

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SUELEM DOS SANTOS FERNANDES

ANÁLISE DA ACURÁCIA EM DADOS DE PRECIPITAÇÃO ESTIMADOS PELOS
PRODUTOS DE SATÉLITE CHIRPS E IMERG PARA O ESTADO DO PARANÁ

CURITIBA

2024

SUELEM DOS SANTOS FERNANDES

ANÁLISE DA ACURÁCIA EM DADOS DE PRECIPITAÇÃO ESTIMADOS PELOS
PRODUTOS DE SATÉLITE CHIRPS E IMERG PARA O ESTADO DO PARANÁ

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Tony Vinicius Moreira Sampaio

CURITIBA

2024

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Fernandes, Suelem dos Santos

Análise da acurácia em dados de precipitação estimados pelos produtos de satélite CHIRPS e IMERG para o estado do Paraná / Suelem dos Santos Fernandes. – Curitiba, 2024.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Orientador: Tony Vinicius Moreira Sampaio

1. Precipitação (Meteorologia) – Paraná. 2. Satélites meteorológicos. 3. Ciclo hidrológico. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Sampaio, Tony Vinicius Moreira. IV. Título.

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO GEOGRAFIA -
40001016035P1

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação GEOGRAFIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **SUELEM DOS SANTOS FERNANDES** intitulada: **Análise da acurácia em dados de precipitação estimados pelos produtos de satélite CHIRPS e IMERG para o estado do Paraná**, sob orientação do Prof. Dr. TONY VINICIUS MOREIRA SAMPAIO, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 06 de Dezembro de 2024.

Assinatura Eletrônica

20/12/2024 18:08:26.0

TONY VINICIUS MOREIRA SAMPAIO
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

28/01/2025 17:17:54.0

ELIAS FERNANDO BERRA
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

20/12/2024 17:34:35.0

PEDRO AUGUSTO BREDAS FONTÃO
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

20/12/2024 17:13:47.0

FRANCISCO JABLINSKI CASTELHANO
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE)

Dedico a todas as pessoas que são minha rede de apoio, uma chuva constante que me impediu de precipitar nos momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à minha família. Agradeço à minha mãe, Martinha, pela sua coragem, que a fez atravessar um país para nos proporcionar um futuro melhor, e que, por sua obstinação nos fez estudar e (re)existir em uma sociedade cheias de barreiras e preconceitos. Agradeço ao meu pai, Antônio Carlos (*in memoriam*), que me deixou como herança a persistência e a confiança de que podemos, sim, mudar o nosso destino. Obrigada, pai.

Aos meus irmãos. À Érica, por me ensinar a estudar quando eu era criança e me incentivar a ler, além de todo o carinho dedicado ao longo dos anos. À Merian, por ser entusiasmada com tudo que faz, uma inspiração como pessoa que transforma o mundo em um lugar melhor. Ao meu irmão Diego, que me ensinou os primeiros cálculos matemáticos na infância com paciência eterna. Vocês fazem parte da pessoa e pesquisadora que me tornei. A vocês, o meu muito obrigada!

Ao meu companheiro de vida, Alisson Lucas, por todo carinho e dedicação que tem por nós. Sem você essa jornada teria sido ainda mais pesada, agradeço por ter me motivado a continuar e a me apoiar nos desafios que enfrentamos. Obrigada, meu amor.

Aos amigos e amigas, que me incentivaram para a conclusão desta pesquisa. A todos que contribuíram direta ou indiretamente ao longo dos anos, cada palavra de carinho, incentivo e gesto de bondade me motivaram a continuar. À Marina Fernanda, geógrafa excepcional, por ter me auxiliado na produção do material gráfico, me apoiado e me ouvido nos dias mais difíceis. Obrigada, amiga.

Ao professor Drº Tony Vinicius Moreira Sampaio pela orientação e encaminhamentos na pesquisa. Também ao Profº. Drº Pedro Fontão e ao Profº. Drº Elias Berra pelas indicações realizadas durante a banca de qualificação, que foram essenciais para o aprimoramento da pesquisa. À Universidade Federal do Paraná (UFPR), por proporcionar uma educação pública e de qualidade. Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPR, pelo suporte em nossa trajetória. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), por me apoiar parcialmente com a concessão de bolsa durante um período do curso.

Por fim, agradeço a todos aqueles que vieram antes de mim e que me impulsionaram a chegar até aqui. Sou também grata a mim mesma por minha perseverança e resistência ao longo deste percurso.

“Trago no sonho
e no sangue
Motivos pra lutar,
Ladeiras do divino
e becos da fome.
Quem cruzou
aquela ponte
não vai se esquecer.
O que eu sou,
eu sou em par.
Não cheguei sozinho.”

(Castanho | Álbum: Carbono | Autoria: Lenine e Carlos Posada, 2015)

RESUMO

A precipitação, caracterizada por sua intensa variabilidade espacial e temporal, desempenha um papel essencial no ciclo hidrológico e é um recurso indispensável para diversos setores da sociedade. O monitoramento desse fenômeno é realizado principalmente por estações pluviométricas, que, no entanto, podem apresentar erros nos registros devido a problemas operacionais, como defeitos ou manuseio inadequados dos equipamentos e falhas na transmissão de dados. Nesse contexto, os produtos de satélite, tais como o CHIRPS e o IMERG, surgem como alternativas viáveis para cobrir áreas sem estações ou com séries de dados incompletos. Porém, as estimativas fornecidas por esses produtos podem variar espacial e temporalmente, exigindo avaliações comparativas com dados de estações pluviométricas de referência. Diante disso, o objetivo central desta pesquisa é analisar a acurácia dos dados de precipitação estimados pelos produtos CHIRPS e IMERG para o estado do Paraná, considerando as variações temporais e espaciais. A análise dessas estimativas foi realizada por meio de comparação com observações de estações com monitoramento pluviométrico (EMP), nas escalas mensais e anuais. A área de estudo é o estado do Paraná, que se destaca por sua diversidade geomorfológica e climática. Para o alcance do objetivo principal foram realizadas a obtenção, avaliação e processamento dos dados de precipitação, além da aplicação de diversas estatísticas específicas para analisar a acurácia das estimativas dos produtos de satélites analisados. Foram selecionados 30 EMP para cada escala temporal de análise, considerando os critérios de representatividade geográfica, consistência temporal e qualidade dos dados. Observou-se que ambos os produtos apresentam erros, como subestimação ou superestimação da precipitação, que podem ser influenciados pela distribuição de estações utilizadas para calibração das estimativas, pela metodologia de coleta e processamento dos dados, bem como pela influência de fatores como o relevo e os sistemas atmosféricos. Os resultados obtidos podem contribuir para a discussão sobre a acurácia das estimativas de precipitação fornecidas pelos produtos CHIRPS e IMERG, oferecendo subsídios para sua aplicação em análises regionais e no planejamento de recursos hídricos.

Palavras-chave: IMERG; CHIRPS; Precipitação; Produtos de satélite; Paraná.

ABSTRACT

Precipitation, characterized by its intense spatial and temporal variability, plays an essential role in the hydrological cycle and is an indispensable resource for various sectors of society. The monitoring of this phenomenon is mainly carried out by rain gauge stations, which, however, may present errors in records due to operational issues, such as equipment malfunctions, improper handling, or data transmission failures. In this context, satellite-based products such as CHIRPS and IMERG emerge as viable alternatives to cover areas without stations or with incomplete data series. However, the estimates provided by these products may vary spatially and temporally, requiring comparative evaluations with reference rain gauge station data. Therefore, the main objective of this research is to analyze the accuracy of precipitation data estimated by the CHIRPS and IMERG products for the state of Paraná, considering temporal and spatial variations. The analysis of these estimates was conducted by comparing them with observations from rain gauge monitoring stations (EMP) at monthly and annual scales. The study area is the state of Paraná, which stands out for its geomorphological and climatic diversity. To achieve the main objective, precipitation data were obtained, evaluated, and processed, and various specific statistical methods were applied to assess the accuracy of the satellite-derived estimates. A total of 30 EMP were selected for each temporal scale of analysis, considering criteria such as geographic representativeness, temporal consistency, and data quality. It was observed that both products exhibit errors, such as underestimation or overestimation of precipitation, which may be influenced by the distribution of stations used for calibration, data collection and processing methodologies, as well as factors such as topography and atmospheric systems. The results obtained may contribute to the discussion on the accuracy of precipitation estimates provided by CHIRPS and IMERG, offering insights for their application in regional analyses and water resource planning.

Keywords: IMERG; CHIRPS; Precipitation; Satellite products; Paraná.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DO ESTADO DO PARANÁ.....	34
FIGURA 2 - UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS E MESORREGIÕES	36
FIGURA 3 - CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DO PARANÁ.....	38
FIGURA 4 - ETAPAS DE TRABALHO	42
FIGURA 5 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES COM MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO ANUAIS	55
FIGURA 6 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES COM MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO MENSAIS	57
FIGURA 7 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS RESÍDUOS DA PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA CHIRPS	87
FIGURA 8 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS RESÍDUOS PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA IMERG	88
FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS RESÍDUOS PARA MESES COM MENORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO DO CHIRPS	89
FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS RESÍDUOS PARA OS MESES COM MENORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO DO IMERG	90
FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS RESÍDUOS PARA OS MESES COM MAIORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO DO CHIRPS	91
FIGURA 12 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS RESÍDUOS PARA OS MESES COM MAIORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO DO IMERG.....	92

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA: EMP X CHIRPS	64
GRÁFICO 2 - PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA: EMP X IMERG	69
GRÁFICO 3 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DE PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA: CHIRPS E IMERG	70
GRÁFICO 4 – MESES COM MENORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO: EMP X CHIRPS	74
GRÁFICO 5 - MESES COM MENORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO: EMP X IMERG	77
GRÁFICO 6 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DOS MESES COM MENORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO: CHIRPS E IMERG	78
GRÁFICO 7 - MESES COM MAIORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO: EMP X CHIRPS	81
GRÁFICO 8 - MESES COM MAIORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO: EMP X IMERG	84
GRÁFICO 9 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DOS MESES COM MAIORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO: CHIRPS E IMERG	85

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - SATÉLITES QUE COMPÕEM A CONSTELAÇÃO GPM	25
QUADRO 2 - DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS SOBRE AVALIAÇÃO DOS PRODUTOS DE SATÉLITE	33
QUADRO 3 - DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS DE SATÉLITE	46
QUADRO 4 - ESTAÇÕES COM MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO ANUAIS..	56
QUADRO 5 - ESTAÇÕES COM MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO MENSAIS	58
QUADRO 6 - CARACTERIZAÇÃO DAS EMP POR UNIDADE, MESORREGIÃO E ESCALA DE ANÁLISE	59

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - RESÍDUO ENTRE A PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA DAS EMP E CHIRPS	61
TABELA 2 - ANÁLISE DESCRITIVA DA PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA CHIRPS	62
TABELA 3 - RESÍDUO ENTRE A PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA DAS EMP E IMERG	66
TABELA 4 - ANÁLISE DESCRITIVA DA PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA IMERG	67
TABELA 5 – MESES COM MENORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO: RESÍDUOS ENTRE AS EMP E O CHIRPS	72
TABELA 6 - ANÁLISE DESCRITIVA DOS MESES COM MENORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO CHIRPS	72
TABELA 7 - MESES COM MENORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO: RESÍDUOS ENTRE AS EMP E O IMERG	75
TABELA 8 - ANÁLISE DESCRITIVA DOS MESES COM MENORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO IMERG	76
TABELA 9 - MESES COM MAIORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO: RESÍDUOS ENTRE AS EMP E O CHIRPS	79
TABELA 10 - ANÁLISE DESCRITIVA DOS MESES COM MAIORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO E O CHIRPS	80
TABELA 11 - MESES COM MAIORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO: RESÍDUOS ENTRE AS EMP E O IMERG	82
TABELA 12 - ANÁLISE DESCRITIVA DOS MESES COM MAIORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO E O IMERG	83

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

Af	- Clima tropical superúmido
ÁGUASPARANÁ	- Instituto das Águas do Paraná
ANA	- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CC	- Coeficiente de Correlação
CCD	- <i>Cold Cloud Duration</i>
CCMs	- Complexos convectivos de mesoescala
Cfa/Cwa	- Clima subtropical
Cfb	- Clima temperado
CHIRP	- <i>Climate Hazards Group InfraRed Precipitation</i>
CHIRPS	- Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station
CHPclim	- <i>Climate Hazards Group Precipitation Climatology</i>
CMORPH	- Climate Prediction Center Morphing Technique
CNES	- Centro Nacional de Estudos Espaciais – França
CORRA	- Combined Radar-Radiometer Algorithm
CPC UNIFIED	- Climate Prediction Center Unified Gauge-Based Analysis of Global Daily Precipitation
CPTEC	- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CSI	- Índice de Sucesso Crítico
DMSP	- Defense Meteorological Satellite Program
DoD	- Department of Defense
DPR	- Dual-frequency Precipitation Radar
EMP	- Estação/ estações com Monitoramento Pluviométrico
ERVP	- Erro relativo ao volume precipitado
ETS	- Pontuação de Ameaça Equitativa
EUA	- Estados Unidos da América
FAR	- Taxa de Alarme Falso
GCOM-W1	- Global Change Observation Mission - Water 1
GEE	- Google Earth Engine
GHCN	- Global Historical Climate Network
GMI	- GPM Microwave Imager
GPCC	- Global Precipitation Climatology Centre
GPM -	- <i>Global Precipitation Measurement</i>

