



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Análise exploratória dos dados climáticos de reanálise para zona da mata sul no estado de Pernambuco

Lídia de Oliveira Bahia¹, Fabrício Marcos Oliveira Lopes²

¹Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE. e-mail: bahialidia@hotmail.com (autor correspondente);

²Professor Doutor do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE. e-mail: pabricio.lopes@ufpe.br.

Artigo recebido em 01/11/2024 e aceito em 23/05/2025

RESUMO

A bacia do Rio Sirinhaém (BHRS), localizada na mata sul de Pernambuco, é uma das principais bacias litorâneas do estado devido à sua contribuição para a produção de cana-de-açúcar. Com o agravamento das mudanças climáticas, a região fica mais propensa a eventos extremos devido a tendência de ocorrência de dias mais úmidos consecutivos, que favorece a ocorrência de chuvas intensas, contribuindo com a erosão do solo e o aumento do nível da água nos rios. Por isso é importante fazer o monitoramento climático da região para realizar um manejo adequado da bacia e mitigar os efeitos das mudanças climáticas. Como nem sempre é possível se ter acesso a dados consistentes ou uma longa séries de dados observados, a utilização de dados de reanálise se torna uma boa alternativa devido a consistência espacial e temporal. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a dinâmica das variáveis meteorológicas na BHRS e a viabilidade do uso do CHIRPS e ERA5-Land para monitoramento climático da região. Constatou-se que os dados de reanálise tendem a subestimar os valores observados, mas apresentaram valores estatísticos satisfatórios. O CHIRPS apresentou melhor desempenho para a precipitação, com r^2 variando entre 0,5 a 0,8 e valores de RMSE, BIAS e erro absoluto médio menores em comparação ao ERA5-Land, que teve comportamento estatístico mais satisfatório para a temperatura e umidade relativa do ar. Mesmo com tendência a subestimar os dados reais, a utilização dos dados de reanálise para compreender o comportamento climático da BHRS ainda é viável, devido a sua consistência.

Palavras-chave: CHIRPS, ERA5-Land, monitoramento climático

Exploratory analysis of reanalysis climate data for the forest southern zone in the state of Pernambuco

ABSTRACT

The Sirinhaém River Basin (BHRS), located in the southern forest zone of Pernambuco, is one of the state's main coastal basins due to its contribution to sugarcane production. With the worsening of climate change, the region has become more prone to extreme events due to the tendency of consecutive wetter days, which favor intense rainfall, contributing to soil erosion and rising water levels in rivers. Therefore, it is crucial to monitor the region's climate to ensure proper basin management and mitigate the effects of climate change. Since access to consistent data or long observational series is not always available, the use of reanalysis data becomes a good alternative due to its spatial and temporal consistency. This study aimed to evaluate the dynamics of meteorological variables in the BHRS and the feasibility of using CHIRPS and ERA5-Land data for climate monitoring in the region. It was found that reanalysis data tend to underestimate observed values but presented satisfactory statistical performance. CHIRPS showed better performance for precipitation, with r^2 ranging from 0.5 to 0.8, and lower values of RMSE, BIAS, and mean absolute error compared to ERA5-Land, which demonstrated more reliable statistical performance for temperature and relative humidity. Despite the tendency to underestimate real data, the use of reanalysis data to understand the climatic behavior of the BHRS remains viable due to its consistency.

Keywords: CHIRPS, ERA5-Land, climate monitoring

Introdução

Nas últimas décadas a atmosfera vem apresentando uma variabilidade climática mais

instável, caracterizada por uma tendência de aumento das temperaturas tanto a nível regional como global (Silva et al., 2017). Essa variação térmica tem forte impacto sobre os sistemas

atmosféricos, o que faz com que diversas áreas se tornem vulneráveis à ocorrência de desastres que impactam a segurança hídrica e alimentar, como também provocam danos a vida e ao meio ambiente. Segundo o sexto relatório científico do IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças climáticas (IPCC, 2023) o crescimento de emissões de CO₂ na atmosfera irá intensificar o aumento e a frequência de extremos de temperatura para os anos de 2021 a 2040, bem como umidade elevada do ar e chuvas mais intensas e frequentes em áreas costeiras e em cidades de baixa altitude.

O estado de Pernambuco possui o clima semiárido como predominante em sua região, com altas taxas de evapotranspiração ao longo do ano e baixo índice pluviométrico (Silva & Oliveira, 2020). Contudo, a região litorânea do estado apresenta o comportamento distinto em comparação a totalidade do estado, possuindo clima tropical úmido, alta incidência de chuvas devido a atuação das Ondas de Leste e temperaturas elevadas. A zona costeira pernambucana se encontra como uma das áreas vulneráveis a extremos climáticos, devido ao seu histórico considerável de chuvas que causaram grandes desastres a população local, sendo os anos 2000, 2001, 2004, 2010, 2011, 2017, 2019 e 2022 os que apresentaram maiores valores de acumulados de chuva. Essa maior frequência da precipitação intensifica o processo erosivo do solo, corroborando para a incidência de desastres como enchentes e deslizamentos de terra (Ferraz, 2019).

A Bacia hidrográfica do Rio Sirinhaém (BHRS), que abrange parte das regiões do Agreste Central, Mata Sul e Metropolitana do estado de Pernambuco, é uma das principais bacias litorâneas do estado, sendo destaque na produção de cana-de-açúcar, milho, feijão fradinho e mandioca (PERNAMBUCO, 2022). Por conta de sua localização, a BHRS apresenta tendência positiva para eventos de dias extremamente úmidos e consecutivos, que acaba potencializando as respostas do clima em relação ao aumento da concentração dos gases do efeito estufa (Silva et al., 2017; Lacerda & Lopes, 2017), levando ao aumento do escoamento superficial, o que torna a região vulnerável as mudanças climáticas.

A realização do monitoramento climático da região, bem como estudo da variabilidade sazonal e interanual das chuvas, fornece informações importantes para o manejo adequado e gestão da bacia, prevendo o comportamento do solo, regime hídrico e produtividade agrícola em função das condições climáticas. Para a realização desses estudos, é fundamental contar com bancos de dados consistentes, provenientes de estações

meteorológicas. No entanto, nem sempre esses dados estão disponíveis, seja pela ausência de monitoramento adequado, por falhas nas estações ou ausência delas em locais estratégicos para medição desses parâmetros.

Nesse contexto, a utilização de dados obtidos por sensoriamento remoto tem se destacado como uma das principais fontes de informação sobre o meio ambiente, sendo possível determinar classes de cobertura e uso do solo, avaliar a condição da vegetação em função de fatores naturais e antropogênicos, além de realizar o monitoramento dinâmico dos recursos naturais, da precipitação, do clima, do manejo dos recursos hídricos superficiais (Liu, 2015; Tomaszewski et al., 2021). Por conta disso, o uso de dados de reanálise se apresenta como uma alternativa eficaz, oferecendo uma cobertura ampla e consistente tanto em escala temporal quanto espacial. Sendo eles a combinação de dados de estações meteorológicas terrestres com dados obtidos por satélites, os dados de reanálise permitem o acesso a longas séries históricas de informações climáticas e meteorológicas.

Dos modelos conhecidos, o CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations*) e do ERA5-Land têm se mostrado valiosos nesses estudos, apresentando bons desempenhos em comparação aos dados observados de regiões que apresentam distintas características climáticas e regionais (Cardoso et al., 2024; Silva et al., 2024, Uliana et al., 2024). O CHIRPS, por exemplo, apresenta alta concordância para a região Nordeste, com coeficientes de determinação e de Pearson superiores a 0,9 (Costa et al., 2019; Andrade et al., 2022). Da mesma forma, os dados do ERA5-Land demonstram boas performances estatísticas para variáveis como temperatura, precipitação, umidade relativa e evapotranspiração, com valores de r^2 variando entre 0,5 e 0,98 para o estado de Pernambuco (Araújo et al., 2022; Matsunaga et al., 2024).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi analisar a dinâmica das variáveis meteorológicas na Bacia do Rio Sirinhaém (BRHS) e avaliar a viabilidade do uso de dados de reanálise em estudos dessa natureza. A aplicação desses dados, que são mais consistentes e abrangentes em comparação aos dados observados, pode auxiliar na tomada de decisões estratégicas no planejamento e na gestão dos recursos naturais da região, especialmente no atual cenário climático, em que o padrão atmosférico tem se alterado de forma alarmante.

