



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

FREDERICO ANTONIO PEREGRINO WANDERLEY DA COSTA NETO

**VALIDAÇÃO DO DESEMPENHO DE DIFERENTES PRODUTOS DE
PRECIPITAÇÃO PARA O ESTADO DE PERNAMBUCO - BRASIL**

Recife - PE

2025

FREDERICO ANTONIO PEREGRINO WANDERLEY DA COSTA NETO

**VALIDAÇÃO DO DESEMPENHO DE DIFERENTES PRODUTOS DE
PRECIPITAÇÃO PARA O ESTADO DE PERNAMBUCO - BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal de Pernambuco,
como requisito parcial para obtenção do
título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Tecnologia
Ambiental e Recursos Hídricos

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Leidjane Maria Maciel de Oliveira

Recife - PE

2025

Catlogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Costa Neto, Frederico Antonio Peregrino Wanderley da.
Validação do desempenho de diferentes produtos de precipitação
para o estado de Pernambuco - Brasil / Frederico Antonio Peregrino
Wanderley da Costa Neto. - Recife, 2025.
103f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco,
Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, 2025.
Orientação: Leijdane Maria Maciel de Oliveira.
Inclui referências e apêndices.

1. Pluviômetro; 2. Dados orbitais; 3. Geoprocessamento. I.
Oliveira, Leijdane Maria Maciel de. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

FREDERICO ANTONIO PEREGRINO WANDERLEY DA COSTA NETO

**VALIDAÇÃO DO DESEMPENHO DE DIFERENTES PRODUTOS DE
PRECIPITAÇÃO PARA O ESTADO DE PERNAMBUCO - BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Aprovado em 19/02/2025

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Leidjane Maria Maciel de Oliveira – UFPE

BANCA EXAMINADORA

participação por videoconferência
Prof. Dr. Alfredo Ribeiro Neto (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

participação por videoconferência
Prof.^a Dr.^a Rochele Sheila Vasconcelos (Examinadora Externa)
Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC

participação por videoconferência
Dr. Diego Cezar dos Santos Araújo (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Dedico a minha “segunda mãe” Rosângela Francisca de Oliveira, também conhecida como “Deinha” (*in memoriam*).

Dedico a minha avó Rosa Bacalhau (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela minha vida e saúde, assim como a das pessoas que amo e por colocar em meu caminho todas as pessoas que podiam me ajudar nessa jornada de sucesso.

Agradeço a mim mesmo pela resiliência, paciência e esforço empregado nessa jornada.

Agradeço a minha família, em especial aos meus pais, Frederico e Fabiana, e avós, Frederico, Rozana e Orlando, por todo o apoio e amor incondicionais, por todos os conselhos e companheirismo ao longo dessa jornada, sempre me motivando a alcançar objetivos cada vez maiores.

Agradeço a minha noiva, Fabiane Freitas, por todo companheirismo, apoio e amor que me proporciona todos os dias, por toda a felicidade que me faz sentir quando estamos juntos, me ajudando em todos os momentos da minha vida, e por estar presente comigo sempre que eu preciso.

Agradeço aos meus amigos do Basilius, que me acompanham desde o ensino médio e me proporcionam várias risadas e bons momentos juntos, sempre estando presentes e me ajudando a descontrair nos momentos de estresse. E, em especial, ao meu primo Alan, que me acompanhou de perto ao longo de toda essa jornada acadêmica.

Agradeço aos meus amigos do GRH, em especial aos meus amigos da sala 14 (antiga sala 15), por todo o acolhimento na equipe e por todos os conhecimentos compartilhados para que pudéssemos evoluir cada vez mais.

Por fim, mas não menos importante, agradeço a minha orientadora Leidjane, por toda a confiança depositada em mim, por todo o cuidado, carinho, acolhimento e tempo dedicado, por ter me ensinado o que é ciência e me feito amar ainda mais essa área do conhecimento que chamamos de “Recursos Hídricos”.

A todos vocês, toda minha gratidão.

“Se você só fizer o que sabe, nunca será mais do que é agora.” (Mestre Shifu).

RESUMO

A precipitação é um dos agentes atmosféricos mais importantes para compreensão das características climáticas de uma região, tornando seu monitoramento *which* essencial para o embasamento de decisões políticas e administrativas que envolvem o uso adequado das águas. Diversas técnicas de medição da precipitação foram desenvolvidas ao longo dos anos, dentre as quais a mais usual é a medição de superfície através das estações pluviométricas. Contudo, apesar de eficiente, os pluviômetros apresentam uma série de desvantagens operacionais, mais evidentes em áreas remotas ou de difícil acesso. Por este motivo, medições de precipitação por Sensoriamento Remoto vem se mostrando alternativas eficazes para obtenção de registros pluviométricos. O presente estudo avaliou o desempenho dos produtos de precipitação CHIRPS, GPM-IMERG, PERSIANN-CDR e ERA5-Land em comparação a estações pluviométricas monitoradas pela Agência Nacional de Águas (ANA) e Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) em Pernambuco – Brasil. Para isto, foram empregadas validações de escala temporal diária, mensal e anual, registradas entre o ano de 2001 e 2023, e critérios de análises estatísticas bem consolidadas, tais como Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ), Percentual de Tendências (PBIAS), Coeficiente de Correlação de Pearson (r) e Coeficiente de Concordância de Willmott (d). Com isso, foi possível identificar que os produtos desempenharam melhor em mesorregiões localizadas no interior do estado de Pernambuco, com exceção do GPM-IMERG, cujos melhores resultados foram obtidos para o litoral ($PBIAS < 10\%$) enquanto o interior do estado demonstrou tendência de superestimar os registros de chuva ($PBIAS > 100\%$). Em relação à escala diária, o ERA5-Land obteve o melhor desempenho, contudo, nas escalas mensais e anuais o CHIRPS demonstrou superioridade em todos os parâmetros avaliados. Já o PERSIANN-CDR, por sua vez, se destacou por apresentar o segundo melhor resultado em todas as escalas temporais, demonstrando boa consistência. Além disso, é importante destacar que todos os produtos demonstraram uma maior correlação para com os registros *in loco* quando avaliada a escala mensal, demonstrando uma pequena redução de eficiência na escala anual e o pior resultado para a escala diária. Os resultados encontrados contribuíram para uma melhor compreensão do potencial de utilização dos registros de chuva obtidos por sensoriamento remoto para o estado de Pernambuco - Brasil.

Palavras-chave: Pluviômetro; Dados orbitais; Geoprocessamento.

ABSTRACT

Precipitation is one of the most important atmospheric agents for understanding the climatic characteristics of a region, making its monitoring essential for the basis of political and administrative decisions involving the appropriate use of water. Several precipitation measurement techniques have been developed over the years, among which the most common is surface measurement through rain gauge stations. However, despite being efficient, rain gauges have a series of operational disadvantages, which gets more evident in remote or difficult-to-access areas. For this reason, precipitation measurements using Remote Sensing techniques have proven to be effective alternatives for obtaining rainfall records. The present study evaluated the performance the precipitation products CHIRPS, GPM-IMERG, PERSIANN-CDR and ERA5-Land in comparison to rain gauges stations monitored by National Water Agency (ANA) and Pernambuco Water and Climate Agency (APAC) in Pernambuco – Brazil. For this purpose, daily, monthly and annual time scale validations were used, recorded between 2001 and 2023, and well-established statistical analysis methodologies, such as Root Mean Square Error (RMSE), Percent Bias (PBIAS), Pearson's Correlation Coefficient (r) and Willmott's Index of Agreement (d). By these means, it was possible to identify that the products performed better in mesoregions located in the countryside of the state of Pernambuco, with the exception of GPM-IMERG, whose best results were obtained for the coast (PBIAS < 10%) while the countryside of the state showed a tendency to overestimate rainfall records (PBIAS > 100%). In relation to the daily scale, ERA5-Land obtained the best performance, however, on the monthly and annual scales, CHIRPS demonstrated superiority in all evaluated measurements. PERSIANN-CDR, in turn, stood out for presenting the second best result in all time scales, demonstrating good consistency. Furthermore, it is important to highlight that all products demonstrated a greater correlation with on-site records when evaluated on a monthly scale, demonstrating a small reduction in efficiency on the annual scale and the worst result for the daily scale. The results found contributed to a better understanding of the potential use of rainfall records obtained by remote sensing for the state of Pernambuco - Brazil.

Keywords: Rain gauge; Orbital data; Geoprocessing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação esquemática do Ciclo Hidrológico.	17
Figura 2 – Representação de pluviômetro.	20
Figura 3 – Diferentes formatos de coletores de chuva, evidenciando as deformações dos ventos.	21
Figura 4 - Representação esquemática da propagação da radiação eletromagnética em formato de onda.	22
Figura 5 - Visão esquemática do processo de construção e validação do CHIRPS.	27
Figura 6 - Um esquema do algoritmo PERSIANN-CDR para reconstrução do histórico de precipitação.	30
Figura 7 - Visão esquemática do diagrama de produção do ERA5-Land.....	32
Figura 8 - Fluxograma das etapas metodológicas.....	33
Figura 9 - Localização da área de estudo e subdivisão do estado em mesorregiões.	35
Figura 10 – Classificação Climática de Koppen-Geiger para Pernambuco.....	36
Figura 11 - Precipitação acumulada anual de Pernambuco (mm).....	36
Figura 12 – Mapa Hipsométrico de Pernambuco.	37
Figura 13 - Localização das estações pluviométricas selecionadas.	39
Figura 14 - Média mensal de precipitação em cada estação pluviométrica em relação aos produtos de precipitação por sensores remotos avaliados.....	54
Figura 15 – Variação da precipitação acumulada anual em cada estação pluviométrica em relação aos produtos de precipitação avaliados.....	64
Figura 16 – Espacialização da Precipitação Média Anual Acumulada para o estado de Pernambuco, com relação ao: (a) Pluviômetro de referência (Interpolação IDW); (b) CHIRPS; (c) GPM-IMERG; (d) PERSIANN-CDR; (e) ERA5-Land.	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixas de espectro eletromagnético exploradas através do Sensoriamento Remoto.....	23
Tabela 2 - Estações Pluviométricas de referência.	40
Tabela 3 - Síntese dos produtos de precipitação utilizados no presente estudo.....	41
Tabela 4 - Síntese dos índices estatísticos empregados.	42
Tabela 5 – Validação diária dos produtos de precipitação para o estado de Pernambuco, referente ao período entre janeiro de 2001 e dezembro de 2023.	44
Tabela 6 - Resultados da validação dos registros de precipitação diária entre os dados observados em campo nas estações pluviométricas e estimados por sensores remotos em cada mesorregião, referente ao período entre janeiro de 2001 e dezembro de 2023.	46
Tabela 7 - Resultados de tendências (PBIAS) para cada produto de precipitação. ...	48
Tabela 8 - Resultados de tendências (PBIAS) para cada produto de precipitação por satélite, considerando as mesorregiões avaliadas.	49
Tabela 9 – Validação mensal dos produtos de precipitação para o estado de Pernambuco, referente ao período entre janeiro de 2001 e dezembro de 2023.	50
Tabela 10 - Resultados da validação dos registros de precipitação mensal entre os dados observados em campo nas estações pluviométricas e estimados por sensores remotos em cada mesorregião, referente ao período entre janeiro de 2001 e dezembro de 2023.	53
Tabela 11 – Validação anual dos produtos de precipitação para o estado de Pernambuco, referente ao período entre janeiro de 2001 e dezembro de 2023.	61
Tabela 12 - Resultados da validação dos registros de precipitação anual entre os dados observados em campo nas estações pluviométricas e estimados por sensores remotos em cada mesorregião, referente ao período entre janeiro de 2001 e dezembro de 2023.	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANN	<i>Artificial Neural Network</i>
AP	Agreste Pernambucano
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
CDR	<i>Climate Data Record</i>
CHG	Grupo de Riscos Climáticos
CHIRPS	<i>Climate Hazards Group InfraRed Precipitation With Station Data</i>
CHPClim	<i>Climate Hazards Center's Precipitation Climatology</i>
CNES	<i>Centre National d'Études Spatiales</i>
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
d	Coeficiente de Concordância de Willmott
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ECMWF	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>
EUMETSAT	Organização Europeia para a Exploração de Satélites Meteorológicos
FEWS NET	<i>Famine Early Warning Systems Network</i>
GPCP	<i>Global Precipitation Climatology Project</i>
IMERG	<i>Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	Inverse Distance Weighted
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPA	Instituto Agrônomo do Pernambuco
IR	Infravermelho
ISRO	Organização Indiana de Pesquisa Espacial
JAXA	Agência de Exploração Aeroespacial do Japão
MP	Mata Pernambucana
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NOAA	Administração Oceânica e Atmosférica Nacional
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PBIAS	Percentual de Tendências
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos

PERSIANN	<i>Precipitation Estimates from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks</i>
PMW	<i>Passive Microwave</i>
r	Coeficiente de Correlação de Pearson
REM	Radiação Eletromagnética
REMQ	Raiz do Erro Médio Quadrático
RMR	Região Metropolitana do Recife
SEINFRA	Secretaria de Estado de Infraestrutura
SFP	São Francisco Pernambucano
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SP	Sertão Pernambucano
TRMM	<i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i>
USAID	<i>United States Agency for International Development</i>
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 PRECIPITAÇÃO: INTRODUÇÃO, CICLO HIDROLÓGICO E TÉCNICAS DE MEDIÇÃO.....	17
3.1.1 Introdução à precipitação, hidrologia e ciclo hidrológico.....	17
3.1.2 Técnicas de Medição	19
3.2 PRINCÍPIOS DE SENSORIAMENTO REMOTO	21
3.3 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO NA MEDIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO 24	
3.3.1 Medidas baseadas em Infravermelho.....	24
3.3.2 Medidas baseadas em Microondas	24
3.4 PRODUTOS DE PRECIPITAÇÃO.....	25
3.4.1 CHIRPS	26
3.4.2 GPM-IMERG	27
3.4.3 PERSIANN-CDR.....	29
3.4.4 ERA5-Land.....	30
4. METODOLOGIA	33
4.1 ÁREA DE ESTUDO	34
4.2 LEVANTAMENTO DOS PLUVIÔMETROS DE REFERÊNCIA	38
4.3 DEFINIÇÃO DOS PRODUTOS DE PRECIPITAÇÃO UTILIZADOS.....	41
4.4 ANÁLISES COMPARATIVAS.....	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44

5.1	VALIDAÇÃO DIÁRIA	44
5.2	VALIDAÇÃO MENSAL	50
5.3	VALIDAÇÃO ANUAL	60
5.4	ESPACIALIZAÇÃO.....	68
6.	CONCLUSÃO	71
REFERÊNCIAS.....		73
APÊNDICE A – CÓDIGOS APLICADOS NO GOOGLE EARTH ENGINE		78
APÊNDICE B – CÓDIGOS APLICADOS NO RSTUDIO		86
APÊNDICE C – VALIDAÇÃO DIÁRIA EM CADA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA ...		89
APÊNDICE D – VALIDAÇÃO MENSAL EM CADA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA		93
APÊNDICE E – VALIDAÇÃO ANUAL EM CADA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA ...		97

1. INTRODUÇÃO

O clima de uma determinada região é definido a partir de um conjunto de elementos e fatores fisiográficos (Jatobá e Silva, 2020). Diversos componentes atmosféricos possuem a capacidade de influenciar nas características do tempo e nas condições climáticas, tais como: Temperatura; Precipitação; Umidade do ar; Ventos e pressão atmosférica (Finch e Trewartha, 1954).

Dentre os fatores mencionados, destaca-se a precipitação como um dos componentes atmosféricos mais importantes na compreensão das variações no ciclo hidrológico, uma vez que é a partir destes dados que se torna possível o desenvolvimento de estudos hidrológicos que permitam, dentre outras possibilidades, avaliar a ocorrência de eventos extremos, monitorar a evolução das estiagens e modelar cenários de cheias (Dawa *et al.*, 2024).

Ainda neste sentido, Jatobá e Silva (2020) citam que a compreensão do comportamento pluviométrico de uma determinada região possibilita o desenvolvimento de pesquisas que interferem diretamente em diversos setores econômicos, tais como as pesquisas hídricas, hidrogeológicas, avaliação da recarga de aquíferos e estudo das mudanças climáticas. Também, os aspectos pluviométricos de uma determinada região pode ser afetados diretamente pelas variações de suas características físicas, tais como mudanças na cobertura e uso do solo, circulação atmosférica e fatores termodinâmicos (Lima Júnior *et al.*, 2023).

Dentre as técnicas de obtenção dos dados de precipitação, as observações realizadas na superfície terrestre, tais como estações pluviométricas, por exemplo, são usualmente consideradas como uma fonte confiável e precisa de dados de precipitação (Dawa *et al.*, 2024). Estas estações se caracterizam como equipamentos de medição rotineira da altura de chuva correspondente a um período de 24 horas (Shahidian *et al.*, 2017). Contudo, apesar de eficientes, observações em campo apresentam uma série de desvantagens que podem afetar a sua efetividade na medição dos registros pluviométricos, como por exemplo a falta de recursos, baixa densidade ou distribuição desigual das estações ou até mesmo instabilidade política (Dawa *et al.* 2024).

Ainda em forte relevância, na escala global, por exemplo, a utilização de estações pluviométricas para obtenção dos dados de precipitação enfrenta um grande desafio relacionado a sua representatividade espacial, visto sua dificuldade de

instalação em diversas regiões da superfície terrestre, reduzindo sua aplicabilidade (Kidd *et al.*, 2017; Andrade *et al.*, 2022).

Além disso, conforme descrito pela OMM (2023), os registros obtidos a partir dos instrumentos posicionados em campo podem apresentar erros de medição, resultando em um valor até 30% menor que a real precipitação que atinge o solo. As perdas sistemáticas de cada pluviômetro podem variar dependendo do tipo de precipitação, da velocidade do vento, do crescimento de vegetação e/ou da construção de estruturas nas proximidades do instrumento.

E é devido a importância dos recursos hídricos para a humanidade que o monitoramento constante deste recurso se torna essencial para embasar as decisões quanto ao gerenciamento e uso adequado das águas (Barbosa *et al.*, 2021). Neste sentido, Bandim e Galvíncio (2021) ressaltam que as pesquisas que objetivam desenvolver as tecnologias de monitoramento das águas são estimuladas pela necessidade de aperfeiçoar a compreensão do funcionamento dos processos hídricos.

Neste contexto, estudos recentes vêm desenvolvendo análises de viabilidade das medições de precipitação global através de Sensoriamento Remoto, nos quais os produtos de precipitação vêm se destacando em diferentes campos de pesquisa. Dentre os produtos capazes de estimar a precipitação destacam-se: *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation With Station Data* (CHIRPS); *Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM* (GPM-IMERG); *Precipitation Estimates from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks* (PERSIANN); E a quinta geração do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), também chamado de ERA5.

Contudo, apesar das vantagens atreladas à utilização de produtos de satélite para a obtenção de registros pluviométricos, é importante destacar que a precisão destes registros pode ser afetada pelas diferentes características topográficas e sistemas meteorológicos regionais, conforme citado por Mahmoud *et al.* (2021), Andrade *et al.* (2022) e Araújo *et al.* (2022). Por este motivo, torna-se essencial o desenvolvimento de novas pesquisas que validem a precisão das estimativas provenientes de Sensoriamento Remoto em regiões com características topográficas e climatológicas diversas.

Neste sentido destaca-se o estado de Pernambuco - Brasil, caracterizado por apresentar irregularidades no regime de chuva ao longo de sua extensão. De acordo

com o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH (SEINFRA, 2022), a região litorânea e a Zona da Mata apresentam valores anuais de precipitação na média de 1.000 a 2.200 mm, enquanto no Agreste e Sertão essa média curvar-se para 400 a 800 mm. Ademais, ainda de acordo com o PERH (SEINFRA, 2022), Pernambuco apresenta boa parte de seu território inserido no “Polígono das Secas”, localizado no Semiárido, dispondo de um balanço hídrico negativo, com evaporação média de 2.000 mm/ano. Por estes motivos, pesquisas que sirvam como embasamento no desenvolvimento de estudos hidrológicos ao longo das bacias do estado são essenciais para auxiliar o gerenciamento dos recursos hídricos em áreas de grande abrangência e com características específicas, a exemplo de microrregiões ou mesorregiões definidas em todo o Brasil pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Com relação às mesorregiões do estado, é importante destacar sua importância na gestão dos recursos hídricos, uma vez que esta subdivisão, mesmo não se constituindo como unidade política, respeita os limites dos municípios. Neste sentido, destaca-se que o PERH (SEINFRA, 2022) considera as divisões territoriais definidas pelo IBGE (1990), totalizando 5 mesorregiões, são elas: São Francisco Pernambucano, Sertão Pernambucano, Agreste Pernambucano, Zona da Mata Pernambucana e Metropolitana do Recife.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do estudo é validar estatisticamente o desempenho de diferentes produtos de precipitação na medição de registros pluviométricos pontuais e espaciais para o estado de Pernambuco - Brasil, comparando-os com os dados observados *in situ* (pluviômetros).

2.2 Objetivos específicos

- Quantificar as diferenças nos desempenhos dos produtos de precipitação em cada mesorregião do estado de Pernambuco, Brasil;
- Avaliar quais produtos demonstram o melhor desempenho nas escalas temporais diárias, mensais e anuais;
- Definir qual produto é mais adequado para aplicação na área do estudo.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão discutidos conceitos e teorias pertinentes para a compreensão do presente estudo, a saber: Ciclo Hidrológico, precipitação e suas técnicas de medição, princípios de sensoriamento e sua aplicação na obtenção de dados de chuva.

3.1 PRECIPITAÇÃO: INTRODUÇÃO, CICLO HIDROLÓGICO E TÉCNICAS DE MEDIÇÃO

3.1.1 Introdução à precipitação, hidrologia e ciclo hidrológico

Hidrologia pode ser definida como a ciência que estuda os ciclos de água na Terra, sua ocorrência, circulação, propriedades físicas e químicas e interações com o meio e os seres vivos. Em outras palavras, a hidrologia corresponde ao estudo do ciclo hidrológico, o qual pode ser definido como uma sequência fechada de fenômenos naturais através do qual a água circula entre a atmosfera e o globo terrestre, alternando entre sua fase líquida, sólida e vapor d'água (Shahidian *et al.*, 2017).

Figura 1 – Representação esquemática do Ciclo Hidrológico.



Fonte: DNIT (2022).

Dentre as fases do ciclo hidrológico, a precipitação constitui um vetor fundamental, proporcionando a interligação entre a atmosfera e o restante dos sistemas climáticos. De acordo com a OMM (2023), a precipitação pode ser definida como o produto gerado a partir da condensação do vapor d'água existente na

atmosfera, em formato sólido ou líquido, que cai na superfície terrestre em formato de chuva, garoa, neve ou granizo. A precipitação em seu formato sólido é menos densa que a líquida e mais variável em termos de estrutura, formato e aerodinâmica.

Conforme Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2022), a precipitação pode ser classificada em chuva convectiva, ciclônica ou frontal e orográfica ou de relevo. Uma chuva convectiva é aquela em que as nuvens são formadas através de uma convecção livre devido a ocorrência de um resfriamento adiabático, formando nuvens de grande desenvolvimento vertical. As chuvas convectivas são características de regiões equatoriais devido a seus ventos fracos e movimentos de ar verticais, causando uma precipitação de grande intensidade e pequena duração e área de abrangência.

A chuva ciclônica ou frontal é gerada a partir do encontro de massas de ar com características de temperatura e umidade distintas. Neste contato, a massa de ar mais quente e úmida é empurrada para cima, resultando em sua convecção forçada, que gera uma diminuição de sua temperatura e eventual condensação do vapor d'água. No Brasil, esse tipo de chuva é mais frequente na região Sul e gera uma precipitação de intensidade média e com grande duração e abrangência.

A chuva orográfica ou de relevo, por sua vez, se desenvolve a partir de variações bruscas de altitude na topografia, que ocorre devido a existência de barreiras naturais como serras e montanhas, por exemplo. Esse barramento força ar quente dos ventos a se elevar, provocando, assim como na chuva ciclônica, uma convecção forçada. Este tipo de chuva é marcada por eventos de grande intensidade, em períodos intermitentes e abrangendo pequenas áreas.

A quantidade de chuva que atinge o solo é expressa na escala de profundidade vertical de água que iria cobrir uma determinada projeção vertical da superfície terrestre (OMM, 2023). Desse modo, mede-se o volume precipitado em milímetros (altura de chuva), no qual entende-se que uma precipitação de 1 mm, por exemplo, é o equivalente a 1 litro de água por metro quadrado de superfície terrestre.

Além da altura de chuva total, um parâmetro a ser obtido é a intensidade de precipitação, a qual pode ser definida como a quantidade de precipitação coletada em um certo intervalo de tempo, sendo mais comuns as medições horárias, a cada três horas e diárias, servindo para diversos propósitos em estudos climatológicos e hidrológicos. Dessa forma, entende-se que a intensidade da precipitação é um

parâmetro secundário, a qual pode ser obtida a partir de medição da quantidade de chuva (OMM, 2023).

Realizar o monitoramento e registro pluviométrico é essencial para a gestão dos recursos hídricos e para o desenvolvimento de diversas pesquisas que buscam compreender o comportamento hidrológico de determinada região. Registros de chuva na escala diária, por exemplo, são essenciais para aplicação em modelagens de cheias e previsão do tempo, enquanto na escala mensal têm-se sua importância para o planejamento agrícola sazonal e no estudo do balanço hídrico de reservatórios. Já para a escala anual, por sua vez, registros pluviométricos são bastante aplicados em estudos de mudanças climáticas, por exemplo.

3.1.2 Técnicas de Medição

O instrumento mais comum para medição da precipitação corresponde aos pluviômetros. De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2023), o medidor de chuva mais usual consiste em um coletor posicionado acima de um funil, tendo a função de coletar a água precipitada e conduzir para um recipiente no qual as águas acumuladas ficarão armazenadas até o momento em que será feita a observação.

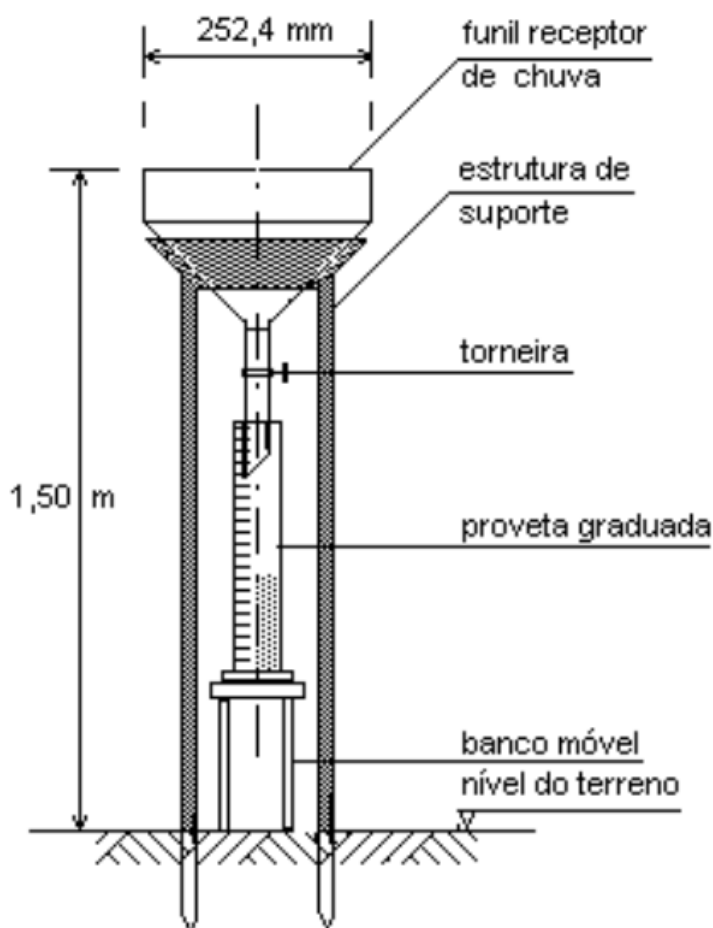
Shahidian *et al.* (2017) citam que foi realizada uma padronização destes equipamentos para facilitar sua comparação entre diferentes regiões, resultando nos udômetros ou pluviômetros padronizados, cuja construção deve ser realizada conforme Figura 2.

Este tipo de instrumento, se manual, requer a manutenção de um operador nas proximidades de seu local de instalação, o qual deverá, diariamente e no mesmo horário, realizar a medição manual do dispositivo, sendo possível, assim, registrar a altura de chuva acumulada em um período de 24 horas. É importante destacar que no Brasil existe uma grande rede de pluviômetros automatizados, os quais eliminam a necessidade de inspeção diária por parte de um operador, contudo, são necessárias manutenções periódicas para evitar danos ou mal funcionamento dos instrumentos.

A medição da precipitação através dos pluviômetros é sensível à exposição aos fatores climáticos e meteorológicos de uma região, podendo apresentar imprecisões decorrentes do vento, das características do terreno em seu entorno ou até mesmo da evaporação da água coletada e armazenada no dispositivo (OMM, 2023). Desta forma, várias estratégias são empregadas durante a instalação do instrumento com

objetivo de mitigar esses efeitos, tais como planejar sua instalação em locais planos, sem existências de objetos ou construções nos arredores, adição de soluções químicas que impedem os líquidos armazenados de evaporar e/ou congelar, posicionar escudos contra o vento em torno da estação, entre outros.

Figura 2 – Representação de pluviômetro.

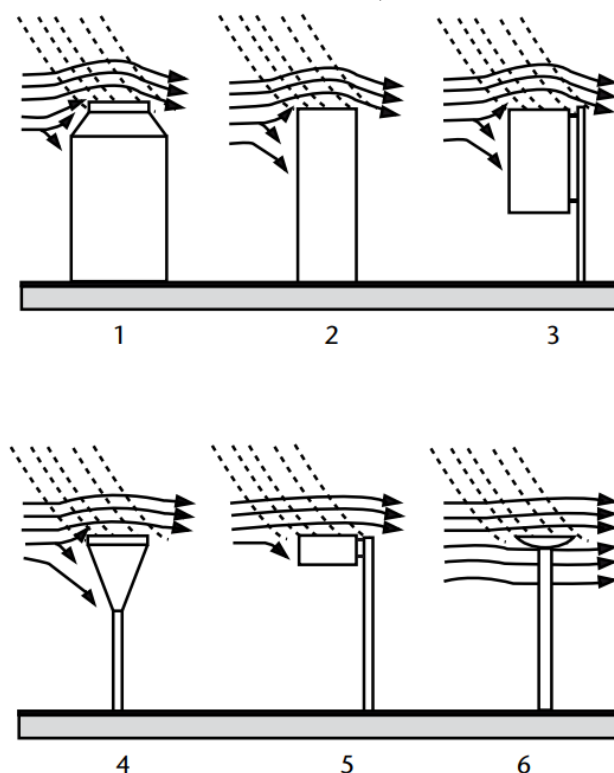


Fonte: Shahidian *et al.* (2017).

Uma forma de combater as turbulências geradas pela ação do vento nas bordas do instrumento, por exemplo, é utilizar coletores com bordas “afiadas”, fortemente chanfrado por fora, de modo que ocorra as menores deformações de vento. A Figura 3 demonstra as deformações provocadas pelo vento para cada formato de coletor de chuva, conforme visualizado nas numerações de 1 a 6.

Além disso, é importante destacar que as medições de chuva fornecidas por um pluviômetro são pontuais e representativas apenas de uma área limitada (Shahidian *et al.*, 2017), cuja extensão é um reflexo da homogeneidade fisiográfica, meteorológica e climatológica de uma determinada região.

Figura 3 – Diferentes formatos de coletores de chuva, evidenciando as deformações dos ventos.



Fonte: OMM (2023).

Para o monitoramento e acompanhamento do registro de chuvas em grandes bacias, é necessária a implantação de uma densa rede pluviométrica na qual, muitas vezes, os instrumentos são instalados em áreas de difícil acesso ou não é possível o registro diário através de um operador, comprometendo a qualidade e/ou quantidade dos dados de chuva medidos.

Por este motivo, estudos recentes vêm buscando cada vez mais alternativas de medição de dados de chuva para aplicação em análises hidrológicas e climatológicas, nos quais produtos de precipitação vêm se destacando.

3.2 PRINCÍPIOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Sensoriamento Remoto foi definido por Novo (2010) como sendo a utilização conjunta de sensores e equipamentos para processamento e transmissão de dados, cujo objetivo reside no estudo dos eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície terrestre a partir do registro e da análise das interações entre radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem.

Já para Meneses e Almeida (2012), Sensoriamento Remoto se constitui de uma ciência que visa a obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção

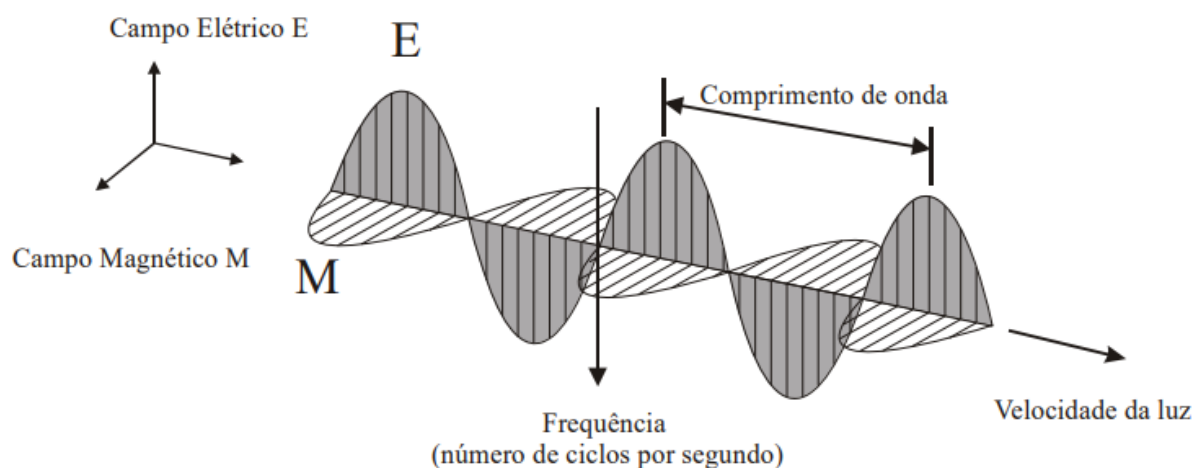
e medição quantitativa das respostas provenientes das interações entre a radiação eletromagnética e os materiais presentes na superfície terrestre.

