média entre a temperatura estimada e observada foi aproximadamente 0,48 °C. O EAM entre a temperatura do ar estimada e observada para as três escalas de tempo foram bem semelhantes, isto é, o projeto

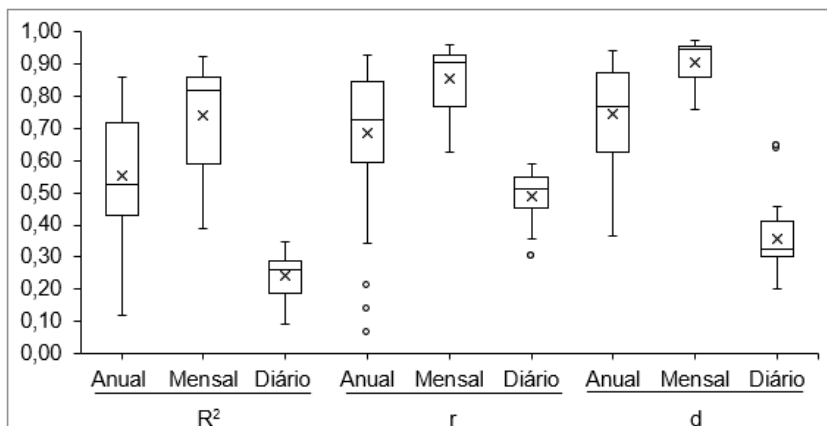
POWER/NASA tem uma magnitude de erro de 0,567 °C para mais ou para menos na escala diária, serve de referência para as escalas mensal e anual. Além disso, o projeto tende a superestimar cerca de 1,885% a temperatura do ar do INMET.

Carraca *et al.* (2023) descreveram que o projeto POWER/NASA apresentou $R^2 = 0,82$ e $EAM = 0,92$ °C para temperatura média diária em região de clima semiárido no período de 2002 a 2021, o ajuste (R^2) é inferior ao do presente trabalho e a margem de erro é superior. Em outras regiões do mundo, no Egito, por exemplo, o ajuste entre a temperatura estimada pelo projeto e a temperatura observada foi 0,506 ao longo de 39 anos (Marzouk, 2021).

As medidas de desempenho para precipitação do projeto POWER/NASA (R^2 , r e d) para cada estação meteorológica avaliada estão agrupadas por Boxplot (Figura 4). Para a escala anual, houve maior variação de R^2 , r e d , ou seja, grande amplitude e com isso menor consistência dos resultados de ajuste, correlação e associação.

Figura 4 - Variação diária, mensal e anual do Coeficiente de determinação (R^2), Coeficiente de correlação (r) e Índice concordância de Willmott (d) para os dados de precipitação pluviométrica estimados pelo Projeto POWER/NASA e coletados entre as estações meteorológicas no período de 2010 a 2021.

Figure 4 - Daily, monthly and annual variation of the Coefficient of Determination (R^2), Correlation Coefficient (r) and Willmott Agreement Index (d) for rainfall data estimated by the POWER/NASA Project and collected between meteorological stations in the period from 2010 to 2021.



A média (indicado pelo x) do R^2 , r e d foram, respectivamente, 0,552, 0,683 e 0,743, no entanto, para o coeficiente de determinação, por exemplo, o projeto POWER/NASA teve um ajuste de 0,859 para uma determinada estação do INMET enquanto que para outra estação o projeto teve um ajuste de 0,119. A altitude do local onde está localizada cada estação pode ser um fator de interferência para estimativas por satélites, ou seja, a elevação da estação pode influenciar o desempenho do projeto (Paredes-Trejo; Barbosa; Lakshmi Kumar, 2017).

O projeto POWER/NASA tem melhor performance em estimativa para dados de precipitação mensal com melhores coeficientes e não houve presença de outliers. A média e mediana para R^2 , r e d são maiores, a mediana para os três coeficientes é negativamente assimétrico por estar mais próximo do 3º quartil, isso quer dizer que o valor central está próximo do valor máximo. Esses valores máximos de performance que o projeto atingiu foi 0,921 para R^2 , 0,959 para r e 0,973 para d .