GPROF	- <i>Goddard Profiling Algorithm</i>
GSOD	- <i>Global Summary of the Day</i>
GTS	- Global Telecommunication System
IAPAR	- Instituto Agronômico do Paraná
IAT	- Instituto Água e Terra
IC	- Índice de concordância
IMD	- <i>Indian Meteorological Department</i>
IMERG	- Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ITCG	- Instituto de Terras, cartografia e Geociências
JAXA	- Japan Aerospace Exploration Agency
JPSS-1	- Joint Polar Satellite System-1
ME	- Erro médio
NASA	- <i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NOAA	- National Oceanic and Atmospheric Administration
NSE	- Nash-Sutcliffe Efficiency
OMM	- Organização Meteorológica Mundial
PERSIANN	- Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks
POD	- Probabilidade de detecção
PS	- Pontuação de Ameaça Equitativa
RMSE	- Root Mean Square Error
SABESP	- Companhia de Saneamento Básico de São Paulo
SANEPAR	- Companhia de Saneamento do Paraná
SASSCAL	- <i>Climate Change and Adaptive Land Management</i>
SIH	- Sistema de Informações Hidrológicas
SSD	- Sistema de Suporte a Decisões
TAMSAT	- Tropical Applications of Meteorology using Satellite
TMI	- TRMM Microwave Imager
TMPA	- TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis
TRMM	- Tropical Rainfall Measuring Mission
WMO	- World Meteorological Organization
ZCAS	- Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	19
1.1.1 Objetivo geral	19
1.1.2 Objetivos específicos.....	19
2 PRODUTOS DE SATÉLITE PARA ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO	20
2.1 CLIMATE HAZARDS GROUP INFRARED PRECIPITATION WITH STATIONS (CHIRPS)	21
2.2 INTEGRATED MULTI-SATELLITE RETRIEVALS FOR GPM (IMERG)	23
2.3 AVALIAÇÃO DAS ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO POR PRODUTOS DE SATÉLITE	27
3 MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	34
3.1.1 A precipitação no estado do Paraná	38
3.2 DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS.....	41
3.2.1 Fontes e obtenção dos dados de precipitação	42
3.2.2 Avaliação e processamento dos dados	46
3.2.3 Análise da acurácia	49
3.3 ESTAÇÕES COM MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO.....	54
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	60
4.1 ANÁLISE TEMPORAL DAS ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO CHIRPS E IMERG	60
4.1.1 Estimativas Anuais	60
4.1.2 Estimativas Mensais.....	71
4.2 ANÁLISE ESPACIAL DAS ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO NO PARANÁ ..	86
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	99
REFERÊNCIAS.....	102
APÊNDICE 1 – ESTAÇÕES COM MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO: PRINCIPAIS E VIZINHAS ANÁLISE ANUAL.....	111
APÊNDICE 2 – ESTAÇÕES COM MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO: PRINCIPAIS E VIZINHAS ANÁLISE MENSAL	115
APÊNDICE 3 – CÓDIGO PARA EXTRAÇÃO DOS VALORES DE PRECIPITAÇÃO DAS IMAGENS DO PRODUTO CHIRPS	119

APÊNDICE 4 – CÓDIGOS PARA EXTRAÇÃO DOS VALORES DE PRECIPITAÇÃO ANUAL DAS IMAGENS DO IMERG	121
APÊNDICE 5 – CÓDIGOS PARA EXTRAÇÃO DOS VALORES DE PRECIPITAÇÃO MENSAL DAS IMAGENS DO IMERG	123

1 INTRODUÇÃO

A precipitação envolve processos físicos complexos, possui elevada variabilidade espacial e temporal e é considerada um dos principais componentes do ciclo hidrológico, sendo assim um recurso essencial para diversas aplicações socioeconômicas (Ebert, Janowiak e Kidd, 2007; Tapiador et al., 2012; Pinheiro, 2016). As estações pluviométricas são fundamentais no monitoramento localizado da precipitação, e dependem diretamente da distribuição espacial para garantir a qualidade das informações fornecidas (Michaelides et al., 2009; Rosa et al., 2021). Contudo, estações estão suscetíveis a erros decorrentes de problemas operacionais, como defeitos nos equipamentos, manuseio inadequado e falhas na transmissão de dados (Tapiador et al., 2012).

No Brasil, a análise climática enfrenta desafios devido à baixa densidade de estações pluviométricas em algumas regiões e a problemas operacionais, o que compromete a disponibilidade de dados de precipitação e resulta em falhas nas séries de dados ou na ausência de registros (Franchito et al., 2009; Barbieri et al., 2013; Pereira et al., 2018). Considerando a relevância dos dados de precipitação para a gestão hídrica, o planejamento agrícola e os estudos ambientais, torna-se essencial explorar fontes alternativas de informação, como as estimativas de precipitação fornecidas por produtos de satélite (Tapiador et al., 2012; Pinheiro, 2016; Dinku et al., 2007; Aguiar e Lobo Junior, 2020).

Os produtos derivados de satélites são uma opção viável para áreas com baixa densidade de estações pluviométricas ou com dados indisponíveis, oferecendo uma cobertura mais abrangente (Franchito et al., 2009; Lima e Oliveira, 2021; Aguiar e Lobo Junior, 2020; Torres et al. 2020; Filgueiras et al., 2022). Nesse contexto, os produtos de satélite *Integrated Multi-satellite Retrievals for Global Precipitation Measurement* (IMERG) e o Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station (CHIRPS) podem ser utilizados como fontes alternativas de dados de precipitação, pois apresentam uma ampla cobertura espacial e temporal (Hou et al., 2014; Popovych e Dunaieva, 2021; Rosa et al., 2021). Esses produtos combinam dados de satélite, modelos estatísticos e correções baseadas em observações terrestres, para fornecer estimativas em diversas condições geográficas e climáticas. (Funk et al., 2015; Huffman et al., 2023).

Diante do avanço das tecnologias de sensoriamento remoto e o aumento no acesso a dados de precipitação estimados, a avaliação da qualidade e da utilidade desses dados se tornou um campo de pesquisa relevante (CONCAR, 2017; Filgueiras et al., 2022). A confiabilidade dessas estimativas pode ser avaliada por meio de comparações com dados observacionais fornecidos por estações com monitoramento pluviométrico (Michaelides et al., 2009; Filgueiras et al., 2022). Quando devidamente validados, os dados de precipitação estimados por produtos de satélite tornam-se essenciais para aplicações como previsão de inundações, gestão de recursos hídricos e estudos climáticos (Kidd e Levizzani, 2011). Porém, a variabilidade temporal e espacial da precipitação torna a análise desses dados mais complexa (Michaelides et al., 2009).

Estudos demonstram que o desempenho das estimativas por satélite varia conforme a região e a escala temporal analisada, ressaltando a importância de uma abordagem abrangente para a sua avaliação (Gadêlha et al., 2019; Costa et al., 2019; Torres et al., 2020; Nan et al., 2021). Os métodos de coleta, processamento de dados e ajustes de viés dos produtos de satélite são fatores que influenciam nos seus resultados (Morice et al., 2012). Como consequência, e para garantir a integridade das conclusões, é necessário analisar de forma criteriosa as estimativas fornecidas por esses produtos (Michaelides et al., 2009; Morice et al., 2012).

Diante desse cenário, o objetivo central desta pesquisa é analisar a acurácia das estimativas de precipitação fornecidas pelos produtos de satélite CHIRPS e IMERG para o estado do Paraná, considerando suas variações espaciais e temporais. A análise dessas estimativas será realizada por meio de comparação com observações de estações com monitoramento pluviométrico (EMP), nas escalas de tempo mensal e anual, a fim de garantir a confiabilidade e aplicabilidade desses dados em análises climáticas regionais.

Nesta pesquisa, o termo “estação com monitoramento pluviométrico” será utilizado para englobar as diversas estruturas que observam e registram variáveis ambientais e climáticas diretamente na superfície terrestre. O termo abrange estações meteorológicas automáticas e convencionais, pluviômetros, estações de tratamento de esgoto, estações experimentais e outros dispositivos utilizados para o monitoramento das condições climáticas e hidrológicas.

Para o desenvolvimento da temática proposta, além dessa primeira seção introdutória, a estrutura da pesquisa está organizada em mais três capítulos, seguidos

pelas considerações finais. O capítulo 2, discute a utilização e a avaliação de produtos de satélite para a estimativa de precipitação. Esses produtos permitem a obtenção de dados sobre precipitação por meio de tecnologias de sensoriamento remoto, abrangendo escalas espaciais e temporais que podem superar as capacidades das estações meteorológicas convencionais (Kidd e Levizzani, 2011). O capítulo também apresenta os produtos CHIRPS e IMERG que serão analisados nesta pesquisa.

O Capítulo 3 descreve os procedimentos metodológicos realizados para alcançar os objetivos desse trabalho, incluindo a coleta dos dados de precipitação, sua avaliação e processamento. Além disso, são descritas as abordagens estatísticas empregadas para verificar a acurácia das estimativas dos produtos de satélite analisados. Também são apresentadas as características da área de estudo. Esta seção inclui a caracterização das estações com monitoramento pluviométrico selecionadas.

Nesta pesquisa, a área de estudo foi o estado do Paraná, que se destaca por sua diversidade geomorfológica e climática. O relevo da região é caracterizado por planaltos elevados, áreas serranas e grandes bacias hidrográficas (Santos et al., 2006; Fritzsons et al., 2011). Além disso, o Paraná está sob a influência de três domínios climáticos que são Cfa (subtropical), Cfb (temperado) e Af (Clima tropical superúmido), o que resulta em uma intensa variação de temperaturas, tanto do norte ao sul quanto das regiões de baixas para altas altitudes, além de uma acentuada variação pluviométrica (Fritzsons et al., 2011). Essa diversidade climática torna o estado uma área de interesse para a análise proposta nesse estudo.

Por fim, o Capítulo 4 apresenta os resultados da pesquisa, acompanhados de uma discussão detalhada sobre os dados obtidos e suas interpretações. Nesse capítulo, são abordadas tanto as análises temporais das estimativas de precipitação dos produtos CHIRPS e IMERG quanto as análises espaciais dessas estimativas. Esse conjunto de análises permite uma compreensão mais aprofundada da acurácia dos dados de precipitação derivados dos produtos de satélite, considerando diferentes períodos e regiões do estado.

Diante da necessidade de superação dos desafios associados à carência de dados de precipitação em diversas regiões do mundo, a pesquisa pretende contribuir para a discussão sobre a acurácia nas estimativas de precipitação por produtos de satélite e seu impacto na análise climática. Além de fornecer informações que podem colaborar para aprimorar a aplicação prática dessas tecnologias.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a acurácia dos dados de precipitação estimados pelos produtos CHIRPS e IMERG para o estado do Paraná, por meio de comparação com dados de estação com monitoramento pluviométrico e da análise das variações temporais e espaciais.

1.1.2 Objetivos específicos

- Selecionar dados de precipitação das estações com monitoramento pluviométrico do Paraná, considerando a representatividade geográfica, temporal e a qualidade dos dados;
- Analisar as discrepâncias e concordâncias entre os dados estimados e observados, considerando as variações temporais e espaciais no Paraná.

2 PRODUTOS DE SATÉLITE PARA ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO

Os produtos de satélite fornecem estimativas de precipitação em ampla escala temporal e espacial (Kidd e Levizzani, 2011; Hou et al., 2014). Esses produtos utilizam tecnologias de sensoriamento remoto para fornecer informações sobre a precipitação com base em dados de satélite, minimizando assim as limitações dos instrumentos convencionais e os problemas recorrentes, tais como a distribuição desigual de pluviômetros e radares pela superfície terrestre (Kidd e Levizzani, 2011). Além disso, disponibilizam dados com alta frequência temporal, permitindo análises mais dinâmicas (Tapiador et al., 2012).

As estimativas de precipitação podem ser utilizadas para aplicação em diferentes contextos (Mahanta et al., 2024; Kuki, Ferreira e Reboita, 2021). No estudo de Massari et al. (2020), por exemplo, foram utilizados dados do IMERG - GPM para desenvolver um produto de precipitação de curta latência, combinando-o com estimativas de umidade do solo de satélites, com o objetivo de melhorar a acurácia das estimativas de precipitação em regiões que sofrem com a escassez de dados na África e América do Sul, além de testar o desempenho na Índia, Estados Unidos, Austrália e Europa. Enquanto Nascimento e Oliveira (2018) utilizaram dados de precipitação do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) para analisar os padrões pluviométricos em Goiás e no Distrito Federal, evidenciando a evolução das técnicas de estimativa de precipitação desde os primeiros satélites meteorológicos.

Os produtos de satélite, com sua cobertura quase global, fornecem informações detalhadas sobre a precipitação, tornando-se essenciais para o monitoramento e análise do clima (Hou et al., 2014). A integração de dados de satélite com outras fontes, como reanálises climáticas e modelos globais, potencializa a capacidade de monitorar e estudar as condições climáticas, ampliando as oportunidades para análises mais aprofundadas e uma visão mais abrangente do comportamento climático (Slivinski, 2018; Silva et al., 2019). Esses dados são necessários para a compreensão de fenômenos climáticos e oferecem subsídios importantes para a tomada de decisões em áreas como planejamento urbano, gestão de recursos naturais e mitigação de riscos ambientais (Kuki; Ferreira; Reboita, 2021).

Diante disso, é importante reconhecer as questões sobre a acurácia das estimativas de precipitação por produtos de satélite, onde a validação por meio de medições por estações meteorológicas é uma etapa fundamental para caracterizar as

incertezas nas estimativas (Michaelides et al., 2009). Diferenças entre conjuntos de dados de produtos de satélite, sejam decorrentes de métodos de coleta, processamento ou ajustes de viés, exigem uma análise cuidadosa para garantir a integridade das pesquisas climáticas (Morice et al., 2012). A heterogeneidade dos dados e as incertezas associadas reforçam a importância de utilizar múltiplos conjuntos de dados e adotar metodologias eficientes nas análises climáticas (Morice et al., 2012).