Material e métodos

Área de Estudo

O Estudo foi realizado para a Bacia Hidrográfica do Rio Sirinhaém – BHRS, que se encontra no litoral sul de Pernambuco, entre as coordenadas 08° 16' 05" a 08° 44' 50" de latitude sul e 35° 01' 00" a 35° 47' 58" de longitude oeste (APAC, 2022), fazendo fronteira ao norte com a bacia do rio Ipojuca (UP3) e o grupo de bacias de pequenos rios litorâneos GL3 (UP16), ao sul com a bacia do rio Una (UP5) e o grupo de bacias de pequenos rios litorâneos GL4 (UP17), ao leste com o Oceano Atlântico e os grupos de bacias GL3 e GL4, e a oeste com a Bacia do rio Una. Possui a

nascente na cidade de Camocim de São Félix (EMBRAPA, 2022), e tem área de drenagem, com área de drenagem de 2.069,60 km², contemplando 19 municípios. (figura 1).

Segundo a classificação de Köppen (1936), a região possui dois tipos climáticos: A (Tropical com estação seca) em direção ao interior da bacia e Am (Tropical úmido) na faixa litorânea. Por possuir uma irregularidade nas chuvas, com totais anuais que variam, em média, de 550 mm no interior da bacia a 2300 mm no litoral (ITEP, 2011), a segurança hídrica diminui à medida que se avança para a parte oeste da região de estudo (PERNAMBUCO, 2020).

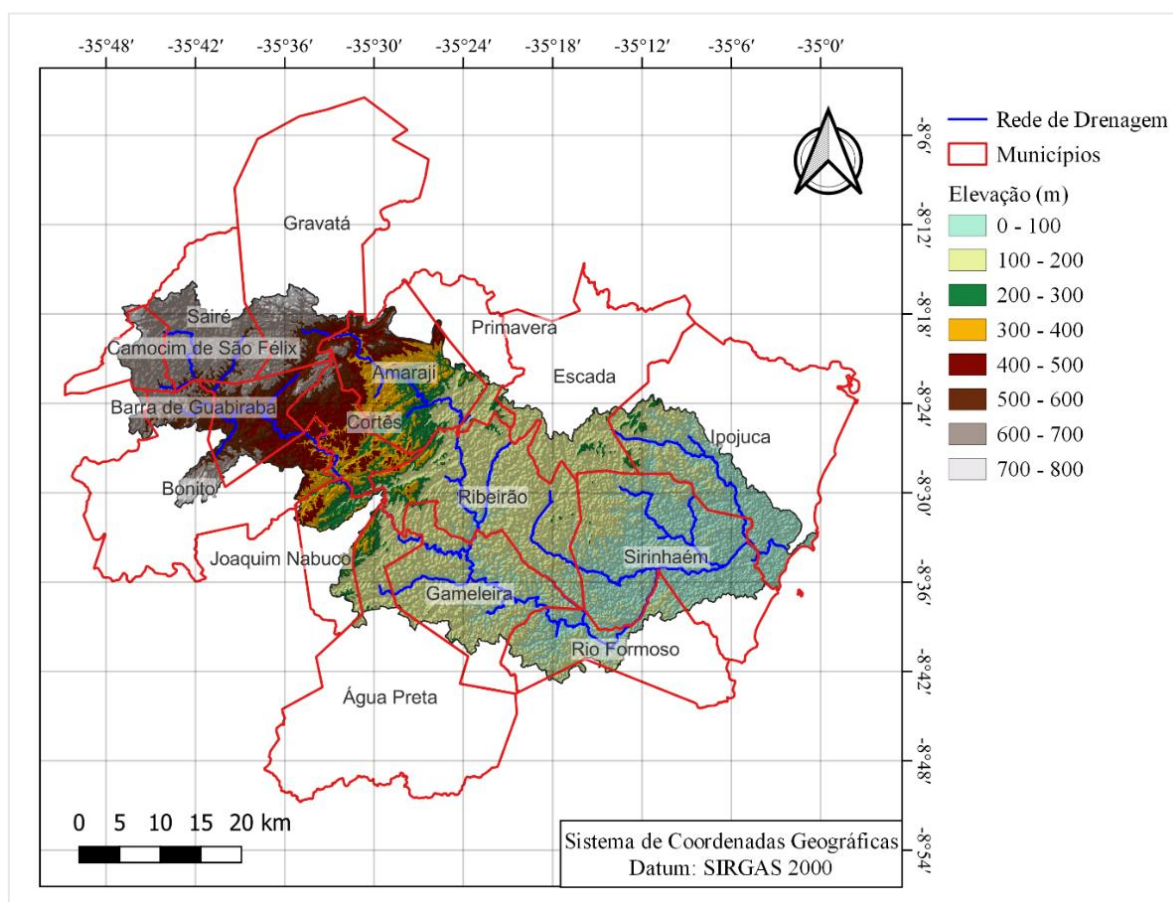


Figura 1. Delimitação da BHRS e dos municípios contemplados pela bacia

Dados de Reanálise

Desenvolvido a mais de 35 anos pelo *Climate Hazards Group Survey* (USGS) e pelo *Climate Hazards Group* da Universidade da Califórnia, Santa Bárbara (UCSB), o CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations*) é um conjunto de dados de precipitação quase global, com resolução espacial de aproximadamente 5 km próximo ao equador, cobrindo geograficamente a faixa de 50°S a 50°N, com dados disponíveis desde 1981 até os dias

atuais em conjuntos diários, pênadas e mensais (Costa et al., 2019). Foi elaborado inicialmente a partir da combinação de modelos de aprimoramento da precipitação induzida pelo relevo com dados interpolados de estações meteorológicas. Atualmente, o modelo consegue oferecer dados de precipitação de alta resolução devido aos novos recursos de observações por satélite, como as estimativas de precipitação baseadas em grade da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e da *National*

Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (FAO, 2022).

Produzido pelo Copernicus Climate Data Store, o ERA5-Land é um conjunto de dados climáticos gerados a partir dos componentes terrestres dos dados fornecidos pelo ERA5, desenvolvido pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas a Médio Prazo (ECMWF) (Muñoz-Sabater, 2019). Esse conjunto de dados globalmente completo e consistente é resultado da combinação de dados de modelos com observações de todo o mundo, e consegue descrever a evolução dos ciclos da água e da energia sobre a Terra ao longo do tempo, sendo um excelente suporte para estudos hidrológicos e aplicações relacionadas a recursos hídricos, gestão da terra, e projetos

agrícolas e ambientais (MUÑOZ-SABATER et al., 2021).

Dados Observados

No presente trabalho foram avaliados a viabilidade do uso dos dados de precipitação (mm), temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) provenientes dos conjuntos CHIRPS e ERA5-Land. Para isso, os dados observados foram coletados de 10 estações (tabela 1) presentes dentro e fora da bacia, sendo os órgãos responsáveis pelos dados a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Tabela 1. Localização das estações meteorológicas automáticas usadas na pesquisa

Município	Órgão Responsável	Tipo de estação	Latitude (°)	Longitude (°)	Elevação (m)
Amaraji	APAC	Pluviométrica	-8,378	-35,448	289
Barra de Guabiraba	APAC	Pluviométrica	-8,418	-35,664	483
Camocim de São Felix	APAC	Pluviométrica	-8,382	-35,759	691
Caruaru	INMET	Meteorológica	-8,365	-36,028	852
Cortes	APAC	Pluviométrica	-8,470	-35,544	358
Gameleira	APAC	Pluviométrica	-8,587	-35,386	89
Palmares	INMET	Meteorológica	-8,667	-35,568	164
Ribeirão	APAC	Pluviométrica	-8,507	-35,385	105
Rio formoso	APAC	Pluviométrica	-8,640	-35,270	67
Sirinhaém	APAC	Pluviométrica	-8,592	-35,116	50

Os dados de precipitação foram obtidos em escala diária dos pluviômetros monitorados pela APAC (<https://www.apac.pe.gov.br/>), enquanto os de temperatura e umidade relativa do ar foram coletados em escala mensal das estações meteorológicas automáticas do INMET (<https://portal.inmet.gov.br/>), para os anos de 2014 a 2022 visto que esse período foi o que as estações de ambos os órgãos apresentaram menos falhas.