Neste sentido, têm-se que apenas sensores que utilizam a radiação eletromagnética devem ser classificados como sensores remotos, de modo que, para entender o funcionamento do processo de aquisição e análise de imagens por Sensoriamento Remoto, é essencial a compreensão do conceito de radiação eletromagnética (REM).

A radiação eletromagnética (REM) é o veículo pelo qual uma informação é transferida de um objeto até o sensor, podendo ser definida como uma forma dinâmica de energia que se manifesta a partir de sua interação com a matéria. A propagação da REM se dá na forma de ondas eletromagnéticas, o qual, por sua vez, se configura como a oscilação do campo elétrico e magnético espaçadas repetitivamente no tempo Novo (2010).

De acordo com as teorias e formulações desenvolvidas por James Maxwell, em 1864, as ondas eletromagnéticas são formadas por uma partícula, a qual irá gerar um campo elétrico ao ser carregada eletricamente e um campo magnético ao se movimentar. Quando esta partícula é acelerada, ambos os campos irão se propagar repetitivamente no vácuo, em direção ortogonal, com a mesma amplitude, gerando, assim, uma onda eletromagnética, conforme pode ser observado na Figura 4 (Meneses e Almeida, 2012).

Figura 4 - Representação esquemática da propagação da radiação eletromagnética em formato de onda.



Fonte: Meneses e Almeida (2012).

As ondas eletromagnéticas podem ser subdivididas levando em consideração seus diferentes comprimentos, dos quais apenas uma pequena parcela é visível ao olho humano, classificada como “luz visível” ou “luz branca”. A Tabela 1 demonstra os diferentes comprimentos de onda e sua classificação.

Cada faixa de espectro eletromagnético apresentada na Tabela 1 é capaz de captar diferentes informações da superfície terrestre, de modo que cada um deles é utilizado com objetivos diferentes. No próximo item será abordado com maior detalhamento as subdivisões do espectro do Infravermelho e Microondas, explicitando a forma em que medidas baseadas nestes espectros são capazes de captar e registrar a precipitação.

Tabela 1 - Faixas de espectro eletromagnético exploradas através do Sensoriamento Remoto.

Sigla	Subdivisão do Espectro	Comprimento da onda	Número da onda ν^* $= 1/\lambda$	Frequência $\nu =$ c/λ
UV	Ultravioleta	0,01 - 0,38 μm	26.320 - 1.000.000 cm^{-1}	-
B	Azul	0.436 μm	22.935 cm^{-1}	-
G	Verde	0,546 μm	18.315 cm^{-1}	-
R	Vermelho	0,700 μm	14.285 cm^{-1}	-
VIS	Visível	0,38 - 0,78 μm	12.820 - 26.320 cm^{-1}	-
NIR	Infravermelho próximo	0,78 - 1,30 μm	7.690 - 26.320 cm^{-1}	-
VNIR	Visível e Infravermelho próximo (VIS+NIR)	0,38 - 1,30 μm	3.330-7.690 cm^{-1}	-
SWIR	Infravermelho de ondas curtas	1,3 - 3,0 μm	2.500 - 50.000 cm^{-1}	-
SW	Ondas curtas	0,2 - 4,0 μm	100 - 2.500 cm^{-1}	-
LW	Ondas longas	4,0 - 100 μm	1.665 - 3.330 cm^{-1}	-
MWIR	Infravermelho de ondas médias	3,0 - 6,0 μm	665 - 1.665 cm^{-1}	-
TIR	Infravermelho termal	6,0 - 15,0 μm	665 - 3.330 cm^{-1}	-
IR	Infravermelho (MWIR+TIR)	3,0 - 15,0 μm	10 - 665 cm^{-1}	-
FIR	Infravermelho distante	15,0 μm - 1 mm	10 - 100 cm^{-1}	300 - 20.000 GHz
Sub-mm	Onda submilimétrica (Parte do FIR)	0,1 - 1,0 mm	1 - 10 cm^{-1}	300 - 3.000 GHz
Mm	Onda milimétrica (Parte do MW)	1,0 - 10,0 mm	0,033 - 10 cm^{-1}	30 - 300 GHz
MWIR	Microondas	0,1 - 30 cm		1 - 300 GHz

Fonte: Adaptado de OMM (2021).

3.3 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO NA MEDIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO

3.3.1 Medidas baseadas em Infravermelho

Sensores infravermelhos são capazes de captar as energias refletidas pela superfície da terra, nuvens e atmosfera terrestre. Por este motivo, as radiações captadas por esses sensores são capazes de mensurar o brilho da temperatura da superfície da Terra, da água e do topo das nuvens Hong *et al.* (2018).

De acordo com a OMM (2021), a penetração da radiação por infravermelho é muito baixa, de modo que as ondas eletromagnéticas emitidas pelos sensores não são capazes de atravessar as nuvens, obtendo uma informação apenas de seu topo. Por este motivo, a fim de realizar estimativas de precipitação, por exemplo, sensores infravermelhos atuam estabelecendo uma relação entre a taxa de precipitação na superfície e o brilho proveniente da temperatura no topo das nuvens.

De acordo com Meneses e Almeida (2012), a penetração das radiações eletromagnéticas do espectro visível e infravermelho possuem comprimentos, em geral, inferiores ao tamanho médio das moléculas de vapor de água presentes nas nuvens. Por este motivo, a radiação eletromagnética incidente nas nuvens é barrada e refletida de volta ao espaço, de modo que os sensores apenas serão capazes de registrar informações provenientes do topo das nuvens, formando imagens deste obstáculo e não dos objetos presentes na superfície.

3.3.2 Medidas baseadas em Microondas

Para a faixa de microondas, a radiação transmitida da superfície da terra e do mar para os sensores é zero, de modo que existem apenas duas contribuições, a emissão térmica e a radiação refletida, as quais são controlados diretamente pelos coeficientes de emissividade e refletividade da matéria (OMM, 2021).

Neste cenário, devido a significativa diferença de emissividade entre o oceano e a superfície terrestre, a característica em que os sensores baseados em microondas conseguem captar com mais facilidade é o limite entre o mar e o continente e a presença de corpos hídricos na superfície terrestre, visto que o sensor é capaz de captar uma redução na emissividade, o que indica a presença de água na superfície (OMM, 2021).

Os satélites que se baseiam neste espectro eletromagnético podem ser categorizados a partir de três algoritmos, são eles: Algoritmos de “Emissão”, os quais

detectam o aumento da radiância causado pelas gotas de chuva sobre o oceano, usando os canais de baixa frequência; Algoritmos de “Dispersão”, os quais correlacionam a precipitação com as depressões de radiância causada pela dispersão gerada pelo gelo presente nas nuvens; e algoritmos de “Inversão multicanal”, os quais visam inverter todo o vetor de radiância de forma simultânea (Wilheit *et al.*, 1991; Ferraro e Marks, 1995; Kummerow *et al.*, 2001; Hong *et al.* (2018).

Como citado anteriormente, o comprimento da onda interfere diretamente na capacidade de obtenção de registros dos sensores. Meneses e Almeida (2012) citam que, diferentemente do infravermelho, o comprimento da onda eletromagnética das microondas é superior ao tamanho da partícula de nuvem, de modo que estas partículas não são capazes de barrar fisicamente a passagem da radiância.

Por este motivo, sensores que se baseiam em microondas são ideais para aplicação em áreas com alta incidência de chuvas, uma vez que mesmo que o céu esteja nublado, a imagem obtida por tais sensores é capaz de captar a superfície terrestre.

3.4 PRODUTOS DE PRECIPITAÇÃO

Atualmente existem vários tipos de produtos de precipitação disponíveis para o desenvolvimento de estudos hidrológicos e climatológicos. Contudo, conforme citado anteriormente e reforçado por Tan *et al.* (2023), a performance das bases alternativas para obtenção de dados climáticas varia dependendo da estação do ano, localização e sistema climático no qual cada região de estudo encontra-se submetido.

Em comparação com as medições de campo, os satélites possuem como vantagem a sua capacidade de cobrir a superfície do planeta em escala quase global, independentemente das condições topográficas de cada região (Ceferino-Hernández *et al.*, 2024). Em relação a sua operacionalidade, Hong *et al.* (2018) citam que as medições via satélite apresentam registros contínuos e uniformes, possibilitando ainda a eliminação de custos associados a manutenção e operação que são muitas vezes presentes nas redes de medição das estações pluviométricas instaladas em campo. Ademais, as medições por satélite possuem a capacidade de monitorar diretamente a precipitação global em tempo real, uma vez que alguns produtos possuem a capacidade de obter e registrar os dados de chuva em baixas escalas temporais (Liu, 2023).

Neste capítulo serão descritos os produtos de precipitação utilizados para o desenvolvimento da presente pesquisa. Ressalta-se que estes produtos foram selecionados devido a suas diferentes características de operação e medição da precipitação.

3.4.1 CHIRPS

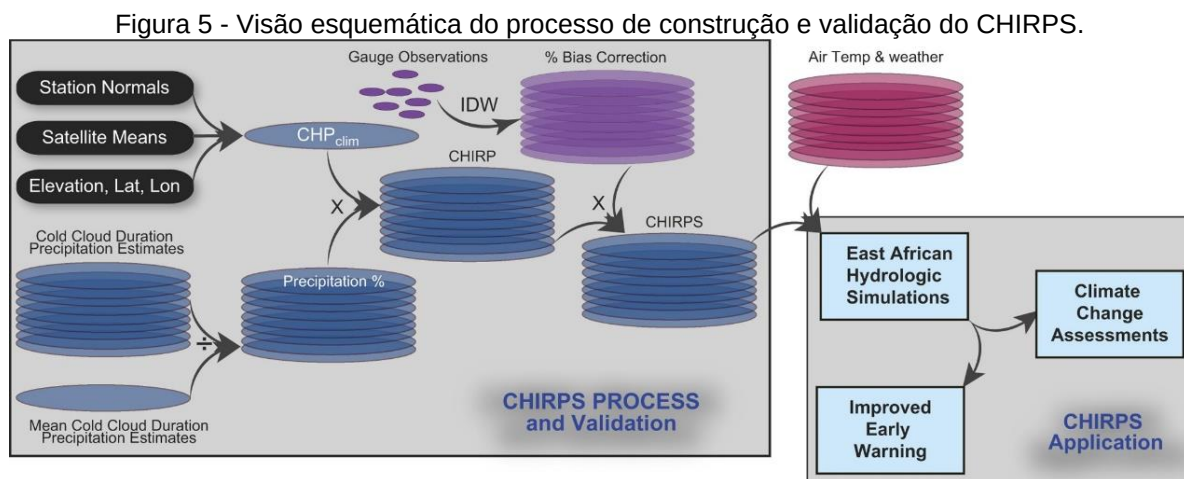
O conjunto de dados de precipitação conhecido como *Climate Hazards Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS) foi desenvolvido pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) e o Grupo de Riscos Climáticos (CHG) para analisar tendências e monitorar secas sazonais (Funk *et al.*, 2015), com o intuito de auxiliar nas atividades de monitoramento de seca da *Famine Early Warning Systems Network* (FEWS NET), fundada pela *United States Agency for International Development* (USAID).

Conforme discutido com Funk *et al.* (2015), este produto registra dados de chuva em escala quase global, com cobertura geográfica abrangendo a região entre as latitudes 50° Norte e 50° Sul. Possui um registro de dados diários, em pântadas e mensais de mais de 35 anos, variando de 1981 até o presente, com resolução espacial de 0,05° (aproximadamente 5 km).

O CHIRPS incorpora os dados climatológicos do *Climate Hazards Center's Precipitation Climatology* (CHPclim), assim como dados provenientes de estações *in situ*, para então criar séries temporais de precipitação em grade para análise de tendências e monitoramento de seca sazonal. De acordo com Funk *et al.* (2015), o processo de construção do CHIRPS agrupa três componentes principais, são eles: Dados climatológicos do CHPclim; o *satellite-only Climate Hazards group Infrared Precipitation* (CHIRP); e a combinação de estações climatológicas *in situ*. A Figura 5 mostra o esquema geral do processo de construção do CHIRPS.

Este produto vem sendo utilizado em diversos estudos de validação de dados de precipitação, tal como o estudo de Lima Júnior *et al.* (2023), que validaram os dados provenientes do CHIRPS para o estado do Ceará, concluindo que, para todas as estações, os dados demonstram uma boa correlação e similaridade com os dados comparados. Dawa *et al.* (2024), por sua vez, avaliaram o desempenho do CHIRPS com relação a 7 estações pluviométricas dispostas ao longo do estado de Yobe, localizado na Nigéria, no período entre 1981 e 2021. Neste estudo, conclui-se que o CHIRPS apresentou uma forte correlação em 5 das 7 estações avaliadas na escala

temporal mensal, com variações médias na faixa de 30 a 40 mm/mês, se configurando como uma variação satisfatória para a escala mensal.



Fonte: Funk et al. (2015).

3.4.2 GPM-IMERG

De acordo com informações disponibilizadas pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), a missão *Global Precipitation Measurement* (GPM) é uma rede internacional de satélites que fornece observações globais de última geração de chuva e neve, desenvolvida com base no bom desempenho do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), missão cujo término se deu em abril de 2015 (NASA, 2025).

O GPM foi derivado de uma iniciativa da NASA e da Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA) e compreende um consórcio de agências espaciais internacionais, incluindo o *Centre National d'Études Spatiales* (CNES), a Organização Indiana de Pesquisa Espacial (ISRO), a Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (NOAA), a Organização Europeia para a Exploração de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT) e outras.

O conceito do GPM se baseia na implantação de um satélite que funciona como observatório núcleo, que carrega um sistema avançado de radar/radiômetro para medir a precipitação do espaço e servir como um padrão de referência para unificar as medições de precipitação de uma constelação de satélites de pesquisa e operacionais.

Dentre os produtos de precipitação derivados do GPM têm-se o *Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM* (IMERG), que se baseia em constelações de mais

de 10 satélites equipados com radiômetros de microondas passivos que obtêm dados em todo o globo (Ramadhan *et al.*, 2022).

De acordo com Huffman *et al.* (2019), o GPM-IMERG_V07 realiza um levantamento de dados de precipitação com resolução temporal de 30 minutos e resolução espacial de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$. Neste produto, utiliza-se o algoritmo de Perfil Goddard (GPROF2021) para computar as estimativas de precipitação provenientes de vários sensores passivos de micro-ondas (PMW) de satélite, sendo então gradeadas e intercalibradas para o produto do Algoritmo Combinado *Ku Radar-Radiometer* do GPM (CORRA) e mescladas em campos, visando atingir a resolução temporal e espacial supracitada.

É importante citar que o sistema IMERG possui 3 formas de disponibilização dos resultados, com objetivos diferentes, o que permite uma ampla gama de aplicações que podem auxiliar gestores nas tomadas de decisão quanto a ocorrência de eventos climatológicos. Dentre essas formas de disponibilização de resultados cita-se: *IMERG_Early* (Inicial), que disponibiliza os dados 4 horas após o registro, usando apenas transformação direta; *IMERG_Late* (Tardio), que disponibiliza os dados 14 horas após o registro, usando transformação direta e reversa; E o *IMERG_Final*, que disponibiliza os dados 4 meses após o registro, usando transformação direta e reversa e incluindo uma combinação de processamento com dados mensais de observação de superfície, a partir de pluviômetros. No presente estudo foi empregado o GPM-IMERG em sua versão “Final”.

Embora o IMERG tenha sido desenvolvido recentemente, tal produto vem sendo amplamente utilizado em diversos estudos. Ramadhan *et al.* (2022) realizaram uma comparação entre as 3 formas de disponibilização dos resultados supracitada (IMERG-E, IMERG-L e IMERG-F) para com 226 estações pluviométricas do continente Marítimo da Indonésia, em escalas temporais anual, mensal, diária e horário. Os resultados encontrados no trabalho, permitiram concluir que para todas as avaliações realizadas, o IMERG-F apresentou melhores resultados na obtenção do valor de precipitação, mas com pequena diferença para com os demais. Além disso, observou-se que a precisão dos três tipos de IMERG foi influenciada pela localização e topografia das estações, de modo que o valor de correção foi reduzido para estações com maiores altitudes. Já no estudo desenvolvido por Andrade *et al.* (2022) foi realizada uma avaliação de diversos produtos de precipitação no Nordeste do Brasil, no qual concluiu que produtos baseados em uma grade de satélites, como é o caso

do CHIRPS e do IMERG, apresentam melhores performances na obtenção de dados de precipitação.

3.4.3 PERSIANN-CDR

O *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks* (PERSIANN) se constitui como um conjunto de dados atualmente operacional e desenvolvido pelo *Center for Hydrometeorology and Remote Sensing* (CHRS), com alta resolução temporal, de mais de 37 anos, e cobertura geográfica abrangendo toda a região entre as latitudes 60° Norte e 60° Sul (Sorooshian *et al.*, 2014).

De acordo com informações disponibilizadas pelo CHRS, este conjunto de dados possui uma família de produtos que realizam os registros de precipitação em escalas temporais e espaciais diversas, possibilitando sua utilização em estudos hidrológicos com diferentes objetivos, são eles: PERSIANN, PERSIANN-CCS, PERSIANN-CDR, PDIR-Now e PERSIANN-CCS-CDR.

No presente estudo será preferenciado o produto PERSIANN-CDR, tendo em vista sua resolução temporal diária, mensal e anual. Ademais, a resolução espacial deste produto configura-se na faixa de 0,25°, com registros de chuva desde 01 de janeiro de 1983 até o presente momento (Ceferino-Hernández *et al.*, 2024).

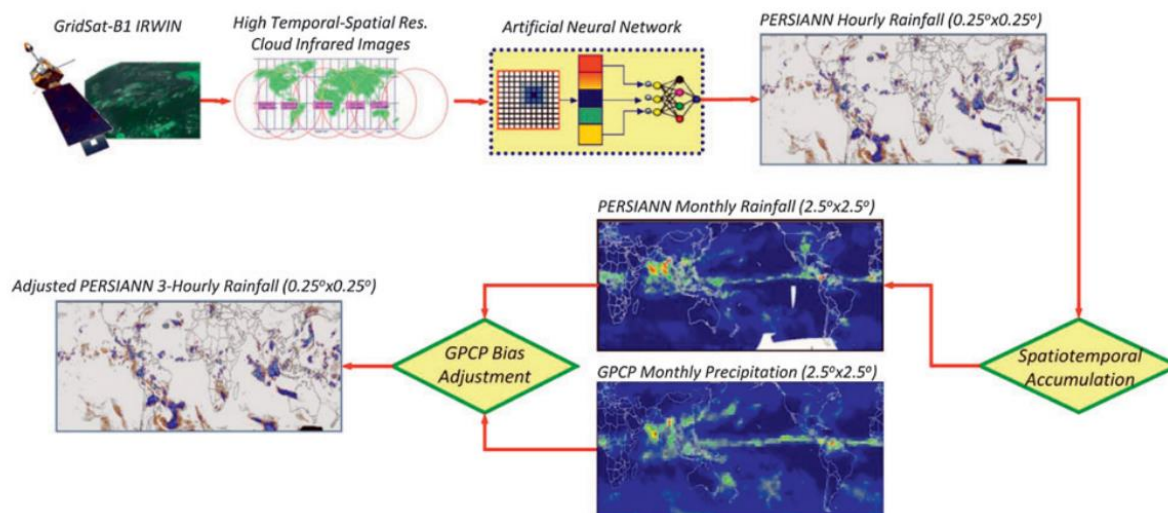
O desenvolvimento deste produto de precipitação por satélite teve como objetivo a obtenção de dados consistentes de precipitação, de longo prazo, alta resolução e com abrangência global, possibilitando o desenvolvimento de estudos de mudanças e tendências da precipitação diária, especialmente nos casos de eventos extremos.

Ashouri *et al.* (2015) citam que o algoritmo PERSIANN é capaz de obter estimativas de chuva quase globais a partir da utilização combinada de infravermelho (IR) e micro-ondas passivas (PMW) provenientes de múltiplos GEO e LEO satélites. No produto CDR (*Climate Data Record*), buscou-se eliminar a necessidade de observações PMW, para isto, ao ser aplicado o algoritmo PERSIANN para estimativa da retrospectiva da precipitação usando os dados a cada 3 horas do GridSat-B1 IRWIN, foram fixados os parâmetros de regressão não linear de uma rede neural artificial (ANN).

Os dados mensais do *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) são então utilizados para remover o viés das estimativas de chuva obtidas, garantindo uma

maior consistência e qualidade dos dados registrados. A Figura 6 apresenta a operação esquemática do sistema PERSIANN-CDR atualmente operante.

Figura 6 - Um esquema do algoritmo PERSIANN-CDR para reconstrução do histórico de precipitação.



Fonte: Ashouri *et al.* (2015).

Diversos estudos recentes avaliaram a efetividade do PERSIANN-CDR em aplicações hidrológicas. Na pesquisa desenvolvida por Eini *et al.* (2022), por sua vez, validaram os dados provenientes da família de base de dados PERSIANN, composto pelos produtos PERSIANN, PERSIANN-CDR, PERSIANN-CCS, PDIR-NOW e PERSIANN-CCS-CDR, para a bacia de hidrológica de Welna, localizada na região central da Polônia. Com este estudo, foi concluído que apesar de todos os produtos avaliados apresentarem resultados satisfatórios, o PERSIANN-CDR demonstrou uma performance superior, demonstrando potencial para aplicação em simulações de escoamento superficial. Contudo, também foi ressaltado pelo estudo que a família de produtos PERSIANN não é confiável para estimativas de precipitação diária e simulações de escoamento. Hsu *et al.* (2022) também encontraram resultados semelhantes em seu estudo, no qual foi citado que o PERSIANN-CDR apresentou uma efetividade qualitativa e quantitativa para estimar as variações da precipitação quando comparado com os demais produtos da família PERSIANN.

3.4.4 ERA5-Land

Conforme Hersbach *et al.* (2018), o ERA5 se configura como a quinta geração de reanálise atmosférica do clima global do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* – ECMWF. A reanálise executada pelo produto combina dados do

modelo com observações globais a partir do princípio de assimilação de dados, permitindo o desenvolvimento de um conjunto de dados globalmente completo e consistente.

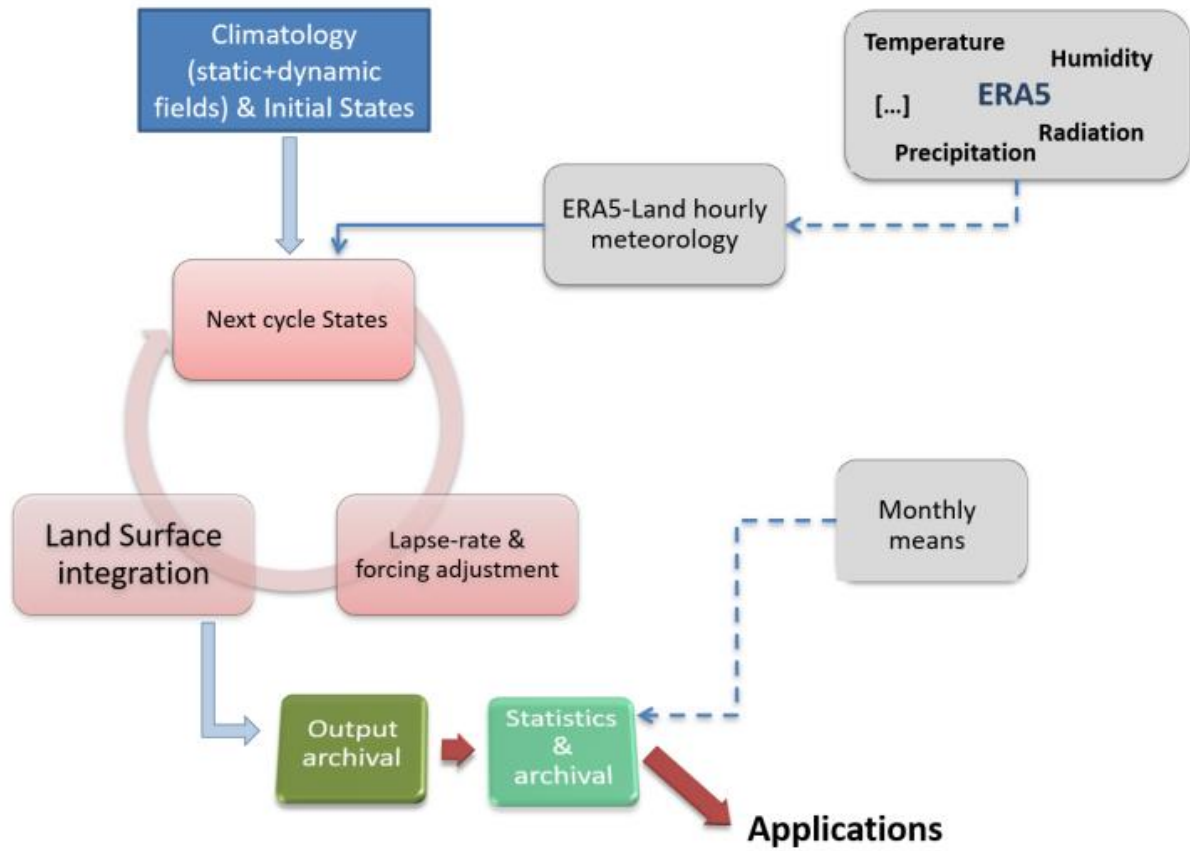
A metodologia para reanálise feita pelo ERA5 se baseia em um método já consolidados por centros numéricos de previsão meteorológica, no qual a cada 12 horas uma previsão do ERA5 é combinada com dados provenientes de observações recentes, permitindo produzir uma previsão de chuva atualizada e melhorada. Tendo em vista que um produto de reanálise não possui necessidade demonstrar informações em tempo real, torna-se possível coletar informações com um período maior, permitindo incorporar no modelo versões melhoradas das observações iniciais.

Em relação ao ERA5-Land, Muñoz-Sabater (2019) cita que este produto foi desenvolvido com o objetivo de obter resolução aprimorada em comparação ao ERA5, com o foco em variáveis terrestres e de superfície. Dessa forma, o ERA5-Land disponibiliza uma visão consistente do ciclo hidrológico e energético a nível da superfície terrestre desde 1950 até os dias atuais, com resolução temporal de 1 hora e resolução espacial de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$. A frequência de atualização dos dados de produto é mensal, contudo, pode demorar de 2 a 3 meses até a disponibilização dos dados provenientes da reanálise.

De acordo com Muñoz-Sabater *et al.* (2021), a produção do ERA5-Land é conduzida a partir de três fluxos paralelos, o que permite uma produção acelerada, garantindo uma disponibilidade pública dos dados em menos tempo e, além disso, as informações atmosféricas necessárias para o ERA5-Land é dependente do ERA5, gerando a necessidade de que o segmento correspondente do ERA5 seja concluído para o mesmo período. Na Figura 7 está apresentado o diagrama esquemático do funcionamento do algoritmo usado na produção do ERA5-Land.

Diversos produtos vêm avaliando o desempenho de estimativas e precipitação por reanálise. Gomis-Cebolla *et al.* (2023), por exemplo, avaliaram a base de dados proveniente do ERA5 e ERA5-Land no país da Espanha, entre os anos de 1951 e 2020 em relação a um produto de precipitação de alta resolução disponibilizado pela Agência Meteorológica Espanhola, onde foi observado que a performance dos produtos variou em decorrência do clima de cada local, da intensidade da precipitação e da orografia, no qual os produtos de reanálise apresentaram tendências de superestimar a precipitação em chuvas leves e subestimar em chuvas intensas.

Figura 7 - Visão esquemática do diagrama de produção do ERA5-Land.



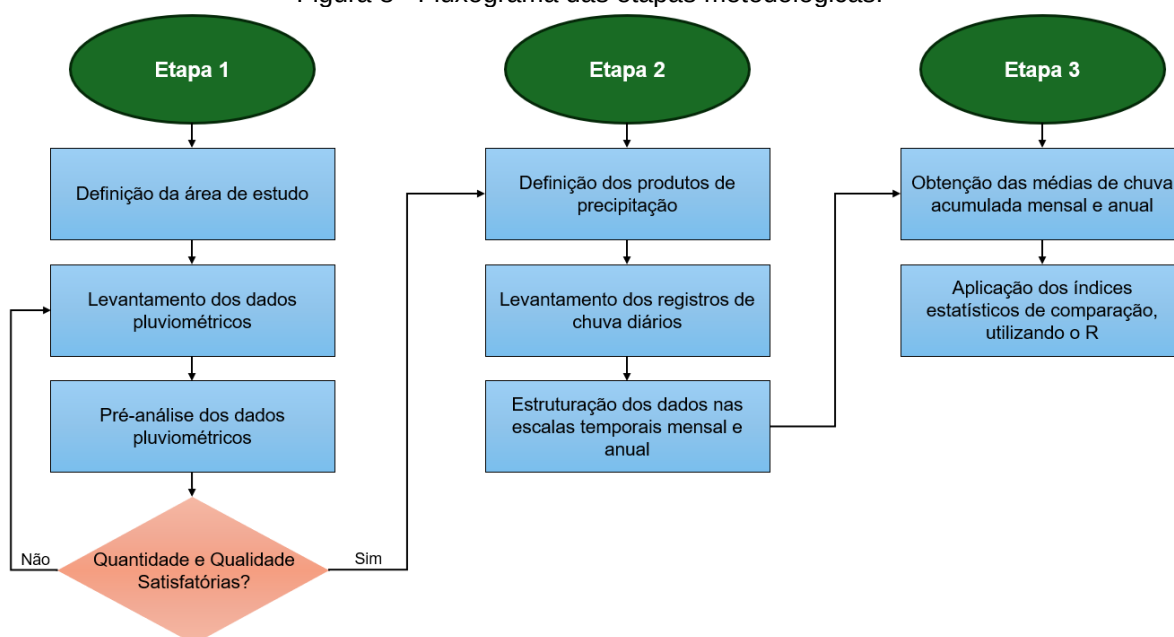
Fonte: Muñoz-Sabater *et al.* (2021).

4. METODOLOGIA

O projeto se desenvolveu em três etapas distintas. Na primeira etapa foi realizado o levantamento da base de dados a ser utilizada no estudo, com obtenção dos registros de chuva pelas estações pluviométricas e seleção das estações que melhor se adequam ao objetivo da análise. Ressalta-se que após o levantamento dos postos pluviométricos existentes na região de estudo, foi métricos existentes na região de estudo, foi realizada uma pré-análise de qualidade e quantidade dos dados registrados, conforme será detalhado no item 4.2. Caso os dados levantados tenham sido considerados como satisfatórios, seguiu-se para a Etapa 2, contudo, caso tenha sido considerado como não satisfatório, foi retomada a etapa de levantamento dos postos.

Em uma segunda etapa, foi realizada a definição dos produtos de precipitação que serão utilizados no presente estudo. Os dados dos pluviômetros de referência e dos sensores remotos foram tratados e organizados, visando sua análise diária, mensal e anual. Por fim, a terceira etapa se configura como a obtenção das médias de chuvas acumuladas mensal e anual, assim como a aplicação dos índices estatísticos índices estatísticos de comparação, visando identificar quais produtos apresentam as melhores correspondências com os registros medidos em campo. O fluxograma ilustrado na Figura 8 demonstra o passo a passo das etapas metodológicas realizadas no presente trabalho.

Figura 8 - Fluxograma das etapas metodológicas.



Fonte: O Autor (2025).

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo englobou o estado de Pernambuco, situado no Nordeste brasileiro e caracterizado por apresentar uma extensão territorial de 98.067,9 km², no qual situam-se 185 municípios e uma população residente na faixa de 9.080.931 pessoas, conforme o último censo realizado em 2022 (IBGE, 2024).

De modo a facilitar o desenvolvimento da análise, foi considerado, para o presente estudo, a subdivisão do estado de Pernambuco em 5 mesorregiões, conforme a divisão territorial originalmente proposta pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1990). As mesorregiões podem ser definidas como a área individualizada de uma Unidade da Federação, que possuem características semelhantes.

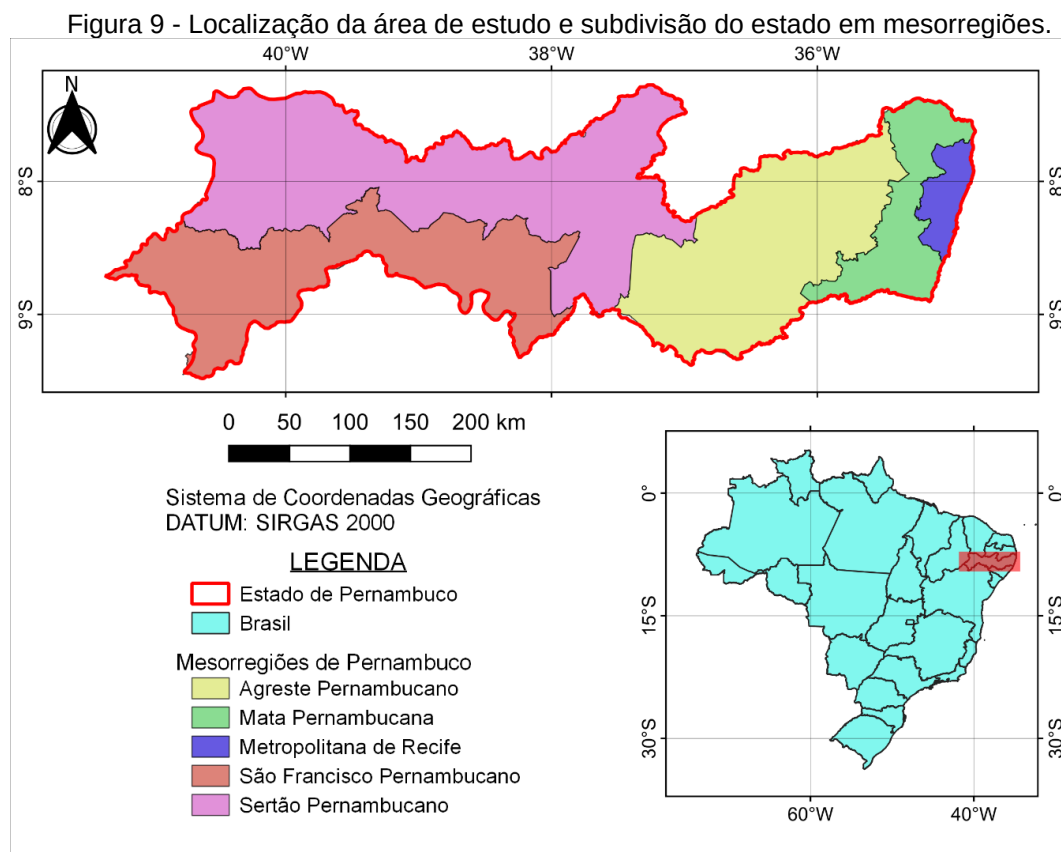
As mesorregiões definidas pelo IBGE (1990) foram: São Francisco Pernambucano, Sertão Pernambucano, Agreste Pernambucano, Zona da Mata Pernambucana e Metropolitana do Recife, no qual cada uma delas apresenta características climáticas e fisiográficas distintas.