2.1 CLIMATE HAZARDS GROUP INFRARED PRECIPITATION WITH STATIONS (CHIRPS)

O *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station* (CHIRPS) é um produto de satélite desenvolvido pelo United States Geological Survey (USGS) e pelo Climate Hazards Group da University of California, Santa Barbara (UCSB), que disponibiliza dados de precipitação em diferentes resoluções temporais. Esse produto é formado por diversas fontes de informações, incluindo dados de satélites e estações meteorológicas (Funk et al., 2015; Costa et al., 2019). Com resolução espacial de 0,05°, ele cobre uma ampla área geográfica, de 50°S a 50°N, disponibilizando dados estimados de precipitação de 1981 até o presente (Funk et al., 2015).

O produto de satélite combina técnicas de interpolação com estimativas de precipitação de alta resolução, baseadas na *Cold Cloud Duration* (CCD) por infravermelho, que representa o tempo acumulado em que o topo das nuvens permanece abaixo de um determinado limiar de temperatura, sendo um indicador indireto da ocorrência e intensidade da precipitação. O algoritmo primeiro integra informações de satélite, depois gera estimativas diárias, pentadais (períodos de cinco dias) e mensais de precipitação a partir dos dados CCD, e finalmente combina essas estimativas com dados de estações meteorológicas. O produto preliminar do CHIRPS é disponibilizado em aproximadamente 2 dias, enquanto o produto final tem uma latência média de 3 semanas, que utiliza correlações espaciais das estimativas de CCD (Funk et al., 2015).

O *Climate Hazards Group Precipitation Climatology* (CHPclim) é um conjunto de dados que fornece uma climatologia global de precipitação mensal com alta resolução espacial, representando as condições médias de precipitação ao longo do tempo. Ele se baseia em médias mensais históricas de longo prazo de dois conjuntos

de dados, um da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) com 27.453 estações, e outro do Global Historical Climate Network (GHCN) com 20.591 estações. O CHPclim é aprimorado com dados de altitude, latitude, longitude, e cinco produtos de satélite, incluindo estimativas de precipitação e temperatura da superfície terrestre (Funk et al. 2015).

O *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation* (CHIRP) é um produto de estimativa de precipitação derivado da média climatológica mensal do CHPclim, ajustado para capturar variações pentadais de precipitação. E usa dados de satélite de contagem de dias com CCD para estimar a precipitação. Essas estimativas são calibradas usando dados de precipitação pentadais do produto TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis (TMPA 3B42) (Funk et al. 2015).

Por sua vez, o CHIRPS é um produto de precipitação que combina dados de satélite com medições de estações meteorológicas. O produto utiliza um algoritmo de ponderação de distância inversa para estimar a precipitação, que considera que a influência das estações meteorológicas diminui com a distância. A partir do CHIRP, o algoritmo estabelece uma distância de correlação local, que é a distância onde a correlação entre as medições é zero, excluindo as estações mais distantes. Para calcular essa distância se analisa a correlação média das estações a 1,5° de distância, sendo considerada perfeita quando a distância é zero, e diminuído à medida que a distância aumenta. Essa correlação varia no espaço e no tempo, sendo mais forte em áreas com convecção intensa, onde as medições de precipitação estão mais interligadas (Funk et al. 2015).

O CHIRPS fornece dados de precipitação em escalas diárias, pentadais e mensais, construídos a partir de informações históricas de precipitação, que incluem médias mensais de longo prazo de estações meteorológicas e produtos de satélite. Utiliza tanto dados privados quanto fontes públicas, tais como as informações de estações da *Global Historical Climate Network* (GHCN) em versões mensal e diária, o *Global Summary of the Day* (GSOD) atualizado mensalmente, o *Global Telecommunication System* (GTS) da Organização Meteorológica Mundial, que fornece dados diários, e o *Southern African Science Service Centre for Climate Change and Adaptive Land Management* (SASSCAL), que contribui com dados mensais. O produto final é produzido uma vez por mês com um atraso de aproximadamente três semanas (Funk et al. 2015).

O produto se destaca por integrar dados de climatologia global, estimativas de satélite e observações de estações meteorológicas distribuídas pela superfície terrestre, permitindo gerar estimativas confiáveis de precipitação (Funk et al. 2015). Essa combinação é essencial para a previsão de eventos hidrológicos, como secas e inundações, em várias regiões do mundo, abrangendo áreas da América do Sul, África e Ásia (Dinku et al., 2018; Guo et al., 2017; Paca et al., 2020). Diferentes estudos demonstraram que o CHIRPS é eficiente em áreas onde as redes de estações meteorológicas são escassas, oferecendo uma alternativa para o monitoramento climático (Gebrechorkos; Hülsmann; Bernhofer et al., 2018; Costa et al., 2019; Paca et al. 2020).

A pesquisa de Pereira et al. (2018), que usou dados do CHIRPS para analisar a distribuição espacial da precipitação em Minas Gerais entre os anos 1981 e 2017, observou que compreender o regime de precipitação esbarra na ausência de estações meteorológicas suficientes para cobrir todo o território brasileiro. Então, uma alternativa eficiente é a utilização de dados de produtos de satélite, tais como o CHIRPS, amplamente utilizados em diversas partes do mundo para análise do clima (Pereira et al., 2018).

Em estudos realizados na Bacia Inferior do Mekong, na Ásia, e na Bacia Amazônica, na América do Sul, o CHIRPS apresentou um alto desempenho na detecção de padrões sazonais de precipitação, incluindo a quantidade total de chuva e a duração dos períodos secos (Guo et al., 2017; Paca et al., 2020). A capacidade do CHIRPS em representar a variabilidade da precipitação em diferentes regiões destaca sua aplicabilidade em análises climáticas regionais, e áreas com baixa densidade de pluviômetros (Pereira et al., 2018; Gebrechorkos; Hülsmann; Bernhofer et al., 2018).

2.2 INTEGRATED MULTI-SATELLITE RETRIEVALS FOR GPM (IMERG)

A *Global Precipitation Measurement* (GPM) é uma missão conjunta da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e da *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA) lançada em fevereiro de 2014, com o objetivo de fornecer dados globais de precipitação com alta resolução temporal e espacial. O principal produto dessa missão é o *Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM* (IMERG – GPM), sendo desenvolvido para aprimorar a detecção e estimativa de precipitação

que era realizada pelo seu antecessor, o *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) (Hou et al., 2014; NASA, 2024).

O IMERG fornece dados com uma resolução espacial de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ organizados em grades, intercalibrados com o produto *Combined Instrument* do GPM e combinados em intervalos de meia hora, permitindo análises detalhadas das condições de precipitação em escala global (Hou et al., 2014; Huffman et al., 2023). Este algoritmo é projetado para intercalibrar, mesclar e interpolar estimativas de precipitação obtidas por satélites de micro-ondas e infravermelho, além de dados de observações em solo, para gerar estimativas em diferentes escalas temporais e espaciais (Huffman et al., 2023).

O observatório central do GPM é equipado com o GPM Microwave Imager (GMI), um sensor de micro-ondas que opera com escaneamento cônico em multicanais, apresentando frequências que variam entre 10 GHz e 183,3 GHz, além de um radar de precipitação de frequência dual (DPR) que utiliza a banda Ku a 13,6 GHz e a banda Ka a 35,5 GHz (Huffman et al., 2023). A combinação de radar e métodos radiométricos, utilizada na era TRMM, foi aprimorada pelo DPR, que oferece estimativas mais detalhadas sobre a forma, tamanho e fase dos hidrometeoros. O DPR, com uma banda dupla (Ku/Ka), é capaz de detectar chuvas leves e neve (Tapiador et al., 2012).

A calibração para estimativas de precipitação das missões GPM E TRMM é realizada pelo Combined Radar-Radiometer Algorithm (CORRA). O CORRA-G, utilizado pelo GPM, integra dados do radiômetro GMI e do radar de precipitação DPR, enquanto o CORRA-T, da era TRMM, combina dados do radiômetro TRMM Microwave Imager (TMI) e do radar PR. Esses algoritmos combinados produzem estimativas mais confiáveis ao unir informações de radares e radiômetros, estabelecendo um padrão de referência para a calibração de outros produtos de precipitação (Huffman et al., 2023). Além do satélite principal, a constelação GPM é composta por vários satélites equipados com radiômetros semelhantes ao GMI ou instrumentos de sondagem de micro-ondas (QUADRO 1).

QUADRO 1 - SATÉLITES QUE COMPÕEM A CONSTELAÇÃO GPM

Satélite	Agência Responsável	País/Região
DMSP F17/F18/F19/F20	DOD	EUA
GCOM-W1	JAXA	Japão
JPSS-1	NASA/NOAA	EUA
Megha-Tropiques	CNES	França
MetOp-B	ESA	Europa
NOAA 18/19	NOAA	EUA
Suomi	NASA/NOAA	EUA
TRMM	NASA/JAXA	EUA/Japão

FONTE: Huffman et al. (2023)

Os sensores principais do satélite GPM são utilizados como referência para intercalibrar os radiômetros dos satélites parceiros, assegurando assim observações radiométricas consistentes em toda a constelação (Tapiador et al. 2012; Hou et al., 2014).

O IMERG realiza múltiplas iterações para cada intervalo de observação, fornecendo estimativas preliminares que são refinadas com a incorporação de novos dados. A versão final utiliza dados de estações de monitoramento climático terrestre mensais para gerar produtos aplicáveis à pesquisa (Huffman et al., 2023). O primeiro produto, conhecido como *Early Run* (rodada recente), é disponibilizado 6 horas após a captura de informações dos satélites. Apesar de ser o menos refinado, fornece dados quase em tempo real, sendo útil para a previsão de eventos climáticos extremos, como enchentes (Gadêlha, 2018). O segundo, chamado *Late Run* (rodada tardia), está disponível após 14 horas e, embora tenha a mesma função do *Early Run*, passa por um processamento adicional, resultando em estimativas um pouco mais refinadas (Gadêlha, 2018; Huffman et al., 2023).

Finalmente, destaca-se o produto de melhor tratamento de dados, denominado *Final Run* (rodada final), que passa por um processo de validação com dados observados em solo (Gadêlha, 2018; Huffman et al., 2023). O IMERG *Final Run* utiliza o *Goddard Profiling Algorithm* (GPROF), sendo a versão mais recente, o GPROF2021, que aprimora a capacidade de estimar precipitação a partir de dados de micro-ondas. Este produto é disponibilizado cerca de 3 a 4 meses após a passagem dos satélites e é o mais indicado para a realização de estudos (Huffman et al., 2023).

Na fase de validação do IMERG *Final Run*, são utilizados dados de radares e pluviômetros, como os do *Global Precipitation Climatology Centre* (GPCC), que

fornece análises de precipitação de alta qualidade com base em pluviômetros convencionais. Nessa fase, dois produtos do GPCC são empregados, sendo o *Full Data Analysis*, que cobre o período de 1901 a 2020 e inclui dados de diversas fontes globais, e o *Monitoring Product*, que utiliza relatórios mensais recebidos em tempo quase real. Esses dados são coletados de aproximadamente 7.000 a 9.000 estações meteorológicas em várias partes do mundo e transmitidos por meio do *Global Telecommunication System* (GTS). A validação com dados em solo e o refinamento dos algoritmos garantem uma maior qualidade nas estimativas, permitindo que o IMERG também consiga captar a variabilidade espacial e temporal da precipitação em regiões onde as medições em solo são limitadas (Huffman et al., 2023).

Estudos demonstraram que o IMERG pode ser utilizado para análises em diferentes regiões, tais como a China e a bacia amazônica, onde a capacidade de estimar eventos de precipitação extrema é essencial para a gestão de recursos hídricos e a mitigação de desastres (Nan et al., 2021; Zubieta et al., 2017). Porém, o desempenho do IMERG varia conforme a região e as condições climáticas. Por exemplo, na região central da Amazônia, o IMERG tende a superestimar a frequência de eventos de precipitação intensa em certas horas do dia, enquanto subestima em períodos secos (Oliveira et al., 2016). Isso ressalta a importância de ajustes contínuos nos algoritmos de recuperação de dados para garantir bons resultados em diferentes contextos (Prakash e Srinivasan, 2021; Keikhosravi-Kiany e Balling Junior, 2024).

Além disso, o IMERG tem sido amplamente utilizado em modelagem hidrológica e simulações de vazões, demonstrando sua utilidade na previsão de eventos hidrológicos e na gestão de recursos hídricos em bacias isoladas (Zubieta et al., 2017; Yuan et al., 2017). A capacidade do IMERG de fornecer dados em tempo quase real também é um fator importante para aplicações em monitoramento de desastres naturais, como eventos de precipitação extrema e inundações (Liu et al., 2020). Essa capacidade auxilia na compreensão dos ciclos hídricos e energéticos da Terra, aprimora a previsão de eventos extremos e oferece estimativas de precipitação para áreas sem monitoramento terrestre, gerando benefícios sociais (NASA, 2024; Hou et al., 2014).

2.3 AVALIAÇÃO DAS ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO POR PRODUTOS DE SATÉLITE

A compreensão da precipitação é essencial para várias áreas da ciência e setores da sociedade, influenciando diretamente a gestão de recursos naturais e a formulação de políticas públicas (Pereira et al., 2018). Diante disso, são necessárias abordagens mais aprofundadas para entender a complexidade das dinâmicas climáticas (Silva et al., 2019; Torres et al., 2020). Nesse sentido, os dados de precipitação obtidos por produtos de satélite são ferramentas pertinentes, pois fornecem informações fundamentais sobre as interações atmosféricas e os padrões climáticos em escala global (Silva et al., 2019; Torres et al., 2020). Segundo Costa et al. (2019), a avaliação desses dados, por meio de métodos estatísticos e da comparação com registros de estações pluviométricas, é uma etapa indispensável para assegurar sua confiabilidade e aplicação em análises climáticas.