Validação dos dados

A validação dos dados de reanálise (ERA5-Land e CHIRPS) foi realizada por meio da comparação com os dados das estações meteorológicas automáticas, utilizando estatística descritiva. Este processo foi executado nos ambientes RStudio (versão 4.2.2) e Excel. A metodologia utilizada seguiu a abordagem descrita no trabalho de Costa et al. (2019), incluindo o cálculo do coeficiente de determinação (r^2 , Equação 1), do erro sistemático (BIAS, Equação 2), do erro médio quadrático (RMSE, Equação 3) e

do erro absoluto médio (E, Equação 4) na escala mensal.

$$r^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s - o) \quad (2)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s - o)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |s - o| \quad (4)$$

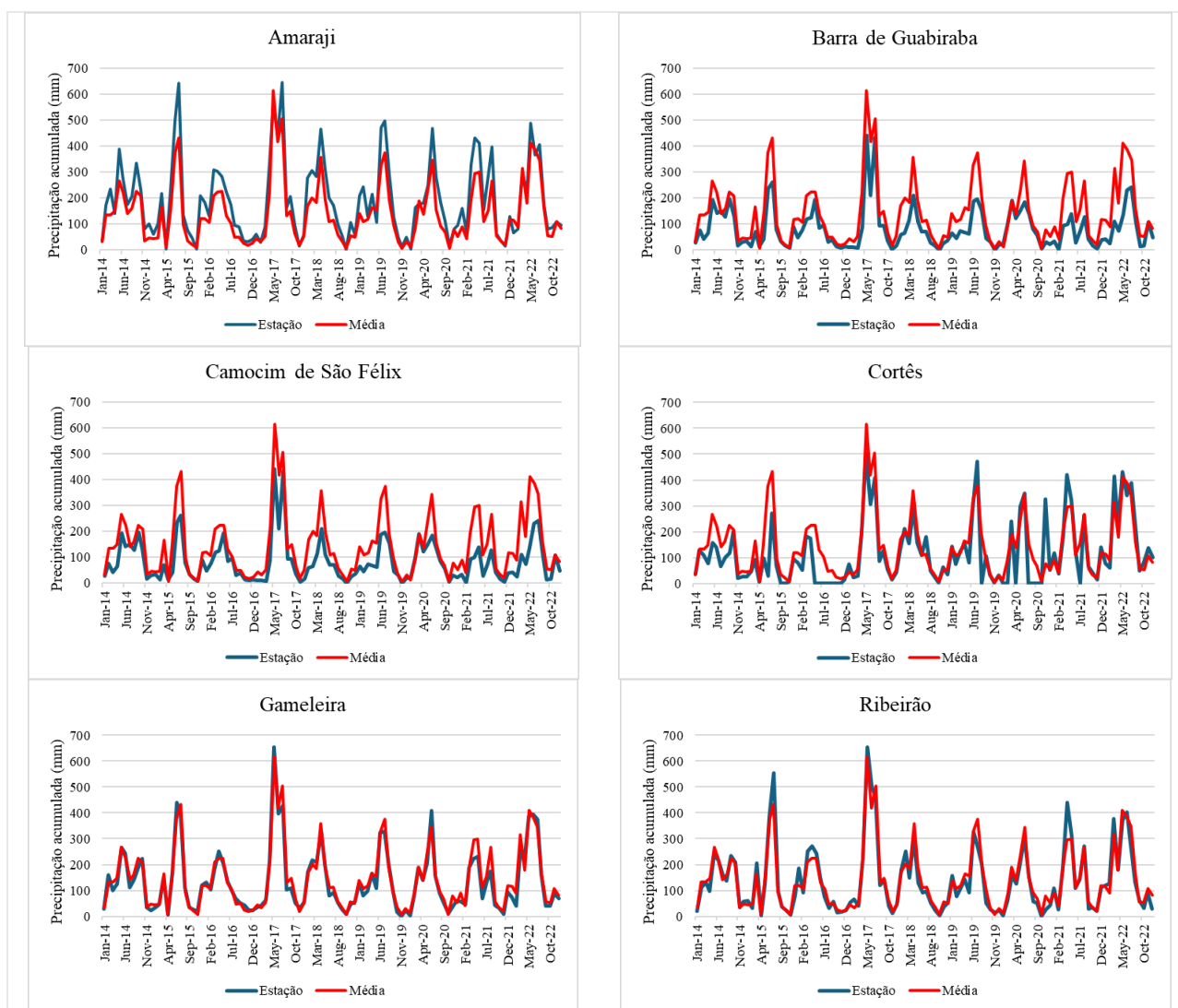
em que: $\hat{y}$ = valor estimado; y_i = valor observado; $\bar{y}$ = média das observações, levando a soma total dos quadrados; s = valores dos dados de reanálise; o = dados observados das estações meteorológicas.

Os valores encontrados para o coeficiente de determinação foram avaliados seguindo a classificação de Hinkle et al. (1988) (tabela 2).

Tabela 2. Critério de avaliação para o coeficiente de determinação (r^2)

Intervalo de correlação	Classificação
$0,9 < r^2 \leq 1$	Correlação muito forte
$0,7 < r^2 \leq 0,9$	Correlação forte
$0,5 < r^2 \leq 0,7$	Correlação média
$0,3 < r^2 \leq 0,5$	Correlação fraca
$0,0 < r^2 \leq 0,3$	Correlação nula

Resultados e discussão



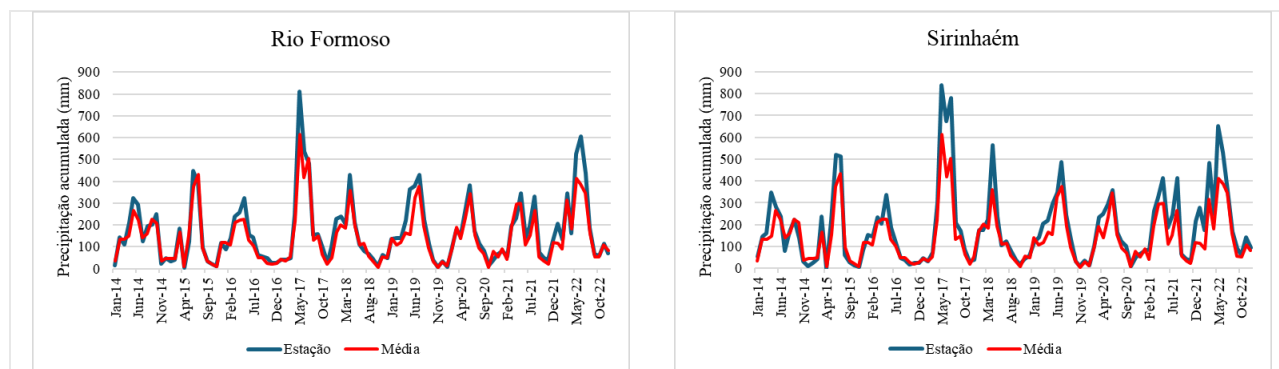


Figura 2. Precipitação mensal acumulada dos dados medidos das estações e média de precipitação para os anos de 2014 a 2022.

A figura 2 mostra o comportamento da precipitação observada ao longo da área de estudo e a média das estações. É possível notar que as estações localizadas nos municípios de Barra de Guabiraba, Camocim de São Félix e Cortês apresentaram valores abaixo da média de precipitação. Essas estações, juntamente com a estação de Amaraji, que exibiu um comportamento pluviométrico acima da média das estações, estão situadas na porção mais próxima ao agreste da BHRS.

As demais estações demonstraram um comportamento pluviométrico mais elevado em comparação com os valores médios, com destaque as estações de Sirinhaém e de Rio Formoso, que apresentaram picos de precipitação significativos, superiores a 800 mm em maio de 2017. Isso ocorreu devido à proximidade dessas estações ao

litoral do estado, onde a incidência de chuvas é maior, o que explica os valores mais elevados nos gráficos.

De modo geral, observa-se que os picos de precipitação nas estações se concentram entre os meses de abril e agosto. O ano de 2017 se destacou por registrar os maiores volumes de chuva no período analisado. Essas precipitações intensas também impactaram o estado de Alagoas, que vinha enfrentando um longo período de estiagem. Esse cenário de seca prolongada foi atribuído às mudanças nos padrões de precipitação e às variações nas temperaturas globais — consequências da alteração do equilíbrio climático regional, que intensificam a ocorrência de eventos extremos, como secas e chuvas intensas (LACERDA & LOPES, 2017).