Em contraste, o projeto apresentou pouco desempenho para estimativa de precipitação diária no semiárido brasileiro, com baixo ajuste, correlação e concordância, porém, a amplitude foi a menor, ou seja, com valores mais próximo, diferente da escala mensal e anual que apresentaram grande variação dos coeficientes.

A Figura 5 resume a variação anual, mensal e diária do EM, EAM e EMP para os dados de precipitação

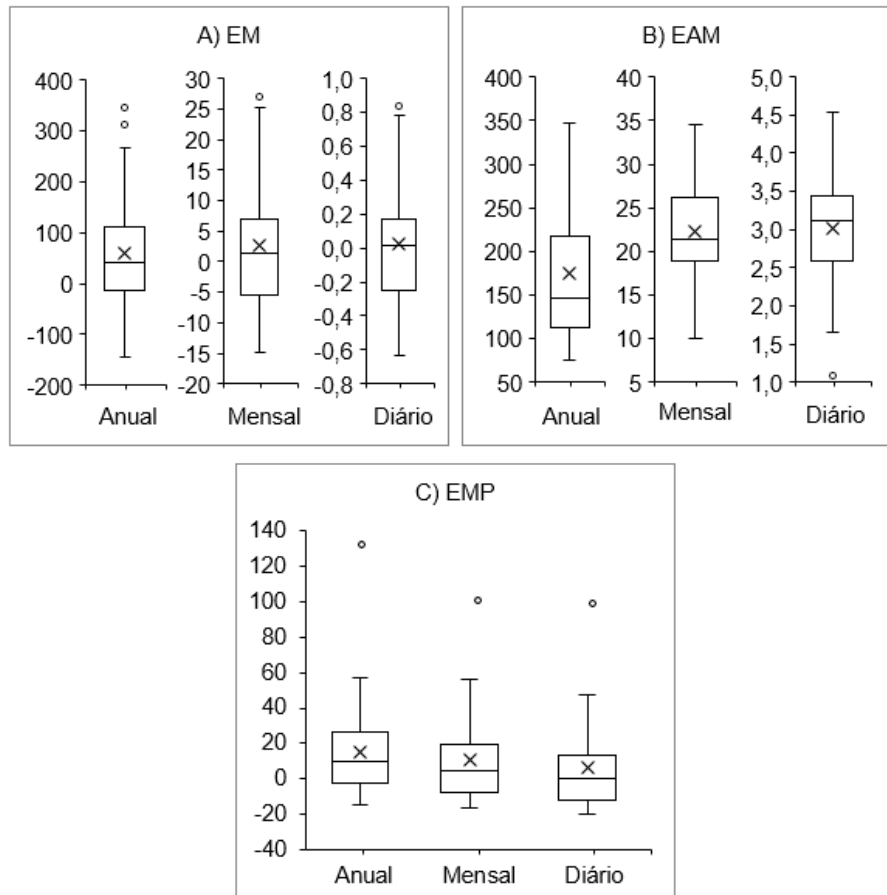
pluvial estimados pelo projeto POWER/NASA para cada estação do INMET. Houve presença de erros discrepantes acima dos valores máximos para EM. O projeto apresentou uma média da diferença, máximo, entre a precipitação anual estimada e observada de aproximadamente 112 mm ano⁻¹ e mínimo de -145 mm ano⁻¹, com média e mediana por volta de 60 mm ano⁻¹ e 40 mm ano⁻¹, respectivamente.

É importante enfatizar que a tabela 3 resume os erros da média geral de toda a precipitação e temperatura estimada pelo projeto POWER/NASA no semiárido a partir das estações do INMET, enquanto na figura 5 é detalhado todos os erros do projeto para cada estação do INMET avaliada. Em um contexto espacial, esses resultados indicam que projeto subestima e superestima a depender da estação, ou seja, existe regiões do semiárido que apresenta essa discordância dos dados. A figura 5B mostra a variação do EAM, não houve valores discrepantes e apresentaram grande amplitude de erros.