Nesse sentido, Costa et al. (2019) realizaram a validação dos dados de precipitação estimados pelo produto CHIRPS em relação aos dados obtidos de 183 estações meteorológicas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), abrangendo o território brasileiro de 1998 a 2010. Os resultados indicam uma alta correlação entre os dados do CHIRPS e os observados, com um coeficiente de determinação (R^2) médio de 97% para todo o Brasil, significativo a $p < 0,05$ pelo teste *t-student*.

As regiões do noroeste do Amazonas e o sudoeste do Pará apresentaram as maiores discrepâncias entre os conjuntos de dados, evidenciando a necessidade de calibração nas estimativas do produto. De acordo com o erro médio (ME), calculado para analisar a acurácia, as estimativas do CHIRPS tendem a superestimar a precipitação em aproximadamente 2%. Além disso, o estudo destaca as variações regionais, com o Centro-Oeste apresentando um R^2 de 93% e uma superestimação em torno de 10 mm. Enquanto as regiões com melhor concordância foram o Nordeste que apresentou 98% de R^2 e o Sudeste com 99% (Costa et al., 2019).

Da mesma forma, o produto CHIRPS foi avaliado no estudo conduzido por Dinku et al. (2018) onde as estimativas de precipitação foram comparadas com dados de pluviômetros em diversas regiões da África Oriental. A pesquisa envolveu a validação dos dados diários, decadais (10 dias) e mensais de precipitação com base

em aproximadamente 1200 estações meteorológicas, abrangendo áreas montanhosas, costeiras e desérticas. O CHIRPS foi comparado com outros produtos, como ARC2 e TAMSAT, e apresentou a maior acurácia espacial e temporal, superando o ARC2, mas com um desempenho inferior em escalas diárias em relação ao TAMSAT.

A pesquisa destacou que o CHIRPS, apesar de seu viés positivo em algumas regiões, mostrou-se uma ferramenta útil para complementar a escassez de dados meteorológicos de estações terrestres e áreas de difícil acesso. As comparações mostraram correlação entre o CHIRPS e as estações pluviométricas, principalmente em escalas mensais, com coeficientes que variaram de 0,69 a 0,87, dependendo da região. Entretanto, o produto subestimou a precipitação em áreas costeiras e montanhosas, onde o regime de chuvas é complexo e de difícil detecção por satélites baseados em infravermelho térmico (Dinku et al., 2018).

Kolluru V., Kolluru S. e Concati (2020) também avaliaram o desempenho do produto CHIRPS, além de analisarem os dados do modelo de reanálise ERA-5 para estimar a precipitação em diferentes zonas climáticas da Índia. O estudo utilizou dados de precipitação do *Indian Meteorological Department* (IMD) como referência e implementou o modelo hidrológico SWAT para simular a vazão em cinco bacias hidrográficas. O CHIRPS demonstrou melhor desempenho na detecção de eventos de alta precipitação, enquanto o ERA-5 foi mais eficiente na estimativa de chuvas de baixa a média intensidade. O IMD apresentou bom desempenho em algumas bacias, mas cometeu erros em outras, como em zonas áridas e semiáridas.

A análise estatística realizada por Kolluru V., Kolluru S. e Concati (2020) revelou que ambos os produtos tiveram melhor desempenho em regiões tropicais e úmidas, mas enfrentaram dificuldades em captar adequadamente a precipitação em áreas de clima árido. Para melhorar a acurácia das simulações de vazão, foram aplicadas técnicas de correção de viés e integração de dados, que combinou os dados CHIRPS e ERA-5. Essa integração resultou em uma melhoria na simulação da vazão das bacias, inclusive naquelas com condições climáticas mais complexas.

Como observado nos estudos de Costa et al. (2019), Dinku et al. (2018) e Kolluru V., Kolluru S. e Concati (2020) a validação do CHIRPS reforça seu potencial de aplicação, desde que calibrado regionalmente. Os estudos destacam a importância de ajustes regionais para aumentar a confiabilidade em áreas com grande variabilidade climática. Além disso, o CHIRPS demonstrou ser um recurso para

regiões com baixa densidade de estações, fornecendo estimativas consistentes para apoiar o monitoramento agro-hidrológico e climático (Dinku et al., 2018).

Nan et al. (2021) analisaram o desempenho dos produtos de precipitação IMERG, tendo como foco as execuções *Early*, *Late* e *Final Run* para a China Continental. A pesquisa utilizou oito indicadores estatísticos para comparar as estimativas de precipitação por satélite com dados de estações pluviométricas locais. A análise revelou que a capacidade de detecção dos produtos IMERG foi melhor nas regiões orientais do país, onde a densidade das estações pluviométricas é maior, enquanto, os erros de estimativa aumentaram nas regiões ocidentais e em áreas de maior altitude.

Em relação à acurácia das estimativas, o estudo de Nan et al. (2021) indicou que o IMERG *Final Run* é mais eficaz na detecção de chuvas leves nas regiões montanhosas do oeste, mas subestima a precipitação em eventos de chuva moderada e forte, como ocorre nas áreas costeiras do leste da China. Apesar de algumas limitações, o IMERG *Final Run* apresentou o melhor desempenho geral, com menor Root Mean Square Error (RMSE), atingindo 9,05 mm nas regiões montanhosas do sul e obtendo um R^2 superior a 0,5 nas regiões com um volume maior de estações. O BIAS (índices de viés) foi próximo de zero na maior parte da China, com as maiores discrepâncias observadas em regiões como Xinjiang e a Mongólia Interior, apresentando melhores resultados em comparação com as execuções *Early* e *Late Run*.

No Brasil, Gadêlha et al. (2019) analisaram o desempenho do produto IMERG *Final Run* para estimativa de precipitação sobre todo o país, utilizando um conjunto de dados interpolados de 4911 pluviômetros como referência, com base em dados diários, mensais e anuais de 2016. Os resultados mostram que o IMERG pode capturar os padrões espaciais da precipitação, mas apresenta uma tendência a superestimar os valores observados, com maiores erros e vieses nas regiões Norte e Centro-Oeste, possivelmente devido à baixa densidade de pluviômetros nessas áreas.

De acordo com Gadêlha et al. (2019), a avaliação em escala nacional revelou uma forte concordância entre as estimativas do IMERG e os dados observados, nas escalas temporais mensais e anuais, com R^2 superiores a 0,9. Contudo, nas regiões Norte e ao longo da costa do nordeste, o IMERG subestimou a precipitação, provavelmente devido à dificuldade dos sensores de micro-ondas passivos em detectar processos de chuva convectiva. Em áreas com maior densidade de estações,

como as regiões Sul e Sudeste, o produto apresentou bom desempenho, com erros relativamente baixos. Na resolução diária, os resultados apontaram que o ME variou entre -5,5 mm e 4,5 mm, com a maior subestimação e superestimação absoluta observada na região Norte, onde ocorrem chuvas intensas. Porém, na região Nordeste, os erros relativos (ME e RMSE) foram maiores, com subestimação ao longo da costa.

Nesse contexto, Carvalho, Silva e Myra (2021) avaliaram as estimativas de precipitação do IMERG – GPM na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), comparando-as com dados observados pelo Sistema de Suporte a Decisões (SSD) da Companhia de Saneamento Básico de São Paulo (SABESP), entre 2015 e 2020. O objetivo principal foi validar as estimativas do IMERG para o monitoramento hidrológico da região. A comparação abrangeu os sete sistemas produtores da Sabesp, incluindo Cantareira, Alto Cotia, Guarapiranga e Taiaçupeba.

Os resultados da pesquisa realizada por Carvalho, Silva e Myra (2021) mostram que o IMERG apresentou R^2 variando de 0,893 a 0,986. O coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) foi próximo a 0,90 para os sistemas Alto Cotia, Guarapiranga, e Taiaçupeba, indicando que o produto é adequado para monitoramento hidrológico. No entanto, observou-se uma tendência à superestimação das precipitações pelo GPM, no Sistema Cantareira, onde o índice de concordância (IC) chegou a 0,986 e o erro relativo ao volume precipitado (ERVP) foi de 22%. Enquanto o Sistema Rio Claro apresentou os piores índices, com ERVP negativo de 41,68%, apontando uma subestimação das precipitações.

O produto IMERG também foi avaliado no estudo realizado por Quedi, Campos e Fan (2018) que efetuaram a validação dos dados de precipitação do produto IMERG usando observações de 36 estações pluviométricas do INMET na bacia do Rio São Francisco. Os resultados apresentaram variações no desempenho das métricas estatísticas entre diferentes regiões da bacia, com maiores erros nas áreas de maior precipitação anual, indicando que o IMERG tende a subestimar os valores nessas regiões.

O estudo de Quedi, Campos e Fan (2018) demonstrou que os coeficientes de correlação entre as precipitações estimadas e observadas foram menores nas áreas com maior precipitação anual, como o Alto São Francisco, enquanto nas de menor precipitação, como o Submédio São Francisco, os erros foram menores. O IMERG mostrou capacidade de detecção de chuva na bacia, embora com taxas mais altas de

alarmes falsos em regiões com clima árido e baixa precipitação média anual, como o Baixo São Francisco. Apesar de seu potencial, o IMERG apresentou maiores erros nas áreas de alta precipitação, indicando a necessidade de ajustes para aplicações que necessitam da acurácia dos dados de precipitação.

Os estudos sobre o IMERG demonstram que o produto possui capacidade de estimar a precipitação em regiões com alta densidade de estações pluviométricas e em escalas temporais maiores, como mensal e anual (Nan et al., 2021; Gadêlha et al., 2019; Carvalho, Silva e Myra, 2021; Quedi, Campos e Fan, 2018). Porém, a acurácia tende a variar em áreas com características climáticas ou geográficas específicas, como regiões de alta altitude (Nan et al., 2021), além de apresentar tendência à superestimação nas regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil (Gadêlha et al., 2019). Essas discrepâncias indicam a necessidade de ajustes regionais para melhorar a acurácia do produto e validá-lo para aplicações hidrológicas.

Popovych e Dunaieva (2021) comparam os totais mensais de precipitação dos dois produtos, IMERG v06 e CHIRPS 2.0, entre janeiro de 2017 e julho de 2020, com observações de estações meteorológicas na região de estepe da Crimeia. Ambos os produtos superestimaram, em média, os totais mensais em 6,8 mm (CHIRPS) e 21,6 mm (IMERG), com desvios variando entre 11% e 62% em relação às estações da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e regionais. Os coeficientes de correlação (r) foram de 0,75 para o IMERG e 0,73 para o CHIRPS, enquanto os desvios absolutos médios foram de 2,3 mm e 7,6 mm, respectivamente.

A análise demonstrou que os R^2 entre os totais mensais de precipitação observada e estimada foram moderados, sendo de 0,52 (CHIRPS) e 0,56 (IMERG-GPM), respectivamente. Os autores atribuem a menor correlação à baixa densidade de estações pluviométricas, visto que as estações da OMM apresentaram correlações 20% superiores às estações regionais, além das limitações nos instrumentos de medição, que podem gerar erros sistemáticos de até 30%, pois durante o inverno os equipamentos são removidos de campo (Popovych e Dunaieva, 2021).

Hordofa et al. (2021) também avaliaram os produtos de precipitação derivados de satélite, CHIRPS e GPM-IMERG, em relação a dados observados em estações pluviométricas. O estudo, conduzido na Bacia do Lago Ziway, na Etiópia, utilizou dados mensais e sazonais entre 2000 e 2014, aplicando diversas métricas estatísticas para avaliar a precisão dos produtos em diferentes escalas temporais. Os resultados demonstraram que ambos os produtos CHIRPS e IMERG têm bom desempenho, mas

o CHIRPS supera o IMERG em termos de correlação e menor viés nas estimativas de precipitação.

A análise sazonal revelou que o desempenho dos produtos varia conforme a estação do ano, com o CHIRPS subestimando a precipitação no verão, mas apresentando melhores resultados nas estações de primavera e inverno. Enquanto os produtos IMERG tendem a superestimar a precipitação em algumas estações, mas ainda apresentam uma boa correlação com os dados observados. Em geral, o CHIRPS capturou melhor os padrões espaciais e temporais da precipitação na bacia (Hordofa et al., 2021).

Rosa et al. (2021) avaliaram a qualidade dos dados de precipitação estimados por dez produtos de satélite, comparando-os com dados observados em estações pluviométricas em cinco zonas climáticas brasileiras, no período de 2003 a 2017. Os produtos analisados incluem CHIRPS, IMERG, TRMM, entre outros. Os melhores resultados foram obtidos pelos produtos CHIRPS e IMERG, que apresentaram NSE superior a 0,7 na maioria das zonas climáticas, enquanto produtos como PERSIANN e PERSIANN CCS tiveram desempenhos inferiores, com NSE abaixo de 0,5 em algumas regiões.

Segundo Rosa et al., 2021, em termos de precipitação média anual, os produtos apresentaram variações entre si e em relação aos valores observados nas estações meteorológicas. Na zona Equatorial, a maior diferença entre os produtos foi de 844 mm, com PERSIANN CCS registrando 2905 mm e CMORPH 2061 mm. Na zona Tropical Nordeste Oriental, somente os produtos CHIRPS, TRMM, GPM 3IMERG e CPC UNIFIED apresentaram avaliações positivas, com NSE variando entre 0,7 e 0,78. Enquanto o CPC UNIFIED apresentou o maior valor médio (1341 mm), e o PERSIANN subestimou com 281 mm. Para os autores, os resultados mostraram que, apesar de alguns produtos fornecerem estimativas coerentes, há uma variabilidade nas estimativas de precipitação entre as zonas climáticas.