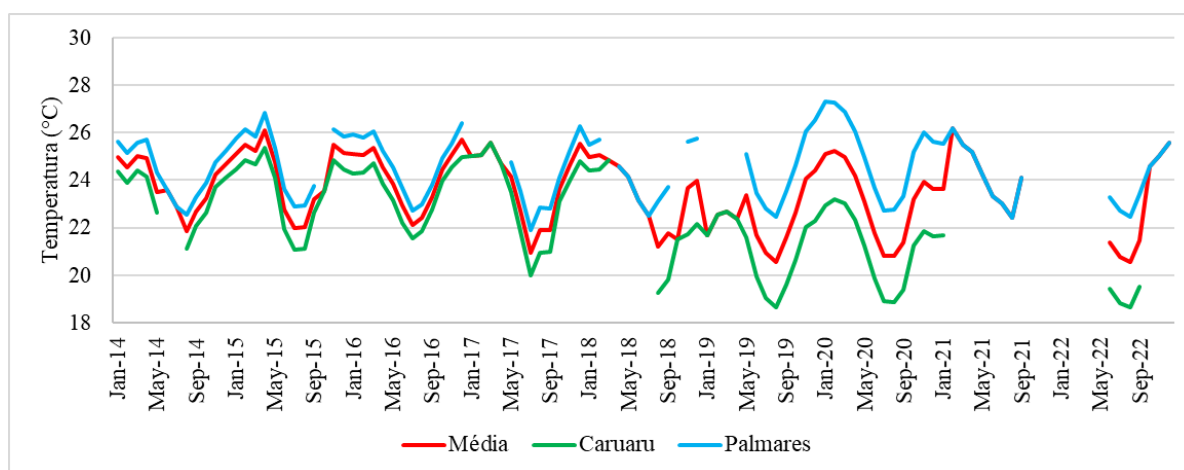


Figura 3. Temperatura média mensal das estações automáticas e média entre as estações.

Em relação à temperatura do ar (Figura 3), foi identificado um padrão sazonal bem definido ao longo dos anos analisados, com os meses de outubro a março apresentando os maiores valores médios de temperatura, enquanto o período de maio a setembro concentrou os valores mais

baixos. Esse comportamento cíclico reflete a influência do regime climático regional e foi registrado de forma semelhante nas duas estações meteorológicas avaliadas, ainda que com variações condicionadas às características geográficas locais

. A estação de Caruaru apresentou temperaturas médias mais amenas ao longo da série temporal, com valores oscilando entre 21°C e 25°C. Por outro lado, a estação de Palmares, localizada na zona da mata sul, mostrou temperaturas ligeiramente mais elevadas, variando entre 22°C e 27°C, o que revela um gradiente térmico coerente com a transição do agreste para a zona da mata. Essa diferença pode ser explicada, em parte, pela altitude: Caruaru está situada a aproximadamente 545 metros acima do nível do mar, o que naturalmente favorece temperaturas mais baixas devido ao efeito adiabático.

Além disso, chama atenção uma redução significativa nas temperaturas registradas em Caruaru no intervalo entre 2018 e 2020, quando os valores médios mensais oscilaram entre 19°C e 23°C, abaixo do padrão observado nos demais anos. Essa diminuição pode estar associada à variabilidade climática interanual ou à influência de eventos climáticos de larga escala, como El

Niño e La Niña, que afetam a distribuição de calor e umidade na região Nordeste do Brasil. A identificação de tais padrões reforça a importância do monitoramento contínuo das variáveis meteorológicas, uma vez que essas oscilações têm implicações diretas sobre a dinâmica ambiental e os sistemas produtivos locais.

Ao se analisar os valores médios de temperatura e precipitação específicos para a bacia hidrográfica do rio Sirinhaém (BHRS) (Figura 4), é possível perceber que os picos de precipitação coincidem com os menores valores de temperatura ao longo da série histórica. Esse padrão caracteriza um inverno chuvoso, típico da região, e está fortemente relacionado à influência das Ondas de Leste. Essas ondas, conforme explicado por Santos (2013), são responsáveis por grande parte das chuvas que ocorrem no litoral da região Nordeste entre os meses de maio e agosto.

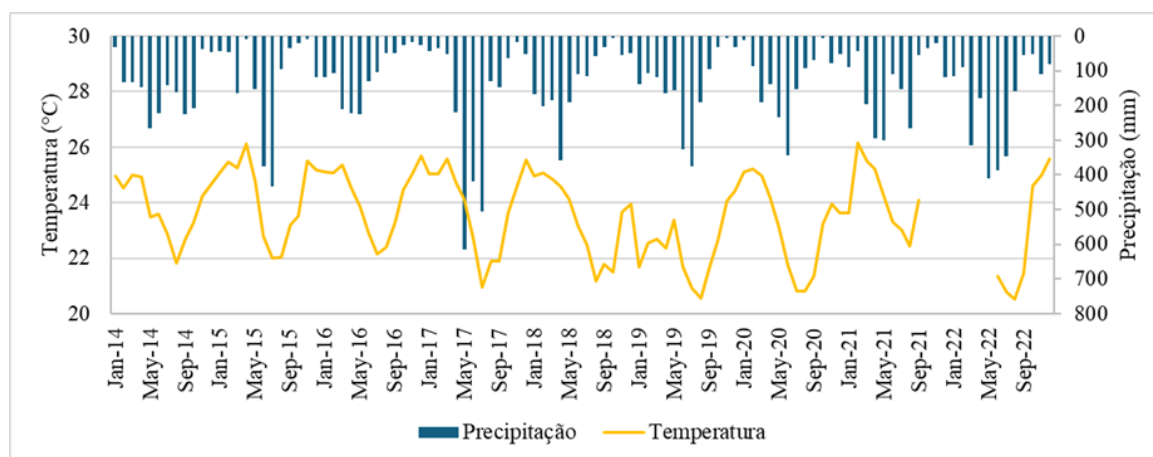
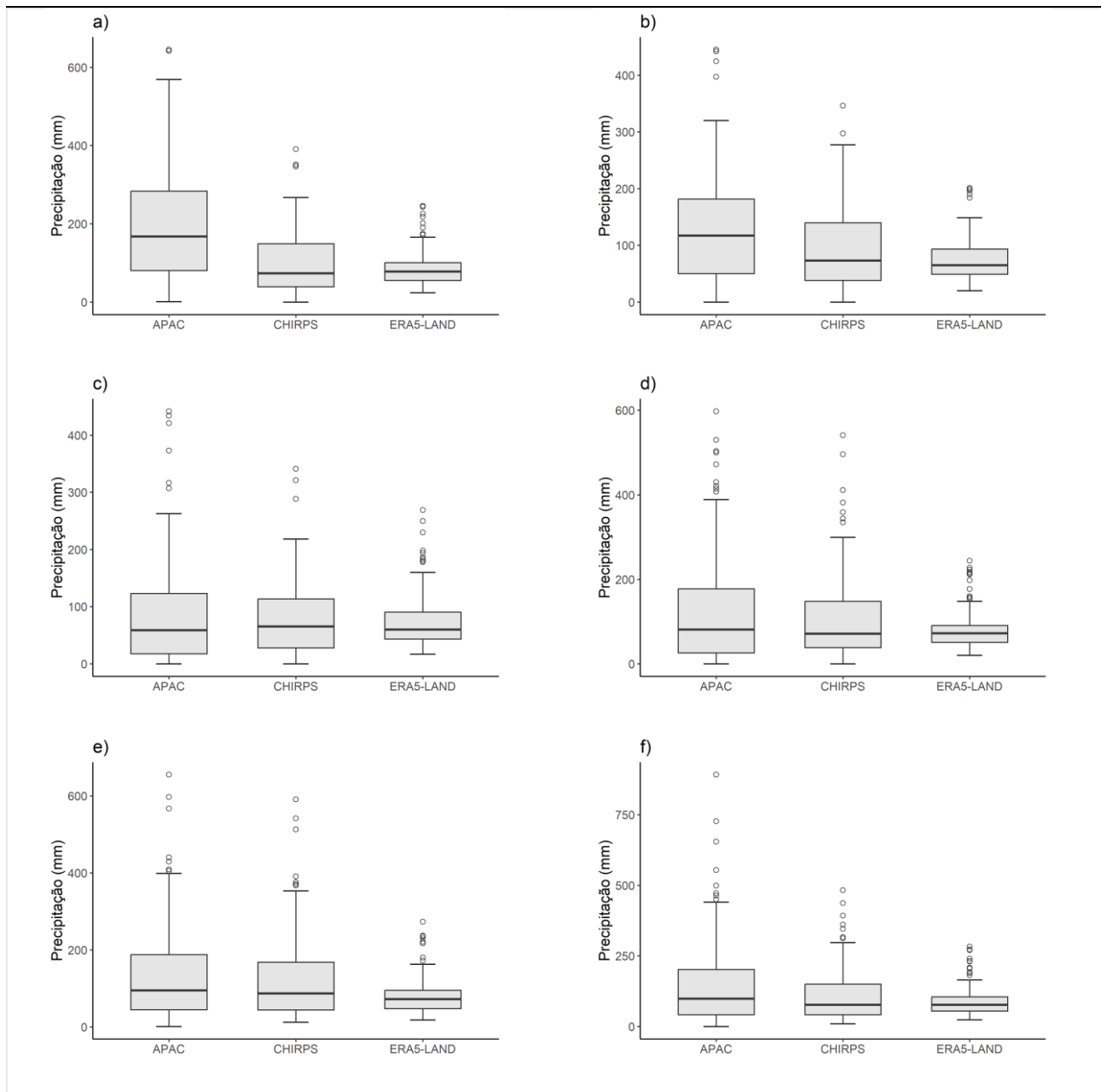


Figura 4. Valores médios mensais da precipitação pluvial e temperatura do ar para a área de estudo.