O projeto POWER/NASA foi mais consistente no EMP (Figura 5C), porém, apresentou uma falha incomum na estimativa de precipitação para uma estação do INMET, esse valor discrepante pode ser ocasionado por falha da estação por falta de manutenção.

Figura 5 - Variação anual, mensal e diária do Erro médio (EM), Erro absoluto médio (EAM) e Erro médio percentual (EMP) para os dados de precipitação pluviométrica estimados pelo Projeto POWER/NASA e coletados entre as estações meteorológicas no período de 2010 a 2021.

Figure 5 - Annual, monthly and daily variation of the Mean Error (ME), Mean Absolute Error (MEA) and Mean Percentage Error (MPE) for rainfall data estimated by the POWER/NASA Project and collected between meteorological stations in the period from 2010 to 2021.

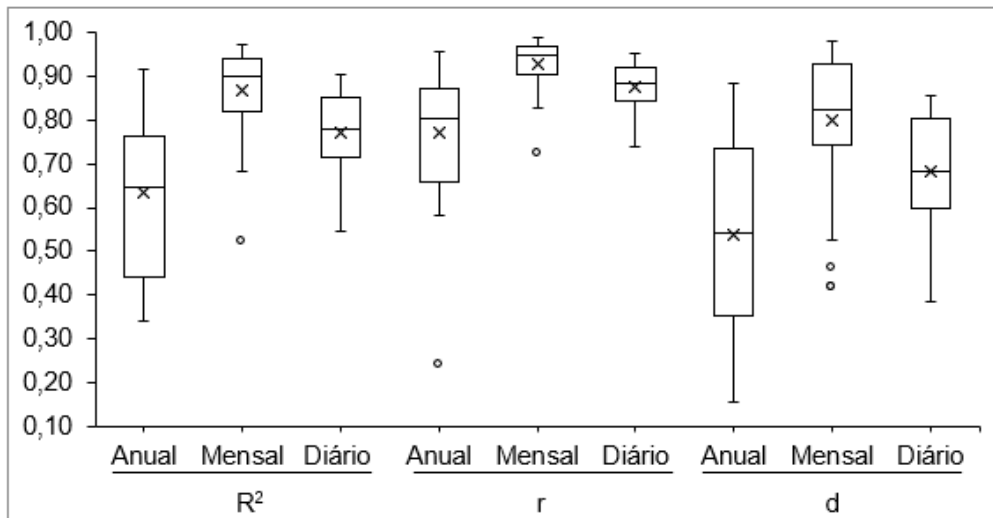


As medidas de desempenho para temperatura do ar do projeto POWER/NASA (R^2 , r e d) para cada

estação meteorológica avaliada estão agrupadas por Boxplot (Figura 6). Para a escala anual, houve maior variação de R^2 , r e d , ou seja, grande amplitude e com isso menor consistência dos resultados de ajuste, correlação e associação, e menor média e mediana pelo projeto.

Figura 6 - Variação anual, mensal e diária do Coeficiente de determinação (R^2), Coeficiente de correlação (r) e Índice concordância de Willmott (d) para os dados de temperatura do ar estimados pelo Projeto POWER/NASA e coletados entre as estações meteorológicas no período de 2010 a 2021.

Figure 6 - Annual, monthly and daily variation of the Coefficient of Determination (R^2), Correlation Coefficient (r) and Willmott Agreement Index (d) for air temperature data estimated by the POWER/NASA Project and collected between meteorological stations in the period from 2010 to 2021.