As pesquisas evidenciam a variabilidade espacial e temporal dos dados climáticos, destacando a necessidade constante de aprimoramento das estimativas em diferentes regiões do mundo. Além disso, esses estudos buscam soluções para superar a falta de informações em algumas áreas e períodos, sendo fundamentais os esforços contínuos para garantir a confiabilidade das projeções climáticas e apoiar a tomada de decisões frente às mudanças no clima global. A seguir, o QUADRO 2 apresenta uma síntese das pesquisas descritas neste capítulo.

QUADRO 2 - DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS SOBRE AVALIAÇÃO DOS PRODUTOS DE SATÉLITE

Autor(es) e Ano	Área de Estudo	Produto de Satélite	Período de Análise	Análise Temporal	Principais Parâmetros Avaliados	Número de Estações
Costa et al. (2019)	Brasil	CHIRPS V 2.0	1998-2010	Mensal	R ² , RMSE, BIAS, Erro Absoluto Médio	183
Popovych e Dunaieva (2021)	Península da Crimeia	CHIRPS, IMERG – V6	2017-2020	Mensal	Bias, ME, RMSE, Pearson, R ² e NSE	8
Gadêlha et al. (2019)	Brasil	IMERG – V05 <i>Final Run</i>	2016	Diária, mensal e anual	POD, FAR, CSI, CC, ME e RMSE	4911
Carvalho; Silva; Myra (2021)	Região Metropolitana de São Paulo	IMERG – V6	2015-2020	Mensal	R2, NSE, IC e o ERVP.	-
Hordofa et al. (2021)	Bacia do lago Ziway, Etiópia	CHIRPS, IMERG (Early, Late e <i>Final Run</i>)	2000-2014	Mensal e sazonal	PBIAS, RMSE, NSE e Pearson	12
Kolluru V., Kolluru S. e Concati (2020)	Índia	CHIRPS v2.0 ERA-5	2002-2012	Diária, mensal e anual	POD, ETS, FAR, Pearson, PBIAS e RMSE	-
Rosa et al. (2021)	Brasil	CHIRPS, IMERG e outros.	2003-2017	anual	BIAS, NSE	5
Quedi, Campos e Fan (2018)	Bacia hidrográfica do Rio São Francisco - Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe	IMERG <i>Final Run</i>	2014-2017	Diária	BIAS, MAE, MSE; Pearson, POD, FAR, ACC, PS	36
Dinku et al., (2018)	África Oriental	CHIRP, CHIRPS	2006-2010	Diária, Decadal e Mensal	POD, FAR, HSS, ME, CC, MAE, Bias, Eff	1200
Nan et al., (2021)	China	IMERG Early, Late e <i>Final Run</i>	2014-2018	Diária, mensal	Pearson, RMSE e BIAS, POD, FAR, CSI, B e ETS	800

FONTE: A autora (2024)

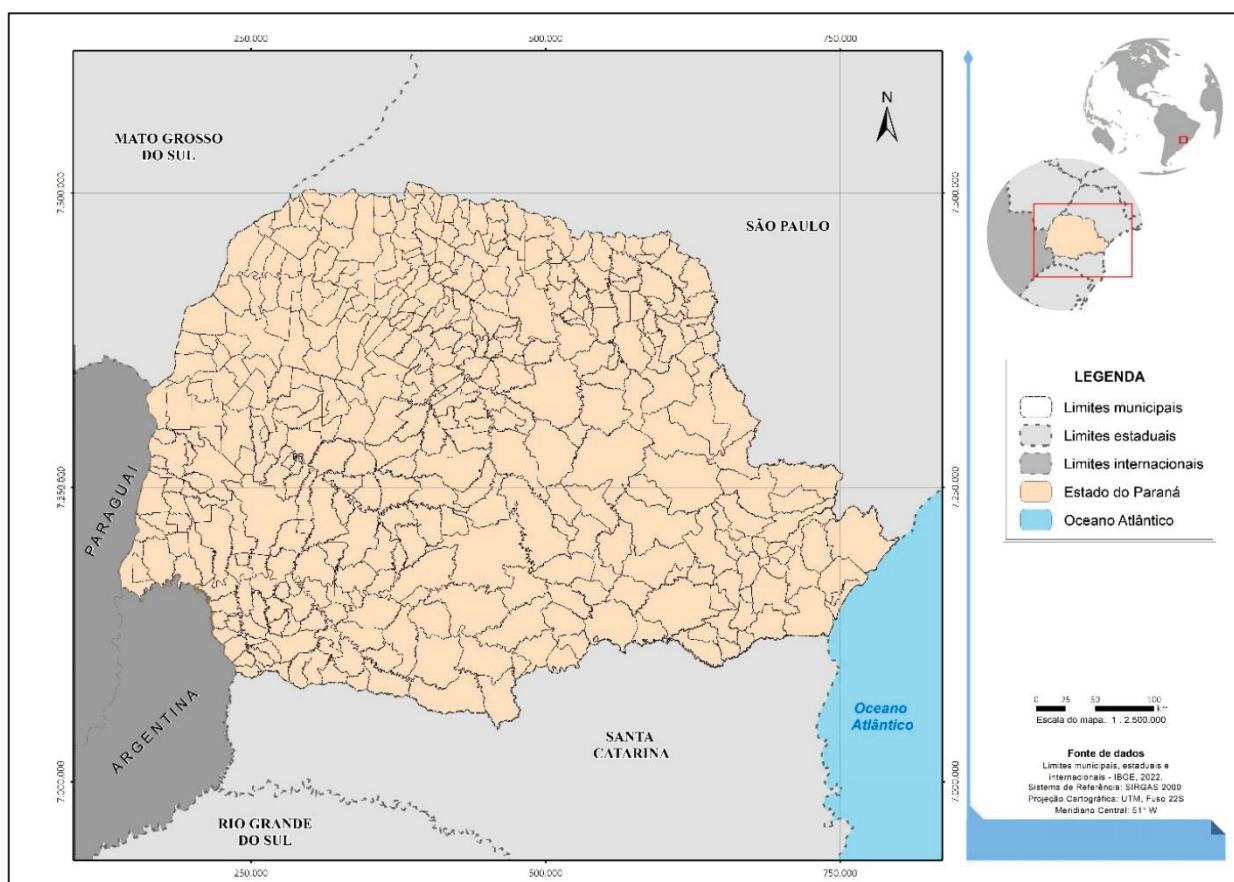
LEGENDA: POD - Probabilidade de detecção; FAR – Taxa de alarme falso; CSI – Índice de sucesso crítico; CC – Coeficiente de Correlação; IC - Índice de Concordância de Wilcott; ERVP - Erro Relativo ao Volume Precipitado; ETS - Pontuação de Ameaça Equitativa; ACC - Acurácia; PS - Proporção de sucesso; HSS - Heidke Skill Score; Eff – Eficiência; B – Viés; PBIAS - Percentil Bias

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estado do Paraná, recorte espacial desta pesquisa, foi escolhido por sua diversidade geomorfológica e climática, tornando-o uma região de grande interesse para estudos que consideram variações espaciais. Com uma variedade de climas tropicais e subtropicais de altitude, o estado se destaca por sua paisagem rica e diversificada (Cunico e Prim, 2018). Localizado na Região Sul do Brasil e composto por 399 municípios (IBGE, 2021) faz divisa com São Paulo (940 km), Mato Grosso do Sul (219 km) e Santa Catarina (754 km), além de ter fronteiras com a Argentina (239 km) e o Paraguai (208 km) (IBGE, 2021). Conforme FIGURA 1:

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DO ESTADO DO PARANÁ



FONTE: A autora (2024)

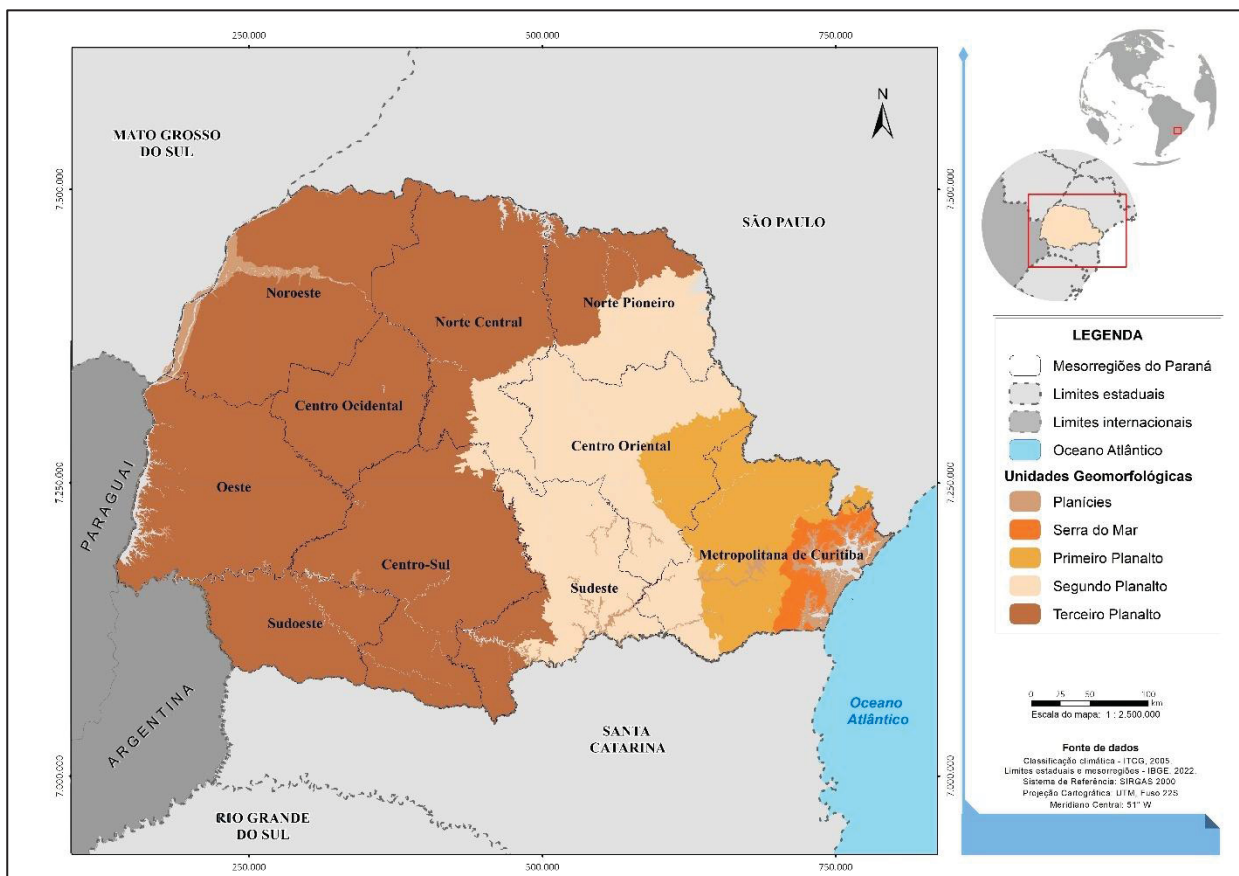
O Paraná apresenta uma diversidade de formações geomorfológicas, incluindo planaltos, vales e serras, distribuídas de forma desigual pelo território, com variações distintas que se manifestam em cada uma de suas regiões (Santos et al., 2006). As Planícies Litorâneas e Fluvio-Marinha do estado possuem bacias de sedimentação marinha e fluviais descontínuas, preenchidas por sedimentos continentais e costeiros cenozoicos (MINEROPAR, 2006). A região litorânea tem um relevo com pouca fragmentação ou erosão em vales e encostas, apresentando áreas predominantemente planas e altitude que varia entre o nível do mar (0 metros) e até 200 metros (Santos et al., 2006). A Serra do Mar, situada ao longo da borda leste do Primeiro Planalto Paranaense, apresenta um relevo fortemente fragmentado e esculpido por vales profundos. A região possui encostas íngremes e elevadas, com altitudes variando de 20 a 1680 metros sobre o nível do mar. O relevo é caracterizado por formas alongadas e cristas acentuadas (Santos et al., 2006).

O Primeiro Planalto do Paraná é caracterizado por um relevo com altitudes variando entre 100 e 1.400 metros. A região apresenta formas de relevo mais suaves, com planaltos alongados, encostas convexas e vales em "V". A fragmentação moderada do terreno, resulta em áreas com inclinações variadas (Santos et al., 2006). O Segundo Planalto do Paraná possui um relevo diversificado, com altitudes que variam de 380 a 1.300 metros. A região apresenta planaltos alongados e áreas de forte erosão, com encostas que podem ser tanto convexas quanto retas, possuindo vales em forma de "V" e "U", além de uma fragmentação moderada (Santos et al., 2006). O Terceiro Planalto, que abrange a maior parte do estado, é caracterizado por um relevo com variações, apresentando altitudes que vão de 120 a 1.360 metros. A região possui topos alongados e aplainados, apresentando vertentes convexas, retilíneas e côncavas, além de vales em forma de 'V' e 'U' (Santos et al., 2006).