Tabela 3. Estatística descritiva para os dados de precipitação da APAC e de reanálise

Município	Tipo de dado	DP	CV	Amplitude interquartil (IQR)
Amaraji	Observado	150,39	0,7666467	202,78
	CHIRPS	79,63	0,801974	109,7
	ERA5-Land	45,07	0,5157301	45,75
Barra de Guabiraba	Observado	101,26	0,7666979	131,41
	CHIRPS	70,33	0,773054	101,57
	ERA5-Land	38,38	0,5015731	44,25
Camocim de São Félix	Observado	80,76	1,000414	105,6
	CHIRPS	58,96	0,7663451	85,76
	ERA5-Land	40,31	0,5590798	47
Cortês	Observado	128,59	1,041305	151,67
	CHIRPS	94,46	0,9001159	109,5
	ERA5-Land	43,7	0,5445212	40,25

Gameleira	Observado	124,95	0,9334079	143,33
	CHIRPS	106,05	0,8675378	124,28
	ERA5-Land	47,65	0,587006	47,5
Ribeirão	Observado	146,85	1,024873	160,12
	CHIRPS	87,55	0,8411933	107,992
	ERA5-Land	50	0,5582112	50,5
Rio Formoso	Observado	145,97	0,9211782	161,83
	CHIRPS	123,82	0,8807003	141,84
	ERA5-Land	51,06	0,6066314	52
Sirinhaém	Observado	175,05	0,9225708	185,5
	CHIRPS	141,65	0,841317	107,97
	ERA5-Land	58,73	0,6292135	64



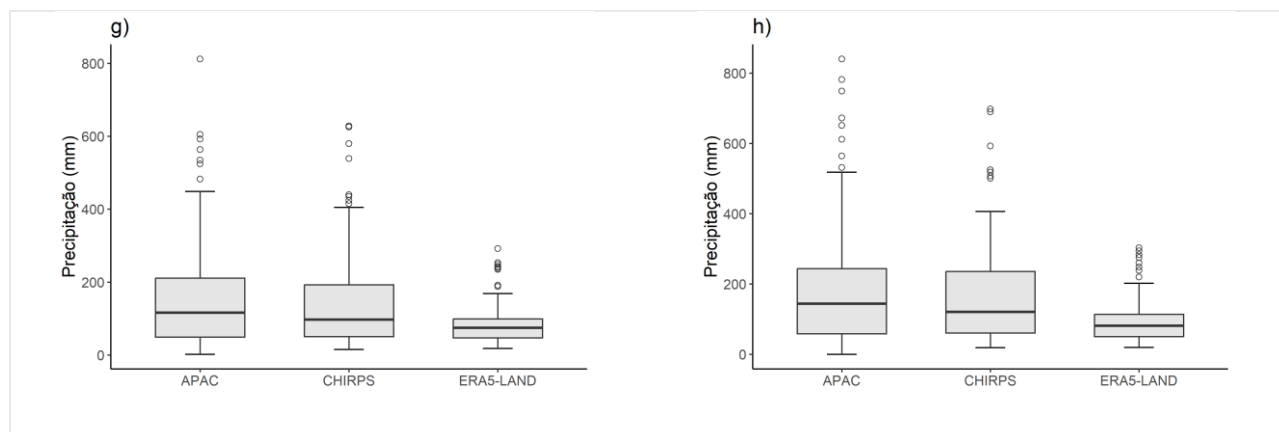


Figura 5. Boxplots da precipitação acumulada mensal medida (APAC) e estimada (CHIRPS e ERA5-Land) para os municípios de a) Amaraji, b) Barra de Guabiraba, c) Camocim de São Félix, d) Cortês, e) Gameleira, f) Ribeirão, f) Rio Formoso e g) Sirinhaém entre 2014 e 2022

Os dados de precipitação em relação as demais variáveis meteorológicas foram as que apresentaram maior variabilidade. Isso pode ser evidenciado tanto pelo valor elevado da amplitude interquartil (IQR) (tabela 3) como pela presença elevada de outliers nos boxplots (figura 5). Além disso, tanto os dados observados quanto os de reanálise apresentaram valores elevados de desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) significativamente superior a 35%, indicando uma alta variabilidade, pois segundo a classificação proposta por Nogueira (2007), um conjunto de dados é considerado homogêneo quando seu coeficiente de variação (CV) é inferior a 35%, heterogêneo quando o CV está entre 35% e 65%, e muito heterogêneo quando os valores superam

65%. Essa heterogeneidade dos dados justifica a presença de outliers nos boxplots e reforça a aleatoriedade observada nos dados.

Além disso, os valores de DP e CV do CHIRPS foram os que mais se aproximaram dos valores dos dados da APAC, apresentando similaridade desses dados de reanálise com os dados observados. É possível inferir também a partir da figura 5 que os dados do CHIRPS foram o que apresentaram comportamento semelhante aos dados medidos da APAC, com exceção das estações de Amaraji e Barra de Guabiraba, cujas medianas dos dados de reanálise ficaram abaixo em comparação a mediana dos dados observados.

Tabela 4. Estatística descritiva para os parâmetros meteorológicos medidos pelas estações do INMET e dados de reanálise

Estação	Tipo de dado	Variável	DP	CV	Amplitude interquartil (IQR)
Caruaru	Observado	Precipitação	62,89	1,365,086	57
		Temperatura	1,79	0,0789382	2,79
		UR	7,29	0,0950627	11,82
	ERA5-Land	Precipitação	32,11	0,6434474	30
		Temperatura	1,38	0,06046517	2,3
		UR	4,2	0,05141268	6,82
Palmares	Observado	Precipitação	100,36	1039161	102,4
		Temperatura	1,38	0,0559178	2,38
		UR	3,73	0,0445426	5,9
	ERA5-Land	Precipitação	46,47	0,5792741	47
		Temperatura	1,35	0,05627138	2,47
		UR	5,34	0,066566941	7,49

A estatística descritiva das variáveis meteorológicas medidas pelo INMET e estimadas pelo ERA5-Land é apresentada na Tabela 4. A partir dessa análise, observa-se que o conjunto de dados do ERA5-Land apresentou menor variabilidade para a precipitação em comparação aos dados observados nas estações da APAC, o que pode estar relacionado à suavização inerente aos produtos de reanálise, que tendem a atenuar os extremos e a variabilidade espacial mais localizada. Apesar disso, tanto os dados do INMET quanto os do ERA5-Land exibiram valores elevados de desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV) e amplitude interquartil (IQR) para a precipitação, o que evidencia a elevada variabilidade do regime pluviométrico na região da bacia, marcada por sazonalidade e influência de fatores morfoclimáticos. No caso dos parâmetros de temperatura do ar e umidade relativa, os valores de DP, CV e IQR foram consideravelmente mais

baixos, com coeficiente de variação inferior a 35%, conforme recomendado por Nogueira (2007), o que indica um comportamento mais estável e homogêneo dessas variáveis ao longo da série temporal analisada. Essa maior estabilidade também é perceptível nas figuras 6 e 7, que representam os boxplots das variáveis: nelas, os dados de temperatura e umidade relativa apresentaram menor dispersão e poucos valores considerados outliers, refletindo a maior consistência desses parâmetros nos dois conjuntos de dados avaliados. Essa diferença de comportamento estatístico entre precipitação e as demais variáveis meteorológicas reforça a complexidade da caracterização pluviométrica da BHRS e destaca a importância de métodos complementares de validação ao se utilizar produtos de reanálise para o monitoramento climático regional.