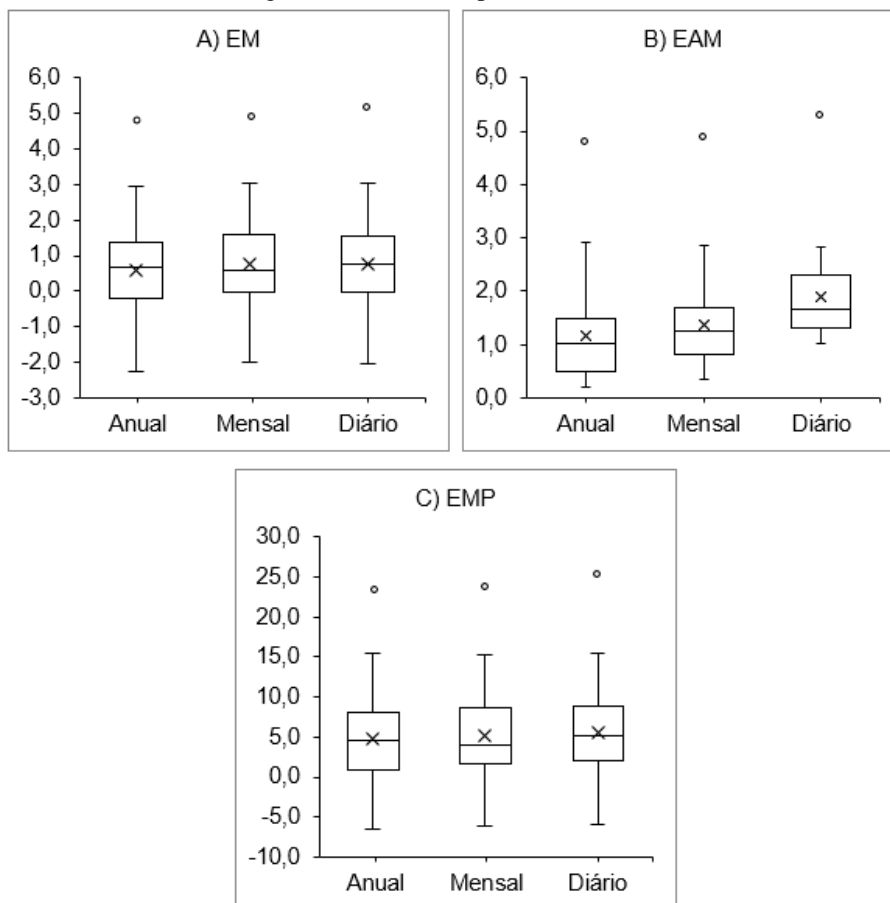
O projeto tem melhor performance em estimativa para dados de temperatura mensal. A média e mediana para R^2 (0,866 e 0,901, respectivamente), r (0,929 e 0,949, respectivamente) e d (0,799 e 0,826, respectivamente) foram superiores em relação temperatura do ar anual e diária. Apesar de apresentaram outliers, a amplitude dos valores foi menor, indicando consistência de resultado pelo projeto.

A figura 7 resume a variação anual, mensal e diária do EM, EAM e EMP para os dados de temperatura do ar estimados pelo projeto POWER/NASA para cada estação do INMET. Houve presença de erros discrepantes acima dos valores máximos para EM. A amplitude dos valores de EM foram bem semelhantes para as três escalas de tempo, diferente da precipitação, que é acumulado com o tempo, a temperatura é medida em média durante do tempo estabelecido.

Figura 7 - Variação anual, mensal e diária do Erro médio (EM), Erro absoluto médio (EAM) e Erro médio percentual (EMP) para os dados de temperatura do ar estimados pelo Projeto POWER/NASA e coletados entre as estações meteorológicas no período de 2010 a 2021.

Figure 7 - Annual, monthly and daily variation of the Mean Error (ME), Mean Absolute Error (MEA) and Mean Percentage Error (MPE) for air temperature data estimated by the POWER/NASA Project and collected between

meteorological stations in the period from 2010 to 2021.



Da mesma forma que a precipitação, o projeto subestima ou superestima a temperatura observado por algumas estações do INMET distribuídas no semiárido. A média e a mediana positivos indica que há prevalência de estações do INMET superestimada pelo projeto (Figura 7A).

Na China, pesquisadores encontraram coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,80 e com subestimativa sistemática para temperatura do ar diária (Bai *et al.*, 2010), esses resultados corroboram com os encontrados neste trabalho. A figura 7B mostra a variação do EAM, a temperatura do ar anual tem maior variação de erros pelo projeto, no entanto, tem menor média e mediana. Para temperatura do ar mensal, a média e mediana foi ligeiramente maior e nota-se erros maiores para temperatura do ar diário pelo projeto, mas o valor máximo de erro é o menor, porém, tem o erro mínimo maior. Todos apresentaram erros discrepantes, evidenciando um problema crônico, e não pontual da estação comparada com as estimativas pelo projeto.