A Região Metropolitana do Recife é localizada no extremo leste de Pernambuco, na região litorânea, com predominância de áreas urbana e rios perenes. De acordo com a SEINFRA (2022) esta mesorregião apresenta a maior densidade populacional.

A Zona da Mata se caracteriza como uma das regiões mais férteis do estado, visto que predomina o clima tropical, com presença de rios perenes e não é susceptível a ocorrência de secas. O Agreste Pernambucano, por sua vez, se configura como a região de transição entre a Zona da Mata e o Sertão, marcado por chuvas com médias superiores às do sertão, contudo, a mesorregião é susceptível a ocorrência de secas periódicas visto que está inserida no “Polígono das Secas”.

O Sertão Pernambucano é caracterizado pelo clima semiárido, tornando a mesorregião mais castigada pela ocorrência de secas e predominância de rios intermitentes. Já o São Francisco Pernambucano é marcado pela presença da margem esquerda do rio São Francisco, que circunda a mesorregião, possibilitando o forte desenvolvimento da agricultura irrigada mesmo sob a influência do clima semiárido.

Para melhor visualização, a Figura 9 apresenta a localização do estado de Pernambuco, assim como as subdivisões territoriais do estado conforme definido pelo IBGE (1990).



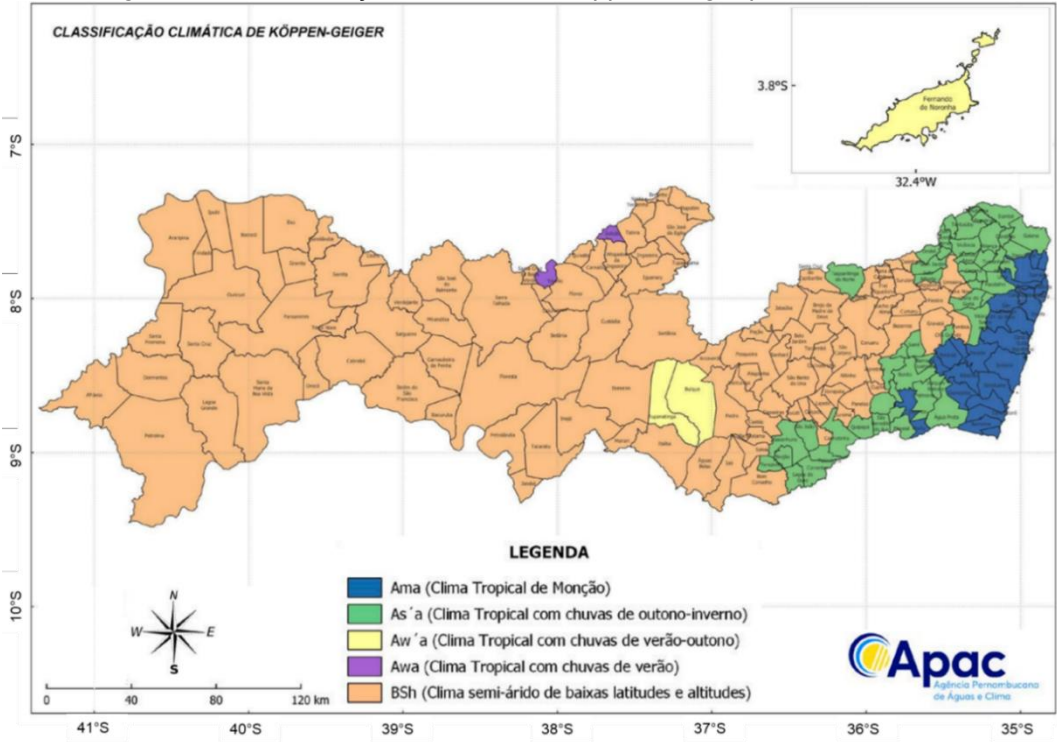
Fonte: O Autor (2025).

Conforme apresentado no Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco - PERH/PE (SEINFRA, 2022), este estado é marcado por uma irregularidade espacial e temporal do regime de chuvas. Isto ocorre devido a variação climática entre a região litorânea, onde observa-se um clima tropical, e o interior do estado, no qual há uma predominância do Clima Semiárido (APAC, 2023), como pode ser observado na Figura 10.

Por este motivo, as regiões litorâneas do estado são marcadas por alturas de chuva acumuladas anuais na ordem de 1.000 a 2.200 mm, enquanto no Agreste este valor baixa para 850 mm e, no Sertão, o valor se mantém entre 400 e 700 mm (APAC, 2022). A Figura 11 demonstra a precipitação acumulada anual de acordo com o Atlas Climatológico de Pernambuco (APAC, 2023), no qual foi utilizado como base dados de 25 estações meteorológicas e 212 estações pluviométricas instaladas no estado de Pernambuco, sendo elas convencionais e automáticas, operadas pelo Instituto

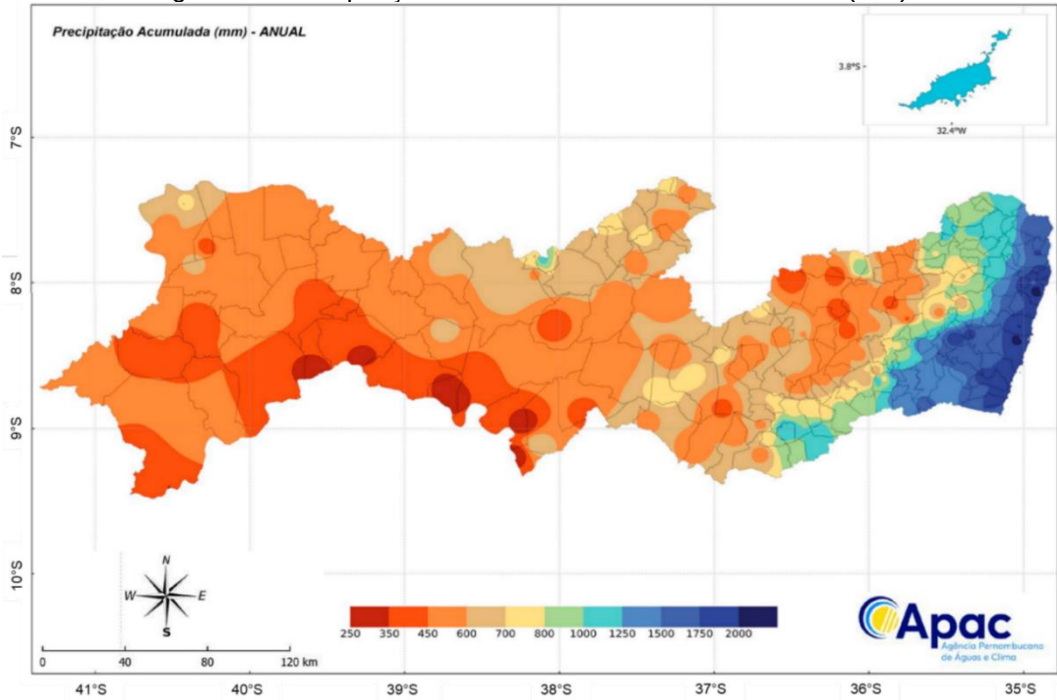
Nacional de Meteorologia (INMET), Instituto Agrônômico do Pernambuco (IPA) e Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC.

Figura 10 – Classificação Climática de Koppen-Geiger para Pernambuco.



Fonte: APAC (2023).

Figura 11 - Precipitação acumulada anual de Pernambuco (mm).

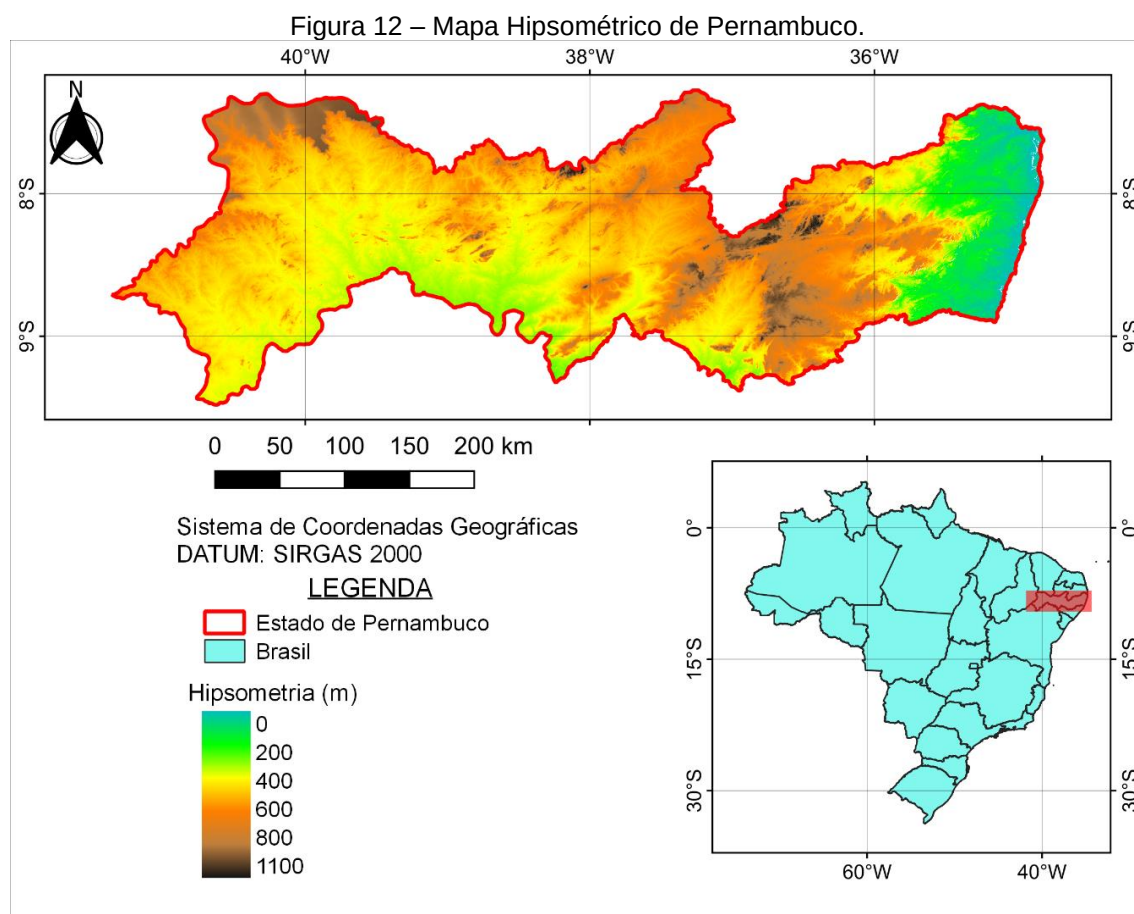


Fonte: APAC (2023).

Ainda de acordo com a APAC (2023), as menores altitudes do estado estão inseridas nas mesorregiões da Região Metropolitana de Recife e Zona da Mata, enquanto maiores altitudes estão inseridas entre o Sertão e o Agreste, com elevações acima de 500 metros, podendo chegar a até 1.200 metros no Planalto da Borborema. Ainda, ressalta-se as regiões do Sul do Sertão Pernambucano e Nordeste do Agreste Pernambucano, constituídas por altitudes intermediárias.

Neste sentido, apresenta-se a Figura 12 com o mapa hipsométrico do estado de Pernambuco, gerado a partir da coleção de imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

Ressalta-se que a escolha de Pernambuco como área de estudo se baseou nas variações climatológicas e pluviométricas supracitadas, buscando avaliar o desempenho dos produtos selecionados nas regiões com características climáticas divergentes, visando definir qual o produto de precipitação mais adequado para cada região.



Fonte: O Autor (2025).

4.2 LEVANTAMENTO DOS PLUVIÔMETROS DE REFERÊNCIA

Para levantamento dos dados pluviométricos foram preferenciadas as estações disponíveis no Portal HidroWeb (ANA, 2024), ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), assim como as estações operadas pela APAC. A localização das estações da APAC foi determinada conforme as coordenadas informadas pelo Atlas de Climatologia de Pernambuco (APAC, 2023).

Após obtida a base de dados com informações de todas as estações pluviométricas implantadas no estado de Pernambuco, foram definidos filtros com o objetivo de selecionar as estações que atendessem ao objetivo do estudo e permitissem que este seja utilizado como referência para pesquisas futuras. Desse modo, foram selecionadas estações atualmente operantes, com registro de dados superiores a 20 anos (2001 a 2023) e com percentual de falhas diárias de, no máximo, 2,5%. É importante destacar que os dias em que foram identificados falhas foram removidos da presente análise, assim como o registro dos produtos de precipitação da respectiva data.

Neste sentido, com relação às estações presentes no sistema HidroWeb, foi identificada a existência de 754 pluviômetros inseridos na base de dados da ANA para o estado de Pernambuco, sejam eles atualmente operantes ou não. Após a aplicação dos filtros, tal número foi reduzido para 249 estações, contudo, foi necessária uma análise crítica individual em cada uma delas, de modo que das 249 estações, apenas 33 se mostraram viáveis para aplicação no presente estudo. É importante destacar que a análise crítica empregada contou com a avaliação da qualidade e quantidade dos registros de cada estação, ou seja, foi realizada uma avaliação manual para identificar se o pluviômetro encontrava-se dentro dos filtros utilizados para a presente análise, conforme destacado no parágrafo anterior.

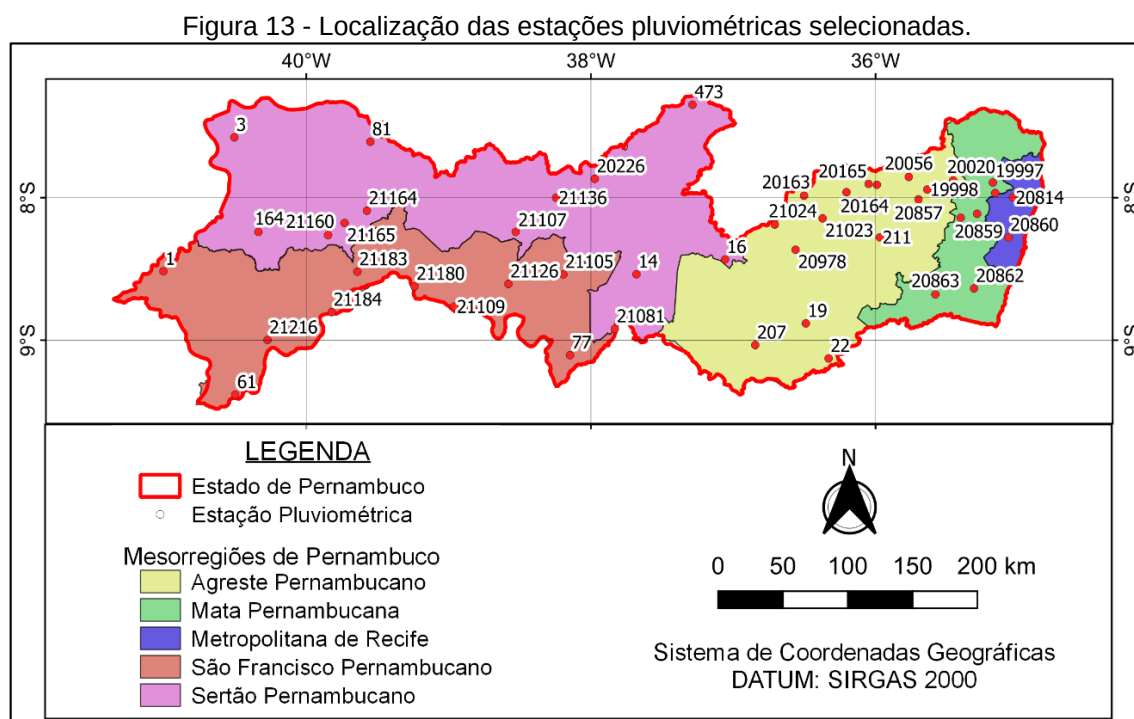
Em seguida, foram avaliadas espacialmente as localizações das estações selecionadas, sendo possível identificar áreas nas quais nenhuma estação da ANA se mostrou satisfatória. De modo a preencher a lacuna de informação netas áreas, foram analisadas, de forma complementar, 57 estações pluviométricas do sistema de monitoramento APAC, das quais 13 foram selecionadas para aplicação neste estudo, utilizando como base os mesmos critérios empregados para as estações obtidas pelo sistema HidroWeb.

Neste sentido, o presente estudo selecionou um total de 46 estações pluviométricas (Figura 13), conforme demonstrado na Tabela 2, das quais 33 são de

responsabilidade da ANA e 13 da APAC. Em relação à subdivisão das mesorregiões, têm-se que:

- Região Metropolitana do Recife: 2 estações (Ambas da ANA);
- Zona da Mata Pernambucana: 6 estações (Todas da ANA);
- Agreste Pernambucano: 15 estações (11 da ANA e 4 da APAC);
- Sertão pernambucano: 13 estações (7 da ANA e 6 da APAC);
- São Francisco Pernambucano: 10 estações (7 da ANA e 3 da APAC).

Na Figura 13 é possível identificar a localização de cada estação pluviométrica selecionada com relação ao estado de Pernambuco com seus respectivos códigos, onde observa-se em algumas áreas a carência de estações pluviométricas, mas que representa a realidade georreferenciada.



Fonte: O Autor (2025).

Após o levantamento da base de dados, foi realizado seu tratamento a partir da exclusão das falhas diárias (Uliana *et al.*, 2024) e posterior organização nas escalas temporais mensal e anual, através do somatório dos dados diários, obtendo, assim, a precipitação acumulada.

Tabela 2 - Estações Pluviométricas de referência.

Mesorregião	Estação	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Metropolitana de Recife	São Lourenço da Mata II	835048	-8,00	-35,03	70
	Pirapama	835138	-8,28	-35,06	30
Mata Pernambucana	Paudalho	735066	-7,89	-35,17	69
	Engenho Sítio	735050	-7,97	-35,16	91
	Vitória de Santo Antão	835068	-8,11	-35,28	137
	Pombos	835137	-8,14	-35,40	290
	Engenho Mato Grosso	835140	-8,64	-35,31	100
	Palmares	835141	-8,68	-35,58	110
Agreste Pernambucano	Sanharó	20978	-8,37	-36,56	653
	Poção	21024	-8,19	-36,71	1.035
	Brejo da Madre de Deus	21023	-8,15	-36,37	646
	Jataúba	20163	-7,99	-36,50	600
	Santa Cruz do Capibaribe	20164	-7,96	-36,20	472
	Taquaritinga do Norte	20165	-7,90	-36,05	785
	Vertentes	20057	-7,91	-35,99	401
	Cumaru	20857	-8,01	-35,70	395
	Surubim	20056	-7,85	-35,76	418
	Salgadinho	19998	-7,94	-35,63	270
	Limoeiro	20020	-7,88	-35,45	136
	Caruaru*	211	-8,28	-35,97	537
	Garanhuns*	19	-8,88	-36,49	867
	Iati*	207	-9,04	-36,84	538
	Correntes*	22	-9,13	-36,33	399
Sertão Pernambucano	Serra Talhada	21136	-8,00	-38,24	435
	Flores	20226	-7,87	-37,97	460
	Inajá	21081	-8,92	-37,83	355
	Açude Serrinha	21107	-8,24	-38,53	375
	Jacaré	21160	-8,26	-39,85	390
	Parnamirim	21164	-8,09	-39,57	379
	Poço do Fumo	21165	-8,18	-39,73	350
	Santa Cruz Da Venerada*	164	-8,24	-40,34	514
	Araripina*	3	-7,58	-40,51	639
	Brejinho*	473	-7,35	-37,29	740
	Arcoverde*	16	-8,43	-37,06	684
	Moreilândia*	81	-7,61	-39,55	530
	Ibimirim*	14	-8,54	-37,68	395
São Francisco Pernambucano	Airi (Rochedo)	21105	-8,54	-38,19	361
	Belém De São Francisco	21109	-8,77	-38,96	305
	Floresta	21126	-8,61	-38,58	317
	Ibó	21180	-8,62	-39,24	300
	Fazenda Tapera	21183	-8,52	-39,64	352
	Santa Maria da Boa Vista	21184	-8,80	-39,82	358
	Lagoa Grande	21216	-9,00	-40,27	365
	Afrânio*	1	-8,52	-41,01	523
	Petrolina 2 (INMET)*	61	-9,38	-40,50	382
	Tacaratu*	77	-9,11	-38,15	518

*Estações Pluviométricas sob responsabilidade da APAC.

Fonte: Adaptado de ANA (2024) e APAC (2023).

Ademais, após obtidas as médias anuais acumuladas em cada estação, foi necessário realizar a espacialização da precipitação para o estado de Pernambuco, buscando sua comparação para com a espacialização gerada pelos produtos de precipitação. Para executar esta etapa foi aplicado o método de interpolação *Inverse Distance Weighted* (IDW) com auxílio do *software* QGIS, versão 3.16.7. Este método permite gerar uma espacialização dos valores de precipitação em uma região específica a partir de uma triangulação gerada com base na localização dos registros pontuais. Nóbrega e Neves (2024) citam que este método vem sendo bastante utilizado na espacialização de dados de chuva para o estado de Pernambuco, apresentando resultados satisfatórios.

4.3 DEFINIÇÃO DOS PRODUTOS DE PRECIPITAÇÃO UTILIZADOS

O critério de escolha para definição do produto de precipitação que seria utilizado no presente estudo se assemelhou ao empregado para os pluviômetros de referência, no qual foram preferenciados acervos que apresentassem uma série histórica mínima de 20 anos (2001 a 2023), uma resolução temporal que permitisse o registro de precipitação diário e que estivessem atualmente em operação. Dessa forma, foram selecionados quatro produtos de estimativa de precipitação, são eles: CHIRPS, PERSIANN-CDR, GPM-IMERG e ERA5-Land.

Além disso, também foi levado em consideração que cada produto apresenta características singulares que os diferenciam entre si, conforme demonstrado na Tabela 3, a qual disponibiliza uma síntese das características dos produtos de precipitação utilizados pelo presente estudo. É importante destacar que os registros de precipitação foram baixados a partir da base de dados disponibilizada através do *Google Earth Engine* (GEE), utilizando como base a coleção de imagens citada na tabela abaixo.

Tabela 3 - Síntese dos produtos de precipitação utilizados no presente estudo.

Produto de precipitação	Coleção de Imagem	Resolução Espacial	Resolução temporal	Período de dados
CHIRPS	UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY	5 km	Diária, Pêntadas e Mensal	1981 - Presente
PERSIANN-CDR	NOAA/PERSIANN-CDR	25 km	Diária, Mensal e Anual	1983 - Presente
GPM-IMERG	NASA/GPM_L3/IMERG_V07	10 km	30 minutos	2000 - Presente
ERA5-Land	ECMWF/ERA5_LAND/DAILY_AGGR	10 km	Horária, Diária e Mensal	1950 - Presente

Fonte: O Autor (2025).

4.4 ANÁLISES COMPARATIVAS

Como forma de avaliar o desempenho e a qualidade dos produtos de precipitação em relação aos dados observados *in situ*, através das estações pluviométricas de referência, foram aplicados os seguintes índices estatísticos: Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ), Percentual de Tendências (PBIAS), Coeficiente de Correlação de Pearson (r) e Coeficiente de Concordância de Willmott (d).

A utilização conjunta dos índices estatísticos mencionados auxilia na comparação entre os registros obtidos através dos produtos de precipitação e das estações pluviométricas terrestres. A Tabela 4 apresenta uma síntese dos índices empregados, contando das equações para obtenção de seu resultado, sua faixa de valor ideal e suas referências.

Tabela 4 - Síntese dos índices estatísticos empregados.

Índices	Equação	Faixa de valor	Valor alvo	Referência
Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ)	$REMQ = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n} \right)^{0,5}$	0 a $+\infty$	0	Medeiros-Feitosa e Oliveira (2020)
Percentual de Tendências (PBIAS)	$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n (O_i)} \times 100$	$-\infty$ a $+\infty$	0	Gupta <i>et al.</i> (1999)
Coeficiente de Correlação de Pearson (r)	$r = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}}$	-1 a 1	1	Pearson (1896)
Coeficiente de Concordância de Willmott (d)	$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{O} + O_i - \bar{O})^2} \right]$	0 a 1	1	Willmott <i>et al.</i> (1985)

Nota: S_i = Precipitação estimada / $\bar{S}$ = Valor médio da precipitação estimada / O_i = Precipitação medida *in situ* / $\bar{O}$ = Valor médio da precipitação medida *in situ* / n = Número de elementos da amostra.

Fonte: O Autor (2025).

O primeiro índice aplicado foi a REMQ, a qual fornece uma estimativa da precisão da medição da chuva pelos sensores remotos, uma vez que seu resultado reflete a diferença média entre os valores previstos por Sensoriamento Remoto e os valores obtidos pelas estações pluviométricas. Dessa forma, seus valores ideais são aqueles que se aproximam de 0, podendo variar de 0 a infinito.

Em relação ao índice do PBIAS, desenvolvida por Gupta *et al.* (1999), reflete uma tendência de variação dos valores obtidos pelos sensores em relação aos observados em campo, no qual valores próximos a 0 são vistos como ideais, ou seja,

baixa magnitude de erro, enquanto valores positivos indicam que a intensidade de chuva foi superestimada e valores negativos, subestimada.

Com relação a este parâmetro, os valores de PBIAS apresentados no capítulo de “RESULTADOS E DISCUSSÃO” foram calculados a partir da média aritmética e média absoluta dos valores obtidos em cada estação pluviométrica. Foi optado por calcular a partir destas duas maneiras pois uma parcela das estações apresentaram tendência em superestimar os valores de chuva (valor positivo) e outra parcela demonstrou tendência em subestimar (valor negativo), resultando em uma propensão da média aritmética do PBIAS em se aproximar de “0”, o que pode mascarar os erros encontrados. Neste sentido, o valor disposto da média aritmética visa demonstrar se, em cada região de estudo, as estações apresentam tendências de superestimar ou subestimar, enquanto a média absoluta demonstra com melhor precisão o quanto estas estações tendem a se aproximar do valor alvo (0).

Já o r , desenvolvida por Pearson (1896), é capaz de avaliar a correlação linear entre os valores de precipitação medidos e estimados. Quanto mais próximo a 1, mais forte é a correlação obtida entre os parâmetros. Por fim, também foi aplicado o índice desenvolvido por Willmott *et al.* (1985), conhecido como Coeficiente de Concordância de Willmott (d). Este coeficiente é capaz de medir a proximidade entre os dados previstos e observados, variando de 0 a 1, onde 1 indica perfeita concordância.

É importante destacar que os índices estatísticos supracitados foram desenvolvidas com auxílio do *software RStudio*, conforme códigos disponibilizados no Apêndice B. O R e o Rstudio se destacam como softwares de análise de dados amplamente utilizados.

De acordo com o manual de introdução ao R (Venables *et al.*, 2024), o R é um conjunto integrado de recursos para manipulação de dados, exibição gráfica e exibição de cálculos. Dentre os benefícios agregados por estes *softwares* pode-se citar seu uso gratuito e de acesso ilimitado a uma grande comunidade de pacotes criados por pesquisadores, garantindo sua replicabilidade e assegurando a qualidade de suas análises, a garantia de um manejo e armazenamento eficaz dos dados e uma coleção grande, coerente e integrada de ferramentas para análise de dados. Já o *RStudio*, por sua vez, se configura como um ambiente de desenvolvimento integrado para a aplicação da linguagem R, facilitando sua utilização por meio de uma interface gráfica mais simples e recursos práticos e organizacionais complementares.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente capítulo serão apresentados os resultados encontrados a partir da validação dos dados de precipitação com relação às estações pluviométricas terrestres de referências para as três escalas temporais avaliadas, contando da validação diária, mensal e anual, assim como a espacialização da precipitação média acumulada anual.

5.1 VALIDAÇÃO DIÁRIA

A Tabela 5 demonstra a média de cada parâmetro estatístico empregado na presente análise. Os valores dispostos representam a média obtida a partir dos resultados individuais de todas as 46 estações pluviométricas selecionadas.

Tabela 5 – Validação diária dos produtos de precipitação para o estado de Pernambuco, referente ao período entre janeiro de 2001 e dezembro de 2023.

Parâmetro	CHIRPS	GPM-IMERG	PERSIANN-CDR	ERA5-Land
REMQ (mm/ano)	8,74	11,74	8,21	7,20
PBIAS M. Aritmética (%)	1,84	75,69	-1,08	-19,35
PBIAS M. Absoluta (%)	12,06	78,67	20,85	23,84
r	0,35	0,43	0,35	0,33
d	0,53	0,55	0,53	0,47

Fonte: O Autor (2025).

A partir dos resultados disponibilizados na Tabela 5 é possível observar que a partir do parâmetro REMQ, o ERA5-Land apresentou os melhores resultados dentre os produtos de precipitação avaliados. Demais, os valores de coeficiente de Pearson (r) inferiores a 0,5, indicam que, de forma geral, todos os produtos de precipitação avaliados possuem uma baixa correlação com os dados diários registrados através dos pluviômetros.

Com relação aos resultados de “r”, cita-se o estudo desenvolvido por Ramadhan *et al.* (2022), o qual avaliou a performance dos produtos provenientes do IMERG para o continente marítimo da Indonésia, comparando os dados de precipitação com 226 estações automáticas e semiautomáticas espalhadas na região. Na validação diária, o IMERG-F demonstrou valores médio de r na faixa de 0,44, indicando baixa correlação (0,3 – 0,5). Os resultados demonstrados pelos Autores corroboram com os apresentados na Tabela 5, no qual observa-se um valor médio de r de 0,43 para a escala temporal diária.

Em relação ao parâmetro PBIAS, o CHIRPS se destacou como produto de satélite com o melhor resultado, demonstrando uma tendência de variação de 12,06%. O pior resultado encontrado para este parâmetro foi identificado para o GPM-IMERG, o qual demonstrou uma tendência de variação média de 78,67%.

Ressalta-se ainda que o PERSIANN-CDR se destacou como produto de satélite com o segundo melhor resultado em todos os parâmetros avaliados, indicando uma boa consistência em todas as métricas, com REMQ na faixa de 8,21 mm/dia, com tendência de variação de 20,85%.

Na Tabela 6 é possível observar a variação da eficiência dos produtos de precipitação em cada mesorregião do estado de Pernambuco. A partir dos resultados, é possível identificar que a precisão dos produtos de precipitação é afetada devido as condições fisiográficas e climáticas de cada mesorregião. Para os dados diários, o São Francisco Pernambucano (SFP) se destacou como a mesorregião na qual os produtos de precipitação demonstraram uma maior eficiência na obtenção dos dados de precipitação.

Dentre estes, o CHIRPS demonstrou melhor precisão na obtenção de dados no São Francisco Pernambucano (SFP), contando com o menor REMQ médio observado para o estado de Pernambuco, na faixa de 6,08 mm/dia, e menor PBIAS absoluto (6,40%). Os resultados encontrados para o CHIRPS corroboram com os valores obtidos por Costa *et al.* (2024), que desenvolveram uma validação do CHIRPS para o estado da Paraíba nas escalas temporais diária, mensal e anual. Nesta pesquisa foi obtido um valor de REMQ na faixa de 7,07 a 15,16 mm/dia, variando de forma decrescente do litoral até o interior do estado, mesmo comportamento identificado para o estado de Pernambuco, como demonstrado na Tabela 6.

O PERSIANN-CDR também se destacou com seus melhores resultados nas mesorregiões do Agreste Pernambucano (AP), Sertão Pernambucano (SP) e São Francisco Pernambucano (SFP), evidenciado pelo REMQ inferior a 10 mm/dia e menores valores de PBIAS absoluto (abaixo de 25%). Nas mesorregiões da Mata Pernambucana (MP) e Região Metropolitana do Recife (RMR) o PERSIANN-CDR apresentou um leve aumento do RMQ e do PBIAS, chegando a 14,44 mm/dia, se caracterizando como o segundo melhor produto de satélite nesta mesorregião para este parâmetro, atrás apenas do ERA5-Land, que apresentou um REMQ de 11,99 mm/dia para a RMR.

Tabela 6 - Resultados da validação dos registros de precipitação diária entre os dados observados em campo nas estações pluviométricas e estimados por sensores remotos em cada mesorregião, referente ao período entre janeiro de 2001 e dezembro de 2023.