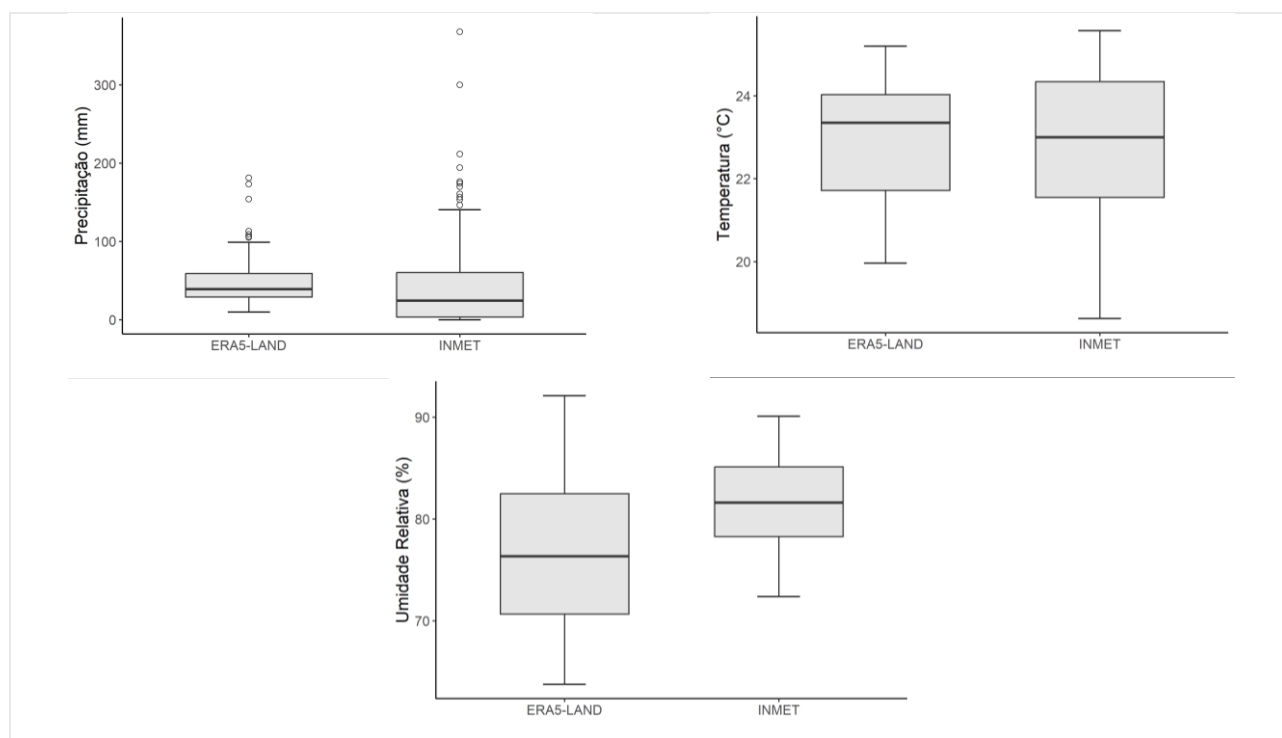


Figura 6. Boxplots das variáveis Meteorológicas medidas (INMET) e estimadas (ERA5-Land) para o município de Caruaru-PE entre 2014 e 2022

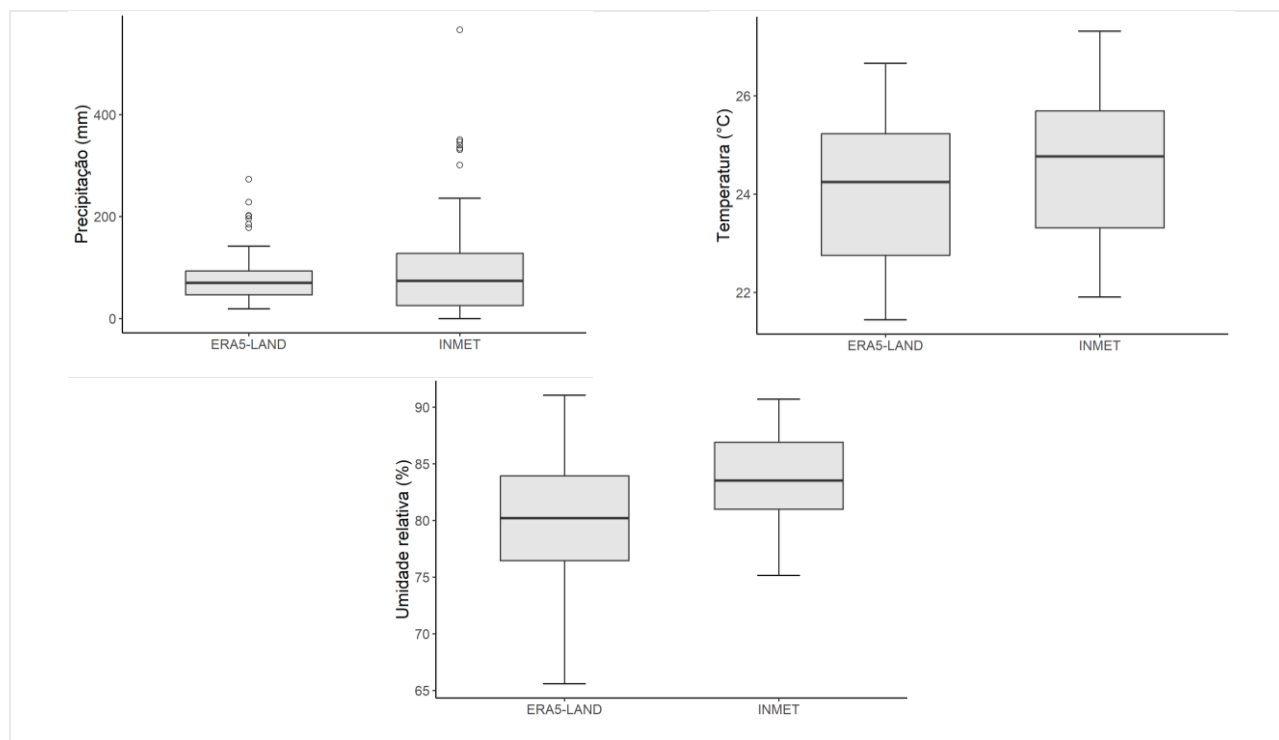


Figura 7. Boxplots das variáveis Meteorológicas medidas (INMET) e estimadas (ERA5-Land) para o município de Palmares-PE entre 2014 e 2022

A validação dos dados de reanálise com os dados observados provenientes das estações do INMET e da APAC é apresentada nas Tabelas 5 e 6, respectivamente. De modo geral, observou-se que, com exceção dos municípios de Barra de Guabiraba (Tabela 6), Caruaru e Palmares (Tabela 5), o parâmetro meteorológico referente à precipitação apresentou coeficientes de correlação linear variando entre 0,5 e 0,8. Segundo a classificação proposta por Hinkle et al. (1988), esses valores indicam uma correlação de moderada a forte, o que reforça a capacidade dos dados de reanálise em representar adequadamente o comportamento da precipitação na maioria das localidades analisadas. Em estudo conduzido por Costa et al. (2019), o produto CHIRPS demonstrou

um excelente desempenho para o território brasileiro em escala mensal, com coeficiente de determinação de até 0,97 no período de 1998 a 2010. Ainda assim, os autores observaram desempenho inferior nos períodos chuvosos das regiões Centro-Oeste e Norte, com valores de r^2 de 0,78 e 0,77, respectivamente. Essa queda de desempenho em áreas e períodos de maior intensidade pluviométrica ajuda a contextualizar os coeficientes mais baixos observados na BHRS, situada em uma região com elevada variabilidade de precipitação. Dessa forma, ainda que haja subestimação pontual, os dados de reanálise mostraram-se consistentes com a literatura e representativos para análises climáticas regionais.