A análise da base de dados do projeto POWER/NASA nos EUA concluiu que diferenças de elevação pode afetar a comparação entre os dois conjuntos de dados (White *et al.*, 2008), nesse caso entre os dados projeto e o INMET. Além disso, os autores enfatizam que a variação sazonal também pode influenciar nos erros pelo projeto.

Assim como para EM o projeto POWER/NASA foi consistente no EMP (Figura 5C), com máximos e mínimos semelhantes, além de média e mediana próximos a 5%. Houve a presença de valores discrepantes acima do limite superior.

4. Conclusão

O projeto POWER/NASA apresentou melhor resultado para estimar precipitação pluvial em escala mensal no semiárido brasileiro com $R^2 = 0,968$, $r = 0,98$ e $d = 0,989$, mas que as estimativas em escala anual e diário são também satisfatórios. Valores de precipitação pluvial mensal entre 0 e 57,293 mm $mês^{-1}$ tendem a ser superestimados, enquanto valores acima de 57,293 mm $mês^{-1}$ tendem a serem subestimados.

A temperatura do ar estimada pelo projeto teve melhor resultado em escala mensal com $R^2 = 0,949$, $r = 0,974$ e $d = 0,950$, porém, a temperatura do ar diário e anual também tem resultado satisfatórios com bons níveis de ajuste: $R^2 = 0,898$ e $0,886$, respectivamente. Valores de temperatura do ar mensal entre 0 e 29,456 °C $mês^{-1}$ tendem a ser superestimados, enquanto valores acima de 29,456 °C $mês^{-1}$ tendem a serem subestimados.

5. Referências

- Aguiar J.T. (2016). Influência de variáveis macroclimáticas sobre as principais doenças do arroz. **Universidade Federal de Goiás**, [s. l.]. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/7405>
- Bai J.; Chen X.; Dobermann A.; Yang H.; Cassman K.G.; Zhang F. (2010). Evaluation of NASA Satellite- and Model-Derived Weather Data for Simulation of Maize Yield Potential in China. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 1, p. 9-16, jan. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj2009.0085>
- Barbosa H.A.; Lakshmi Kumar T.V.; Paredes F.; Elliott S.; Ayuga J.G. (2019). Assessment of Caatinga response to drought using Meteosat-SEVIRI Normalized Difference Vegetation Index (2008–2016). **ISPRS J Photogramm Remote Sens.** v. 148, p. 235-252. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.12.014>
- Bayissa Y.; Tadesse T.; Demisse G.; Shiferaw A. (2017). Evaluation of Satellite-Based Rainfall Estimates and Application to Monitor Meteorological Drought for the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. **Remote Sensing**, v. 9, n. 7, p. 669, 29 jun. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs9070669>
- Brovkin, V. (2013). GLACIAL CLIMATES | Biosphere Feedbacks. In: BROVKIN, V. Encyclopedia of Quaternary Science. [S. l.]: Elsevier, p. 721-728. ISBN 9780444536426. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-53643-3.00018-2>.
- Carrara E.R.; Lopes P.S.; Reis A.C.; Silva J.X.; Dias L.C.; Schultz É.B.; Marques D.B.; Da Silva D.A.; Veroneze R.; Andrade R.G.; Peixoto M.G. (2023). NASA POWER satellite meteorological system is a good tool for obtaining estimates of the temperature-humidity index under Brazilian conditions compared to INMET weather stations data. **International Journal of Biometeorology**, Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02493-5>
- Cort J. Willmott. (1981). On the validation of models, **Physical Geography**, p. 184-194, Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02723646.1981.10642213>.
- Costa J.C.; Pereira G.; Siqueira M.E.; Da Silva Cardozo F.; Da Silva V.V. (2019). Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, Disponível em: <https://doi.org/10.5380/abclima.v24i0.60237>

De Oliveira G.; Araújo M.B.; Rangel T.F.; Alagador D.; Diniz-Filho J.A. (2012). Conserving the Brazilian semiarid (Caatinga) biome under climate change. **Biodiversity and Conservation**, v. 21, n. 11, p. 2913-2926, . Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0346-7>

Dornellas P.D.; Xavier R.A.; Silva R.M.; Seabra V.D. (2020). Análise morfométrica da bacia do alto rio paraíba, região semiárida do estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 3, Disponível em: <https://doi.org/10.20502/rbg.v21i3.1757>

INMET. (2023). **Instituto Nacional de Meteorologia - INMET**; Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>.