CHIRPS					
Mesorregião	REMQ (mm/dia)	PBIAS M. Aritmética (%)	PBIAS M. Absoluta (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife (RMR)	17,85	-16,30	16,30	0,34	0,53
Mata Pernambucana (MP)	13,19	-1,12	10,72	0,35	0,53
Agreste Pernambucano (AP)	8,77	5,05	17,68	0,26	0,46
Sertão Pernambucano (SP)	7,30	7,88	9,89	0,36	0,55
São Francisco Pernambucano (SFP)	6,08	-5,44	6,40	0,46	0,63
GPM-IMERG					
Mesorregião	REMQ (mm/dia)	PBIAS M. Aritmética (%)	PBIAS M. Absoluta (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife (RMR)	20,50	9,50	9,50	0,41	0,55
Mata Pernambucana (MP)	16,02	28,28	37,05	0,42	0,52
Agreste Pernambucano (AP)	11,30	37,30	42,93	0,33	0,47
Sertão Pernambucano (SP)	10,88	118,87	118,87	0,46	0,57
São Francisco Pernambucano (SFP)	9,19	118,83	118,83	0,55	0,65
PERSIANN-CDR					
Mesorregião	REMQ (mm/dia)	PBIAS M. Aritmética (%)	PBIAS M. Absoluta (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife (RMR)	14,44	-50,80	50,80	0,33	0,54
Mata Pernambucana (MP)	11,33	-28,28	31,12	0,34	0,54
Agreste Pernambucano (AP)	8,45	-2,33	23,02	0,28	0,48
Sertão Pernambucano (SP)	7,12	13,81	13,81	0,37	0,54
São Francisco Pernambucano (SFP)	6,12	7,68	14,60	0,43	0,59
ERA5-Land					
Mesorregião	REMQ (mm/dia)	PBIAS M. Aritmética (%)	PBIAS M. Absoluta (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife (RMR)	11,99	-38,45	38,45	0,36	0,44
Mata Pernambucana (MP)	8,64	-20,17	29,43	0,34	0,45
Agreste Pernambucano (AP)	6,70	-28,54	29,18	0,28	0,40
Sertão Pernambucano (SP)	7,10	-12,55	22,61	0,33	0,49
São Francisco Pernambucano (SFP)	6,27	-10,11	11,15	0,40	0,55

Fonte: O Autor (2025).

Para a RMR, o GPM-IMERG apresentou os melhores valores quanto aos parâmetros PBIAS absoluto (9,5%), r (0,41) e d (0,55), enquanto o ERA5-Land se destacou quanto ao REMQ (11,99). Nas mesorregiões da MP, AP e SP o ERA5-Land

demonstrou uma maior eficiência na medição dos registros de chuva diário, apesar dos valores de r e d abaixo de 0,5, indicando uma baixa correlação entre os registros obtidos por sensores remotos e os medidos em campo e um PBIAS superior a 20%, o que demonstra que todos os produtos de precipitação não demonstraram uma boa precisão na obtenção de registros diários.

Um possível motivo para o destaque do CHIRPS e do ERA5-Land na medição de dados diários pode se refletir no fato de que estes produtos de precipitação aplicam uma reanálise de seus registros a partir de observações de campo, permitindo produzir uma previsão de chuva atualizada e melhorada.

No estudo de Tan *et al.* (2023), avaliou-se a precisão do ERA5-Land a partir dos registros de 19 estações pluviométricas da Bacia do Rio Kelantan, localizada na Malásia. A partir dos resultados encontrados, observou-se que os valores de Coeficiente de Correlação (r) variaram de 0,28 a 0,52 para a escala temporal diária, com uma média de 0,39, o que demonstra uma similaridade para com os resultados diários do ERA5-Land encontrados no presente trabalho. Os mesmos Autores ainda esclareceram que os valores de REMQ demonstraram uma variação na área de estudo na faixa de 11,7 a 20,6 mm/dia, no qual os piores valores se concentraram nas regiões montanhosas, cuja altitude se aproxima da cota 2.174 m, enquanto os melhores valores se situaram próximos ao litoral, com cotas próximas ao nível do mar.

A partir dos resultados demonstrados na Tabela 6, identifica-se que os valores de REMQ obtidos no presente estudo foram superiores quando comparado com os valores encontrados por Tan *et al.* (2023) para todas as mesorregiões. Estima-se que este melhor desempenho verificado seja um reflexo das menores altitudes identificadas para o estado de Pernambuco

Já em relação ao GPM-IMERG, é válido destacar que foi identificada uma significativa variação de eficiência, de modo que este produto de precipitação por satélite demonstrou seus melhores resultados para a RMR e, conforme as análises se afastavam do litoral e se aproximavam do interior do estado, observou-se uma piora progressiva.

Esta tendência pode ser identificada através do valor do PBIAS, caracterizado como 9,50% para a RMR e 118,87% e 118,83% para as mesorregiões do SP e SFP, indicando que para regiões do estado de Pernambuco com menor índice pluviométrico o GPM-IMERG não é capaz de registrar dados com eficiência, podendo obter registros com uma superestimação de chuva superior a 115% de seu valor real.

Ainda referente aos resultados encontrados a partir do índice estatístico PBIAS, apresenta-se na Tabela 7 o percentual de estações que superestimaram e subestimaram os registros de chuva para cada produto de precipitação, com relação ao estado de Pernambuco.

Tabela 7 - Resultados de tendências (PBIAS) para cada produto de precipitação.

Tendência	Quantitativo de estações (Percentual)			
	CHIRPS	GPM-IMERG	PERSIANN-CDR	ERA5-Land
Superestimar	22 (47,83%)	41 (89,13%)	31 (67,39%)	9 (19,57%)
Subestimar	24 (52,17%)	5 (10,87%)	15 (32,61%)	37 (80,43%)

Fonte: O Autor (2025).

Das 46 estações pluviométricas avaliadas, o CHIRPS demonstrou uma tendência em superestimar os resultados em 47,83% (22) das estações, se configurando como o produto com maior equilíbrio, uma vez que o GPM-IMERG demonstrou tendência em superestimar os dados em 89,13% (41) dos casos. Já o PERSIANN-CDR e o ERA5-Land, por sua vez, superestimaram os dados em, respectivamente, 67,39% (31) e 19,57% (9) das estações.

Estas tendências de subestimar e superestimar os registros pluviométricos foram identificados em outros trabalhos, tais como os de Gomis-Cebolla *et al.* (2023) e López-Bermeo *et al.* (2022), os quais analisaram a eficiência, respectivamente, dos produtos ERA5-Land e CHIRPS. Gomis-Cebolla *et al.* (2023) realizaram uma análise da eficiência do ERA5 e ERA5-Land levando em consideração uma série temporal de 70 anos em todo o território da Espanha, através do qual foi concluído, para a escala diária, que ambos os produtos demonstraram uma tendência de superestimar chuvas leves e moderadas e subestimar as chuvas com grandes intensidades. Já López-Bermeo *et al.* (2022), por sua vez, avaliaram a precisão do CHIRPS na análise de variabilidade climática em Antioquia, na Colômbia, a qual se constitui como uma região montanhosa e tropical. Esses Autores alegaram que o CHIRPS demonstrou tendência em superestimar a precipitação mensal em 70% das 75 estações pluviométricas selecionadas como referência em seu estudo.

Já a partir da Tabela 8, é possível identificar o percentual de estações que superestimaram e subestimaram os registros de chuva para cada mesorregião do estado de Pernambuco.

Tabela 8 - Resultados de tendências (PBIAS) para cada produto de precipitação por satélite, considerando as mesorregiões avaliadas.

Mesorregião	Quantitativo de estações (Percentual)			
	CHIRPS		GPM-IMERG	
	Superestimar	Subestimar	Superestimar	Subestimar
Região Metropolitana do Recife (RMR)	0 (0%)	2 (100%)	2 (100%)	0 (0%)
Mata Pernambucana (MP)	4 (67%)	2 (33%)	4 (67%)	2 (33%)
Agreste Pernambucano (AP)	8 (53%)	7 (47%)	12 (80%)	3 (20%)
Sertão Pernambucano (SP)	11 (85%)	2 (15%)	13 (100%)	0 (0%)
São Francisco Pernambucano (SFP)	2 (20%)	8 (80%)	10 (100%)	0 (0%)
Mesorregião	PERSIANN-CDR		ERA5-Land	
	Superestimar	Subestimar	Superestimar	Subestimar
Região Metropolitana do Recife (RMR)	0 (0%)	2 (100%)	0 (0%)	2 (100%)
Mata Pernambucana (MP)	1 (17%)	5 (83%)	2 (33%)	4 (67%)
Agreste Pernambucano (AP)	8 (53%)	7 (47%)	1 (7%)	14 (93%)
Sertão Pernambucano (SP)	13 (100%)	0 (0%)	5 (38%)	8 (62%)
São Francisco Pernambucano (SFP)	9 (90%)	1 (10%)	1 (10%)	9 (90%)

Fonte: O Autor (2025).

Como pode ser observado na Tabela 8, o GPM-IMERG e o ERA5-Land se caracterizaram como os produtos de precipitação com tendências mais significativas, de modo que enquanto o GPM-IMERG demonstrou maior percentual de estações superestimando as chuvas em todas as mesorregiões, o ERA5-Land apresentou resultado contrário, com seu maior percentual de estações subestimando os registros de chuva em todas as mesorregiões.

Para o CHIRPS, foi identificado, tanto para o SFP como para a RMR, uma tendência em subestimar os registros de precipitação, enquanto as mesorregiões da MP, AP e SP, a maior parte das estações identificou uma superestimativa dos resultados, contando com 67% (4 de 6) das estações para o MP, 53% (8 de 15) para o AP e 85% para o SP (11 de 13).

Com relação aos resultados do PERSIANN-CDR, observa-se que nas mesorregiões cuja taxa de precipitação é elevada, sendo elas representadas pela RMR e SFP, o produto demonstrou uma tendência em subestimar os registros de chuva, evidenciado por 100% (2 de 2) das estações na RMR e 83% (5 de 6) na MP. Já nas mesorregiões com baixa pluviometria, representadas pelo SP e SFP, foi encontrada uma tendência de superestimar os dados de chuva em 100% das estações do SP (13 de 13) e 90% das estações do SFP (9 de 10). Já no AP, o

PERSIANN-CDR se comportou de forma mais equilibrada, superestimando os valores em 8 (53%) estações e subestimando em 7 (47%).

5.2 VALIDAÇÃO MENSAL

A Tabela 9 demonstra a média dos parâmetros estáticos empregados a partir da avaliação dos valores mensais de precipitação.

Tabela 9 – Validação mensal dos produtos de precipitação para o estado de Pernambuco, referente ao período entre janeiro de 2001 e dezembro de 2023.

Parâmetro	CHIRPS	GPM-IMERG	PERSIANN-CDR	ERA5-Land
REMQ (mm/dia)	40,92	93,86	54,45	52,30
PBIAS M. Aritmética (%)	1,84	75,69	-1,08	-19,35
PBIAS M. Absoluta (%)	12,06	78,67	20,85	23,84
r	0,83	0,79	0,75	0,76
d	0,89	0,76	0,84	0,80

Fonte: O Autor (2025).

Os resultados dispostos na Tabela 9, indicam que, para todas as métricas empregadas, o CHIRPS demonstrou a melhor eficiência na obtenção de dados mensais de precipitação para o estado de Pernambuco, obtendo uma correlação e concordância (r e $d > 0,7$), PBIAS (12,06%) e REMQ (40,92 mm/dia).

Estes resultados corroboram com Andrade *et al.* (2022), que desenvolveram uma validação de diversos produtos de precipitação na região Nordeste do Brasil, dentre os quais citam-se o CHIRPS, ERA5-Land e IMERG. Em relação ao CHIRPS, os valores de PBIAS variaram de -20 a +20%, além de ser encontrado um valor médio de r e REMQ de, respectivamente, 0,93 e 29,63 mm/mês, indicando que este produto apresenta um bom desempenho na medição de dados de precipitação para o Nordeste brasileiro.

Dawa *et al.* (2024) avaliaram o desempenho do CHIRPS para estado de Yobe, localizado na Nigéria, no período entre 1981 e 2021, no qual foi concluído que o CHIRPS apresentou uma forte correlação em 5 das 7 estações avaliadas na escala temporal mensal, com variações médias na faixa de 30 a 40 mm/mês, semelhante ao resultado disposto na Tabela 9.

O PERSIANN-CDR e o ERA5-Land também demonstraram resultados satisfatórios, dos quais destaca-se a boa correlação e concordância com os dados observados através das estações pluviométricas, evidenciados pelo r e d superior a

0,7 e uma diferença média entre os valores previstos (REMQ) e observados de 54,45 mm/mês e 52,30 mm/mês, respectivamente.

Os resultados obtidos condizem com os resultados de Hsu *et al.* (2022), que validaram a medição e registros de chuva provenientes dos produtos de precipitação da família PERSIANN para a Ilha de Luzon, localizada nas Filipinas. Através deste estudo, foi identificado um r de 0,95, indicando uma boa correlação entre os dados registrados e os de referência. Já em relação ao REMQ, os Autores citam um valor de aproximadamente 51,9 mm/mês, semelhante aos 54,45 mm/mês apresentado na Tabela 9, para o estado de Pernambuco.

Na pesquisa desenvolvida por Tan *et al.* (2023), por sua vez, foi concluído que, assim como identificado no presente trabalho, a validação mensal se destacou com os melhores resultados temporais, quando comparado com a validação diária e anual. Para o ERA5-Land, por exemplo, o valor médio de r obtido pelos Autores se deu na faixa de 0,68, levemente inferior à obtida pelo presente estudo para o estado de Pernambuco (Tabela 9 - 0,76). A partir dos resultados demonstrados pelos Autores, estima-se que a melhor eficiência identificada no presente trabalho esteja relacionada a possível perda de desempenho do produto em altitudes mais elevadas, uma vez que a área de estudo dos autores apresenta altitudes variando de -2 m a 2.174 m, enquanto, no estado de Pernambuco, as altitudes variam de 0 a aproximadamente 1.100 m.

Já o GPM-IMERG, por sua vez, foi caracterizado pelos resultados mais distantes quando comparado com os dados observados em campo. Para este produto de satélite foi identificado uma diferença média de 93,86 mm/mês e uma tendência de variação (PBIAS) na média de 78,67%, dos quais, como citado anteriormente, demonstrou uma superestimação dos resultados em 89,13% dos casos.

Na pesquisa desenvolvida por Andrade *et al.* (2022), o IMERG demonstrou um melhor desempenho quando comparado com os resultados da presente pesquisa, de modo que foi identificado um valor médio de PBIAS, r e REMQ na faixa de 13,35%, 0,94 e 31,69 mm/mês, respectivamente. Além disso, ressalta-se que, assim como citado anteriormente, a espacialização do parâmetro PBIAS desenvolvida pelos Autores permitiu concluir que o IMERG demonstrou uma tendência em superestimar os dados na maior parte da extensão territorial do Nordeste, enquanto o ERA5-Land se comportou de maneira contrária, com tendência majoritária em subestimar as medições de chuva.

Além disso, os resultados dispostos por Liu (2023) na validação do CHIRPS, IMERG-F e PERSIANN-CDR para o Planalto Tibetano também apontaram o IMERG-F com o melhor coeficiente de Pearson (r), com um valor de 0,84, seguido pelo PERSIANN-CDR com 0,83 e CHIRPS com 0,80. Entretanto, o presente trabalho apresentou resultados divergentes, de modo que se identificou, para o Estado de Pernambuco, o melhor r para o CHIRPS (Tabela 9 - 0,83), seguido pelo GPM-IMERG (Tabela 9 - 0,79), ERA5-Land (Tabela 9 - 0,76) e PERSIANN-CDR (Tabela 9 - 0,75).

É importante destacar ainda que a precisão dos dados estimados pelo GPM-IMERG e avaliados na presente pesquisa demonstraram variação dependendo das características fisiográficas e climatológicas de cada estação, como será discutido posteriormente através dos resultados demonstrados na Tabela 10, a qual dispõe da validação mensal subdividida para cada mesorregião.

A partir da Tabela 10 identifica-se que, para todas as mesorregiões, o CHIRPS demonstrou os melhores resultados gerais, se configurando como produto de precipitação mais satisfatório para o registro de dados mensais no estado de Pernambuco.

Dentre as mesorregiões avaliadas, o CHIRPS alcançou uma maior eficiência no SFP, no qual demonstrou um PBIAS de apenas 6,41% e uma diferença média mensal de entre seus dados registrados e os observados na faixa de 31,19 mm/mês, se destacando como os melhores resultados para a escala temporal mensal.

Após uma análise dos resultados encontrados por Andrade *et al.* (2022), para a escala temporal mensal, em relação ao CHIRPS, ERA5-Land e IMERG, identificou-se que, a partir da métrica do REMQ, o CHIRPS demonstrou resultados levemente superior, enquanto o IMERG se destacou com um r de 0,94. Contudo, não houve uma variação significativa dos resultados de desempenho entre os produtos analisados.

Assim como discutido durante a validação diária, foi identificada uma tendência em todos os produtos de precipitação avaliados, com exceção do GPM-IMERG, em apresentar uma melhora progressiva dos resultados quando comparado os valores da RMR e os resultados das mesorregiões do interior de Pernambuco, tais como o SP e SFP, o que pode ser observado através da redução progressiva do REMQ e PBIAS e aumento do r e d .

Tabela 10 - Resultados da validação dos registros de precipitação mensal entre os dados observados em campo nas estações pluviométricas e estimados por sensores remotos em cada mesorregião, referente ao período entre janeiro de 2001 e dezembro de 2023.

CHIRPS					
Mesorregião	REMQ (mm/mês)	PBIAS M. Aritmética (%)	PBIAS M. Absoluta (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife (RMR)	72,71	-16,30	16,30	0,87	0,90
Mata Pernambucana (MP)	52,42	-1,12	10,72	0,85	0,91
Agreste Pernambucano (AP)	42,35	5,05	17,68	0,80	0,86
Sertão Pernambucano (SP)	36,57	7,88	9,89	0,83	0,90
São Francisco Pernambucano (SFP)	31,19	-5,43	6,41	0,86	0,91
GPM-IMERG					
Mesorregião	REMQ (mm/mês)	PBIAS M. Aritmética (%)	PBIAS M. Absoluta (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife (RMR)	121,86	9,50	9,50	0,79	0,85
Mata Pernambucana (MP)	107,50	28,28	37,05	0,78	0,80
Agreste Pernambucano (AP)	82,32	37,30	42,93	0,71	0,75
Sertão Pernambucano (SP)	103,73	118,87	118,87	0,84	0,74
São Francisco Pernambucano (SFP)	84,58	118,83	118,84	0,86	0,77
PERSIANN-CDR					
Mesorregião	REMQ (mm/mês)	PBIAS M. Aritmética (%)	PBIAS M. Absoluta (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife (RMR)	121,41	-50,80	50,80	0,71	0,75
Mata Pernambucana (MP)	83,56	-28,28	31,12	0,73	0,81
Agreste Pernambucano (AP)	58,08	-2,33	23,02	0,69	0,80
Sertão Pernambucano (SP)	40,04	13,81	13,81	0,81	0,89
São Francisco Pernambucano (SFP)	36,86	7,68	14,61	0,80	0,88
ERA5-Land					
Mesorregião	REMQ (mm/mês)	PBIAS M. Aritmética (%)	PBIAS M. Absoluta (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife (RMR)	109,73	-38,45	38,45	0,78	0,71
Mata Pernambucana (MP)	78,35	-20,17	29,45	0,76	0,72
Agreste Pernambucano (AP)	52,66	-28,54	29,18	0,71	0,74
Sertão Pernambucano (SP)	42,87	-12,55	22,61	0,79	0,86
São Francisco Pernambucano (SFP)	36,90	-10,11	11,15	0,80	0,87

Fonte: O Autor (2025).

No GPM-IMERG, contudo, tal variação foi inversa, de modo que este produto demonstrou seus melhores resultados para a RMR, no qual destaca-se como única mesorregião onde o PBIAS alcançou uma faixa de 9,5%. O motivo pelo qual o GPM-

IMERG se demonstra os melhores resultados para a RMR reside no fato de que este produto de satélite utiliza o comprimento de ondas no formato de microondas, o qual se configura como ideal para regiões com altos índices pluviométricos, uma vez que o comprimento desta onda eletromagnética é superior ao tamanho da partícula de nuvem, sendo capaz de atravessá-la, enquanto o CHIRPS e PERSIANN-CDR, por utilizarem o infravermelho, possuem sua onda eletromagnética barrada pelas nuvens (Meneses e Almeida, 2012).

Entretanto, é importante ressaltar que apesar do melhor resultado do GPM-IMERG ter sido identificado para a RMR, o CHIRPS demonstrou, ao avaliar de forma geral todos os índices estatísticos empregados, melhores resultados nesta mesorregião, o que pode ser evidenciado pelo menor REMQ (CHIRPS = 72,71 mm/mês; GPM-IMERG = 121,86 mm/mês), e maiores r (CHIRPS = 0,87; GPM-IMERG = 0,79) e d (CHIRPS = 0,90; GPM-IMERG = 0,85).

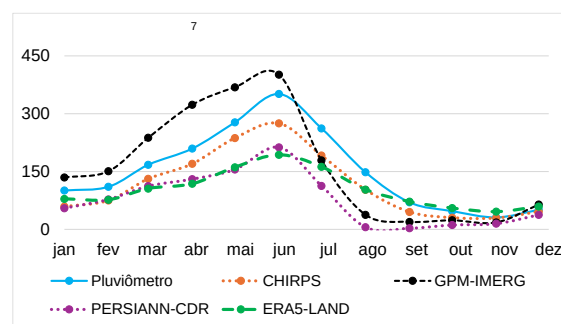
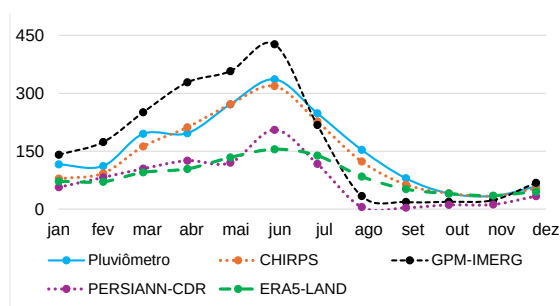
Em comparação com os resultados diários, cita-se que a validação mensal demonstrou os melhores valores de concordância e correlação para todos os produtos de precipitação, indicando que estes apresentam uma maior eficiência geral na medição e registro de dados mensais.

A Figura 14 demonstra as médias mensais de precipitação em cada estação pluviométrica selecionada, referente aos anos de 2001 a 2023, comparando-a com as médias mensais dos produtos de precipitação, na qual é possível identificar as tendências dos produtos de precipitação em subestimar ou superestimar os registros de chuva mensais.

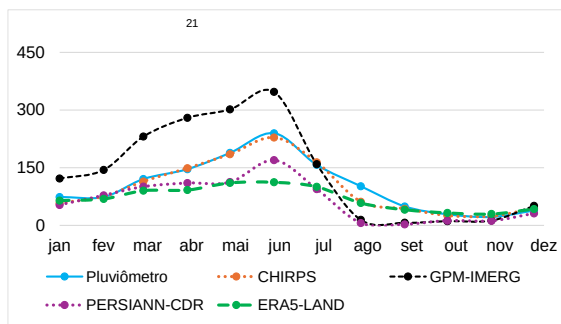
Figura 14 - Média mensal de precipitação em cada estação pluviométrica em relação aos produtos de precipitação por sensores remotos avaliados.