Tabela 5. Coeficiente de determinação (r^2), BIAS, RMSE e erro absoluto médio (E) para os parâmetros meteorológicos das estações do INMET entre os anos de 2014 a 2022

Município	Variável	Satélite	r^2	BIAS	RMSE	E
Caruaru	Precipitação	CHIRPS	0,52516	22,6184	53,3293	37,0664
		ERA5-Land	0,43581	3,83009	48,1077	30,8779
	UR	ERA5-Land	0,57308	5,04991	7,69706	6,51537
	Temperatura	ERA5-Land	0,60528	0,17818	1,13658	0,88325
Palmares	Precipitação	CHIRPS	0,23116	19,3111	110,081	64,1301
		ERA5-Land	0,41881	-16,358	80,0032	55,1899
	UR	ERA5-Land	0,67044	3,37902	5,26054	4,34735
	Temperatura	ERA5-Land	0,97789	-0,5763	0,61132	0,57626

Tabela 6. Coeficiente de determinação (r^2), BIAS, RMSE e erro absoluto médio (E) para os dados de Precipitação da APAC entre os anos de 2014 a 2022

Estação	Satélite	r^2	BIAS	RMSE	E
Amaraji	ERA5-Land	0,6480	-108,7788	159,5387	115,9042
	CHIRPS	0,6555	-96,8751	137,3710	102,6160
Barra de Guabiraba	ERA5-Land	0,4904	-55,5559	96,5248	66,7322
	CHIRPS	0,4574	-41,0991	84,9038	57,6672
Camocim de São Félix	ERA5-Land	0,5167	-8,6335	59,3984	40,9952
	CHIRPS	0,5908	-3,7893	51,7931	35,3326
Cortês	ERA5-Land	0,6238	-43,2365	106,6640	70,9519
	CHIRPS	0,6519	-18,5539	78,4280	55,2675
Gameleira	ERA5-Land	0,7368	-52,6827	101,9177	62,8353
	CHIRPS	0,7795	-11,6142	59,7803	37,3759
Ribeirão	ERA5-Land	0,6957	-53,7045	120,9262	71,1840
	CHIRPS	0,7867	-39,2081	88,9906	53,8396
Rio Formoso	ERA5-Land	0,7819	-74,2872	127,2104	81,8872
	CHIRPS	0,7455	-17,8683	75,5826	49,3554
Sirinhaém	ERA5-Land	0,8034	-96,3993	157,6001	105,4674
	CHIRPS	0,7476	-21,3674	90,6968	56,8763

Os valores de BIAS para esse parâmetro deram todos negativos, o que indica que os dados de reanálise tendem a subestimar os valores dos dados reais, sendo a estação presente em Camocim de São Félix a apresentar o valor mais próximo a zero do parâmetro estatístico em questão. E foi a mesma estação que também apresentou menores valores de erro absoluto médio (E), o que reforça a viabilidade da aplicação dos usos dos dados de reanálise para monitoramento climático gestão da área.

Em um contexto mais geral, foi o conjunto de dados do CHIRPS que teve um desempenho melhor para precipitação na BHRs, com valores mais baixos de BIAS, RMSE e E, comparados com os dados do ERA5-Land. O estudo de Andrade et al. (2022) também traz que o conjunto de dados do CHIRPS tiveram um desempenho melhor em comparação ao do ERA5-Land para o Nordeste brasileiro, mesmo que ambos tenham subestimado os valores observados na região litorânea, com coeficientes de correlação acima de 0,9 contra 0,89 encontrado para os dados do ERA5-Land. Esse tipo de comportamento pode ser influenciado pela resolução dos pixels de cada produto de reanálise, com o CHIRPS de resolução de aproximadamente

9km enquanto a resolução do ERA5-Land é de 11km. Como a precipitação é um parâmetro de alta variabilidade espacial, produtos com uma resolução mais fina tendem a representar melhor essa espacialidade das chuvas.

Quanto às demais variáveis meteorológicas, a temperatura apresentou o melhor desempenho, com r^2 acima de 0,5 (0,61 para Caruaru e 0,98 para Palmares), além de baixos valores de BIAS, RMSE e E, constatando uma boa representação dos dados estimados para a área de estudo. Matsunaga et al. (2024) também encontraram uma boa performance estatística para o conjunto de dados do ERA5-Land, com valores do coeficiente de Pearson (r) acima de 0,5 para os dados de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa do ar, além de baixos valores de RMSE (mínimo de 0,46 e máximo de 9,51 mm), exceto para a precipitação, que apresentou valores mínimos e máximos de RMSE de 9,63 e 35,25 mm, respectivamente. Araújo et al. (2022) reforça a viabilidade conjunto de dados do ERA5-Land para o monitoramento climático, visto que encontraram intervalos satisfatórios em sua validação para o estado de Pernambuco, variando entre 0,57 e 0,98.

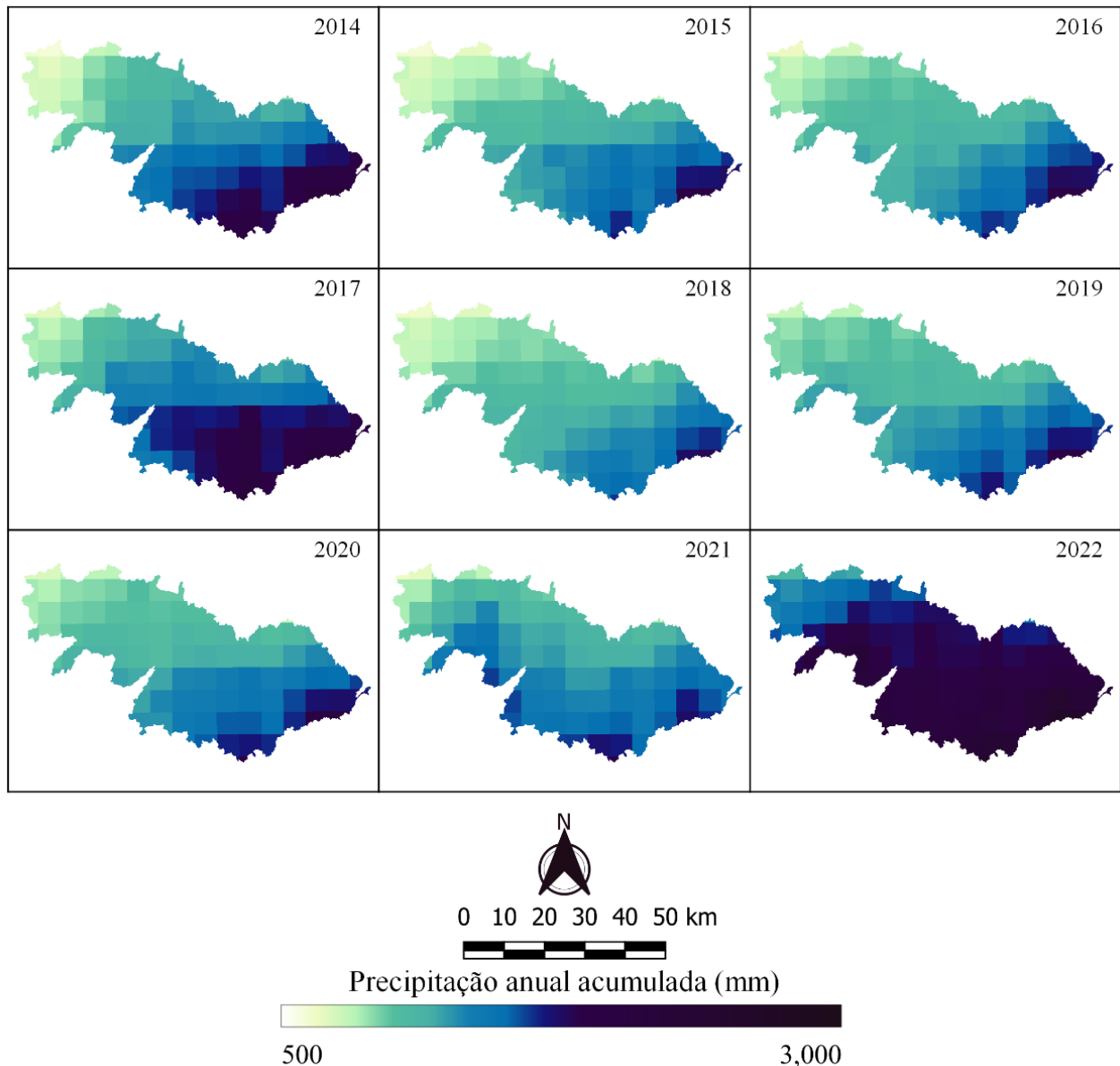


Figura 8. Distribuição Espacial da precipitação pluvial pelo CHIRPS ao longo da BHRs para os anos de 2014 a 2022.

A Figura 8 ilustra a distribuição espacial da precipitação na área de estudo, com base nos dados provenientes do produto CHIRPS, escolhido para essa análise por ter apresentado os melhores indicadores estatísticos em relação ao ERA5-Land. Observa-se que os padrões de distribuição espacial da chuva representados nos mapas são coerentes com os dados obtidos pelos pluviômetros, sobretudo no que se refere à maior concentração de precipitação nas áreas localizadas mais a leste da bacia hidrográfica, próximas ao litoral pernambucano. Nessa porção, destacam-se os municípios de Rio Formoso e Sirinhaém, os quais apresentaram os maiores acumulados mensais de chuva, superando a média registrada no intervalo temporal analisado para a Bacia Hidrográfica do

Rio Sirinhaém (BHRs), conforme previamente demonstrado na Figura 2. Portela et al. (2023) aponta que essa região é mais vulnerável a inundações, pois, além de estar sobre a área de influência do Distúrbio Ondulatório de Leste (DOLs), é uma região mais plana e possui predominantemente solos de mangue.