INSA. (2023). Instituto Nacional do Semiárido - INSA. **O Semiárido Brasileiro**. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/semiariado-brasileiro>

Joseph O.; Gbenga A.E.; Langyit D.G. (2018). Desertification risk analysis and assessment in Northern Nigeria. **Remote Sens Appl.** p. 70-82. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.04.012>

Junqueira R.; Amorim Jd.; Oliveira A.S. (2018). Comparação entre diferentes metodologias para preenchimento de falhas em dados pluviométricos. **SUSTENTARE**, v. 2, n. 1, Disponível em: <https://doi.org/10.5892/st.v2i1.4982>

Marengo J.Á.; Torres R.R.; Alves L.M. (2016). Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3-4, p. 1189-1200, Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>

Marzouk O.A. (2021). Assessment of global warming in Al Buraimi, sultanate of Oman based on statistical analysis of NASA POWER data over 39 years, and testing the reliability of NASA POWER against meteorological measurements. **Heliyon**, v. 7, n. 3, p. e06625, mar. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06625>

Mattos L.C.; May P. (2020). Duas secas climaticamente análogas no semiárido nordestino com impactos sociais distintos. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 55, Disponível em: <https://doi.org/10.5380/dma.v55i0.73796>

Mello Y.R.; Kohls W.; Oliveira T.M. (2017). Uso de diferentes métodos para o preenchimento de falhas em estações pluviométricas. **Boletim de Geografia**, v. 35, n. 1, p. 112, Disponível em: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v35i1.30893>

Melo D.D.; Xavier A.C.; Bianchi T.; Oliveira P.T.; Scanlon B.R.; Lucas M.C. (2015). Wendland E. Performance evaluation of rainfall estimates by TRMM Multi - satellite Precipitation Analysis 3B42V6 and V7 over Brazil. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 120, n. 18, p. 9426-9436, Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2015jd023797>

Monteiro L.A.; Sentelhas P.C.; Pedra G.U. (2017). Assessment of NASA/POWER satellite-based weather system for Brazilian conditions and its impact on sugarcane yield simulation. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 3, p. 1571-1581, Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.5282>

NASA POWER. (2021). Prediction Of Worldwide Energy Resources. **Prediction Of Worldwide Energy Resources**; Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov/>.

Paredes-Trejo F.J.; Barbosa H.A.; Lakshmi Kumar T.V. (2017). Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 139, p. 26-40, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.12.009>

Paul Stackhouse Jr PhD. (2020). NASA POWER. Prediction Of Worldwide Energy Resources. **Methodology**. Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov/docs/methodology/>.

Rabelo, D.R.; Santos, M.R.; Sousa Filho, M.R. (2022). Análise comparativa dos dados pluviométricos de satélite e de superfície em bacia hidrográfica semiárida. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v.3, n.1, p. 63-75. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6407151>

Silva E.R.; Barbosa I.C.; Silva H.J.; Costa L.G.; Rocha E.J. (2020). Análise do desempenho da estimativa de precipitação do produto CHIRPS para sub-bacia do rio Apeú, Castanhal-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 3, p. 1094, Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.3.p1094-1105>

SUDENE. (2017). Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Delimitação do semiárido**; Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/assuntos/projetos-e-iniciativas/delimitacao-do-semiarido>

White J.W.; Hoogenboom G.; Stackhouse P.W.; Hoel L J.M. (2008). Evaluation of NASA satellite- and assimilation model-derived long-term daily temperature data over the continental US. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 148, n. 10, p. 1574-1584, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.05.017>