(1) 835048 - São Lourenço da Mata II

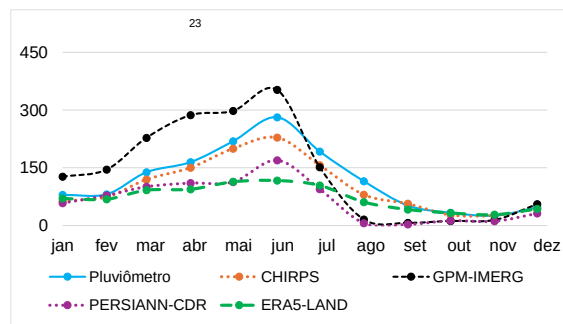
(2) 835138 - Pirapama



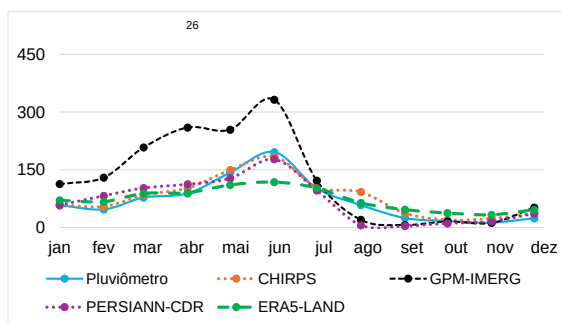
(3) 735066 - Paudalho



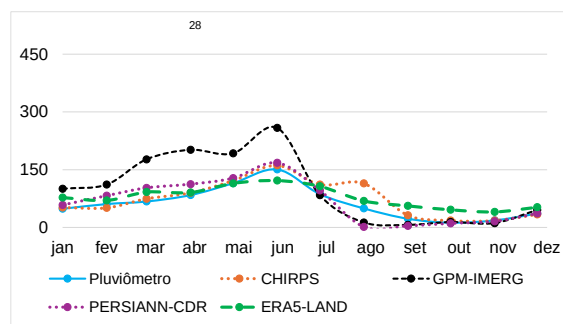
(4) 735050 - Engenho Sítio



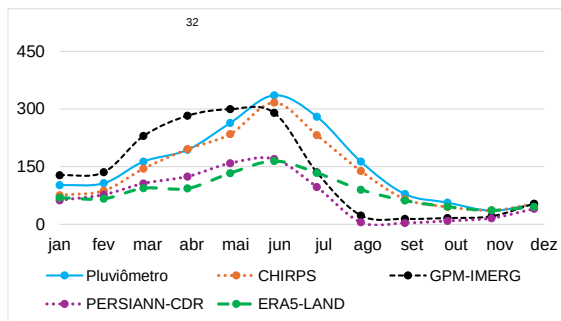
(5) 835068 - Vitória de Santo Antão



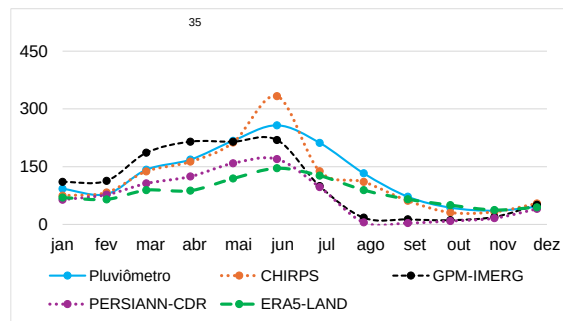
(6) 835137 – Pombos



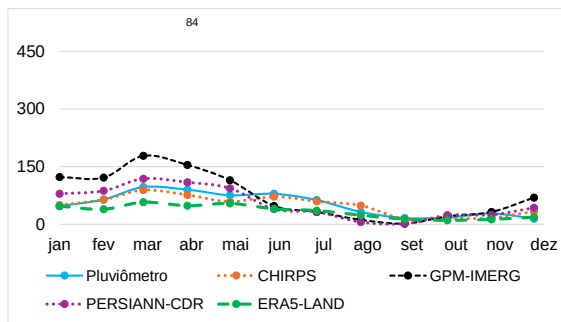
(7) 835140 - Engenho Mato Grosso



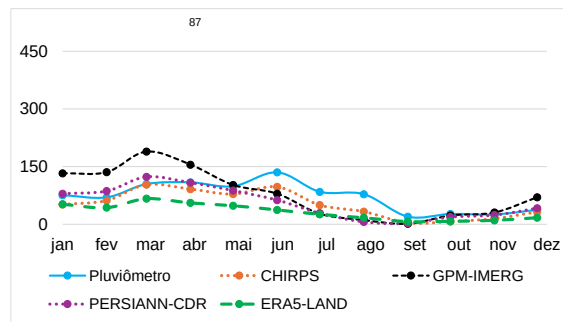
(8) 835141 – Palmares



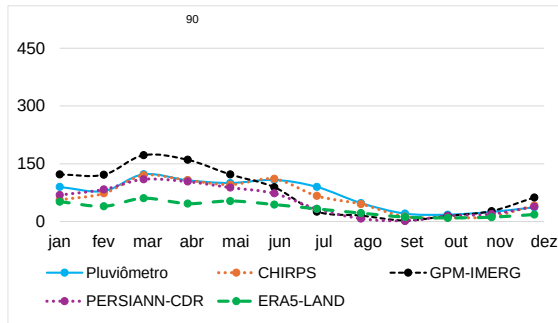
(9) 20978 - Sanharó



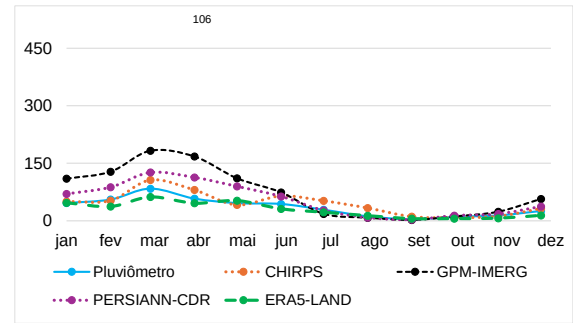
(10) 21024 - Poção



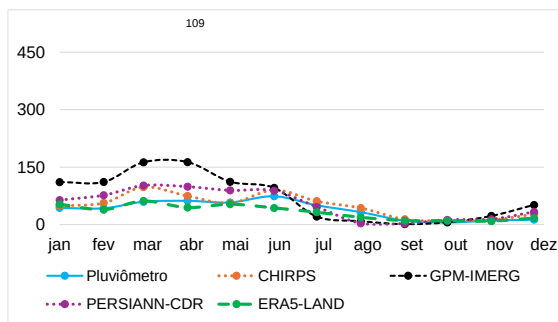
(11) 21023 - Brejo Da Madre De Deus



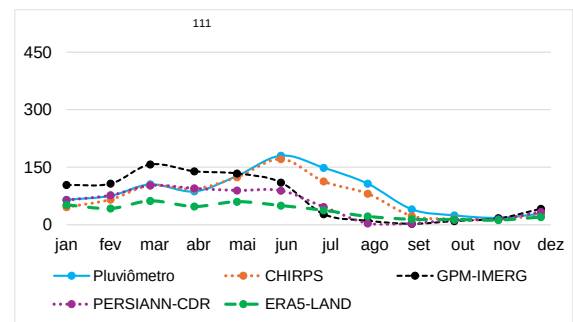
(12) 20163 - Jataúba



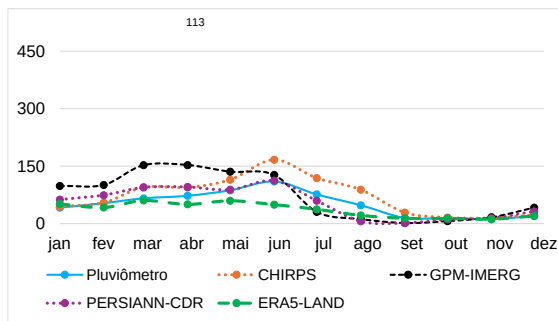
(13) 20164 - Santa Cruz Do Capibaribe



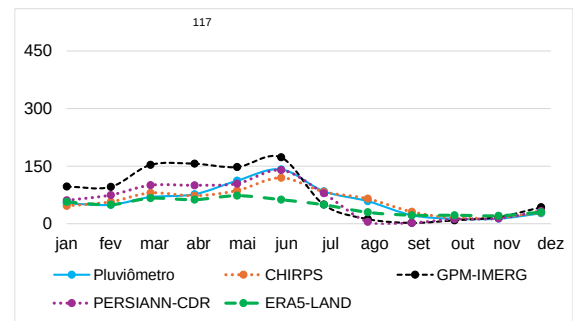
(14) 20165 - Taquaritinga Do Norte



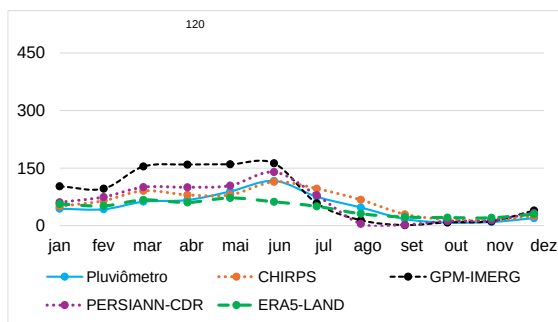
(15) 20057 - Vertentes



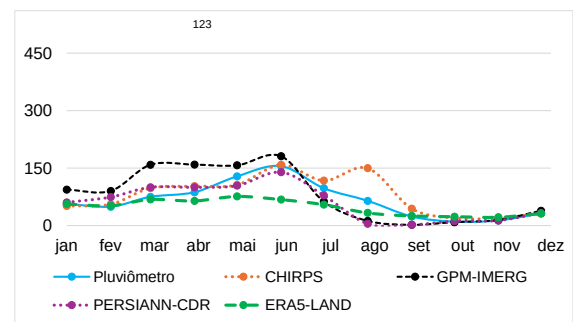
(16) 20857 - Cumaru



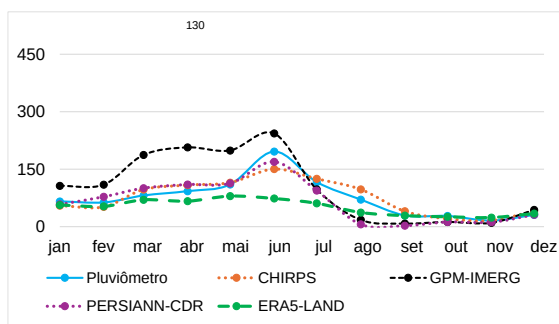
(17) 20056 - Surubim



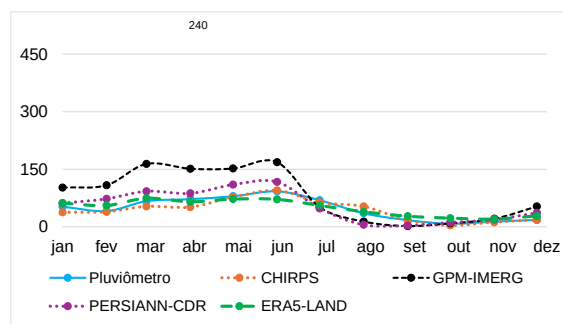
(18) 19998 - Salgadinho



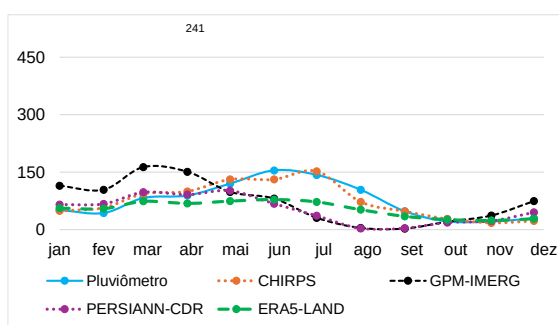
(19) 20020 - Limoeiro



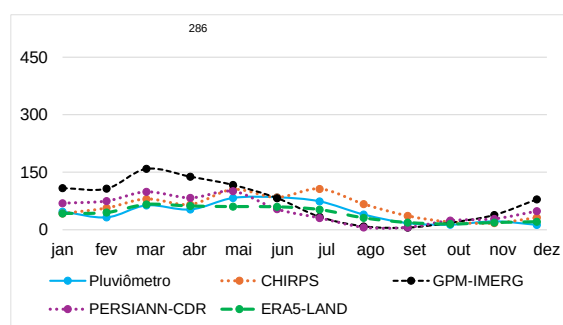
(20) 211 - Caruaru



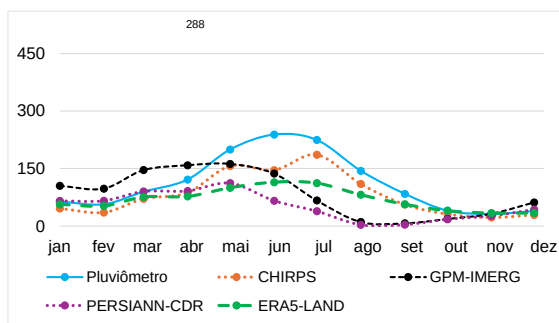
(21) 19 - Garanhuns



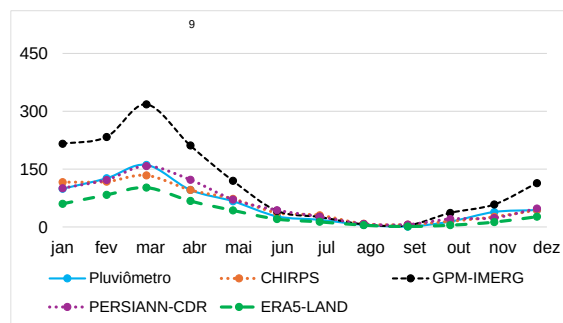
(22) 207 - Iati



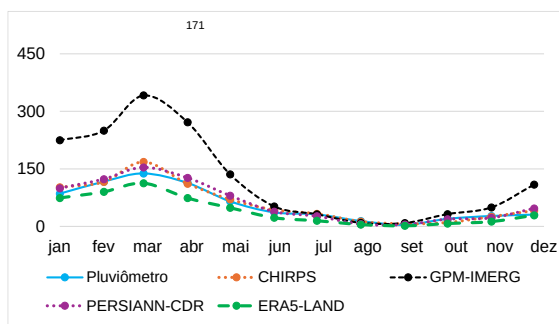
(23) 22 - Correntes



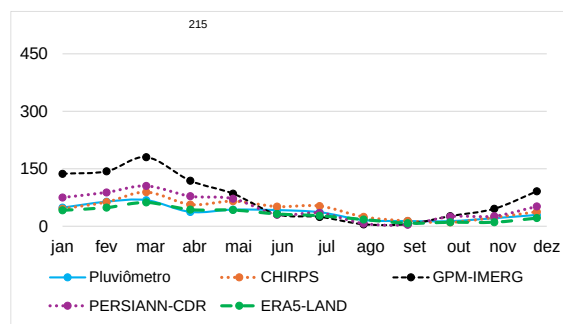
(24) 21136 - Serra Talhada



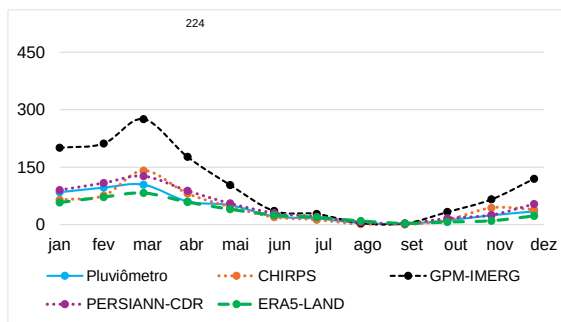
(25) 20226 - Flores



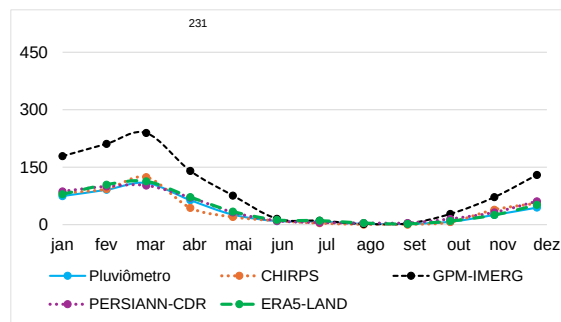
(26) 21081 - Inajá



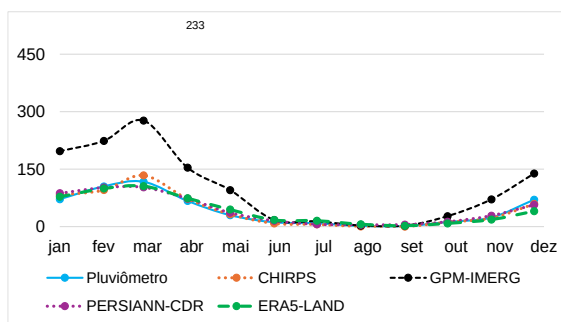
(27) 21107 - Açúde Serrinha



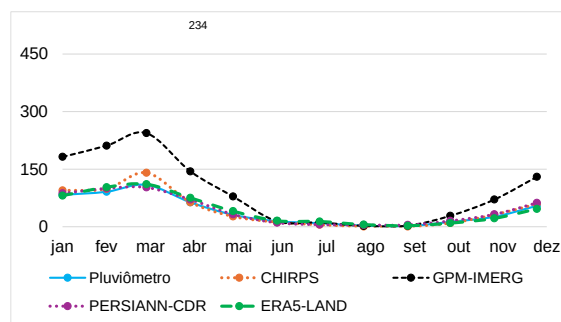
(28) 21160 - Jacaré



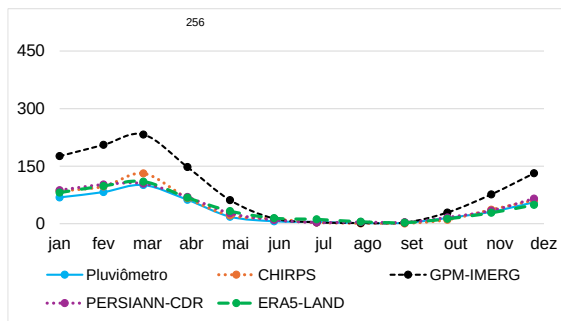
(29) 21164 - Parnamirim



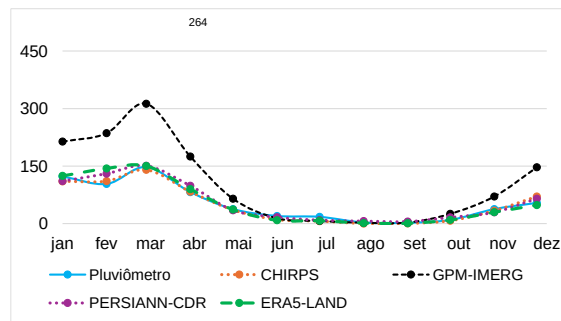
(30) 21165 - Poço Do Fumo



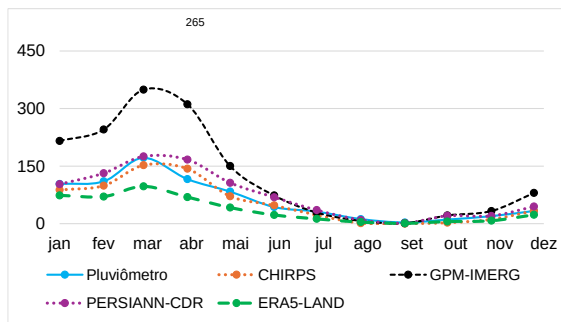
(31) 164 - Santa Cruz Da Venerada



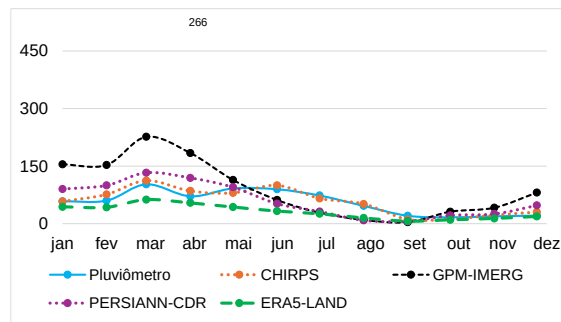
(32) 3 - Araripina



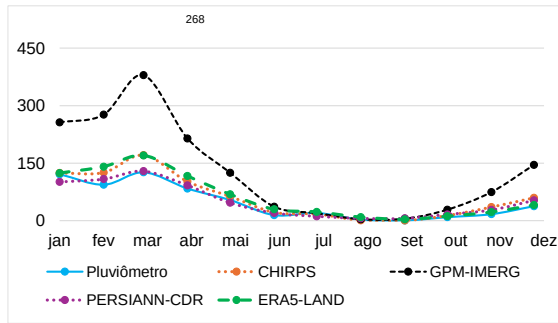
(33) 473 - Brejinho



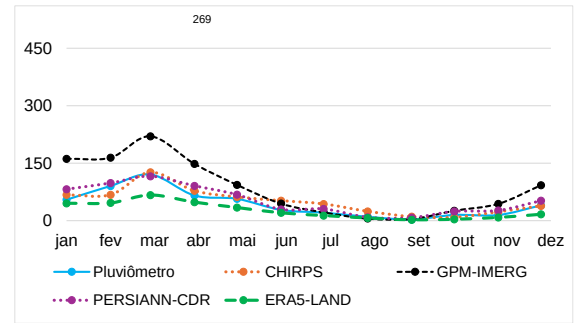
(34) 16 - Arcoverde



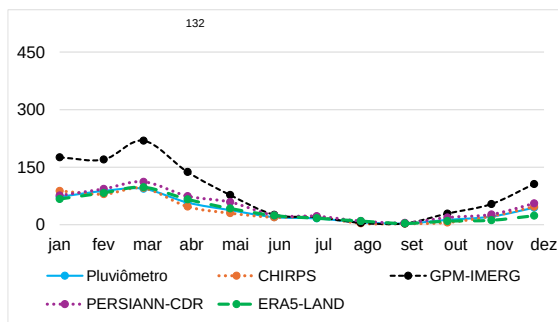
(35) 81 - Moreilândia



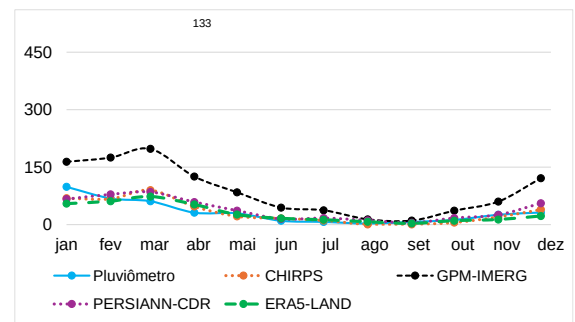
(36) 14 - Ibimirim



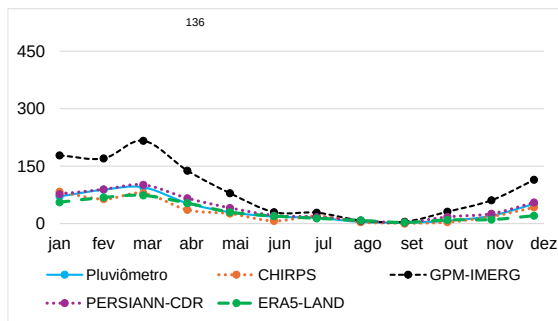
(37) 21105 - Airi (Rochedo)



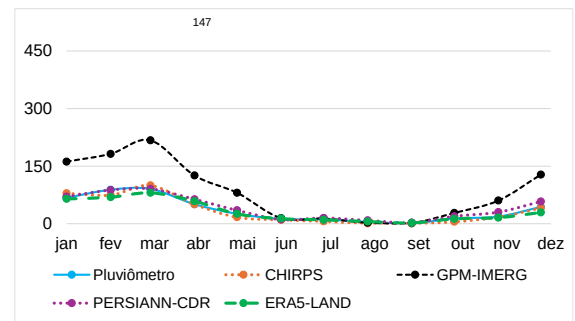
(38) 21109 - Belém De São Francisco



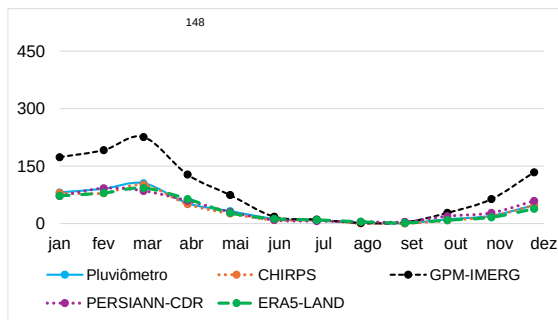
(39) 21126 - Floresta



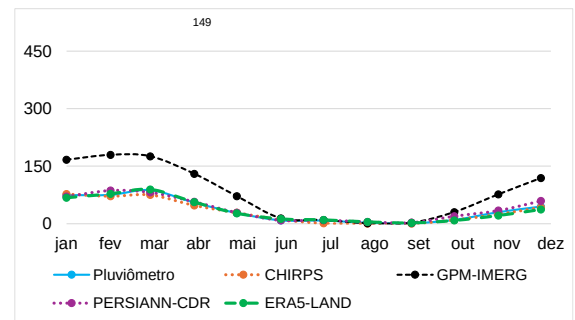
(40) 21180 - Ibó



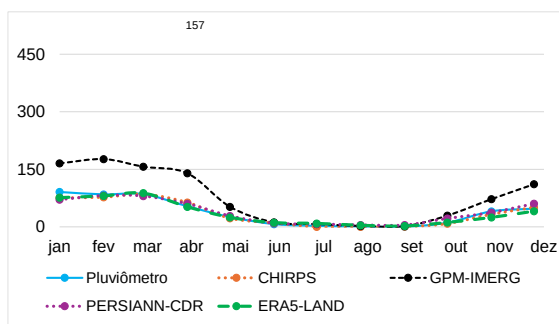
(41) 21183 - Fazenda Tapera



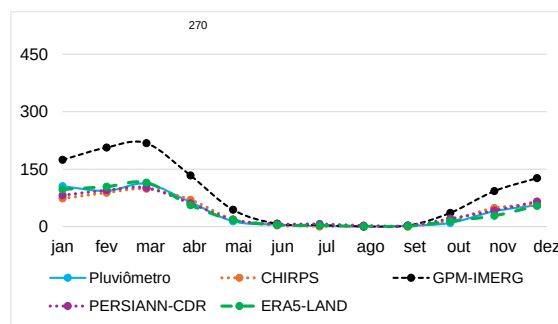
(42) 21184 - Santa Maria Da Boa Vista



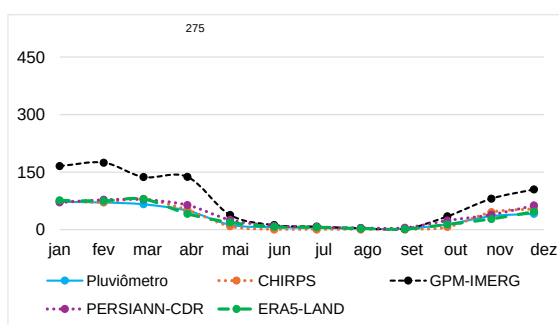
(43) 21216 - Lagoa Grande



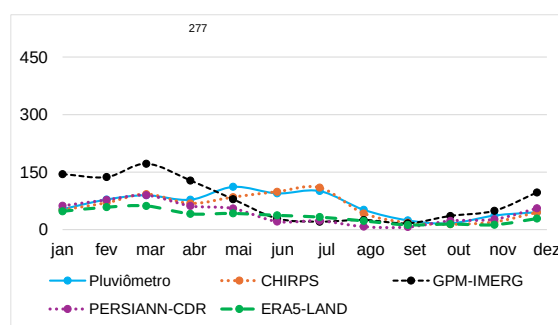
(44) 1 - Afrânio



(45) 61 - Petrolina 2 (Inmet)



(46) 77 - Tacaratu



Fonte: O Autor (2025).

Em relação à evolução da média anual de chuva disposta na Figura 14, é válido destacar que um resultado diferente foi obtido por Wu *et al.* (2023), os quais desenvolveram uma validação dos produtos ERA5-Land, IMERG-E e IMERG-F para o Platô Tibetano, localizado na China, se configurando como uma região de altas altitudes. Neste trabalho, foi identificado que o IMERG-F apresentava uma tendência em subestimar os valores de precipitação durante os meses secos e superestimar durante os meses chuvosos, enquanto o ERA5-Land superestimou os dados para todos os meses do ano, em uma escala superior ao IMERG-F. As variações significativas de resultados do ERA5-Land se dão ao fato de que a área de estudo dos Autores é marcada pelas altas altitudes, prejudicando o desempenho do ERA5-Land, enquanto o estado de Pernambuco possui várias áreas planas de baixa altitude.

5.3 VALIDAÇÃO ANUAL

A Tabela 11 apresenta a validação da precipitação acumulada anual de cada produto de precipitação com relação à estação pluviométrica de referência, dispondo da média de cada parâmetro estatístico empregado.

Tabela 11 – Validação anual dos produtos de precipitação para o estado de Pernambuco, referente ao período entre janeiro de 2001 e dezembro de 2023.

Parâmetro	CHIRPS	GPM-IMERG	PERSIANN-CDR	ERA5-Land
REMQ (mm/ano)	188,59	536,33	293,60	295,16
PBIAS M. Aritmética (%)	1,84	75,69	-1,08	-19,35
PBIAS M. Absoluta (%)	12,06	78,67	20,85	23,84
r	0,76	0,76	0,69	0,72
d	0,79	0,54	0,72	0,68

Fonte: O Autor (2025).

A partir da Tabela 11 é possível identificar que o produto que demonstrou uma maior precisão na determinação da precipitação anual acumulada foi o CHIRPS, uma vez que este demonstrou a menor diferença média entre os valores previstos, com o REMQ de 188,59 mm/ano, o menor PBIAS (12,06%) e uma boa correlação e concordância (r e $d > 0,7$).

O estudo elaborado por Costa *et al.* (2024), para o estado da Paraíba, também identificou uma boa performance do CHIRPS, obtendo uma média de REMQ de 136,12 mm/mês e um coeficiente de correlação de Pearson (r) de 0,91, ambos resultados indicando uma maior eficiência quando comparado com os encontrados no presente trabalho. Já Dawa *et al.* (2024), por sua vez, identificaram valores de REMQ variando de 109,30 a 168,36 mm/ano e um coeficiente r de 0,13 a 0,45, indicando uma baixa correlação entre os dados estimados e os observados em campo. Em comparação com a Tabela 11, observa-se que o CHIRPS demonstrou maior correlação no Estado de Pernambuco, contando com um r médio de 0,76.

Após avaliado os resultados gerais para o Estado de Pernambuco, apresenta-se, na Tabela 12, a validação dos produtos de precipitação subdividido para cada mesorregião. Assim como discutido para a validação mensal, os resultados encontrados para a escala temporal anual indicam o CHIRPS como produto de precipitação com maior eficiência na medição de precipitação em todas as mesorregiões do estado, contando com os melhores resultados para todos os parâmetros estatísticos empregados.

É importante destacar que os valores de PBIAS demonstrados na Tabela 12 não demonstraram variação significativa em comparação com a validação dos dados diários e mensais, indicando que os erros não foram aleatórios, mas sim caracterizados por um viés positivo ou negativo identificado através da análise, conforme citado por Duan *et al.* (2016) e reforçado por Andrade *et al.* (2022) e Dawa *et al.* (2024).

Tabela 12 - Resultados da validação dos registros de precipitação anual entre os dados observados em campo nas estações pluviométricas e estimados por sensores remotos em cada mesorregião, referente ao período entre janeiro de 2001 e dezembro de 2023.

Mesorregião	CHIRPS				
	REMQ (mm/ano)	PBIAS M. Aritmética (%)	PBIAS M. Absoluta (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife (RMR)	423,04	-16,30	16,30	0,56	0,63
Mata Pernambucana (MP)	229,11	-1,12	10,72	0,80	0,82
Agreste Pernambucano (AP)	225,01	5,05	17,68	0,74	0,74
Sertão Pernambucano (SP)	145,95	7,88	9,89	0,75	0,81
São Francisco Pernambucano (SFP)	118,20	-5,43	6,41	0,82	0,85
Mesorregião	GPM-IMERG				
	REMQ (mm/ano)	PBIAS M. Aritmética (%)	PBIAS M. Absoluta (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife (RMR)	483,98	9,50	9,50	0,52	0,64
Mata Pernambucana (MP)	504,56	28,28	37,05	0,72	0,66
Agreste Pernambucano (AP)	383,43	37,30	42,93	0,76	0,66
Sertão Pernambucano (SP)	708,51	118,87	118,87	0,77	0,41
São Francisco Pernambucano (SFP)	571,37	118,83	118,84	0,83	0,46
Mesorregião	PERSIANN-CDR				
	REMQ (mm/ano)	PBIAS M. Aritmética (%)	PBIAS M. Absoluta (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife (RMR)	989,32	-50,80	50,80	0,41	0,36
Mata Pernambucana (MP)	563,99	-28,28	31,12	0,64	0,55
Agreste Pernambucano (AP)	292,43	-2,33	23,02	0,68	0,70
Sertão Pernambucano (SP)	170,84	13,81	13,81	0,71	0,80
São Francisco Pernambucano (SFP)	153,56	7,68	14,61	0,76	0,82
Mesorregião	ERA5-Land				
	REMQ (mm/ano)	PBIAS M. Aritmética (%)	PBIAS M. Absoluta (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife (RMR)	757,94	-38,45	38,45	0,58	0,43
Mata Pernambucana (MP)	492,48	-20,17	29,45	0,74	0,53
Agreste Pernambucano (AP)	306,48	-28,54	29,18	0,73	0,66
Sertão Pernambucano (SP)	221,07	-12,55	22,61	0,70	0,73
São Francisco Pernambucano (SFP)	163,56	-10,11	11,15	0,72	0,80

Fonte: O Autor (2025).

A maior eficiência do CHIRPS, assim como nas demais escalas temporais, se deu para o SFP, contando com uma variação média anual nos resultados de 118,20

mm/ano e uma tendência média de variação de apenas 6,41%. Ademais, o PERSIANN-CDR e o ERA5-Land também demonstraram boa eficiência na medição da precipitação anual acumulada, contudo, sua eficiência apresentou uma grande variação dependendo da mesorregião de estudo.

Ambos os produtos supracitados demonstraram boa correlação e concordância para as mesorregiões MP, AP, SP e SFP, contudo, para a mesorregião RMR seu desempenho reduziu de forma significativa, o que pode ser visualizado através do REMQ de 989,32 mm/ano para o PERSIANN-CDR e 757,94 mm/ano para o ERA5-Land.

Tan *et al.* (2023) obtiveram valores de REMQ entre 454 e 1073 mm/ano, com uma média de 685 mm/ano na validação do ERA5-Land para a Bacia do Rio Kelantan, na Malásia, assim como um r entre 0,27 e 0,65. No presente estudo, os resultados de variação do ERA5-Land foram melhores, uma vez que foi identificado valores de REMQ variando de 163,56 a 757,94 mm/ano, com uma média de 295,16 mm/ano para o estado de Pernambuco, e um r variando de 0,58 a 0,74. Conforme citado anteriormente, os melhores resultados do ERA5-Land podem estar associados às menores altitudes identificadas para o Estado de Pernambuco quando comparado com as altitudes encontradas na Bacia do Rio Kelantan, área de estudo de Tan *et al.* (2023).

Já o GPM-IMERG, por sua vez, se caracterizou como produto de satélite com o pior desempenho na escala anual. Sua melhor diferença média entre os valores obtidos pelo produto e medidos em campo se deu para a mesorregião do AP, com um REMQ de 383,43 mm/ano, contudo, tal valor alcançou 708,51 mm/ano para a mesorregião SP, além de demonstrar altas tendências de superestimar os dados de precipitação para o SP e SFP.

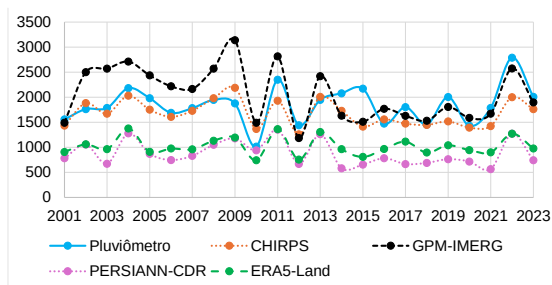
Ramadhan *et al.* (2022) também encontraram uma boa correlação para os valores de IMERG-L ao validar seu desempenho na medição de chuvas no continente marítimo da Indonésia, com um r médio de 0,78, corroborando com os valores demonstrados na Tabela 12, com exceção do resultado encontrado para a RMR, a qual apresentou uma moderada correlação.

A Figura 15 dispõe da precipitação acumulada anual de cada estação pluviométrica e do pixel corresponde do produto de precipitação avaliado. Através desta figura torna-se possível avaliar a eficiência do produto de precipitação em se

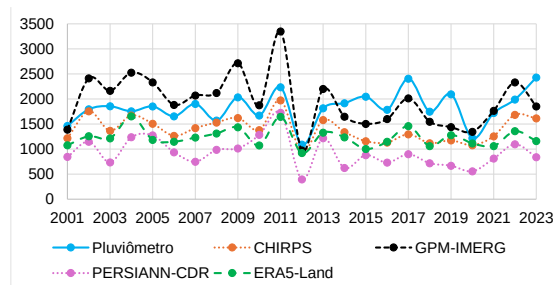
aproximar da medição obtida em campo e as tendências de cada produto em subestimar e superestimar os registros de precipitação.

Figura 15 – Variação da precipitação acumulada anual em cada estação pluviométrica em relação aos produtos de precipitação avaliados.