Para um aprofundamento regional na análise das estimativas para o estado, optou-se por trabalhar também com as mesorregiões (FIGURA 2). Segundo o IBGE (2017), as mesorregiões são áreas individualizadas dentro de uma unidade da federação, organizadas com base em três dimensões principais: processo social, quadro natural, e a rede de comunicação e de lugares. Essas dimensões conferem uma identidade regional às mesorregiões, construída ao longo do tempo pela sociedade local. As mesorregiões fazem parte de um modelo de divisão que busca refletir a diversidade e a dinâmica do espaço brasileiro, situando-se entre as unidades federativas e as microrregiões (IBGE, 2017). As Regiões Geográficas Intermediárias

e Imediatas, anteriormente denominadas Mesorregiões e Microrregiões Geográficas, apresentam uma nova abordagem de regionalização (IBGE, 2017). No entanto, optou-se pelo uso da categorização antiga nesta pesquisa, pois ela oferece uma divisão mais adequada para a visualização das áreas analisadas, alinhando-se melhor ao contexto do estudo.

FIGURA 2 - UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS E MESORREGIÕES



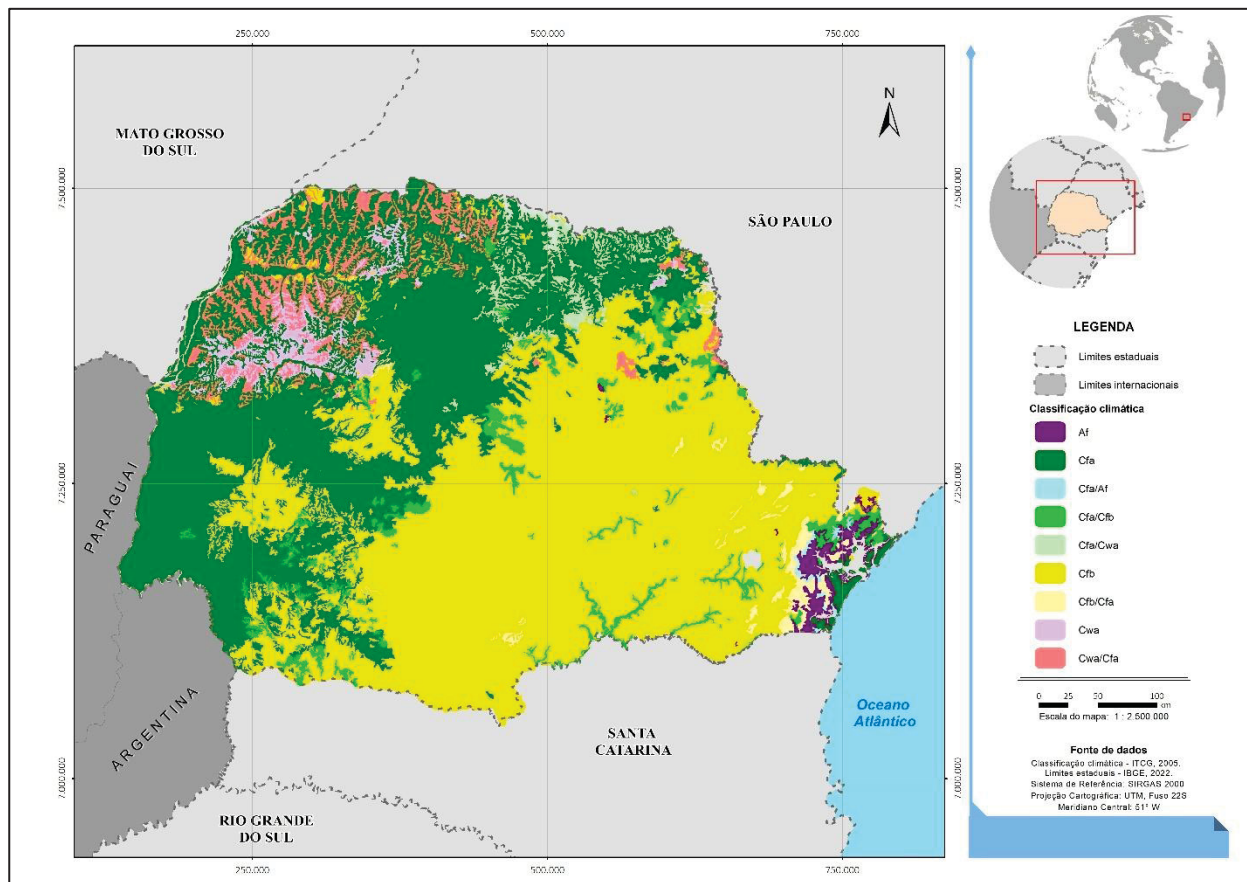
FONTE: A autora (2024)

Além das características geomorfológicas, o clima do Paraná também é diversificado. O estado encontra-se na transição entre os climas tropical e subtropical, sendo predominantemente subtropical úmido. De acordo com o Zoneamento Ecológico-Econômico do estado do Paraná (Cunico e Prim, 2018), são múltiplas as classificações climáticas existentes na literatura, a mais conhecida e utilizada é a Classificação de Köppen-Geiger (1918). Segundo essa classificação, o estado apresenta três tipos climáticos distintos, sendo:

- Clima subtropical (Cfa/Cwa): Caracterizado por temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C. Apresenta verões quentes, geadas pouco frequentes e uma tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem uma estação seca definida. A segunda letra caracteriza o padrão de precipitação onde 'w' indica invernos secos com tendência de concentração de chuvas nos meses de verão e 'f' significa precipitação em todas as estações;
- Clima temperado (Cfb): Possui temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico) e verões frescos, com temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C. Não há uma estação seca definida;
- Clima tropical superúmido (Af): A média de temperatura no mês mais quente é acima de 22°C e no mês mais frio é superior a 18°C. Não possui estação seca e é isento de geadas;

Maluf (2000) e Braga e Ghellere (1999) adaptaram a classificação de Köppen. Maluf (2000) identificou quatro tipos climáticos: Temperado, Subtemperado, Subtropical e Tropical. Braga e Ghellere (1999) classificaram em três categorias: Mesotérmico Brando 2 (11,5-13°C), Mesotérmico Brando 1 (13-15°C) e Subquente (15-18°C). Em 2000, o IAPAR atualizou o mapa climático do Paraná, reclassificando o litoral e parte do Vale do Ribeira de "Af" para "Cfa" (IAPAR, 2019). Enquanto de acordo com o ITCG (2008) são nove os tipos climáticos: Af, Cfa, Cfa/Af, Cfa/Cwa, Cfb, Cfb/Cfa, Cwa, Cwa/Cfa, predominando os climas Cfa e Cfb (FIGURA 3).

FIGURA 3 - CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DO PARANÁ



FONTE: A autora (2024)

Conforme Fritzsons et al. (2011), o Paraná apresenta uma intensa variabilidade climática, resultado de sua localização na transição entre os climas tropical e temperado. O estado abriga climas subtropicais (Cfa e Cfb) e tropicais, o que gera padrões distintos de precipitação e temperatura entre suas regiões. Essa diversidade climática, influenciada por fatores geomorfológicos e atmosféricos, contribui para a variação pluviométrica observada em todo o território paranaense.

3.1.1 A precipitação no estado do Paraná

O volume de precipitação é influenciado por diversos fatores climáticos, tais como as correntes e massas de ar, a localização geográfica, as condições de estabilidade atmosférica e o relevo (Silva, Caramori e Faria, 2012; Nascimento, Silvestre e Neto, 2020). De acordo com Correa e Galvani (2017), os principais

sistemas atmosféricos responsáveis pela geração de precipitação no sul do Brasil incluem a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), processos convectivos locais, sistemas frontais associados à massa de ar polar Atlântica (mPa) e os complexos convectivos de mesoescala (CCMs). No verão, os processos convectivos e a influência da ZCAS predominam como sistemas atmosféricos principais.

Segundo Pereira et al. (2008), a dinâmica das massas de ar sobre o continente sul-americano exerce uma influência na distribuição espacial e temporal das chuvas, definindo as estações chuvosas no estado. Segundo o autor, no norte e oeste do Paraná, a estação chuvosa é bem definida, enquanto no centro do estado ocorre uma transição climática. No sul, em áreas de clima temperado e altitudes elevadas, não há uma estação seca definida, embora a primavera e o verão sejam mais chuvosos. O litoral tem precipitação o ano todo, devido à umidade trazida pela massa de ar tropical atlântica e pela brisa marítima. As escarpas que delimitam os planaltos paranaenses influenciam a distribuição das chuvas, com o Segundo e Terceiro Planaltos recebendo mais precipitação devido à sua posição geográfica e relevo.

Conforme Nascimento, Silvestre e Neto, (2020), no que se refere à distribuição espacial da precipitação destacam-se as regiões costeiras e no sul do Paraná, onde as chuvas ocorrem ao longo do ano e apresentam características climáticas subtropicais. De outro modo, o setor norte é tipicamente tropical e possui duas estações de chuva bem definidas. Dessa forma, nas áreas costeiras e sul, observou-se um aumento gradual da precipitação total nos últimos anos, com uma maior concentração durante a estação chuvosa (outubro a março), destacando um processo moderado de tropicalização das chuvas. A primavera e a estação chuvosa são mais difíceis de modelar devido à variabilidade das chuvas, que podem ser locais (convectivas) ou regionais (sistemas frontais), afetando a dependência espacial das chuvas em áreas tropicais.

De acordo com Fritzsons et al. (2011) as regiões de menor pluviometria estão situadas ao norte do estado, e caracterizam-se por uma concentração de chuvas durante o verão, com episódios de estiagem no inverno. Por outro lado, as regiões com maior pluviometria, encontradas no Sudoeste e no litoral do estado, apresentam padrões distintos. O sudoeste, destaca-se pelas precipitações de inverno enquanto o litoral se distingue pelo seu alto volume de precipitação durante o verão, resultado da

interação de diversos fatores, incluindo a orografia e a brisa marítima, que são características únicas quando comparado com outras regiões.

O estado do Paraná apresenta uma variação regional na distribuição das chuvas, com volumes anuais de precipitação que podem ultrapassar 2000 mm em áreas como a bacia Litorânea. Nessa região, a atuação frequente da Frente Polar Atlântica, combinada com condições favoráveis à geração de chuvas, é impulsionada por temperaturas mais elevadas e pelo maior potencial higrométrico, que se refere à capacidade do ar de reter umidade. Esse potencial é intensificado pela proximidade ao Oceano Atlântico, que favorece a umidade na atmosfera e, consequentemente, a formação de precipitação (Terassi e Galvani, 2022).

A precipitação em Curitiba e Castro é menos influenciada pela maritimidade devido à barreira orográfica da Serra do Mar, sendo o desenvolvimento de chuvas mais diretamente associada à Frente Polar Atlântica e aos tipos de tempo moderado e úmido (MM) (Terassi e Galvani, 2022). A análise da precipitação realizada por Leite, Adacheski e Virgens Filho (2010) em diferentes municípios, como Ponta Grossa, Fernandes Pinheiro e Lapa, localizados no Segundo Planalto paranaense, revelou uma boa distribuição das chuvas ao longo do ano. O mês de janeiro foi identificado como o mês com o maior volume pluviométrico e o maior número de dias de chuva, enquanto agosto apresentou-se como o mês menos chuvoso.

A distribuição espacial da precipitação na Bacia Hidrográfica no Rio Piquiri, localizada na região centro-oeste do estado também apresenta características distintas, com um aumento gradativo das chuvas em direção ao sul e sudeste da bacia. Essa distribuição é influenciada por fatores topográficos e pela dinâmica atmosférica, que afetam a formação de nuvens e a intensidade das chuvas (Correa e Galvani, 2017).

As chuvas na região norte do Paraná concentram-se principalmente entre setembro e março, período em que mais de 70% da precipitação anual é registrada (Terassi et al., 2018). Essa região, que é marcada por uma transição do domínio climático, apresenta uma tendência de redução nas chuvas durante o inverno e picos de precipitação em janeiro e dezembro (Fritzsons et al., 2011).

A variabilidade interanual da precipitação é outro aspecto relevante, uma vez que a variação de um ano para outro afeta a disponibilidade de água (Leite, Adacheski e Virgens Filho, 2010). A influência de características climáticas como o El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é expressiva na variabilidade da precipitação no Paraná

(Gebert e Kist, 2023). Conforme demonstrado por Gebert e Kist (2023), os eventos de El Niño podem alterar os padrões de ocorrência, resultando em secas severas ou chuvas intensas, que podem agravar desastres naturais.

No Paraná, os meses mais secos são julho e agosto, com precipitações abaixo de 100 mm, enquanto os mais chuvosos são outubro, dezembro, janeiro e fevereiro, com precipitação acima de 170 mm, segundo Gebert e Kist (2023). Entre 1974 e 2020, os autores apontam que houve precipitação acima da média histórica durante eventos de El Niño, principalmente em maio, julho e novembro, e abaixo da média em períodos neutros. Os maiores desvios médios em relação à média mensal ocorrem no El Niño e La Niña, sendo maio o mês com maiores variações, acima da média no El Niño e abaixo no La Niña.

Gebert e Kist (2023) destacam ainda que o litoral apresenta os maiores volumes de chuva nos meses de janeiro, fevereiro e março. Enquanto entre maio e outubro, a região sudoeste é a mais chuvosa, com precipitação média similar ao litoral, sul e centro em setembro. Abril e novembro são meses de transição, com precipitação semelhante em partes do litoral, sudoeste e oeste, marcando mudanças na dinâmica de chuvas no estado.