À medida que se avança em direção ao interior da bacia, no sentido oeste, nota-se uma clara tendência de redução nos volumes anuais acumulados de precipitação. Tal comportamento pode ser atribuído às características morfoclimáticas da região, que adentra o agreste pernambucano. Por ser uma zona de transição entre a zona da mata (litoral) e o semiárido (sertão) a área apresenta variações expressivas na distribuição das

chuvas ao longo do ano, apresentando, contudo, registros significativos em regiões próximas a zona da mata. Segundo Rodrigues et al. (2017), são comuns picos de precipitação nessas regiões de transição, com máximas de 104 mm e 98 mm nos meses de junho e julho, respectivamente, refletindo a influência de sistemas meteorológicos atuantes nesse período.

Conclusões

A bacia hidrográfica do Rio Sirinhaém (BHRS), localizada majoritariamente no litoral de Pernambuco, possui um regime pluviométrico intenso, com inverno chuvoso e verão mais seco, o que torna a região mais vulnerável a extremos climáticos, principalmente os municípios mais próximos à costa, devido a influência dos fenômenos atmosféricos como os DOLs, além de ser uma região mais plana e possuir solos de baixa infiltração de água, como os solos de mangue. Sendo assim, foi realizado uma análise exploratória dos dados meteorológicos providos do CHIRPS e do ERA5-Land a fim de verificar sua viabilidade para monitoramento climático da região. Foi constatado que os dois conjuntos de dados tendem a subestimar os valores reais, contudo, apresentaram um bom desempenho estatístico para os conjuntos de dados mensais, com o CHIRPS tendo os valores mais aceitáveis para o parâmetro pluviométrico devido a sua resolução espacial. O ERA5-Land, apesar de ter apresentado um desempenho um pouco abaixo para este parâmetro, ainda conseguiu ficar dentro do aceitável seguindo os critérios estabelecidos por Hinkle et al. (1988) e Nogueira (2007). Já para a temperatura e umidade relativa do ar o ERA5-Land se mostrou satisfatório, visto que são parâmetros que não possuem uma alta variabilidade espacial em comparação aos dados de chuva.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) auxílio financeiro, à Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE.

Referências

Andrade, J. M., Neto, A. R., Bezerra, U. A., Moraes, A. C. C., Montenegro, S. M. G. L. 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. 1 - 16, 2022.

APAC – Agência Pernambucana de águas e Clima. Bacias Hidrográficas – Rio Sirinhaém. Disponível em: <<http://200.238.107.184/bacias-hidrograficas/40-bacias-hidrograficas/205-bacia-do-rio-sirinhaem>>. Acesso em 23/10/2022

Araújo, C. S. P., Silva, I. A. C., Ippolito, M., Almeida, C. D. G. C. Evaluation of air temperature estimated by ERA5-Land reanalysis using surface data in Pernambuco, Brazil. Environmental Monitoring and Assessment, v. 194, n. 381, p. 1 - 13, 2022.

Cardoso, I. P., Santiago, M. M., Rodrigues, A. A., Nunes, A. B. Evaluation of precipitation data generated by ERA5 reanalysis for the Mirim-São Gonçalo watershed, Brazil. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 17, n. 2, p. 824-837, 2024.

Costa, J., Pereira, G.; Siqueira, M. E., Cardozo, F., Silva, V. V. Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS PARA O BRASIL. Revista Brasileira de Climatologia. v. 24, p. 228 – 243, 2019.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Bacia do Rio Sirinhaém. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio/recursos-naturais/recursos-hidricos/bacia-do-rio-sirinhaem>>. Acesso em: 01/11/2022.

FAO. Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS). Disponível em: <<https://data.apps.fao.org/catalog/organization/about/chirps>>. Acesso em: 08/11/2022.

Ferraz, G. F. Simulação Hidrológica e Hidrodinâmica do impacto de enchentes na bacia do Rio Sirinhaém e avaliação de sistema de controle proposto. 2019. 117p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

Hinkle, D. E., Wiersma, W., Jurs, S. G. Solutions manual: Applied statistics for the behavioral sciences. Houghton Mifflin, 1988.

IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 2023. 169 p.

- ITEP. Relatório de Impacto Ambiental – Rima: Sistema de Controle de Cheias da Bacia do Rio Sirinhaém- Barragem Barra de Guabiraba. Instituto de Tecnologia de Pernambuco; Unidade Gestora de Projetos Barragens da Mata Sul. Recife, 2011. 40p.
- Lacerda, F. F., Lopes, G. M. B. Extremos de Chuva e Seca em Pernambuco: uma realidade que veio para ficar. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, Recife. v. 13/14, p. 42 - 46, 2017.
- Liu, W. T. H. Aplicações de sensoriamento remoto. 2ª Edição. Oficina de Textos, 2015. 900 p.
- Matsunaga, W. K., Sales, E.S.G., Júnior, G.C.A. Silva, M. T., Lacerda, F. F., Lima, E. P., Santos, C. A. C. Application of ERA5-Land reanalysis data in zoning of climate risk for corn in the state of Bahia—Brazil. Theoretical and Applied Climatology, v. 155, p. 945 – 963, 2024.
- Muñoz-Sabater, J. M. ERA5-Land hourly data from 1950 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), 2019. Disponível em: < <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-land?tab=overview>>. Acesso em: 10/10/2023.
- Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., Boussetta, S., Choulga, M., Harrigan, S., Hersbach, H., Martens, B., Miralles, D. G., Piles, M., Rodríguez-Fernández, N. J., Zsoter, E., Buontempo, C., Thépaut, J. N. ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications, Earth System Science Data, v. 13, p. 4349 – 4383, 2021.
- Nogueira, M. C. S. Experimentação agrônômica I. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2007.
- PERNAMBUCO. Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC. Plano Estadual de Recursos Hídricos – Tomo I. Volume 1. Recife, 2022.
- PERNAMBUCO. Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos. Plano estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco – Produto 4 – Diagnóstico Integrado. Recife, Pernambuco, 2020.
- Portela, B. M., Alves, G. B., Silva, S. R., Lafayette, K. P. V. Análise da vulnerabilidade à inundação na Bacia Hidrográfica do rio Sirinhaém, utilizando o Método de Análise Hierárquica. Revista Brasileira de Geografia Física, v.16, n.03, p.1247 – 1262, 2023.
- Rodrigues, L. O., Souza, W. M., Costa, V. S. O., Pereira, M. L. T. Influência dos eventos El Niño e La Niña no regime de precipitação do Agreste de Pernambuco. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 10, n. 6, p. 1995 - 2009, 2017.
- Santos, L. D. J. Evolução morfodinâmica e antropogênica da unidade geomorfológica restinga no bairro do Recife Antigo-PE. 2013. 148p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Silva, G. R. D., Oliveira, M. K. T. “Diagnóstico Descritivo Da Gestão E Do Planejamento De Recursos Hídricos No Semiárido Brasileiro” in I Congresso Internacional de Meio Ambiente e Sociedade, Belo Horizonte, p. 1 – 6, 2020.
- Silva, R. O. B.; Montenegro, S. M. G. L.; Souza, W. M. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. Engenharia Sanitária Ambiental, v. 22, n. 3. p. 579 - 589, 2017.
- Silva, S. F., Araújo, D. C. S., Viana, J. F. S., Medeiros, Y. D. P., Montenegro, S. M. G. L. Validation of the CHIRPS precipitation estimate in a Brazilian Savanna Basin. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 17, n. 2, p. 860 - 881, 2024.
- Tomaszewski, M., Gasz, R., Smykala, K. Monitoring Vegetation Changes Using Satellite Imaging – NDVI and RVI4S1 Indicators. In: Paszkiel, S. (eds) Control, Computer Engineering and Neuroscience, 2021.
- Uliana, E. M., Junior, M. F. S., Araujo, J. A., Aires, U. R. V., Silva, D. D., Zanuzo, M. R., Cruz, I. F. Validação e Análise Espaço-Temporal de Dados de Precipitação Obtidos por Sensoriamento Remoto CHIRPS para o Estado de Mato Grosso, Brasil. Revista Brasileira de Climatologia, v. 35, n. 20, p. 630 - 654, 2024.