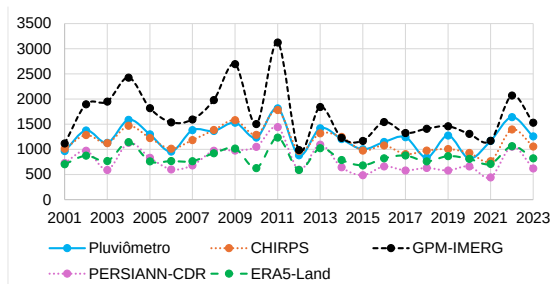
(1) 835048 - São Lourenço da Mata II



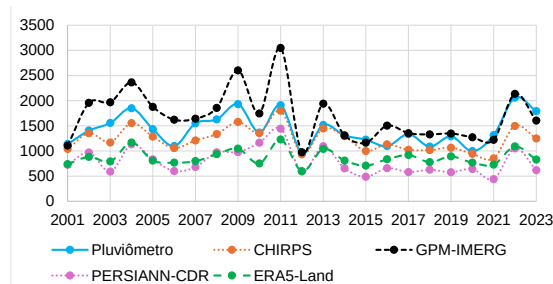
(2) 835138 - Pirapama



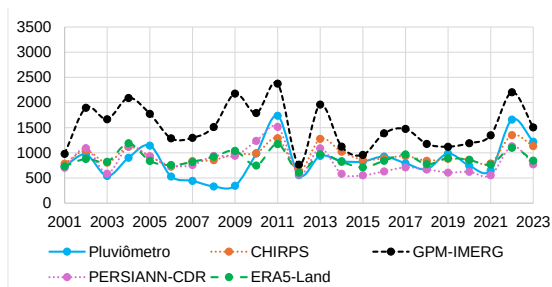
(3) 735066 - Paudalho



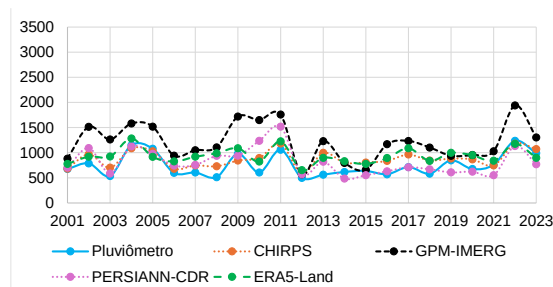
(4) 735050 - Engenho Sítio



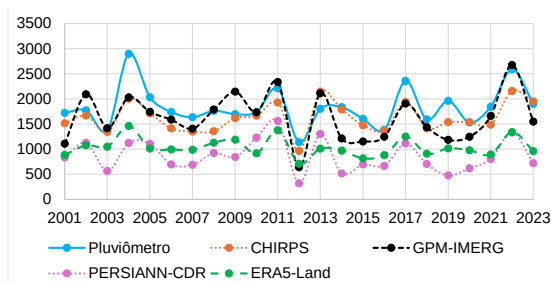
(5) 835068 - Vitória de Santo Antão



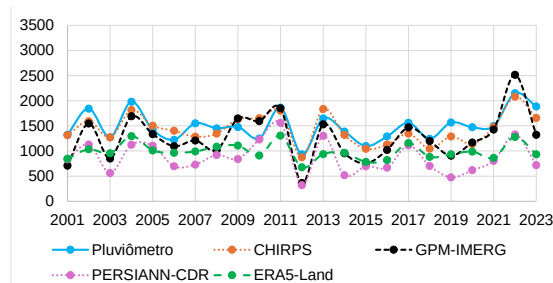
(6) 835137 – Pombos



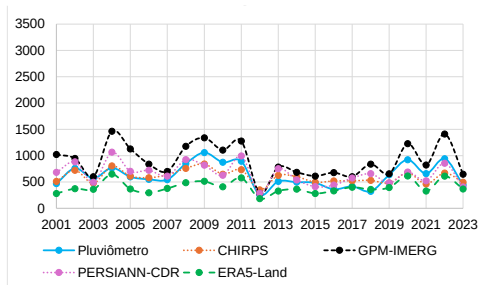
(7) 835140 - Engenho Mato Grosso



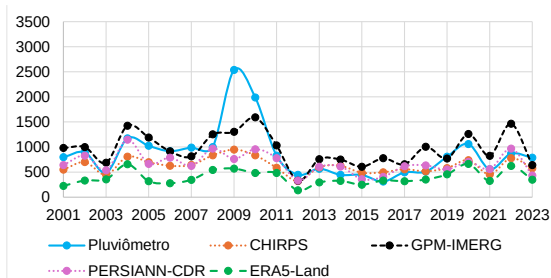
(8) 835141 – Palmares



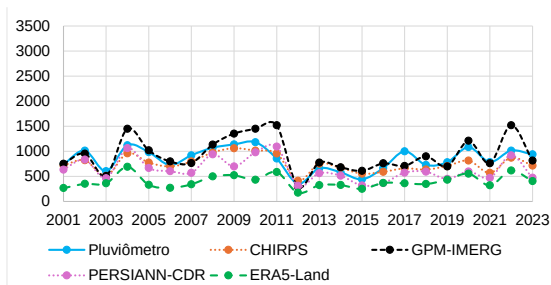
(9) 20978 - Sanharó



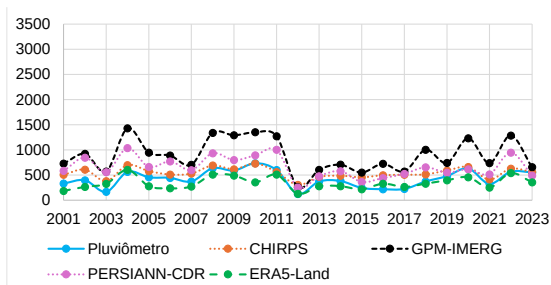
(10) 21024 - Poção



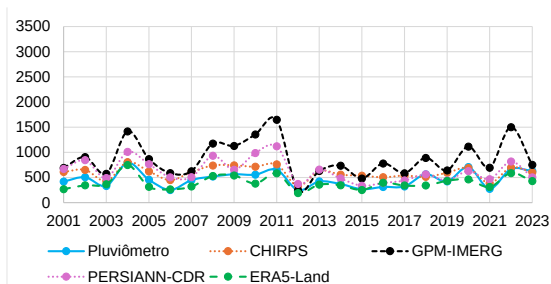
(11) 21023 - Brejo Da Madre De Deus



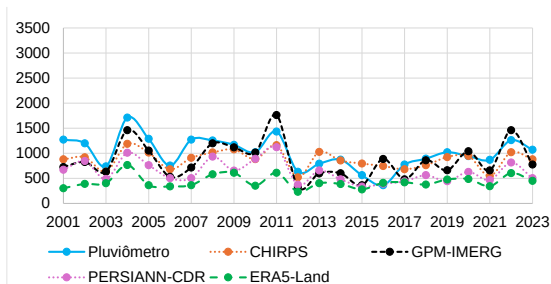
(12) 20163 - Jataúba



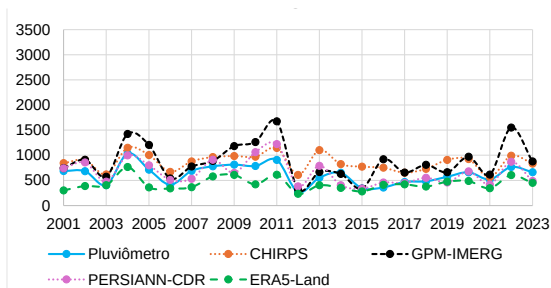
(13) 20164 - Santa Cruz Do Capibaribe



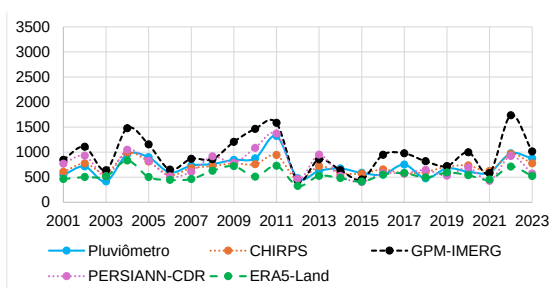
(14) 20165 - Taquaritinga Do Norte



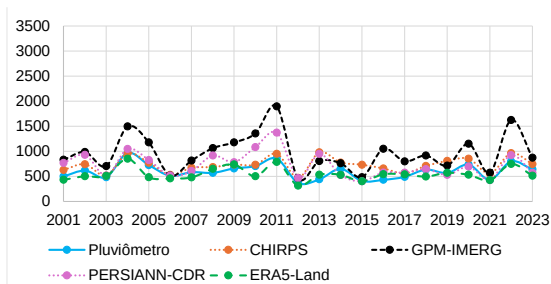
(15) 20057 - Vertentes



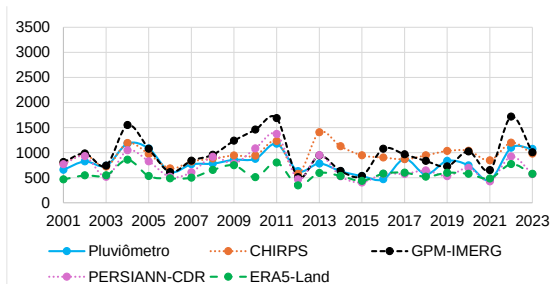
(16) 20857 - Cumaru



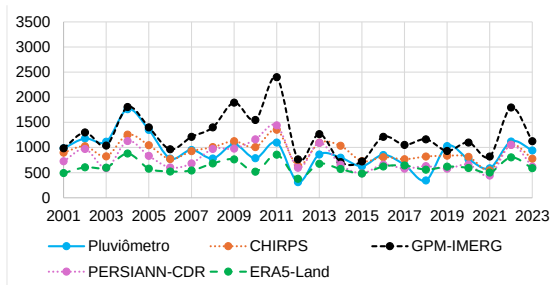
(17) 20056 - Surubim



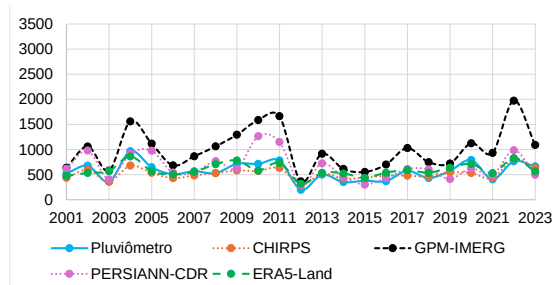
(18) 19998 - Salgadinho



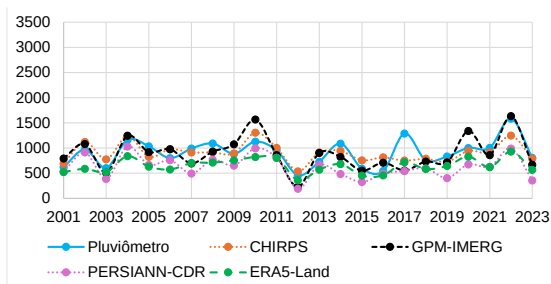
(19) 20020 - Limoeiro



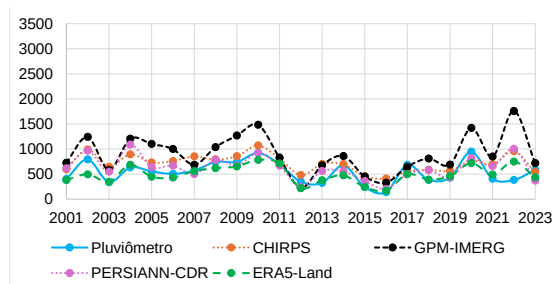
(20) 211 - Caruaru



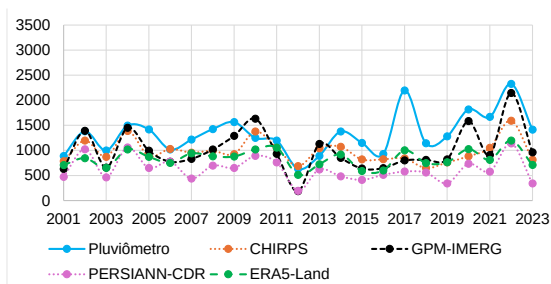
(21) 19 - Garanhuns



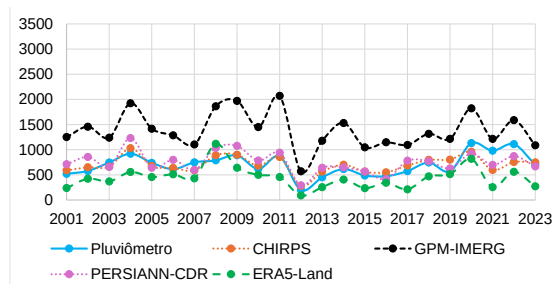
(22) 207 - Iati



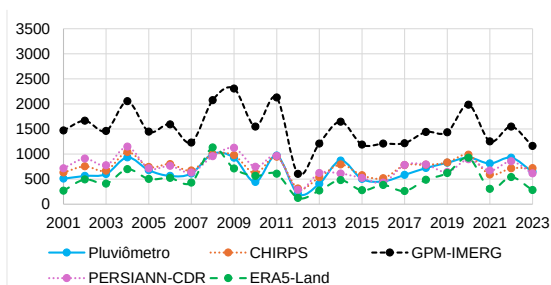
(23) 22 - Correntes



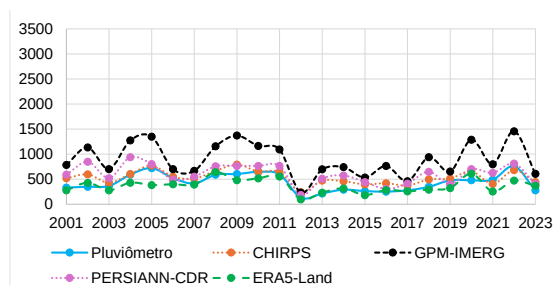
(24) 21136 - Serra Talhada



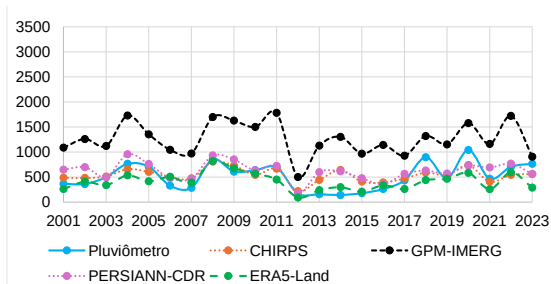
(25) 20226 - Flores



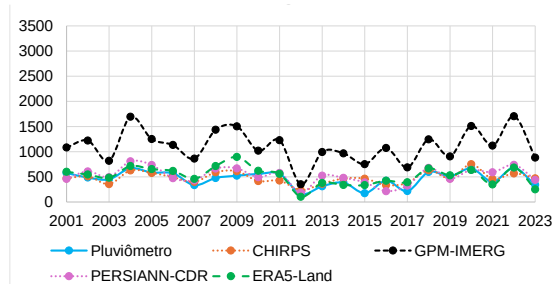
(26) 21081 - Inajá



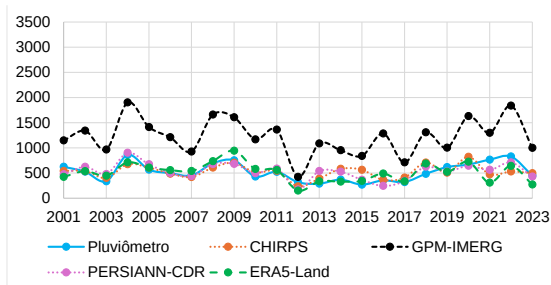
(27) 21107 - Açude Serrinha



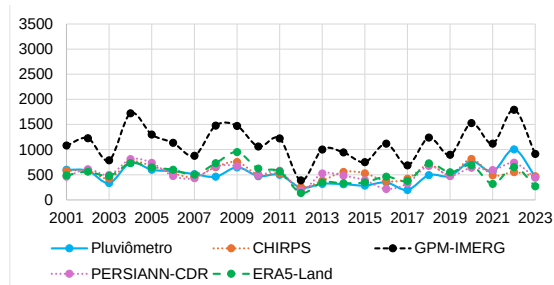
(28) 21160 - Jacaré



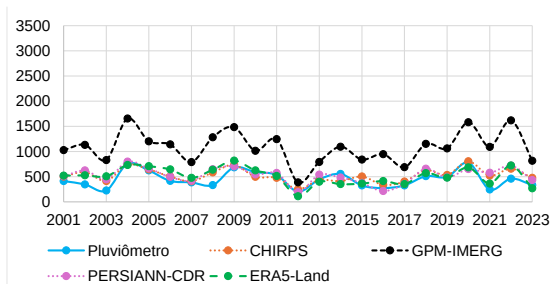
(29) 21164 - Parnamirim



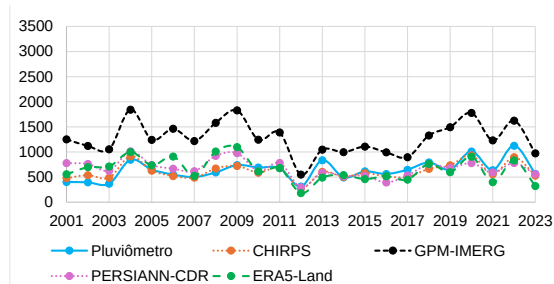
(30) 21165 - Poço Do Fumo



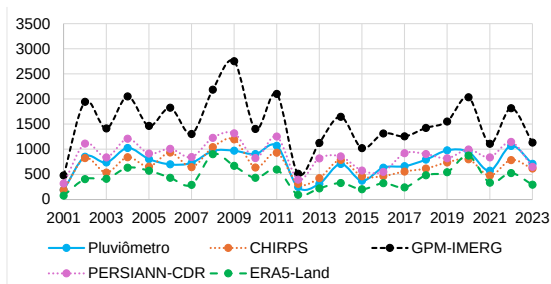
(31) 164 - Santa Cruz Da Venerada



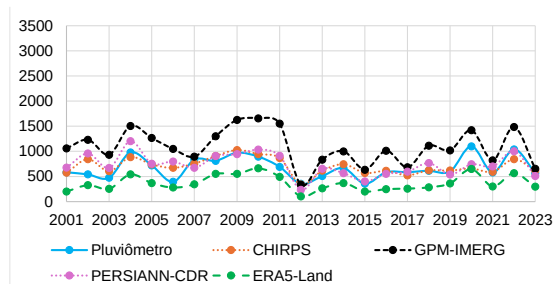
(32) 3 - Araripina



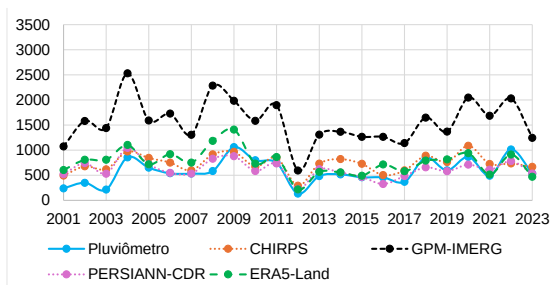
(33) 473 - Brejinho



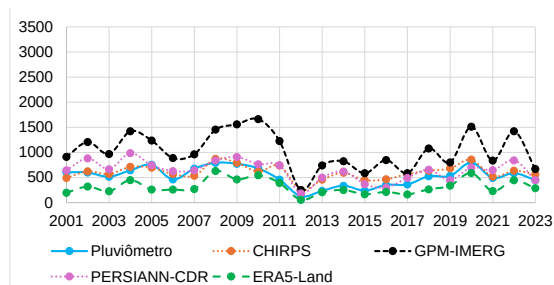
(34) 16 - Arcoverde



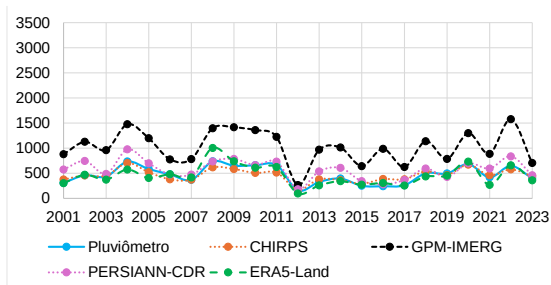
(35) 81 - Moreilândia



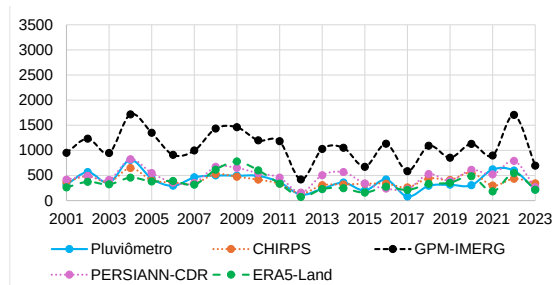
(36) 14 - Ibimirim



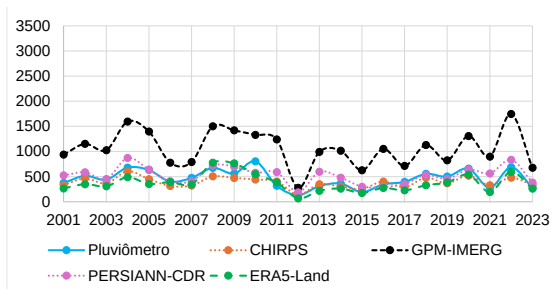
(37) 21105 - Airi (Rochedo)



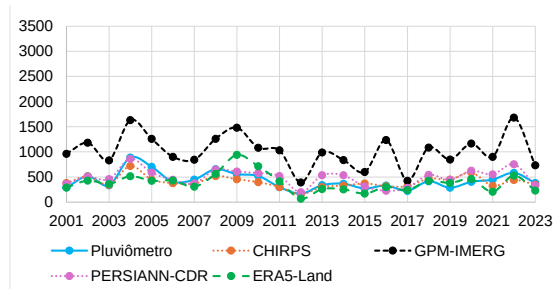
(38) 21109 - Belém De São Francisco



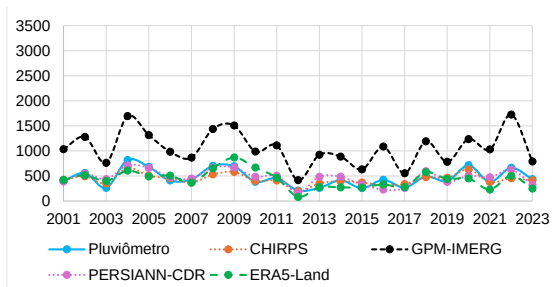
(39) 21126 - Floresta



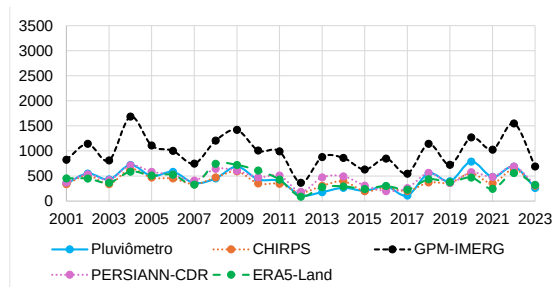
(40) 21180 - Ibó



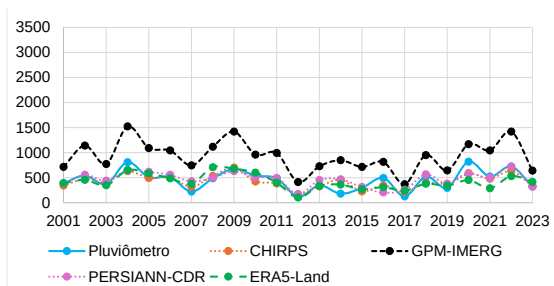
(41) 21183 - Fazenda Tapera



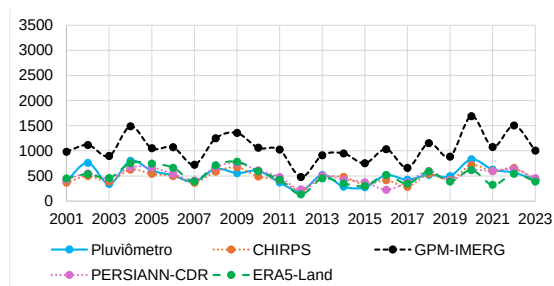
(42) 21184 - Santa Maria Da Boa Vista



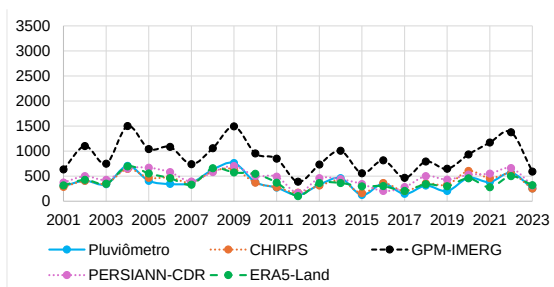
(43) 21216 - Lagoa Grande



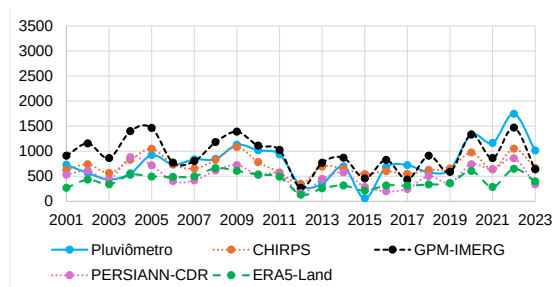
(44) 1 - Afrânio



(45) 61 - Petrolina 2 (Inmet)



(46) 77 - Tacaratu



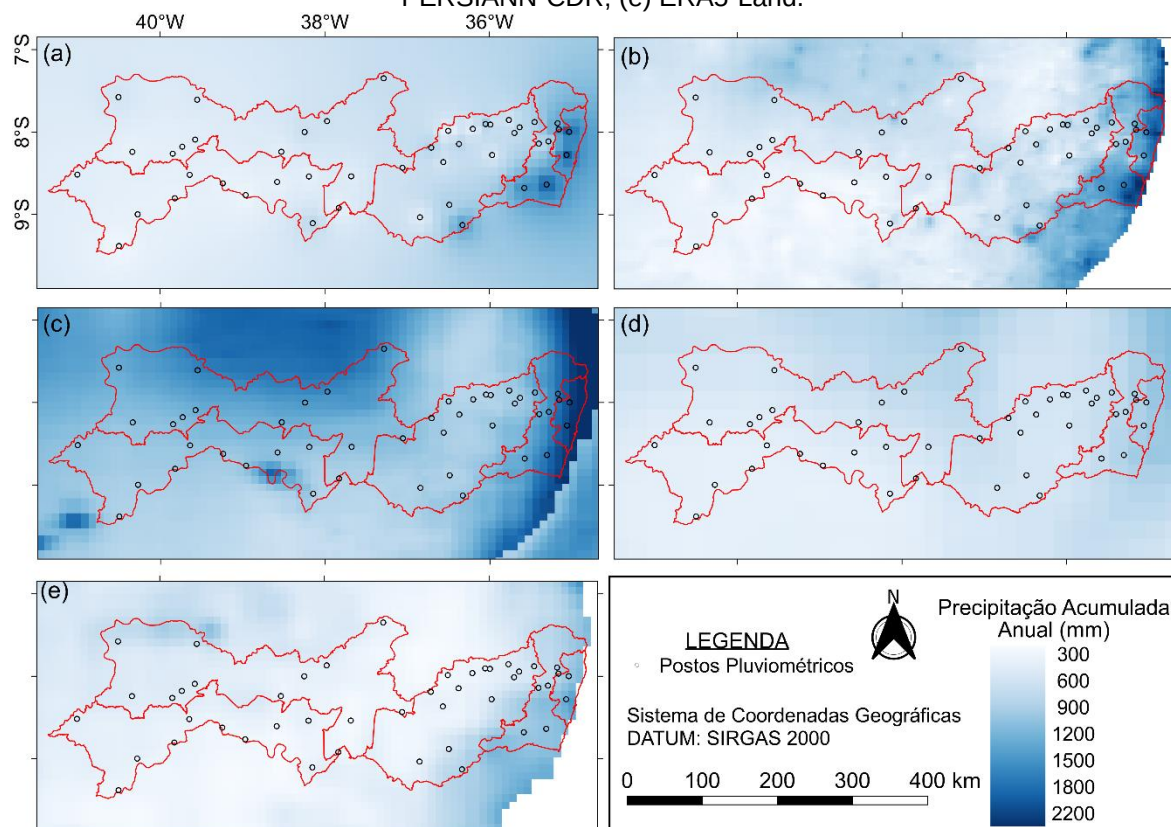
Fonte: O Autor (2025).

5.4 ESPACIALIZAÇÃO

Após a validação estatística do desempenho dos produtos de precipitação em cada escala temporal (diária, mensal e anual), foi realizada uma espacialização da precipitação média anual acumulada para o estado de Pernambuco, referente aos anos de 2001 a 2023, a partir dos dados de precipitação obtidos pelos pluviômetros de referência e os quatro produtos avaliados, conforme demonstrado na Figura 16.

Ressalta-se que para a resolução espacial aplicada seguiu conforme as especificações originais de cada produto de precipitação (Tabela 3). Já para a espacialização dos pluviômetros, aplicou-se uma resolução espacial de 0,1° a partir da interpolação IDW.

Figura 16 – Espacialização da Precipitação Média Anual Acumulada para o estado de Pernambuco, com relação ao: (a) Pluviômetro de referência (Interpolação IDW); (b) CHIRPS; (c) GPM-IMERG; (d) PERSIANN-CDR; (e) ERA5-Land.



Fonte: O Autor (2025).

A partir dos dados interpolados de precipitação, foi possível observar que a variação da precipitação média anual variou para cada produto de precipitação avaliado. Os pluviômetros de referência indicaram uma variação de 378 mm a 1823 mm/ano. O CHIRPS, por sua vez, demonstrou uma variação de 240 mm a 2260 mm, enquanto o GPM-IMERG apresentou 689 mm a 2595 mm, o PERSIANN-CDR, de 454 mm a 1250 mm e o ERA5-Land, de 294 mm a 1423 mm.

Como esperado, os maiores valores mínimos e máximos encontrados se deram para o GPM-IMERG, o que reflete sua tendência em superestimar os registros de precipitação para o estado de Pernambuco. Com relação a este comportamento é importante destacar que esta superestimativa do GPM-IMERG não foi identificado em

estudos anteriores, a exemplo de Andrade *et al.* (2022), o qual identificou valores de chuva abaixo de 2.000 mm/ano na região costeira do Nordeste, enquanto o presente trabalho encontrou valores de aproximadamente 2.200 mm/ano (Figura 16).

A região com maiores médias de chuva acumuladas ocorreram na região litorânea do estado, enquanto os menores se deram para o São Francisco e Sertão Pernambucano, resultado que se refletiu tanto para os pluviômetros como para os produtos de precipitação.

Contudo, é possível identificar que nas regiões periféricas do estado de Pernambuco, assim como nas áreas onde o espaçamento entre os pluviômetros é maior, observa-se que a interpolação IDW demonstra uma menor eficiência na espacialização dos dados de chuva quando comparado com os produtos de precipitação.

Este fator ocorre, pois, a vantagem da utilização dos pluviômetros reside na medição pontual da precipitação, tornando-o mais preciso que os produtos de precipitação. Entretanto, em análises que requerem medições de precipitação em grandes extensões territoriais, os produtos de precipitação, obtidos com auxílio de Sensoriamento Remoto, possuem tendências em obter melhor precisão das informações, devido a não necessidade de interpolação.

6. CONCLUSÃO

Após observado os dados e resultados apresentados, é possível concluir que os produtos avaliados para obtenção da precipitação por sensores remotos podem ser utilizados como fonte de dados alternativa para obtenção de séries históricas de precipitação em regiões nas quais haja um déficit de estações pluviométricas com boa qualidade de dados georreferenciados, especialmente para a escala temporal mensal, a qual apresentou os melhores resultados.

Contudo, é importante levar em consideração as variações de desempenho que cada produto demonstrou devido as características fisiográficas e climatológicas de cada mesorregião, sendo recomendado, ainda, que a determinação do produto de precipitação apropriado atenda aos objetivos específicos da análise hidrológica objetivo da pesquisa.

Na validação diária, o ERA5-Land demonstrou melhor desempenho nas mesorregiões da Mata Pernambucana (MP), Agreste Pernambucano (AP) e Sertão Pernambucano (SP). Já para a Região Metropolitana do Recife (RMR) e São Francisco Pernambucano (SFP), os produtos com melhores desempenhos foram, respectivamente, o GPM-IMERG e o CHIRPS.

É importante ressaltar que todos os produtos apresentaram menores precisões quando observado os resultados referentes à validação diária, o que se reflete nos valores de Pearsonn e Willmott abaixo de 0,5 para a maioria dos produtos.

Para a validação mensal, o CHIRPS se destacou como melhor produto de satélite para todas as métricas avaliadas e em todo o estado Pernambucano. O PERSIANN-CDR e ERA5-Land também demonstraram um bom desempenho ao longo de todo o Estado, com exceção da RMR, no qual o GPM-IMERG foi superior quando comparado com o PERSIANN-CDR e ERA5-Land com relação aos valores de Pearsonn e Willmott.

Levando em conta que a RMR se caracteriza pela maior incidência pluviométrica, estima-se que o melhor desempenho do GPM-IMERG tenha ocorrido pois este produto utiliza microondas para estimar a precipitação, a qual possui um comprimento de onda capaz de atravessar as partículas de nuvem e, assim, obter um resultado mais preciso em regiões com alta incidência de chuvas. Contudo, ressalta-se que apesar do GPM-IMERG ter apresentado bons resultados na RMR, o CHIRPS ainda se configurou como o melhor produto de precipitação nesta mesorregião.

Já com relação à validação anual, os resultados encontrados se assemelharam à mensal, com uma pequena queda de eficiência para todos os produtos. Novamente, o CHIRPS demonstrou melhor desempenho para todo o estado Pernambucano. O PERSIANN-CDR e ERA5-Land também demonstraram um bom desempenho, com tendências de variação da precipitação na faixa de 20% quando comparado com os dados dos pluviômetros. O ERA5-Land foi superior ao PERSIANN-CDR apenas na MP, enquanto o PERSIANN-CDR foi superior ao ERA5-Land para o AP, SP e SFP.

Com isso, cita-se que os melhores valores de concordância e correlação entre os produtos de precipitação e os dados observados em campo foi obtido durante a validação mensal. Os dados anuais também apresentaram concordância e correlação variando de moderada a alta. Já para os registros diários, obteve-se os piores resultados, com baixa concordância e correlação para todos os produtos avaliados, demonstrando que a medição da precipitação ainda deve ser melhor desenvolvida para aplicação em estudos que necessitam de dados diários de chuva.

Destaca-se que a busca contínua de formas de aumentar a precisão da obtenção dos dados de precipitação via Sensoriamento Remoto e reduzir as tendências de erros destes modelos é essencial.

REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas, 2024. HidroWeb v3.1.1. Séries históricas das estações. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em: 15 set. 2024.
- APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Atlas climatológico do Estado de Pernambuco**: normais climatológicas 1991-2020. Agência Pernambucana de Águas e Clima. Gerência de Meteorologia e Mudanças Climáticas. Recife: APAC, GMMC, 2023. Disponível em: <<https://www.apac.pe.gov.br/images/webAtlas-Climatologico-do-Estado-de-Pernambuco-APAC.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2025.
- APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Atlas das Bacias Hidrográficas do Estado de Pernambuco**. Recife: APAC, 2022. Disponível em: <<https://geoportal.apac.pe.gov.br/portal/apps/MapJournal/index.html?appid=7486c16fb79545f0be0dd7152c0592a6#map>>. Acesso em: 29 jan. 2025.
- 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.100842, nov. 2022.
- ARAÚJO, H. L.; SILVA, T. L. A.; DUARTE S. N.; RODRIGUES, J. A. M.; ARAÚJO, E. L.; SANTOS, A. P. Análise comparativa entre dados de precipitação observados em superfície e estimados por satélite TRMM na região norte do Tocantins. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.10, n.1, p.14-22, 2022.
- ASHOURI, H. ; HSU, K. L.; SOROOSHIAN, S.; BRAITHWAITE, D. K. ; KNAPP, K. R., CECIL, L. D.; NELSON, B. R. ; PRAT, O. PERSIANN-CDR: Daily Precipitation Climate Data Record from Multisatellite Observations for Hydrological and Climate Studies, **American Meteorological Society**, p. 69–84, 2015.
- BANDIM, C. G. A.; GALVÍNCIO, J. D. Mapeamento das áreas de armazenamento de água em depressão, usando dados LIDAR: Estudo de caso avenida Caxangá. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 1, p. 058-067, 2021.
- BARBOSA, A. H. S.; CUELLAR, M. D. Z.; MOREIRA, M. M.; ARRAES, K. A.; SILVA, C. S. P. Seis anos de seca: Análise Espaço-temporal dos Espelhos d'água dos Reservatórios do Ceará por Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 04, p. 2220-2241, 2021.
- CEFERINO-HERNÁNDEZ, L.; MAGAÑA-HERNÁNDEZ, F.; CAMPOS-CAMPOS, E.; MOROSANU, G. A.; TORRES-AGUILAR, C. E.; MORA-ORTIZ, R. S.; DÍAZ, S. A. Assessment of PERSIANN Satellite Products over the Tulijá River Basin, Mexico. **Remote Sensing**, v. 16, n. 14, p. 2596, 2024.
- COSTA, F. F.; RUFINO, I. A. A.; ARAGÃO, R.; FILHO, R. S. R. Performance evaluation of four remote-sensing products throughout precipitation estimation in State of the Paraíba, Northeast Brazil. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, p. 101256, 2024.

DAWA, S. Y.; TAN, M. L.; SAMAT, N.; ROY, R.; ZHANG, F. Evaluation of five gridded precipitation products for estimating precipitation and drought over Yobe, Nigeria. **Water Supply**, p. 2024113, 2024.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Conceitos Básicos de Hidrologia e Drenagem para Projetos Rodoviários**. Brasília, set. 2022.

DUAN, Z.; LIU, J.; TUO, Y.; CHIOGNA, G.; DISSE, M. Evaluation of eight high spatial resolution gridded precipitation products in Adige Basin (Italy) at multiple temporal and spatial scales. **Science of the Total Environment**, v. 573, p. 1536-1553, 2016.

EINI, M. R.; RAHMSATI, A.; PINIEWSKI, M. Hydrological application and accuracy evaluation of PERSIANN satellite-based precipitation estimates over a humid continental climate catchment. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 41, p. 101109, jun. 2022.

FERRARO, R. R.; MARKS, G. F. The development of SSM/I rain-rate retrieval algorithms using ground-based radar measurements. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 12, n. 4, p. 755-770, 1995.

FINCH, V. C.; TREWARTHA, G. T. **Geografia Física**. México: Fondo de Cultura Económica, 1954.

FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S.; HUSAK, G.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with stations — a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific data**, v. 2, p. 150066, 2015.

GUPTA, H. V.; SOROOSHIAN, S.; YAPO, P. O. Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. **Journal of hydrologic engineering**, v. 4, n. 2, p. 135-143, 1999.

GOMIS-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, p. 106606, 2023.

HERSBACH, H.; BELL, B.; BERRISFORD, P.; BIAVATI, G.; HORÁNYI, A.; MUÑOZ-SABATER, J.; NICOLAS, J.; PEUBEY, C.; RADU, R.; ROZUM, I.; SCHEPERS, D.; SIMMONS, A.; SOCI, C.; DEE, D.; THÉPAUT, J. N. ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. **Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)**, 2018.

HSU, J.; HUANG, W. R.; LIU, P. Y. Comprehensive analysis of PERSIANN products in studying the precipitation variations over Luzon. **Remote Sensing**, v. 14, n. 22, p. 5900, 2022.

HONG, Y.; TANG, G.; MA, Y.; HUANG, Q. HAN, Z.; ZENG, Z.; YANG, Y.; WANG, C.; GUO, Z. Remote Sensing Precipitation: Sensors, Retrievals, Validations, and Applications. In: LI, X.; VEREECKEN, H. (Eds.). **Observation and Measurement of**

Ecohydrological Processes. Ecohydrology. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, p. 1–23, 2018.

HUFFMAN, G.J.; STOCKER, E.F.; BOLVIN, D.T.; NELKIN, E.J.; TAN, J. **GPM IMERG Final Precipitation L3 Half Hourly 0.1 degree x 0.1 degree V06, Greenbelt, MD, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC) [Conjunto de datos de precipitación].** Recuperado de 10.5067. GPM/IMERG/3B-HH/06, 2019.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Divisão Regional do Brasil em mesorregiões e microrregiões geográficas. **Biblioteca IBGE.** 1: 52–55. 1990.

JATOBÁ, L.; SILVA, A. F. **Tópicos especiais de climatologia.** Editora Itacaiúnas, 2020.

LIMA JÚNIOR, A. F. L.; ZANELLA, M. E.; SALES, M. C. L. Avaliação do desempenho da precipitação estimada pelo CHIRPS para o Estado do Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, p. 363-382, 2023.

KIDD, C.; BECKER, A.; HUFFMAN, G. J.; MULLER, C. L.; JOE, P.; JACKSON, G. S.; KIRSCHBAUM, D. B. So, How Much of the Earth's Surface Is Covered by Rain Gauges? **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 98, n. 1, p. 69–78, jan. 2017.