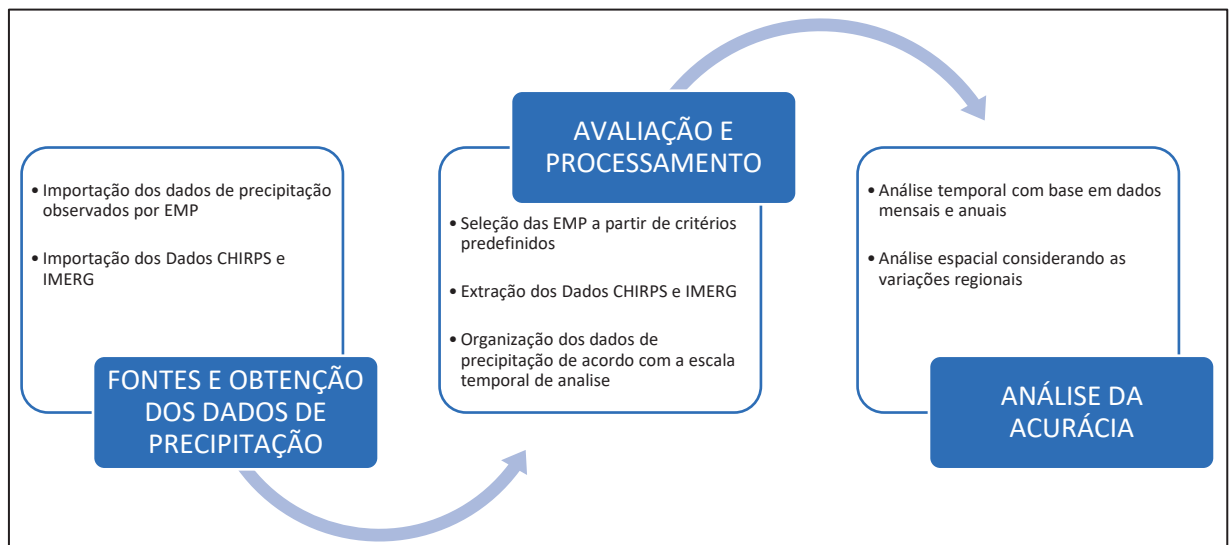
Diante disso, a análise detalhada dos padrões de precipitação, sua variabilidade e os impactos associados é essencial para a gestão dos recursos hídricos e para a mitigação dos riscos associados a desastres naturais (Silva, Caramori, Faria, 2012; Pinheiro, 2016; Gebert e Kist, 2023). Essas informações são fundamentais para o planejamento agrícola, o manejo sustentável das bacias hidrográficas e a formulação de políticas públicas no Paraná (Pinheiro, 2016).

3.2 DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS

Este estudo teve como objetivo analisar a acurácia dos dados de precipitação estimados pelos produtos de satélite IMERG e CHIRPS para o estado do Paraná. A confiabilidade dessas estimativas foi avaliada por meio da comparação com os dados observados em estações com monitoramento pluviométrico (EMP) disponibilizadas pelo Sistema de Informações Hidrológicas (SIH). Para alcançar esse objetivo, foram aplicados métodos estatísticos para calcular correlações e identificar padrões e discrepâncias entre os dados estimados e os observados, considerando variações temporais e espaciais. A análise temporal foi conduzida em duas escalas, ambas com

critérios específicos descritos no subcapítulo 3.2.2: a escala anual considerou um único ano, selecionado com base nos critérios, enquanto a escala mensal avaliou os meses com os maiores e menores acumulados de precipitação registrados dentro de um ano em cada EMP.

FIGURA 4 - ETAPAS DE TRABALHO



FONTE: A autora (2024)

3.2.1 Fontes e obtenção dos dados de precipitação

Na análise da precipitação, diversos tipos de estações são utilizados para a coleta de dados, cada um com suas especificidades e funções (WMO, 2014). Para englobar de maneira abrangente as diferentes fontes de observação de dados de precipitação, será utilizado o termo "estação com monitoramento pluviométrico" ao longo deste trabalho. O termo abrange estações meteorológicas automáticas e convencionais, pluviômetros, estações de tratamento de esgoto, estações experimentais e outras estruturas que registram variáveis climáticas e fornecem séries de dados de precipitação. A denominação abrangente facilita a compreensão das diversas tecnologias usadas na coleta de dados e a variedade de fontes na observação direta da precipitação na superfície. No decorrer do texto, o termo "estação com monitoramento pluviométrico" será abreviado para EMP.

As EMP foram localizadas por meio de uma análise visual preliminar no QGIS, utilizando o plugin ANA Data Acquisition (versão 3.34.9). Esse plugin permite o download automático de dados de estações pluviométricas e fluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA). Embora ofereça funcionalidades como a seleção de EMP diretamente na interface do QGIS e relatórios sobre a consistência e disponibilidade dos dados (HGE, 2021), nesta pesquisa ele foi utilizado apenas para visualizar a distribuição espacial das EMP e identificar aquelas de interesse, sem que seus dados fossem diretamente incorporados à análise.

Os dados brutos de precipitação observados pelas EMP utilizados na análise foram obtidos a partir do Sistema de Informações Hidrológicas (SIH), disponível no site do Instituto Água e Terra (IAT), que fornece séries temporais completas e atualizadas, assegurando maior confiabilidade e abrangência aos resultados. O SIH foi escolhido por oferecer registros diários de precipitação, permitindo a seleção de estações por código ou a escolha de todas as estações em um município, além de possibilitar o recorte do período de análise. Essa flexibilidade facilita a identificação da EMP principal e a captura de informações das EMP vizinhas. O site disponibiliza os dados em formatos TXT, PDF e XLSX.

Segundo o Atlas Climático do Estado do Paraná, a precipitação é definida como qualquer forma de deposição líquida proveniente da atmosfera, incluindo chuva, granizo, neblina, chuveiro, orvalho e outros hidrometeoros (IAPAR, 2019). A precipitação é expressa em milímetros (mm), sendo que 1 mm equivale a 1 litro por metro quadrado (L/m²). Dessa forma, foram considerados todos os valores de precipitação registrados pelas EMP. Os dados de precipitação do SIH foram obtidos em formato diário e, em seguida, acumulados para análise em escalas mensais e anuais. Os dados do SIH foram baixados em um arquivo XLSX e, posteriormente, organizados em uma planilha, facilitando a análise comparativa com os dados de precipitação estimados pelos produtos de satélite.

Para a análise foram selecionados os produtos UCSB CHIRPS Rainfall V 2.0 (CHIRPS) e NASA IMERG 3 V07 - *Final Run* (IMERG), pois fornecem estimativas de precipitação ajustadas e calibradas com dados pluviométricos obtidos em solo (SERVIR, 2024; NASA, 2024), garantindo uma maior confiabilidade dos dados para a pesquisa. O CHIRPS e o IMERG foram selecionados por estarem ativos e utilizarem tecnologias distintas (QUADRO 3). O CHIRPS baseia-se em abordagens com técnicas de interpolação e estimativas de precipitação, utilizando observações

infravermelhas de Duração de Nuvem Fria (Cold Cloud Duration - CCD (Funk et al., 2015). Por outro lado, o IMERG adota o conceito do GPM, que envolve um satélite que serve como um “observatório central” equipado com um radar e radiômetro avançados para medir a precipitação diretamente do espaço. Esse satélite serve como padrão de referência, unificando medições de uma constelação de satélites de pesquisa e operacionais (Huffman et al., 2020).

O IMERG destaca-se por disponibilizar dados com maior frequência temporal, com resolução horária, desse modo favorece o monitoramento em tempo real e a análise de eventos extremos de precipitação (Huffman et al., 2020). Enquanto o CHIRPS apresenta uma série histórica mais extensa, com dados disponíveis desde 1981, sendo relevante para estudos climáticos de longo prazo e análise de tendências. Além disso, o CHIRPS oferece uma resolução espacial mais fina, tornando-se apropriado para pesquisas que exigem maior detalhamento espacial, para áreas com alta variabilidade de precipitação (Funk et al., 2015).

Inicialmente, na origem desse trabalho, pretendia-se utilizar a plataforma Google Earth Engine (GEE) para extrair dados dos produtos de satélite CHIRPS e IMERG, reconhecendo seu potencial para processar grandes massas de dados. No entanto, ao longo do processo, surgiram algumas dificuldades que levaram à sua exclusão da pesquisa. Primeiro o desafio na criação de scripts personalizados para manipular e processar os dados, a análise dos dados do IMERG no GEE apresentou superestimções dos valores diários, que não foram completamente resolvidas mesmo com ajustes nos scripts. Também pela presença conjunta dos produtos *Late Run* e *Final Run* para compor os valores do IMERG, que introduziu incertezas, uma vez que as atualizações contínuas poderiam gerar variações nos dados em períodos específicos. Essas questões destacam a necessidade de familiaridade com a programação e a escrita de scripts para maximizar o potencial da plataforma, o que não é o foco dessa pesquisa.

Diante disso, optou-se por utilizar a plataforma ClimateSERV, que oferece dados de precipitação atualizados de forma mais consistente e facilita o acesso em escala diária. Na plataforma, é possível selecionar diretamente a área de interesse, como o estado do Paraná, essa possibilidade simplifica a manipulação dos dados em softwares de desktop, como o QGIS. O ClimateSERV é uma iniciativa do SERVIR, um programa conjunto da NASA, USAID e organizações geoespaciais líderes na Ásia, África e América Latina. O SERVIR colabora com países e organizações para

enfrentar desafios relacionados às mudanças climáticas, segurança alimentar e hídrica, desastres hídricos, uso da terra e qualidade do ar (SERVIR, 2024).

Esta plataforma oferece informações detalhadas sobre dados históricos de precipitação, condições da vegetação e previsões para precipitação e temperatura, específicas para cada conjunto de dados (SERVIR, 2024). Desse modo, os dados do CHIRPS foram exportados da plataforma ClimateSERV 2.0, a plataforma foi escolhida por apresentar um ambiente amigável com fácil aquisição dos dados necessários para esta pesquisa. Outra opção para adquirir dados do CHIRPS seria diretamente no site do Climate Hazards Center (CHC), onde os dados também estão disponíveis em formatos como NetCDF e TIFF. Porém, essas imagens cobrem todo o globo, tornando o processamento mais lento.

No que diz respeito à obtenção dos dados do IMERG, o ClimateSERV oferece apenas os produtos *Late Run* e *Early Run*. Na pesquisa, optou-se por utilizar o produto *Final Run*, que garante maior consistência nos dados, conforme recomendado por Huffman et al. (2023). Essa recomendação destaca a importância do uso do produto *Final Run* para análises e pesquisas. Como o ClimateSERV não disponibiliza esse produto, optou-se pela utilização dos dados disponíveis na plataforma Giovanni, fornecida diretamente pela NASA, que oferece o produto *Final Run*.

O *Giovanni* 4.40, desenvolvido pelo *Goddard Earth Science Data and Information Services Center* (GES DISC), é uma ferramenta online que permite explorar e analisar dados cientificamente válidos diretamente no navegador. A versão atual, garante maior extensibilidade e interoperabilidade com protocolos e formatos de dados padrão (NASA, 2024). Essa plataforma facilita a visualização e análise de dados mantendo a precisão científica dos algoritmos empregados, além de permitir o download de imagens nos formatos NetCDF e GeoTIFF, com os valores somados por mês e ano, o que é interessante para esta pesquisa.

QUADRO 3 - DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS DE SATÉLITE

Produto	Versão	Série temporal	Resolução	Intervalo temporal	Fonte de dados	Metodologia
IMERG 3 V07	7	Desde 2014	0.1° (~11 km)	Horária, diária mensal	Satélites (GPM constellation)	Radar/radiômetro, ajustado e validado por dados de estações meteorológicas
CHIRPS v2.0	2.0	Desde 1981	0.05° (~5 km)	Diário, pentada, mensal e anual	Satélites (CCD) + Estações Meteorológicas	Interpolação baseada em CCD, calibrado e ajustado por dados de estações meteorológicas

FONTE: A autora (2024)

3.2.2 Avaliação e processamento dos dados

Na avaliação da qualidade dos dados de precipitação observados nas EMP, foram conduzidas diferentes etapas metodológicas. Inicialmente, realizou-se uma análise preliminar das séries temporais de precipitação, com o objetivo de identificar falhas e possíveis valores espúrios. A detecção de valores espúrios foi realizada por meio de uma avaliação visual das séries temporais, permitindo identificar registros que se desviavam de maneira significativa dos padrões esperados de variação. Embora esse procedimento possua certo grau de subjetividade, ele foi aplicado como um primeiro critério de verificação da confiabilidade dos dados.

Além disso, para avaliar a qualidade dos dados, foram consideradas as EMP localizadas ao redor da EMP principal em análise. Cada EMP principal foi analisada em conjunto com três a cinco EMP vizinhas, selecionadas de forma que a EMP principal estivesse posicionada mais ao centro, e as vizinhas não estivessem a mais de 30 km de distância. As EMP vizinhas são definidas como aquelas situadas em uma distância geográfica que permita a interpolação ou comparação dos dados. Assim sendo, foram selecionadas apenas as EMP que apresentavam séries temporais completas, ou seja, aquelas que apresentavam 365 registros para anos convencionais e 366 registros para anos bissextos, garantindo a integridade das séries temporais analisadas. Esses critérios foram adotados tanto para as EMP principais quanto para as EMP vizinhas utilizadas na validação dos dados. As séries temporais que

apresentaram falhas ou registros inconsistentes foram excluídas da análise e não foram utilizadas na validação dos dados.

A seleção das EMP para assegurar a representatividade geográfica das análises considerou as unidades geomorfológicas descritas por Santos et al. (2006). Buscou-se garantir a representatividade espacial dessas EMP, de modo que estivessem distribuídas ao longo do estado do Paraná e contemplassem as diferentes unidades geomorfológicas e climáticas. Cada EMP principal foi analisada juntamente com suas EMP vizinhas, garantindo que todas estivessem inseridas na mesma unidade geomorfológica. Quando uma EMP precisou ser excluída devido a falhas na série temporal ou à presença de valores espúrios, procurou-se substituí-la por outra EMP dentro da mesma unidade geomorfológica, minimizando o impacto na densidade espacial e preservando a coerência das comparações. Mais detalhes sobre as unidades geomorfológicas e suas características são apresentados no subcapítulo 3,1.