KUMMEROW, C. ; HONG, Y.; OLSON, W. S.; YANG, S.; ADLER, R. F.; MCCOLLUM, J.; FERRARO, R.; PETTY, G.; SHIN, D. B.; WILHEIT, T. T. The evolution of the Goddard Profiling Algorithm (GPROF) for rainfall estimation from passive microwave sensors. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 40, n. 11, p. 1801-1820, 2001.

LIU, Z. Accuracy of satellite precipitation products in data-scarce Inner Tibetan Plateau comprehensively evaluated using a novel ground observation network. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 47, p. 101405, 2023.

LÓPEZ-BERMEJO, C. ; MONTOYA, R. D. ; CARO-LOPERA, F. J. ; DÍAZ-GARCÍA, J. A. Validation of the accuracy of the CHIRPS precipitation dataset at representing climate variability in a tropical mountainous region of South America. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 127, p. 103184, 2022.

MAHMOUD, M. T. ; MOHAMMED, S. A. ; HAMOUDA, M. A. ; MOHAMED, M. M. Impact of topography and rainfall intensity on the accuracy of imerg precipitation estimates in an arid region. **Remote Sensing**, v. 13, n. 1, p. 13, 2021.

MEDEIROS-FEITOSA, J. R.; OLIVEIRA, C. W. Estudo comparativo dos dados de precipitação do satélite TRMM e postos pluviométricos no estado do Ceará, Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, n. 65, p. 239-262, 2020.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto.** Brasília: Universidade de Brasília, 2012.

MUÑOZ-SABATER, J. ERA5-Land monthly averaged data from 1981 to present. **Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)**. 2019. DOI: 10.24381/cds.68d2bb30. Acesso em: 30 out. 2024.

MUÑOZ-SABATER, J.; DUTRA, E.; AGUSTÍ-PANAREDA, A.; ALBERGEL, C.; ARDUINI, G.; BALSAMO, G.; BOUSSETTA, S.; CHOULGA, M.; HARRIGAN, S.; HERBACH, 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, n. 9, p. 4349-4383, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021>. Acesso em: 29 jan. 2025.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. IMERG: Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM. Disponível em: <<https://gpm.nasa.gov/data/imerg>>. Acesso em: 08 jan. 2025.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models Part I - A discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v.10, n.2, p.282-290, 1970.

NÓBREGA, A. E. L.; NEVES, Y. T. Determinação e espacialização de parâmetros de equações de chuvas intensas para o estado da Paraíba. **Geosp**, v. 28, n. 3, e215955. 2024.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. Editora Blucher, 2010.

OMM. Organização Meteorológica Mundial. **Guide to meteorological instruments and methods of observation**: Volume I - Measurement of Meteorological Variables. Genebra: OMM, 2023. Disponível em: < <https://library.wmo.int/idurl/4/41650>>. Acesso em: 31 out. 2024.

OMM. Organização Meteorológica Mundial. **Guide to meteorological instruments and methods of observation**: Volume IV - Space-based Observations. Genebra: OMM, 2021. Disponível em: < <https://library.wmo.int/idurl/4/41650>>. Acesso em: 31 out. 2024.

PEARSON, K. VII. Mathematical contributions to the theory of evolution.—III. Regression, heredity, and panmixia. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, containing papers of a mathematical or physical character**, n. 187, p. 253-318, 1896.

RAMADHAN, R.; YUSNAINI, H.; MARZUKI, M.; MUHARSYAH, R.; SURYANTO, W.; SHOLIHUN, S.; VONNISA, M.; HARMADI, H.; NINGSIH, A.P.; BATTAGLIA, A.; HASHIGUCHI, H.; TOKAY, A. Evaluation of GPM IMERG performance using gauge data over Indonesian maritime continent at different time scales. **Remote Sensing**, v. 14, n. 5, p. 1172, 2022.

SEINFRA. Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco**: Tomo I – Diagnósticos. Secretaria de

Infraestrutura e Recursos Hídricos. Secretaria Executiva de Recursos Hídricos. Recife: Seinfra, 2022. Volume 4: Diagnóstico Integrado. Disponível em: <<https://www.apac.pe.gov.br/planos>>. Acesso em: 31 out. 2024.

SHAHIDIAN, S.; GUIMARÃES, R.; RODRIGUES, C.; CHAMBEL, A.; ALEXANDRE, C.; SANTOS, F.; BASCH, G.; ANDRADE, J. A.; COELHO, R. **Hidrologia Agrícola**. Évora: Escola de Ciência e Tecnologia da Universidade de Évora e Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, 2017.

SOROOSHIAN, S.; HSU, K.; BRAITHWAITE, D.; ASHOURI, H.; and NOAA CDR Program (2014): NOAA climate data record (CDR) of precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks (PERSIANN-CDR), Version 1, Revision 1. **Available at gis. ncdc. noaa. gov/geoportal/catalog/search/resource/details. page**, 2014.

TAN, M. L.; ARMANUOS, A. M.; Ahmadianfar, I.; DEMIR, V.; HEDDAM, S.; AL-AREEQ, A.; ABBA, S. I.; HALDER, B.; KILINC, H. C.; YASEEN, Z. M. Evaluation of NASA POWER and ERA5-Land for estimating tropical precipitation and temperature extremes. **Journal of Hydrology**, v. 624, p. 129940, 2023.

ULIANA, E. M.; SOUSA JUNIOR, M. F.; 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, p. 630-654, 2024.

VENABLES, W. N.; SMITH, D. M. ; And R Development Core Team. **An introduction to R**. v. 4.4.2, p. 103, 2024.

WILHEIT, T. T.; CHANG, A. T. C; CHIU, L. S. Retrieval of monthly rainfall indices from microwave radiometric measurements using probability distribution functions. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 8, n. 1, p. 118-136, 1991.

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.

WU, X.; SU, J.; REN, W.; LU, H.; YUAN, F. Statistical comparison and hydrological utility evaluation of ERA5-Land and IMERG precipitation products on the Tibetan Plateau. **Journal of Hydrology**, v. 620, p. 129384, 2023.

APÊNDICE A – CÓDIGOS APLICADOS NO GOOGLE EARTH ENGINE

1. REGISTROS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA DO CHIRPS

```

1 var precipitation = ee.ImageCollection("UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY")
2   .filterDate('2011-01-01', '2024-01-01');
3
4 //Map.addLayer(precipitation, vis, 'Precipitation');
5 Map.setCenter(-36, -8, 6);
6
7 // Verifique se 'table' está definido antes de adicioná-lo como uma camada.
8 // Se 'table' não for necessário, remova a linha abaixo.
9 if (typeof table !== 'undefined') {
10   Map.addLayer(table);
11 }
12
13 // Crie um painel para armazenar os widgets.
14 var panel = ui.Panel();
15 panel.style().set('width', '300px');
16
17 // Crie um painel de introdução com rótulos.
18 var intro = ui.Panel([
19   ui.Label({
20     value: 'Two Chart Inspector',
21     style: {fontSize: '20px', fontWeight: 'bold'}
22   }),
23   ui.Label('Click a point on the map to inspect.')
24 ]);
25 panel.add(intro);
26
27 // Crie campos de entrada para latitude e longitude.
28 // Utilize "." como separador decimal e coloque as coordenadas com 4 casas decimais.
29 var lonInput = ui.Textbox('Longitude', '-36');
30 var latInput = ui.Textbox('Latitude', '-8');
31 panel.add(lonInput);
32 panel.add(latInput);
33
34 // Adicione um botão para gerar o gráfico com base nas coordenadas inseridas.
35 var generateButton = ui.Button('Gerar Gráfico de Precipitação', function() {
36   var lon = parseFloat(lonInput.getValue());
37   var lat = parseFloat(latInput.getValue());
38
39   // Valide as coordenadas.
40   if (isNaN(lon) || isNaN(lat)) {
41     ui.alert('Por favor, insira coordenadas válidas.');

```

2. REGISTROS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA DO GPM-IMERG

```

1 // Carrega a coleção de dados "NASA/GPM_L3/IMERG_V07" e define o período
2 var precipitationHourly = ee.ImageCollection("NASA/GPM_L3/IMERG_V07")
3   .filterDate('2011-01-01', '2024-01-01')
4   .select("precipitation"); // Seleciona a banda de precipitação
5
6 // Função para agregar as imagens por dia, somando as precipitações horárias
7 var precipitationDaily = ee.ImageCollection(
8   ee.List.sequence(0, ee.Date('2024-01-01').difference(ee.Date('2011-01-01'), 'day').subtract(1))
9   .map(function(dayOffset) {
10     var start = ee.Date('2011-01-01').advance(dayOffset, 'day');
11     var end = start.advance(1, 'day');
12     return precipitationHourly.filterDate(start, end)
13       .sum() // Soma as precipitações horárias para o dia
14       .set('system:time_start', start.millis()); // Define a data do dia para a imagem
15   })
16 );
17
18 // Configura o mapa
19 Map.setCenter(-36, -8, 6);
20
21 // Verifica se 'table' está definido antes de adicioná-lo como uma camada
22 if (typeof table !== 'undefined') {
23   Map.addLayer(table);
24 }
25
26 // Cria um painel para armazenar os widgets
27 var panel = ui.Panel();
28 panel.style().set('width', '300px');
29
30 // Cria um painel de introdução com rótulos
31 var intro = ui.Panel([
32   ui.Label({
33     value: 'Two Chart Inspector',
34     style: {fontSize: '20px', fontWeight: 'bold'}
35   }),
36   ui.Label('Click a point on the map to inspect.')
37 ]);
38 panel.add(intro);
39
40 // Campos de entrada para latitude e longitude
41 var lonInput = ui.Textbox('Longitude', '-36');
42 var latInput = ui.Textbox('Latitude', '-8');
43 panel.add(lonInput);
44 panel.add(latInput);
45
46 // Botão para gerar o gráfico
47 var generateButton = ui.Button('Gerar Gráfico de Precipitação', function() {
48   var lon = parseFloat(lonInput.getValue());
49   var lat = parseFloat(latInput.getValue());
50
51   // Validação das coordenadas
52   if (isNaN(lon) || isNaN(lat)) {
53     ui.alert('Por favor, insira coordenadas válidas.');

```

3. REGISTROS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA DO PERSIANN-CDR

```

1 var precipitation = ee.ImageCollection("NOAA/PERSIANN-CDR")
2   .filterDate('2011-01-01', '2024-01-01');
3
4 //Map.addLayer(precipitation, vis, 'Precipitation');
5 Map.setCenter(-36, -8, 6);
6
7 // Verifique se 'table' está definido antes de adicioná-lo como uma camada.
8 // Se 'table' não for necessário, remova a linha abaixo.
9 if (typeof table !== 'undefined') {
10   Map.addLayer(table);
11 }
12
13 // Crie um painel para armazenar os widgets.
14 var panel = ui.Panel();
15 panel.style().set('width', '300px');
16
17 // Crie um painel de introdução com rótulos.
18 var intro = ui.Panel([
19   ui.Label({
20     value: 'Two Chart Inspector',
21     style: {fontSize: '20px', fontWeight: 'bold'}
22   }),
23   ui.Label('Click a point on the map to inspect.')
24 ]);
25 panel.add(intro);
26
27 // Crie campos de entrada para latitude e longitude.
28 // Utilize "." como separador decimal e coloque as coordenadas com 4 casas decimais.
29 var lonInput = ui.Textbox('Longitude', '-36');
30 var latInput = ui.Textbox('Latitude', '-8');
31 panel.add(lonInput);
32 panel.add(latInput);
33
34 // Adicione um botão para gerar o gráfico com base nas coordenadas inseridas.
35 var generateButton = ui.Button('Gerar Gráfico de Precipitação', function() {
36   var lon = parseFloat(lonInput.getValue());
37   var lat = parseFloat(latInput.getValue());
38
39   // Valide as coordenadas.
40   if (isNaN(lon) || isNaN(lat)) {
41     ui.alert('Por favor, insira coordenadas válidas.');

```

4. REGISTROS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA DO ERA5-LAND

```

1 // Carregue a coleção de dados de precipitação do ERA5-LAND
2 var precipitation = ee.ImageCollection("ECMWF/ERA5_LAND/DAILY_AGGR")
3   .filterDate('2011-01-01', '2024-01-01')
4   .select('total_precipitation_sum'); // Selecione a variável de precipitação
5
6 // Configure o centro do mapa
7 Map.setCenter(-36, -8, 6);
8
9 // Verifique se 'table' está definido antes de adicioná-lo como uma camada.
10 // Se 'table' não for necessário, remova a linha abaixo.
11 if (typeof table !== 'undefined') {
12   Map.addLayer(table);
13 }
14
15 // Crie um painel para armazenar os widgets.
16 var panel = ui.Panel();
17 panel.style().set('width', '300px');
18
19 // Crie um painel de introdução com rótulos.
20 var intro = ui.Panel([
21   ui.Label({
22     value: 'Gráfico de Precipitação do ERA5',
23     style: {fontSize: '20px', fontWeight: 'bold'}
24   }),
25   ui.Label('Clique em um ponto no mapa para inspecionar.')
26 ]);
27 panel.add(intro);
28
29 // Crie campos de entrada para latitude e longitude.
30 var lonInput = ui.Textbox('Longitude', '-36');
31 var latInput = ui.Textbox('Latitude', '-8');
32 panel.add(lonInput);
33 panel.add(latInput);
34
35 // Adicione um botão para gerar o gráfico com base nas coordenadas inseridas.
36 var generateButton = ui.Button('Gerar Gráfico de Precipitação', function() {
37   var lon = parseFloat(lonInput.getValue());
38   var lat = parseFloat(latInput.getValue());
39
40   // Valide as coordenadas.
41   if (isNaN(lon) || isNaN(lat)) {
42     ui.alert('Por favor, insira coordenadas válidas.');

```

5. ESPACIALIZAÇÃO DA MÉDIA ACUMULADA ANUAL DO CHIRPS

```

1 // Importar a coleção do CHIRPS e filtrar para o período de 2001 a 2023
2 var chirps = ee.ImageCollection('UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY')
3   .filterDate('2001-01-01', '2023-12-31')
4   .filterBounds(geometry);
5
6 // Função para calcular a precipitação anual acumulada
7 var calculateAnnualPrecipitation = function(year) {
8   var start = ee.Date.fromYMD(year, 1, 1);
9   var end = ee.Date.fromYMD(year, 12, 31);
10
11   var annualPrecip = chirps
12     .filterDate(start, end)
13     .select('precipitation')
14     .reduce(ee.Reducer.sum()); // Somar todas as precipitações diárias do ano
15
16   return annualPrecip.set('year', year);
17 };
18
19 // Lista de anos de 2001 a 2023
20 var years = ee.List.sequence(2001, 2023);
21
22 // Calcular a precipitação anual acumulada para cada ano
23 var annualPrecipitationCollection = ee.ImageCollection(years.map(function(year) {
24   return calculateAnnualPrecipitation(year);
25 }));
26
27 // Calcular a média da precipitação anual acumulada
28 var meanAnnualPrecipitation = annualPrecipitationCollection
29   .reduce(ee.Reducer.mean()) // Tirar a média das precipitações anuais acumuladas
30   .reproject({crs: 'EPSG:4674', scale: 5000}); // Usar EPSG:4674 (SIRGAS 2000)
31
32 // Exibir os resultados no mapa
33 Map.centerObject(geometry);
34 Map.addLayer(meanAnnualPrecipitation.clip(geometry), {min: 0, max: 2000, palette: ['blue', 'green', 'yellow',
35   'orange', 'red']}, 'Média Anual de Precipitação');
36
37 // Exportar o raster como GeoTIFF
38 Export.image.toDrive({
39   image: meanAnnualPrecipitation.clip(geometry),
40   description: 'Mean_Annual_Precipitation_CHIRPS_2001_2023',
41   scale: 5000, // Ajuste a escala conforme necessário
42   region: geometry,
43   fileFormat: 'GeoTIFF',
44   crs: 'EPSG:4674' // Usando o EPSG 4674 (SIRGAS 2000)
45 });

```

6. ESPACIALIZAÇÃO DA MÉDIA ACUMULADA ANUAL DO GPM-IMERG

```

1 // Importar a coleção do GPM-IMERG e filtrar para o período de 2001 a 2023
2 var gpm = ee.ImageCollection('NASA/GPM_L3/IMERG_V07')
3   .filterDate('2001-01-01', '2023-12-31')
4   .filterBounds(geometry);
5
6 // Função para calcular a precipitação anual acumulada
7 var calculateAnnualPrecipitation = function(year) {
8   var start = ee.Date.fromYMD(year, 1, 1);
9   var end = ee.Date.fromYMD(year, 12, 31);
10
11   var annualPrecip = gpm
12     .filterDate(start, end)
13     .select('precipitation') // Selecionar a banda de precipitação calibrada
14     .reduce(ee.Reducer.sum()); // Somar todas as precipitações de 30 minutos ao longo do ano
15
16   return annualPrecip.set('year', year);
17 };
18
19 // Lista de anos de 2001 a 2023
20 var years = ee.List.sequence(2001, 2023);
21
22 // Calcular a precipitação anual acumulada para cada ano
23 var annualPrecipitationCollection = ee.ImageCollection(years.map(function(year) {
24   return calculateAnnualPrecipitation(year);
25 })));
26
27 // Calcular a média da precipitação anual acumulada
28 var meanAnnualPrecipitation = annualPrecipitationCollection
29   .reduce(ee.Reducer.mean()) // Tirar a média das precipitações anuais acumuladas
30   .reproject({crs: 'EPSG:4674', scale: 10000}); // Usar EPSG:4674 (SIRGAS 2000)
31
32 // Exibir os resultados no mapa
33 Map.centerObject(geometry);
34 Map.addLayer(meanAnnualPrecipitation.clip(geometry), {min: 0, max: 2000, palette: ['blue', 'green', 'yellow',
35   'orange', 'red']}, 'Média Anual de Precipitação');
36
37 // Exportar o raster como GeoTIFF
38 Export.image.toDrive({
39   image: meanAnnualPrecipitation.clip(geometry),
40   description: 'Mean_Annual_Precipitation_GPM_2001_2023',
41   scale: 10000, // Ajuste a escala conforme necessário
42   region: geometry,
43   fileFormat: 'GeoTIFF',
44   crs: 'EPSG:4674' // Usando o EPSG 4674 (SIRGAS 2000)
45 });

```

7. ESPACIALIZAÇÃO DA MÉDIA ACUMULADA ANUAL DO PERSIANN-CDR

```

1 // Importar a coleção do PERSIANN e filtrar para o período de 2001 a 2023
2 var chirps = ee.ImageCollection('NOAA/PERSIANN-CDR')
3   .filterDate('2001-01-01', '2023-12-31')
4   .filterBounds(geometry);
5
6 // Função para calcular a precipitação anual acumulada
7 var calculateAnnualPrecipitation = function(year) {
8   var start = ee.Date.fromYMD(year, 1, 1);
9   var end = ee.Date.fromYMD(year, 12, 31);
10
11   var annualPrecip = chirps
12     .filterDate(start, end)
13     .select('precipitation')
14     .reduce(ee.Reducer.sum()); // Somar todas as precipitações diárias do ano
15
16   return annualPrecip.set('year', year);
17 };
18
19 // Lista de anos de 2001 a 2023
20 var years = ee.List.sequence(2001, 2023);
21
22 // Calcular a precipitação anual acumulada para cada ano
23 var annualPrecipitationCollection = ee.ImageCollection(years.map(function(year) {
24   return calculateAnnualPrecipitation(year);
25 }));
26
27 // Calcular a média da precipitação anual acumulada
28 var meanAnnualPrecipitation = annualPrecipitationCollection
29   .reduce(ee.Reducer.mean()) // Tirar a média das precipitações anuais acumuladas
30   .reproject({crs: 'EPSG:4674', scale: 25000}); // Usar EPSG:4674 (SIRGAS 2000)
31
32 // Exibir os resultados no mapa
33 Map.centerObject(geometry);
34 Map.addLayer(meanAnnualPrecipitation.clip(geometry), {min: 0, max: 2000, palette: ['blue', 'green', 'yellow',
35   'orange', 'red']}, 'Média Anual de Precipitação');
36
37 // Exportar o raster como GeoTIFF
38 Export.image.toDrive({
39   image: meanAnnualPrecipitation.clip(geometry),
40   description: 'Mean_Annual_Precipitation_2001_2023',
41   scale: 25000, // Ajuste a escala conforme necessário
42   region: geometry,
43   fileFormat: 'GeoTIFF',
44   crs: 'EPSG:4674' // Usando o EPSG 4674 (SIRGAS 2000)
45 });

```

8. ESPACIALIZAÇÃO DA MÉDIA ACUMULADA ANUAL DO ERA5-LAND

```

1 // Importar a coleção do ERA5-Land e filtrar para o período de 2001 a 2023
2 var era5 = ee.ImageCollection('ECMWF/ERA5_LAND/DAILY_AGGR')
3   .filterDate('2001-01-01', '2023-12-31')
4   .filterBounds(geometry);
5
6 // Função para calcular a precipitação anual acumulada em milímetros
7 var calculateAnnualPrecipitation = function(year) {
8   var start = ee.Date.fromYMD(year, 1, 1);
9   var end = ee.Date.fromYMD(year, 12, 31);
10
11   // Filtrar e somar a precipitação diária do ano, convertendo de metros para milímetros
12   var annualPrecip = era5
13     .filterDate(start, end)
14     .select('total_precipitation_sum')
15     .map(function(image) {
16       return image.multiply(1000); // Converter de metros para milímetros
17     })
18     .reduce(ee.Reducer.sum()); // Somar todas as precipitações diárias do ano
19
20   return annualPrecip.set('year', year);
21 };
22
23 // Lista de anos de 2001 a 2023
24 var years = ee.List.sequence(2001, 2023);
25
26 // Calcular a precipitação anual acumulada para cada ano
27 var annualPrecipitationCollection = ee.ImageCollection(years.map(function(year) {
28   return calculateAnnualPrecipitation(year);
29 })));
30
31 // Calcular a média da precipitação anual acumulada
32 var meanAnnualPrecipitation = annualPrecipitationCollection
33   .reduce(ee.Reducer.mean()) // Tirar a média das precipitações anuais acumuladas
34   .reproject({crs: 'EPSG:4674', scale: 10000}); // Usar EPSG:4674 (SIRGAS 2000) e escala de 10 km
35
36 // Exibir os resultados no mapa
37 Map.centerObject(geometry);
38 Map.addLayer(meanAnnualPrecipitation.clip(geometry), {min: 0, max: 2000, palette: ['blue', 'green', 'yellow',
39   'orange', 'red']}, 'Média Anual de Precipitação');
40
41 // Exportar o raster como GeoTIFF
42 Export.image.toDrive({
43   image: meanAnnualPrecipitation.clip(geometry),
44   description: 'Mean_Annual_Precipitation_2001_2023_ERA5',
45   scale: 10000, // Escala de 10 km
46   region: geometry,
47   fileFormat: 'GeoTIFF',
48   crs: 'EPSG:4674' // Usando o EPSG 4674 (SIRGAS 2000)
49 });

```


APÊNDICE B – CÓDIGOS APLICADOS NO RSTUDIO

Em relação ao código apresentado aqui, os itens que estão escritos em **negrito** deverão ser substituídos pelo respectivo item que será aplicado por quem utilizar o código.

Instalação dos pacotes necessários, caso ainda não estejam instalados
`install.packages(c("hydroGOF", "Metrics", "dplyr", "readxl", "openxlsx"))`

Carregar os pacotes

`library(hydroGOF)`

`library(Metrics)`

`library(dplyr)`

`library(readxl)`

`library(openxlsx)`

Carregar os dados a partir de um arquivo .xlsx. O arquivo deve ser organizado de forma o registro de dados de cada estação pluviométrica esteja organizado em uma mesma coluna, em ordem cronológica, e que a primeira coluna seja correspondente à data que o dado foi registrado. Ademais, a primeira linha da coluna deve corresponder ao cabeçalho da tabela, indicando a coluna de data e, em seguida, as colunas de cada registro histórico que será avaliado.

NOME DO SEU ARQUIVO <- read_excel("**CAMINHO DO ARQUIVO**")

Lista de prefixos das colunas a serem comparadas. Deverá ser elencado um prefixo e um sufixo para cada coluna, ou seja, para cada registro que será avaliado. O prefixo deverá indicar um código para a estação ou o ponto que está sendo avaliado, enquanto o sufixo deverá indicar se a coluna corresponde aos dados da estação de referência ou do produto de satélite. Ex: Coluna 2: "1-ESTACAO"; Coluna 3: "1-CHIRPS"

`prefixos <- c("PREFIXO DA COLUNA A SER AVALIADA", "PREFIXO DA COLUNA A SER AVALIADA ", "PREFIXO DA COLUNA A SER AVALIADA ", "PREFIXO DA COLUNA A SER AVALIADA", ..., "PREFIXO DA COLUNA A SER AVALIADA ")`

Função para calcular os índices para um dado prefixo

```

calcular_indices <- function(prefixo) {
  ref <- as.numeric (NOME DO SEU ARQUIVO[[paste0(prefixo, "-REF")]])
  chirps <- as.numeric (NOME DO SEU ARQUIVO[[paste0(prefixo, "-CHIRPS")]])
  gpm <- as.numeric (NOME DO SEU ARQUIVO[[paste0(prefixo, "-GPM")]])
  persiann <- as.numeric (NOME DO SEU ARQUIVO[[paste0(prefixo, "-PERSIANN")]])
  era5L <- as.numeric (NOME DO SEU ARQUIVO[[paste0(prefixo, "-ERA5L")]])

  # Criar data frame temporário e remover linhas com valores ausentes. Caso o arquivo
  # não tenha nenhuma linha sem dados, esta etapa não será necessária.
  dados <- data.frame(ref, chirps, gpm, persiann, era5L)
  dados <- na.omit(dados)

  # Extrair colunas sem valores ausentes
  ref <- dados$ref
  chirps <- dados$chirps
  gpm <- dados$gpm
  persiann <- dados$persiann
  era5L <- dados$era5L

  # Cálculo dos índices
  rmse_chirps <- rmse(ref, chirps)
  rmse_gpm <- rmse(ref, gpm)
  rmse_persiann <- rmse(ref, persiann)
  rmse_era5L <- rmse(ref, era5L)

  pbias_chirps <- pbias(chirps, ref)
  pbias_gpm <- pbias(gpm, ref)
  pbias_persiann <- pbias(persiann, ref)
  pbias_era5L <- pbias(era5L, ref)

  cor_chirps <- cor(ref, chirps)
  cor_gpm <- cor(ref, gpm)
  cor_persiann <- cor(ref, persiann)
  cor_era5L <- cor(ref, era5L)

```

```

wilmott_chirps <- d(chirps, ref)
wilmott_gpm <- d(gpm, ref)
wilmott_persiann <- d(persiann, ref)
wilmott_era5L <- d(era5L, ref)

# Retorna um data frame com os resultados
data.frame(
  Índice = c("RMSE", "PBIAS", "Correlação de Pearson", "Coeficiente de
Concordância de Willmott"),
  CHIRPS = c(rmse_chirps, pbias_chirps, cor_chirps, wilmott_chirps),
  GPM = c(rmse_gpm, pbias_gpm, cor_gpm, wilmott_gpm),
  PERSIANN = c(rmse_persiann, pbias_persiann, cor_persiann, wilmott_persiann),
  ERA5L = c(rmse_era5L, pbias_era5L, cor_era5L, wilmott_era5L),
  Comparação = rep(paste0(prefixo, "-REF"), 5)
)
}

# Aplicar a função para cada prefixo e combinar os resultados
NOME DA PLANILHA DE SAÍDA <- do.call(rbind, lapply(prefixos, calcular_indices))

# Exibir os resultados
print(NOME DA PLANILHA DE SAÍDA)

# Exportar os resultados para um arquivo Excel
write.xlsx(NOME DA PLANILHA DE SAÍDA, "NOME DA PLANILHA DE SAÍDA.xlsx",
rowNames = FALSE)

```

APÊNDICE C – VALIDAÇÃO DIÁRIA EM CADA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Mesorregião	Código	Estação	CHIRPS			
			REMQ (mm/dia)	PBIAS (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife	835048	São Lourenço da Mata II	19,46	-8,80	0,32	0,50
	835138	Pirapama	16,25	-23,80	0,37	0,56
Mata Pernambucana	735066	Paudalho	13,43	-5,50	0,37	0,55
	735050	Engenho Sítio	13,73	-14,20	0,36	0,55
	835068	Vitória de Santo Antão	10,03	12,20	0,33	0,51
	835137	Pombos	9,19	16,60	0,37	0,56
	835140	Engenho Mato Grosso	16,96	-11,40	0,38	0,55
	835141	Palmares	15,80	-4,40	0,27	0,44
Agreste Pernambucano	20978	Sanharó	7,80	-4,40	0,25	0,45
	21024	Poção	9,28	-27,80	0,25	0,46
	21023	Brejo da Madre de Deus	9,25	-11,00	0,23	0,45
	20163	Jataúba	6,36	27,60	0,30	0,50
	20164	Santa Cruz do Capibaribe	6,58	28,00	0,26	0,47
	20165	Taquaritinga do Norte	9,99	-13,40	0,26	0,48
	20057	Vertentes	8,82	39,30	0,24	0,42
	20857	Cumaru	7,83	-2,50	0,32	0,53
	20056	Surubim	7,71	21,20	0,28	0,48
	19998	Salgadinho	10,24	20,50	0,29	0,48
	20020	Limoeiro	11,17	2,00	0,19	0,39
	211	Caruaru	6,46	-8,40	0,32	0,53
	19	Garanhuns	9,54	-0,50	0,25	0,45
	207	Iati	7,84	31,90	0,22	0,42
	22	Correntes	12,66	-26,70	0,22	0,43
Sertão Pernambucano	21136	Serra Talhada	8,11	0,70	0,39	0,58
	20226	Flores	7,43	8,40	0,41	0,61
	21081	Inajá	6,25	23,30	0,27	0,47
	21107	Açude Serrinha	8,99	5,30	0,23	0,38
	21160	Jacaré	6,09	3,60	0,45	0,64
	21164	Parnamirim	6,43	1,00	0,45	0,63
	21165	Poço do Fumo	6,26	8,50	0,45	0,64
	164	Santa Cruz da Venerada	6,93	17,50	0,36	0,53
	3	Araripina	7,11	-4,40	0,38	0,57
	473	Brejinho	8,46	-8,70	0,39	0,56
	16	Arcoverde	7,81	4,80	0,29	0,50
	81	Moreilândia	7,97	26,60	0,33	0,54
	14	Ibimirim	7,13	15,80	0,32	0,52
São Francisco Pernambucano	21105	Airi (Rochedo)	5,48	-2,60	0,43	0,62
	21109	Belém de São Francisco	6,22	0,30	0,38	0,55
	21126	Floresta	5,99	-15,80	0,48	0,61
	21180	Ibó	5,56	-6,10	0,51	0,66
	21183	Fazenda Tapera	5,69	-6,90	0,54	0,69
	21184	Santa Maria da Boa Vista	5,44	-8,40	0,48	0,65
	21216	Lagoa Grande	6,62	-5,10	0,44	0,60
	1	Afrânio	6,62	-5,70	0,45	0,62
	61	Petrolina 2 (INMET)	4,71	4,50	0,59	0,74
	77	Tacaratu	8,43	-8,60	0,32	0,53

Mesorregião	Código	Estação	GPM-IMERG			
			REMQ (mm/dia)	PBIAS (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife	835048	São Lourenço da Mata II	21,44	11,80	0,39	0,52
	835138	Pirapama	19,56	7,20	0,44	0,57
Mata Pernambucana	735066	Paudalho	16,66	35,60	0,46	0,56
	735050	Engenho Sítio	17,24	18,50	0,44	0,55
	835068	Vitória de Santo Antão	16,63	80,20	0,37	0,41
	835137	Pombos	14,10	61,70	0,41	0,48
	835140	Engenho Mato Grosso	16,95	-11,20	0,44	0,59
	835141	Palmares	14,53	-15,10	0,39	0,54
Agreste Pernambucano	20978	Sanharó	10,09	44,90	0,34	0,52
	21024	Poção	11,42	10,50	0,31	0,49
	21023	Brejo da Madre de Deus	10,74	10,60	0,31	0,49
	20163	Jataúba	9,86	109,60	0,36	0,48
	20164	Santa Cruz do Capibaribe	10,10	86,80	0,34	0,46
	20165	Taquaritinga do Norte	11,67	-14,80	0,29	0,47
	20057	Vertentes	10,84	42,10	0,31	0,43
	20857	Cumaru	11,30	32,90	0,35	0,47
	20056	Surubim	11,38	61,30	0,34	0,43
	19998	Salgadinho	11,91	23,60	0,36	0,50
	20020	Limoeiro	14,79	38,00	0,24	0,37
	211	Caruaru	11,40	75,90	0,44	0,51
	19	Garanhuns	10,24	-2,60	0,35	0,52
	207	Iati	10,05	65,50	0,32	0,45
	22	Correntes	13,66	-24,80	0,29	0,47
Sertão Pernambucano	21136	Serra Talhada	11,26	98,20	0,46	0,61
	20226	Flores	11,78	122,20	0,44	0,56
	21081	Inajá	9,91	106,10	0,30	0,41
	21107	Açude Serrinha	12,23	145,30	0,31	0,47
	21160	Jacaré	9,84	138,00	0,59	0,66
	21164	Parnamirim	10,41	134,10	0,58	0,65
	21165	Poço do Fumo	9,85	124,60	0,60	0,66
	164	Santa Cruz da Venerada	10,50	142,20	0,44	0,57
	3	Araripina	10,21	99,80	0,48	0,61
	473	Brejinho	12,15	105,90	0,49	0,63
	16	Arcoverde	10,69	62,40	0,36	0,51
	81	Moreilândia	12,73	169,30	0,44	0,54
	14	Ibimirim	9,85	97,20	0,42	0,57
São Francisco Pernambucano	21105	Airi (Rochedo)	9,01	115,60	0,53	0,62
	21109	Belém de São Francisco	9,46	177,20	0,46	0,59
	21126	Floresta	8,77	130,90	0,58	0,69
	21180	Ibó	9,50	137,80	0,60	0,67
	21183	Fazenda Tapera	9,60	125,70	0,65	0,70
	21184	Santa Maria da Boa Vista	9,06	129,60	0,59	0,66
	21216	Lagoa Grande	9,19	106,40	0,53	0,66
	1	Afrânio	9,61	107,10	0,55	0,67
	61	Petrolina 2 (INMET)	7,88	138,60	0,66	0,71
	77	Tacaratu	9,85	19,40	0,37	0,56

Mesorregião	Código	Estação	PERSIANN-CDR			
			REMQ (mm/dia)	PBIAS (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife	835048	São Lourenço da Mata II	14,45	-52,40	0,30	0,51
	835138	Pirapama	14,43	-49,20	0,36	0,57
Mata Pernambucana	735066	Paudalho	10,81	-36,80	0,36	0,57
	735050	Engenho Sítio	11,13	-44,90	0,35	0,57
	835068	Vitória de Santo Antão	10,50	-2,00	0,30	0,47
	835137	Pombos	9,91	8,50	0,38	0,54
	835140	Engenho Mato Grosso	12,93	-52,60	0,39	0,59
	835141	Palmares	12,68	-41,90	0,29	0,49
Agreste Pernambucano	20978	Sanharó	7,82	5,30	0,30	0,49
	21024	Poção	9,07	-22,50	0,28	0,48
	21023	Brejo da Madre de Deus	8,45	-24,20	0,28	0,50
	20163	Jataúba	6,86	54,10	0,33	0,52
	20164	Santa Cruz do Capibaribe	7,15	36,20	0,31	0,49
	20165	Taquaritinga do Norte	8,65	-37,50	0,29	0,51
	20057	Vertentes	7,85	5,90	0,25	0,45
	20857	Cumaru	8,39	0,50	0,31	0,51
	20056	Surubim	8,32	20,70	0,30	0,47
	19998	Salgadinho	8,99	-8,80	0,30	0,51
	20020	Limoeiro	10,85	-12,50	0,19	0,39
	211	Caruaru	8,16	17,10	0,38	0,55
	19	Garanhuns	8,29	-31,40	0,25	0,47
	207	Iati	7,52	15,40	0,26	0,45
	22	Correntes	10,45	-53,20	0,21	0,44
Sertão Pernambucano	21136	Serra Talhada	8,27	7,40	0,37	0,55
	20226	Flores	7,48	9,50	0,39	0,57
	21081	Inajá	6,52	38,30	0,26	0,45
	21107	Açude Serrinha	8,95	22,10	0,24	0,38
	21160	Jacaré	5,79	13,20	0,46	0,61
	21164	Parnamirim	6,01	2,10	0,48	0,62
	21165	Poço do Fumo	5,54	5,70	0,50	0,65
	164	Santa Cruz da Venerada	6,55	18,00	0,38	0,52
	3	Araripina	6,87	5,90	0,37	0,54
	473	Brejinho	8,79	20,00	0,38	0,57
	16	Arcoverde	7,70	8,70	0,30	0,51
	81	Moreilândia	6,96	6,50	0,37	0,54
	14	Ibimirim	7,11	22,10	0,35	0,53
São Francisco Pernambucano	21105	Airi (Rochedo)	5,85	21,80	0,41	0,59
	21109	Belém de São Francisco	6,37	22,10	0,35	0,51
	21126	Floresta	6,09	14,20	0,48	0,64
	21180	Ibó	5,64	14,80	0,48	0,64
	21183	Fazenda Tapera	5,91	1,20	0,48	0,62
	21184	Santa Maria da Boa Vista	5,44	9,10	0,47	0,62
	21216	Lagoa Grande	6,65	3,70	0,40	0,53
	1	Afrânio	6,58	0,40	0,43	0,56
	61	Petrolina 2 (INMET)	4,92	24,10	0,51	0,67
	77	Tacaratu	7,78	-34,60	0,31	0,49

Mesorregião	Código	Estação	ERA5-Land			
			REMQ (mm/dia)	PBIAS (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife	835048	São Lourenço da Mata II	12,39	-44,40	0,32	0,41
	835138	Pirapama	11,58	-32,50	0,40	0,48
Mata Pernambucana	735066	Paudalho	9,16	-32,00	0,33	0,44
	735050	Engenho Sítio	9,52	-39,40	0,34	0,45
	835068	Vitória de Santo Antão	6,84	3,10	0,30	0,45
	835137	Pombos	6,84	24,70	0,31	0,46
	835140	Engenho Mato Grosso	10,68	-43,50	0,40	0,47
	835141	Palmares	8,84	-33,90	0,38	0,47
Agreste Pernambucano	20978	Sanharó	6,91	-35,70	0,32	0,39
	21024	Poção	8,30	-54,90	0,27	0,35
	21023	Brejo da Madre de Deus	7,53	-52,80	0,26	0,36
	20163	Jataúba	5,61	-19,70	0,31	0,45
	20164	Santa Cruz do Capibaribe	5,66	-15,00	0,25	0,40
	20165	Taquaritinga do Norte	7,80	-57,10	0,24	0,37
	20057	Vertentes	5,95	-29,80	0,22	0,37
	20857	Cumaru	6,07	-24,40	0,26	0,39
	20056	Surubim	5,74	-9,00	0,24	0,39
	19998	Salgadinho	7,02	-27,30	0,27	0,38
	20020	Limoeiro	7,57	-32,10	0,23	0,35
	211	Caruaru	5,77	4,80	0,26	0,41
	19	Garanhuns	6,44	-28,80	0,34	0,47
	207	Iati	5,73	-9,00	0,30	0,48
	22	Correntes	8,39	-37,30	0,39	0,49
Sertão Pernambucano	21136	Serra Talhada	8,16	-36,90	0,31	0,45
	20226	Flores	7,47	-27,90	0,32	0,48
	21081	Inajá	5,41	-15,30	0,25	0,41
	21107	Açude Serrinha	8,86	-20,10	0,19	0,30
	21160	Jacaré	6,56	12,00	0,39	0,57
	21164	Parnamirim	6,38	-1,70	0,43	0,59
	21165	Poço do Fumo	6,27	5,40	0,41	0,58
	164	Santa Cruz da Venerada	6,88	14,80	0,33	0,48
	3	Araripina	7,19	2,30	0,38	0,57
	473	Brejinho	8,66	-41,70	0,28	0,41
	16	Arcoverde	6,29	-45,20	0,36	0,50
	81	Moreilândia	7,55	30,90	0,36	0,54
	14	Ibimirim	6,61	-39,70	0,32	0,44
São Francisco Pernambucano	21105	Airi (Rochedo)	5,82	-4,00	0,38	0,57
	21109	Belém de São Francisco	6,38	-8,50	0,33	0,48
	21126	Floresta	6,42	-19,80	0,41	0,56
	21180	Ibó	6,34	-9,30	0,37	0,54
	21183	Fazenda Tapera	6,17	-7,60	0,45	0,61
	21184	Santa Maria da Boa Vista	5,56	-2,60	0,45	0,60
	21216	Lagoa Grande	6,74	-5,80	0,40	0,54
	1	Afrânio	6,53	-1,60	0,45	0,60
	61	Petrolina 2 (INMET)	5,28	5,20	0,45	0,62
	77	Tacaratu	7,49	-47,10	0,33	0,43

APÊNDICE D – VALIDAÇÃO MENSAL EM CADA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Mesorregião	Código	Estação	CHIRPS			
			REMQ (mm/mês)	PBIAS (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife	835048	São Lourenço da Mata II	66,21	-8,80	0,86	0,92
	835138	Pirapama	79,21	-23,80	0,87	0,89
Mata Pernambucana	735066	Paudalho	40,12	-5,50	0,90	0,95
	735050	Engenho Sítio	48,55	-14,20	0,91	0,93
	835068	Vitória de Santo Antão	50,69	12,20	0,83	0,88
	835137	Pombos	43,71	16,60	0,79	0,88
	835140	Engenho Mato Grosso	69,15	-11,40	0,87	0,92
	835141	Palmares	62,29	-4,40	0,82	0,90
Agreste Pernambucano	20978	Sanharó	37,24	-4,40	0,81	0,85
	21024	Poção	68,40	-27,80	0,76	0,76
	21023	Brejo da Madre de Deus	41,39	-11,00	0,80	0,88
	20163	Jataúba	31,39	27,60	0,80	0,88
	20164	Santa Cruz do Capibaribe	29,90	28,00	0,79	0,87
	20165	Taquaritinga do Norte	43,25	-13,40	0,84	0,90
	20057	Vertentes	38,98	39,30	0,84	0,88
	20857	Cumaru	31,77	-2,50	0,85	0,90
	20056	Surubim	31,85	21,20	0,82	0,89
	19998	Salgadinho	50,95	20,50	0,72	0,84
	20020	Limoeiro	43,14	2,00	0,82	0,89
	211	Caruaru	31,71	-8,40	0,78	0,86
	19	Garanhuns	45,11	-0,50	0,79	0,87
	207	Iati	39,07	31,90	0,77	0,85
	22	Correntes	71,12	-26,70	0,79	0,84
Sertão Pernambucano	21136	Serra Talhada	38,34	0,70	0,88	0,92
	20226	Flores	38,00	8,40	0,85	0,92
	21081	Inajá	33,02	23,30	0,69	0,82
	21107	Açude Serrinha	45,41	5,30	0,74	0,84
	21160	Jacaré	30,19	3,60	0,85	0,92
	21164	Parnamirim	32,46	1,00	0,86	0,92
	21165	Poço do Fumo	32,48	8,50	0,85	0,92
	164	Santa Cruz da Venerada	35,78	17,50	0,81	0,90
	3	Araripina	36,61	-4,40	0,85	0,92
	473	Brejinho	39,97	-8,70	0,87	0,93
	16	Arcoverde	39,73	4,80	0,78	0,87
	81	Moreilândia	40,31	26,60	0,86	0,92
	14	Ibimirim	33,15	15,80	0,85	0,90
São Francisco Pernambucano	21105	Airi (Rochedo)	25,89	-2,60	0,88	0,93
	21109	Belém de São Francisco	41,12	0,30	0,75	0,83
	21126	Floresta	31,87	-15,80	0,85	0,90
	21180	Ibó	27,13	-6,10	0,87	0,93
	21183	Fazenda Tapera	28,35	-6,90	0,89	0,93
	21184	Santa Maria da Boa Vista	24,58	-8,40	0,91	0,94
	21216	Lagoa Grande	30,07	-5,10	0,88	0,92
	1	Afrânio	36,24	-5,70	0,88	0,91
	61	Petrolina 2 (INMET)	17,79	4,60	0,94	0,97
	77	Tacaratu	48,81	-8,60	0,71	0,82

Mesorregião	Código	Estação	GPM-IMERG			
			REMQ (mm/mês)	PBIAS (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife	835048	São Lourenço da Mata II	125,77	11,80	0,78	0,83
	835138	Pirapama	117,96	7,20	0,79	0,86
Mata Pernambucana	735066	Paudalho	114,55	35,60	0,82	0,80
	735050	Engenho Sítio	105,61	18,50	0,82	0,85
	835068	Vitória de Santo Antão	123,04	80,20	0,74	0,74
	835137	Pombos	99,00	61,70	0,80	0,75
	835140	Engenho Mato Grosso	110,36	-11,20	0,74	0,85
	835141	Palmares	92,44	-15,10	0,73	0,83
Agreste Pernambucano	20978	Sanharó	70,36	44,90	0,77	0,80
	21024	Poção	84,98	10,50	0,64	0,79
	21023	Brejo da Madre de Deus	66,74	10,60	0,77	0,83
	20163	Jataúba	79,80	109,60	0,83	0,74
	20164	Santa Cruz do Capibaribe	81,78	86,80	0,76	0,69
	20165	Taquaritinga do Norte	83,14	-14,80	0,61	0,76
	20057	Vertentes	77,48	42,10	0,74	0,73
	20857	Cumaru	78,61	32,90	0,75	0,76
	20056	Surubim	80,37	61,30	0,79	0,74
	19998	Salgadinho	76,20	23,60	0,77	0,80
	20020	Limoeiro	96,60	38,00	0,72	0,76
	211	Caruaru	88,19	75,90	0,79	0,71
	19	Garanhuns	85,73	-2,60	0,55	0,73
	207	Iati	79,43	65,50	0,67	0,72
	22	Correntes	105,32	-24,80	0,57	0,74
Sertão Pernambucano	21136	Serra Talhada	99,30	98,20	0,88	0,80
	20226	Flores	122,40	122,20	0,85	0,71
	21081	Inajá	86,97	106,10	0,72	0,63
	21107	Açude Serrinha	108,94	145,30	0,78	0,71
	21160	Jacaré	98,00	138,00	0,88	0,73
	21164	Parnamirim	103,69	134,10	0,89	0,75
	21165	Poço do Fumo	96,05	124,60	0,91	0,75
	164	Santa Cruz da Venerada	96,32	142,20	0,85	0,74
	3	Araripina	102,82	99,80	0,87	0,76
	473	Brejinho	122,49	105,90	0,90	0,76
	16	Arcoverde	90,52	62,40	0,72	0,74
	81	Moreilândia	138,24	169,30	0,85	0,69
	14	Ibimirim	82,77	97,20	0,86	0,78
São Francisco Pernambucano	21105	Airi (Rochedo)	86,38	115,60	0,88	0,75
	21109	Belém de São Francisco	91,94	177,20	0,79	0,73
	21126	Floresta	88,55	130,90	0,85	0,75
	21180	Ibó	92,68	137,80	0,88	0,74
	21183	Fazenda Tapera	88,52	125,70	0,93	0,79
	21184	Santa Maria da Boa Vista	84,20	129,60	0,90	0,78
	21216	Lagoa Grande	73,00	106,40	0,92	0,83
	1	Afrânio	76,32	107,10	0,92	0,85
	61	Petrolina 2 (INMET)	79,22	138,70	0,94	0,78
	77	Tacaratu	85,02	19,40	0,54	0,70

Mesorregião	Código	Estação	PERSIANN-CDR			
			REMQ (mm/mês)	PBIAS (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife	835048	São Lourenço da Mata II	121,48	-52,40	0,70	0,73
	835138	Pirapama	121,33	-49,20	0,72	0,76
Mata Pernambucana	735066	Paudalho	73,80	-36,80	0,75	0,82
	735050	Engenho Sítio	89,71	-44,90	0,74	0,79
	835068	Vitória de Santo Antão	66,00	-2,00	0,72	0,84
	835137	Pombos	55,85	8,50	0,77	0,86
	835140	Engenho Mato Grosso	121,00	-52,60	0,74	0,76
	835141	Palmares	95,02	-41,90	0,67	0,77
Agreste Pernambucano	20978	Sanharó	49,19	5,30	0,69	0,83
	21024	Poção	74,81	-22,50	0,63	0,76
	21023	Brejo da Madre de Deus	51,67	-24,20	0,72	0,83
	20163	Jataúba	44,38	54,10	0,80	0,85
	20164	Santa Cruz do Capibaribe	44,89	36,20	0,74	0,82
	20165	Taquaritinga do Norte	68,89	-37,50	0,64	0,77
	20057	Vertentes	43,19	5,90	0,75	0,85
	20857	Cumaru	49,60	0,50	0,74	0,85
	20056	Surubim	50,14	20,70	0,74	0,82
	19998	Salgadinho	50,27	-8,80	0,75	0,86
	20020	Limoeiro	66,81	-12,50	0,65	0,80
	211	Caruaru	48,92	17,10	0,75	0,83
	19	Garanhuns	66,74	-31,40	0,59	0,75
	207	Iati	51,67	15,40	0,64	0,79
	22	Correntes	109,96	-53,20	0,48	0,63
Sertão Pernambucano	21136	Serra Talhada	44,63	7,40	0,83	0,91
	20226	Flores	43,22	9,50	0,83	0,90
	21081	Inajá	45,20	38,30	0,67	0,78
	21107	Açude Serrinha	47,06	22,10	0,75	0,86
	21160	Jacaré	30,43	13,20	0,86	0,92
	21164	Parnamirim	31,63	2,10	0,87	0,93
	21165	Poço do Fumo	28,76	5,70	0,88	0,93
	164	Santa Cruz da Venerada	34,10	18,00	0,83	0,91
	3	Araripina	37,52	5,90	0,85	0,92
	473	Brejinho	44,74	20,00	0,87	0,92
	16	Arcoverde	54,75	8,70	0,68	0,82
	81	Moreilândia	39,18	6,50	0,84	0,91
	14	Ibimirim	39,32	22,10	0,81	0,89
São Francisco Pernambucano	21105	Airi (Rochedo)	33,79	21,80	0,83	0,90
	21109	Belém de São Francisco	43,82	22,10	0,72	0,83
	21126	Floresta	33,01	14,20	0,83	0,91
	21180	Ibó	27,79	14,80	0,87	0,93
	21183	Fazenda Tapera	32,88	1,20	0,85	0,91
	21184	Santa Maria da Boa Vista	30,46	9,10	0,85	0,91
	21216	Lagoa Grande	35,48	3,70	0,83	0,89
	1	Afrânio	38,19	0,40	0,85	0,90
	61	Petrolina 2 (INMET)	29,31	24,20	0,84	0,91
	77	Tacaratu	63,90	-34,60	0,53	0,69

Mesorregião	Código	Estação	ERA5-Land			
			REMQ (mm/mês)	PBIAS (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife	835048	São Lourenço da Mata II	113,61	-44,40	0,76	0,68
	835138	Pirapama	105,85	-32,50	0,80	0,74
Mata Pernambucana	735066	Paudalho	73,91	-32,00	0,74	0,72
	735050	Engenho Sítio	89,84	-39,40	0,76	0,69
	835068	Vitória de Santo Antão	67,34	3,20	0,66	0,71
	835137	Pombos	48,02	24,70	0,73	0,79
	835140	Engenho Mato Grosso	114,06	-43,50	0,83	0,69
	835141	Palmares	76,90	-33,90	0,84	0,75
Agreste Pernambucano	20978	Sanharó	45,66	-35,70	0,77	0,76
	21024	Poção	88,01	-54,90	0,58	0,58
	21023	Brejo da Madre de Deus	60,31	-52,80	0,74	0,70
	20163	Jataúba	34,05	-19,70	0,75	0,83
	20164	Santa Cruz do Capibaribe	33,00	-15,00	0,70	0,81
	20165	Taquaritinga do Norte	79,30	-57,10	0,61	0,62
	20057	Vertentes	40,20	-29,80	0,69	0,77
	20857	Cumaru	47,51	-24,40	0,64	0,71
	20056	Surubim	36,82	-9,00	0,70	0,79
	19998	Salgadinho	50,93	-27,30	0,72	0,73
	20020	Limoeiro	63,41	-32,10	0,66	0,66
	211	Caruaru	35,16	4,80	0,72	0,81
	19	Garanhuns	54,26	-28,80	0,77	0,76
	207	Iati	37,93	-9,00	0,74	0,83
	22	Correntes	83,39	-37,30	0,80	0,71
Sertão Pernambucano	21136	Serra Talhada	53,50	-36,90	0,78	0,84
	20226	Flores	47,78	-27,90	0,77	0,86
	21081	Inajá	32,27	-15,30	0,68	0,81
	21107	Açude Serrinha	48,41	-20,10	0,70	0,79
	21160	Jacaré	33,44	12,00	0,84	0,91
	21164	Parnamirim	35,85	-1,70	0,83	0,91
	21165	Poço do Fumo	33,82	5,40	0,84	0,91
	164	Santa Cruz da Venerada	38,53	14,80	0,78	0,88
	3	Araripina	43,90	2,30	0,83	0,90
	473	Brejinho	53,81	-41,70	0,81	0,84
	16	Arcoverde	47,73	-45,20	0,79	0,79
	81	Moreilândia	47,19	30,90	0,83	0,90
	14	Ibimirim	41,03	-39,70	0,80	0,83
São Francisco Pernambucano	21105	Airi (Rochedo)	31,77	-4,00	0,82	0,91
	21109	Belém de São Francisco	46,29	-8,50	0,67	0,78
	21126	Floresta	35,54	-19,80	0,80	0,87
	21180	Ibó	33,93	-9,30	0,80	0,89
	21183	Fazenda Tapera	34,30	-7,60	0,83	0,90
	21184	Santa Maria da Boa Vista	30,00	-2,60	0,85	0,92
	21216	Lagoa Grande	34,28	-5,80	0,84	0,90
	1	Afrânio	35,78	-1,60	0,87	0,92
	61	Petrolina 2 (INMET)	24,96	5,20	0,88	0,94
	77	Tacaratu	62,13	-47,10	0,62	0,68

APÊNDICE E – VALIDAÇÃO ANUAL EM CADA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Mesorregião	Código	Estação	CHIRPS			
			REMQ (mm/ano)	PBIAS (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife	835048	São Lourenço da Mata II	324,69	-8,80	0,63	0,72
	835138	Pirapama	521,38	-23,80	0,49	0,54
Mata Pernambucana	735066	Paudalho	159,09	-5,50	0,83	0,89
	735050	Engenho Sítio	267,86	-14,20	0,83	0,79
	835068	Vitória de Santo Antão	263,39	12,20	0,76	0,75
	835137	Pombos	183,30	16,60	0,79	0,80
	835140	Engenho Mato Grosso	314,23	-11,40	0,79	0,79
	835141	Palmares	186,79	-4,40	0,82	0,89
Agreste Pernambucano	20978	Sanharó	142,20	-4,40	0,80	0,81
	21024	Poção	457,07	-27,80	0,81	0,56
	21023	Brejo da Madre de Deus	153,05	-11,00	0,84	0,85
	20163	Jataúba	145,26	27,60	0,89	0,77
	20164	Santa Cruz do Capibaribe	156,42	28,00	0,83	0,75
	20165	Taquaritinga do Norte	246,11	-13,40	0,76	0,75
	20057	Vertentes	265,84	39,30	0,82	0,65
	20857	Cumarú	117,87	-2,50	0,83	0,87
	20056	Surubim	171,04	21,20	0,70	0,73
	19998	Salgadinho	256,82	20,50	0,50	0,63
	20020	Limoeiro	226,33	2,00	0,68	0,77
	211	Caruaru	112,94	-8,40	0,85	0,84
	19	Garanhuns	186,99	-0,50	0,69	0,80
	207	Iati	234,97	31,90	0,67	0,69
	22	Correntes	502,26	-26,70	0,45	0,57
Sertão Pernambucano	21136	Serra Talhada	145,71	0,70	0,74	0,84
	20226	Flores	123,87	8,40	0,85	0,90
	21081	Inajá	134,54	23,30	0,85	0,82
	21107	Açude Serrinha	186,97	5,30	0,72	0,75
	21160	Jacaré	107,82	3,60	0,71	0,81
	21164	Parnamirim	145,21	1,00	0,58	0,73
	21165	Poço do Fumo	147,90	8,50	0,64	0,75
	164	Santa Cruz da Venerada	132,98	17,50	0,75	0,81
	3	Araripina	100,69	-4,40	0,87	0,91
	473	Brejinho	159,38	-8,70	0,82	0,89
	16	Arcoverde	154,65	4,80	0,70	0,80
	81	Moreilândia	220,37	26,60	0,76	0,75
	14	Ibimirim	137,20	15,80	0,80	0,83
São Francisco Pernambucano	21105	Airi (Rochedo)	77,12	-2,60	0,91	0,93
	21109	Belém de São Francisco	126,00	0,30	0,66	0,77
	21126	Floresta	127,18	-15,80	0,83	0,79
	21180	Ibó	108,94	-6,10	0,77	0,83
	21183	Fazenda Tapera	95,97	-6,90	0,89	0,87
	21184	Santa Maria da Boa Vista	94,97	-8,40	0,91	0,91
	21216	Lagoa Grande	109,26	-5,10	0,85	0,88
	1	Afrânio	102,05	-5,70	0,79	0,86
	61	Petrolina 2 (INMET)	63,15	4,60	0,93	0,96
	77	Tacaratu	277,33	-8,60	0,67	0,72

Mesorregião	Código	Estação	GPM-IMERG			
			REMQ (mm/ano)	PBIAS (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife	835048	São Lourenço da Mata II	497,22	11,80	0,54	0,65
	835138	Pirapama	470,73	7,20	0,49	0,63
Mata Pernambucana	735066	Paudalho	554,56	35,60	0,83	0,61
	735050	Engenho Sítio	400,60	18,50	0,82	0,77
	835068	Vitória de Santo Antão	789,23	80,20	0,49	0,50
	835137	Pombos	528,59	61,70	0,70	0,55
	835140	Engenho Mato Grosso	398,23	-11,20	0,69	0,77
	835141	Palmares	356,17	-15,10	0,80	0,77
Agreste Pernambucano	20978	Sanharó	330,67	44,90	0,83	0,70
	21024	Poção	369,97	10,50	0,70	0,76
	21023	Brejo da Madre de Deus	227,10	10,60	0,79	0,82
	20163	Jataúba	505,78	109,60	0,86	0,47
	20164	Santa Cruz do Capibaribe	469,30	86,80	0,83	0,49
	20165	Taquaritinga do Norte	291,49	-14,80	0,72	0,80
	20057	Vertentes	343,67	42,10	0,83	0,67
	20857	Cumaru	318,69	32,90	0,82	0,71
	20056	Surubim	443,05	61,30	0,85	0,52
	19998	Salgadinho	292,68	23,60	0,76	0,74
	20020	Limoeiro	488,76	38,00	0,56	0,59
	211	Caruaru	503,77	75,90	0,85	0,51
	19	Garanhuns	241,92	-2,60	0,68	0,82
	207	Iati	455,95	65,50	0,63	0,56
	22	Correntes	468,68	-24,80	0,66	0,72
Sertão Pernambucano	21136	Serra Talhada	730,36	98,20	0,71	0,40
	20226	Flores	870,94	122,20	0,79	0,37
	21081	Inajá	504,71	106,10	0,83	0,49
	21107	Açude Serrinha	785,80	145,30	0,65	0,42
	21160	Jacaré	675,72	138,00	0,84	0,34
	21164	Parnamirim	736,42	134,10	0,82	0,37
	21165	Poço do Fumo	651,86	124,60	0,85	0,41
	164	Santa Cruz da Venerada	671,02	142,20	0,73	0,36
	3	Araripina	678,77	99,80	0,65	0,37
	473	Brejinho	849,95	105,90	0,84	0,42
	16	Arcoverde	475,22	62,40	0,78	0,56
	81	Moreilândia	1025,88	169,30	0,74	0,34
	14	Ibimirim	554,01	97,20	0,85	0,47
São Francisco Pernambucano	21105	Airi (Rochedo)	579,45	115,60	0,87	0,44
	21109	Belém de São Francisco	714,59	177,20	0,82	0,35
	21126	Floresta	642,35	130,90	0,82	0,41
	21180	Ibó	626,76	137,80	0,80	0,39
	21183	Fazenda Tapera	617,84	125,70	0,91	0,43
	21184	Santa Maria da Boa Vista	576,44	129,60	0,89	0,46
	21216	Lagoa Grande	498,88	106,40	0,90	0,51
	1	Afrânio	569,68	107,10	0,80	0,40
	61	Petrolina 2 (INMET)	547,91	138,70	0,90	0,43
	77	Tacaratu	339,81	19,40	0,61	0,75

Mesorregião	Código	Estação	PERSIANN-CDR			
			REMQ (mm/ano)	PBIAS (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife	835048	São Lourenço da Mata II	1018,25	-52,40	0,46	0,35
	835138	Pirapama	960,39	-49,20	0,37	0,36
Mata Pernambucana	735066	Paudalho	486,93	-36,80	0,77	0,53
	735050	Engenho Sítio	686,11	-44,90	0,64	0,47
	835068	Vitória de Santo Antão	294,88	-2,00	0,57	0,73
	835137	Pombos	229,84	8,50	0,58	0,75
	835140	Engenho Mato Grosso	1008,51	-52,60	0,65	0,39
	835141	Palmares	677,65	-41,90	0,62	0,45
Agreste Pernambucano	20978	Sanharó	167,73	5,30	0,68	0,81
	21024	Poção	464,39	-22,50	0,55	0,56
	21023	Brejo da Madre de Deus	263,84	-24,20	0,72	0,72
	20163	Jataúba	267,40	54,10	0,75	0,63
	20164	Santa Cruz do Capibaribe	226,53	36,20	0,72	0,67
	20165	Taquaritinga do Norte	421,26	-37,50	0,80	0,62
	20057	Vertentes	149,06	5,90	0,80	0,87
	20857	Cumaru	159,99	0,50	0,75	0,86
	20056	Surubim	215,38	20,70	0,69	0,71
	19998	Salgadinho	194,80	-8,80	0,69	0,81
	20020	Limoeiro	302,62	-12,50	0,51	0,69
	211	Caruaru	205,80	17,10	0,72	0,77
	19	Garanhuns	344,88	-31,40	0,68	0,65
	207	Iati	214,63	15,40	0,59	0,74
	22	Correntes	788,09	-53,20	0,50	0,45
Sertão Pernambucano	21136	Serra Talhada	175,13	7,40	0,68	0,81
	20226	Flores	166,91	9,50	0,72	0,83
	21081	Inajá	207,50	38,30	0,76	0,73
	21107	Açude Serrinha	224,94	22,10	0,65	0,73
	21160	Jacaré	125,82	13,20	0,74	0,82
	21164	Parnamirim	112,95	2,10	0,78	0,87
	21165	Poço do Fumo	128,08	5,70	0,74	0,84
	164	Santa Cruz da Venerada	146,96	18,00	0,69	0,78
	3	Araripina	195,31	5,90	0,44	0,66
	473	Brejinho	210,02	20,00	0,83	0,84
	16	Arcoverde	182,23	8,70	0,68	0,81
	81	Moreilândia	174,43	6,50	0,71	0,81
	14	Ibimirim	170,68	22,10	0,78	0,81
São Francisco Pernambucano	21105	Airi (Rochedo)	139,58	21,80	0,86	0,86
	21109	Belém de São Francisco	147,18	22,10	0,75	0,82
	21126	Floresta	138,92	14,20	0,74	0,83
	21180	Ibó	116,87	14,80	0,82	0,87
	21183	Fazenda Tapera	101,73	1,20	0,80	0,88
	21184	Santa Maria da Boa Vista	114,94	9,10	0,82	0,87
	21216	Lagoa Grande	124,40	3,70	0,77	0,85
	1	Afrânio	117,02	0,40	0,70	0,82
	61	Petrolina 2 (INMET)	140,51	24,20	0,77	0,80
	77	Tacaratu	394,42	-34,60	0,59	0,59

Mesorregião	Código	Estação	ERA5-Land			
			REMQ (mm/ano)	PBIAS (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife	835048	São Lourenço da Mata II	861,41	-44,40	0,66	0,41
	835138	Pirapama	654,47	-32,50	0,50	0,44
Mata Pernambucana	735066	Paudalho	425,91	-32,00	0,82	0,53
	735050	Engenho Sítio	600,12	-39,40	0,79	0,49
	835068	Vitória de Santo Antão	310,42	3,20	0,47	0,56
	835137	Pombos	239,73	24,70	0,72	0,70
	835140	Engenho Mato Grosso	836,56	-43,50	0,83	0,42
	835141	Palmares	542,12	-33,90	0,79	0,50
Agreste Pernambucano	20978	Sanharó	265,03	-35,70	0,79	0,62
	21024	Poção	646,32	-54,90	0,55	0,47
	21023	Brejo da Madre de Deus	473,06	-52,80	0,71	0,49
	20163	Jataúba	139,24	-19,70	0,73	0,77
	20164	Santa Cruz do Capibaribe	114,14	-15,00	0,81	0,84
	20165	Taquaritinga do Norte	624,47	-57,10	0,64	0,46
	20057	Vertentes	220,52	-29,80	0,77	0,67
	20857	Cumaru	228,91	-24,40	0,69	0,61
	20056	Surubim	110,85	-9,00	0,76	0,84
	19998	Salgadinho	265,31	-27,30	0,70	0,60
	20020	Limoeiro	379,68	-32,10	0,66	0,55
	211	Caruaru	108,23	4,80	0,81	0,86
	19	Garanhuns	303,64	-28,80	0,87	0,66
	207	Iati	142,49	-9,00	0,77	0,85
	22	Correntes	575,28	-37,30	0,76	0,54
Sertão Pernambucano	21136	Serra Talhada	324,08	-36,90	0,58	0,61
	20226	Flores	245,99	-27,90	0,74	0,74
	21081	Inajá	133,36	-15,30	0,73	0,80
	21107	Açude Serrinha	214,57	-20,10	0,67	0,74
	21160	Jacaré	116,69	12,00	0,82	0,86
	21164	Parnamirim	152,31	-1,70	0,64	0,80
	21165	Poço do Fumo	158,76	5,40	0,64	0,78
	164	Santa Cruz da Venerada	143,68	14,80	0,70	0,81
	3	Araripina	221,18	2,30	0,46	0,67
	473	Brejinho	337,86	-41,70	0,83	0,67
	16	Arcoverde	319,38	-45,20	0,90	0,60
	81	Moreilândia	268,23	30,90	0,68	0,73
	14	Ibimirim	237,84	-39,70	0,77	0,66
São Francisco Pernambucano	21105	Airi (Rochedo)	92,24	-4,00	0,89	0,93
	21109	Belém de São Francisco	160,25	-8,50	0,55	0,74
	21126	Floresta	142,25	-19,80	0,80	0,84
	21180	Ibó	159,62	-9,30	0,61	0,75
	21183	Fazenda Tapera	137,92	-7,60	0,69	0,82
	21184	Santa Maria da Boa Vista	129,57	-2,60	0,73	0,84
	21216	Lagoa Grande	141,67	-5,80	0,69	0,80
	1	Afrânio	122,76	-1,60	0,71	0,84
	61	Petrolina 2 (INMET)	89,95	5,20	0,85	0,91
	77	Tacaratu	459,41	-47,10	0,70	0,56