A representatividade e a confiabilidade da análise de precipitação, tanto anual quanto mensal, foram garantidas por meio de uma metodologia que envolveu critérios de comparação com EMP vizinhas e a aplicação de um retrocesso temporal. Dada a dificuldade em encontrar séries completas, adotou-se um critério que permitia recuar ano a ano até identificar um período com registros completos. A análise teve início em 2023, utilizando os dados mais recentes disponíveis. Caso não fosse possível atender aos critérios estabelecidos para a seleção das EMP nesse ano, o procedimento era repetido retrocedendo ano a ano até encontrar um período com séries completas, respeitando o limite máximo de 10 anos, ou seja, considerando registros de 2014 a 2023. Se ainda assim não fosse possível atender aos critérios, eram buscadas EMP alternativas.

Para atender aos critérios de avaliação adotados e viabilizar a seleção de 30 EMP para a análise anual e 30 para a análise mensal, foi realizada a avaliação de um total de 209 EMP, incluindo tanto as principais quanto as vizinhas. Esse procedimento assegurou que todas as EMP selecionadas cumprissem os requisitos estabelecidos, garantindo a representatividade e a confiabilidade dos dados analisados. As EMP, distribuídas por todo o estado do Paraná, são mantidas e/ou administradas por diferentes instituições. As séries temporais abrangem o período de 2014 a 2023, possibilitando uma análise abrangente da adequação desses dados para aplicações práticas na região.

Na análise anual, a EMP principal deveria apresentar uma variação máxima de 20% no acumulado anual de precipitação em relação à média das precipitações anuais das suas vizinhas. Caso essa condição não fosse atendida, retrocedia-se ano a ano até encontrar um período com séries temporais completas que atendesse aos critérios estabelecidos.

Na análise mensal, para a seleção dos meses analisados, foram considerados apenas os meses de maior e menor precipitação registrados na EMP principal dentro de um ano, seguindo os critérios de retrocesso temporal e vizinhança. O mês com maior acumulado de precipitação e o mês com menor volume de precipitação foram selecionados, e, para cada um deles, a diferença entre os valores da EMP principal e suas vizinhas (considerando o mesmo mês) não poderia ultrapassar 30%. Caso algum desses meses não atendesse a esse critério, a análise retrocedia um ano, repetindo-se o processo até que ambos os meses selecionados atendesse a essa condição.

Um desafio identificado nessa abordagem foi a comparação de meses em que a EMP principal registrou 0 mm de precipitação. Nessas situações, qualquer valor acima de zero nas EMP vizinhas resultaria em uma variação percentual infinita, inviabilizando a análise. Para contornar essa limitação, estabeleceu-se uma tolerância de 1 mm na média das EMP vizinhas, permitindo a comparação em condições de precipitação muito baixa. Como exemplo, na EMP de Santa Eliza, que registrou 0 mm em agosto de 2019, as EMP vizinhas de São Miguel do Iguaçu, Salto Cataratas e Cacique apresentaram, em média, menos de 1 mm de precipitação, atendendo ao critério estabelecido.

A análise mensal priorizou as EMP e os anos previamente selecionados para a escala anual. No entanto, em alguns casos, foi necessário selecionar EMP alternativas, uma vez que as EMP escolhidas na análise anual não atendiam aos critérios estabelecidos para a análise mensal. Durante essa etapa, foi observado que a seleção poderia ter começado pela análise mensal, seguida pela análise anual. No entanto, como a seleção das EMP para a escala anual já havia sido concluída, a escolha das EMP para a escala mensal possibilitou identificar um número maior de estações com séries temporais completas e de qualidade. Esse processo resultou na análise de 45 EMP principais, ampliando o volume de informações de precipitação e proporcionando uma análise mais abrangente. Os APÊNDICE 1 e APÊNDICE 2 apresentam as EMP principais e as vizinhas selecionadas para as análises anuais e mensais, respectivamente.

Em relação aos dados do produto CHIRPS, a plataforma forneceu os produtos ajustados em uma escala diária. As imagens diárias em formato GeoTIFF, obtidas no site do ClimateSERV, foram processadas por um script (APÊNDICE 3) em linguagem *Python* na versão 3.10, que extraiu os dados de precipitação para cada EMP. Esse processo permitiu a seleção e a extração dos dados diários, associando-os ao pixel correspondente à localização das EMP. Dessa forma, ao trabalhar com os dados extraídos dos produtos de satélite, foi considerado para análise o valor específico correspondente ao pixel onde a EMP estava situada. Em seguida, os dados foram exportados para uma planilha do Excel, que serviu como base para as análises subsequentes.

Os dados do IMERG foram extraídos em formato GeoTIFF da plataforma, um conjunto para cada ano de análise, com os acumulados de precipitação anuais. As imagens obtidas no Giovanni também foram processadas por um script em linguagem *Python* (APÊNDICE 4), que extraiu os dados de precipitação para cada EMP. Após a definição dos meses de análise, foram importadas as imagens correspondentes aos respectivos períodos, e as informações foram extraídas por outro script em linguagem *Python* (APÊNDICE 5).

Para a análise proposta, os dados de precipitação, incluindo tanto os coletados nas estações quanto os obtidos do IMERG e CHIRPS, foram organizados nas escalas temporais mensal e anual. Em cada escala temporal, foram calculados os valores acumulados de precipitação para cada EMP. Essa etapa, permitiu uma análise mais detalhada do comportamento da precipitação, realizando comparações com as informações coletadas por EMP e as estimativas dos produtos de satélite.

3.2.3 Análise da acurácia

O objetivo do estudo é avaliar a acurácia das estimativas fornecidas por produtos de satélite em comparação com os dados observados nas EMP, sendo o critério para escolha dos parâmetros definido pelo tipo de análise proposta. Para a avaliação da acurácia dos dados estimados de precipitação, foram aplicadas diversas análises estatísticas, que incluíram os cálculos dos resíduos, média, mínimo e máximo, desvio padrão, coeficiente de correlação de Pearson, raiz do erro quadrático médio (RMSE) ou percentil 90, e o coeficiente de determinação R^2 a partir da

regressão linear simples, além do teste de Shapiro-Wilk uma vez que a normalidade é fundamental para garantir a validade das análises estatísticas subsequentes.

A análise estatística necessita da verificação das suposições inerentes aos dados, entre as quais a normalidade é primordial devido à sua influência em vários procedimentos estatísticos (Fonseca e Martins, 2012; Razali & Yap, 2011). Testes de normalidade servem como ferramentas para esta avaliação, sendo essenciais para a validação de métodos paramétricos e a precisão de inferências estatísticas (Fonseca e Martins, 2012). Entre os diversos testes disponíveis, o Shapiro-Wilk é destacado por Razali e Yap (2011) como altamente eficaz para conjuntos de amostras maiores que trinta, superando alternativas como Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors e Anderson-Darling em termos de capacidade de detectar desvios da normalidade. Esse teste mostrou-se, portanto, uma escolha adequada para a análise de normalidade em conjuntos de dados como os que foram avaliados nesta pesquisa, oferecendo uma base para a aplicação dos procedimentos estatísticos adicionais.

Inicialmente foram calculados os valores residuais, ou seja, a diferença entre os valores estimados e observados para cada escala de análise e cada EMP. Caso a distribuição dos valores residuais fosse normal, a média, o mínimo, máximo e desvio padrão foram calculados para esses valores residuais, primeiro entre as EMP e o CHIRPS, e em seguida entre as EMP o IMERG.

A comparação dos valores médios, mínimos, máximos e do desvio padrão dos resíduos visou compreender o comportamento dos dados estimados. Nesse contexto, o desvio padrão permite avaliar a dispersão entre esses dados, demonstrando o padrão do erro. Ao analisar o desvio padrão é possível examinar a consistência do CHIRPS e do IMERG em comparação aos dados observados.

Segundo Fonseca e Martins (2012), o desvio padrão é a raiz quadrada da variância, ou seja, para o cálculo é necessário primeiro determinar o valor da variância em um conjunto de dados. Então, quanto maior o desvio padrão e a variância, maior a dispersão dos dados em relação à média. A fórmula do desvio padrão é expressa por:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X}) \cdot F_i}{n - 1}} \quad (1)$$

onde:

S - Indica desvio padrão amostral

$\bar{X}$ - Média da população

x_i - Valor Individual

n - Tamanho da População

O coeficiente de correlação de Pearson (r) é empregado para avaliar a qualidade do ajuste e a relação linear entre duas variáveis, quantificando a que ponto o produto da precipitação por satélite se correlaciona à precipitação da estação (Bayissa et al., 2017). Nesta pesquisa, foi utilizado para medir a correlação entre as variáveis nos conjuntos estimados por produtos de satélite e os dados observados nas EMP, assumindo valores no intervalo de -1 a 1 (Montgomery et al., 2008). Quando $r=1$, a correlação é perfeita, indicando que ambas as séries crescem ou diminuem simultaneamente. $R=-1$ indica correlação perfeita, mas negativa, indicando que as variáveis são inversamente proporcionais. $R=0$ indica que as variáveis são linearmente independentes (Montgomery et al., 2008).

Segundo Hinkle et al. (2003), os intervalos de correlação podem ser interpretados da seguinte forma: intervalo de 0,9 a 1,0/ -0,9 a -1,0 indica correlação positiva/ negativa muito alta; de 0,7 a 0,9/ -0,7 a -0,9 representa correlação positiva/ negativa alta; de 0,5 a 0,7/ -0,5 a -0,7 sugere correlação positiva/ negativa moderada; de 0,3 a 0,5/ -0,3 a -0,5 indica correlação positiva/ negativa fraca; de 0,0 a 0,3/ ,0 a -0,3) representa correlação positiva/ negativa muito fraca. A fórmula (2) de Pearson é expressa por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]}} \quad (2)$$

onde:

r = coeficiente de correlação Pearson

$\bar{X}$ = média dos valores de X

x_i = valor assumido pela variável independente

$\bar{Y}$ = média dos valores de Y

y_i = valor assumido pela variável dependente

Os percentis são medidas que dividem as amostras em cem partes iguais (Fonseca e Martins, 2012). Nesta pesquisa, foi realizada uma análise do percentil 90 para avaliar os valores dos resíduos entre os conjuntos de dados, quando esses resíduos não apresentaram distribuição normal. De acordo com Fonseca e Martins (2012), o percentil 90 é uma medida estatística que indica o valor abaixo do qual 90% dos dados de uma amostra se encontram. Em outras palavras, ao ordenar todos os valores dos dados em ordem crescente, o percentil 90 separa os 90% menores dos 10% maiores valores.

Essa informação é útil para avaliar as estimativas em relação aos dados observados, uma vez que resíduos menores indicam maior acurácia dos dados, enquanto resíduos maiores podem sinalizar erros nas estimativas de precipitação fornecidas pelo CHIRPS ou IMERG. O percentil 90 é usado para dados que não seguem uma distribuição normal, pois oferece uma análise abrangente sobre a distribuição dos erros. A fórmula é descrita por Fonseca e Martins (2012):

$$P_i = l_{P_i} + \frac{\left(\frac{in}{100} - \sum f\right) \cdot h}{F_{P_i}} \quad (3)$$

onde:

l_{P_i} = limite da classe P_i , em que $i = 1, 2, 3, \dots, 99$

n = tamanho da amostra

$\sum f$ = soma das frequências anteriores à classe P_i

h = amplitude da classe P_i

F_{P_i} = frequência da classe P_i

Quando os valores dos resíduos apresentaram distribuição normal foi aplicado o cálculo do RMSE. Essa medida é utilizada para avaliar a acurácia de resultados numéricos, somando-se os erros obtidos da diferença entre o valor observado nas EMP e os dados estimados pelos produtos de satélite (Torres et al., 2020). O RMSE é uma medida útil para entender o quão discrepantes as estimativas estão dos valores observados, em média. Quanto menor o valor do RMSE, melhor é a capacidade do produto de descrever o fenômeno (Chicco, Warrens e Jurman, 2021).

Uma característica do RMSE é que os erros são elevados ao quadrado antes de ter a média calculada. Portanto, pesos diferentes serão atribuídos à soma e,

conforme os valores de erros das instâncias aumentam, o índice do RMSE aumenta. Ou seja, se houver um outlier no conjunto de dados, seu peso será maior para o cálculo do RMSE e, por conseguinte, prejudicará sua métrica deixando-a maior (Chicco, Warrens e Jurman, 2021). A fórmula é definida por:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (4)$$

onde:

n = número de amostras

y_i = valor observado da amostra

y_i[^] = valor previsto pelo modelo para a amostra

O coeficiente de determinação (R²) é empregado para quantificar a relação entre dois fatores, representando a proporção da variabilidade em uma variável. Nesse contexto, ele avaliou o ajuste dos dados dos produtos de satélite em relação aos dados observados nas EMP, indicando a porcentagem da variação nos dados estimados que pode ser explicada pela variação total nos dados observados (Montgomery et al., 2008). Ele pode ser expresso pela fórmula, segundo Torres et al. (2020):

$$R^2 = \frac{[\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})(\hat{y}_t - \bar{\hat{y}})]^2}{\sum_{t=1}^n [y_t - \bar{y}]^2 \sum_{t=1}^n [\hat{y}_t - \bar{\hat{y}}]^2} \quad (5)$$

onde:

n: Número de amostras

t: Período

y_t : Observação real do valor da variável dependente no tempo t.

y_t[^]: Valor previsto pelo modelo de regressão no tempo t.

ȳ: Média dos valores observados da variável dependente.

ȳ[^]: Média dos valores previstos pelo modelo de regressão.

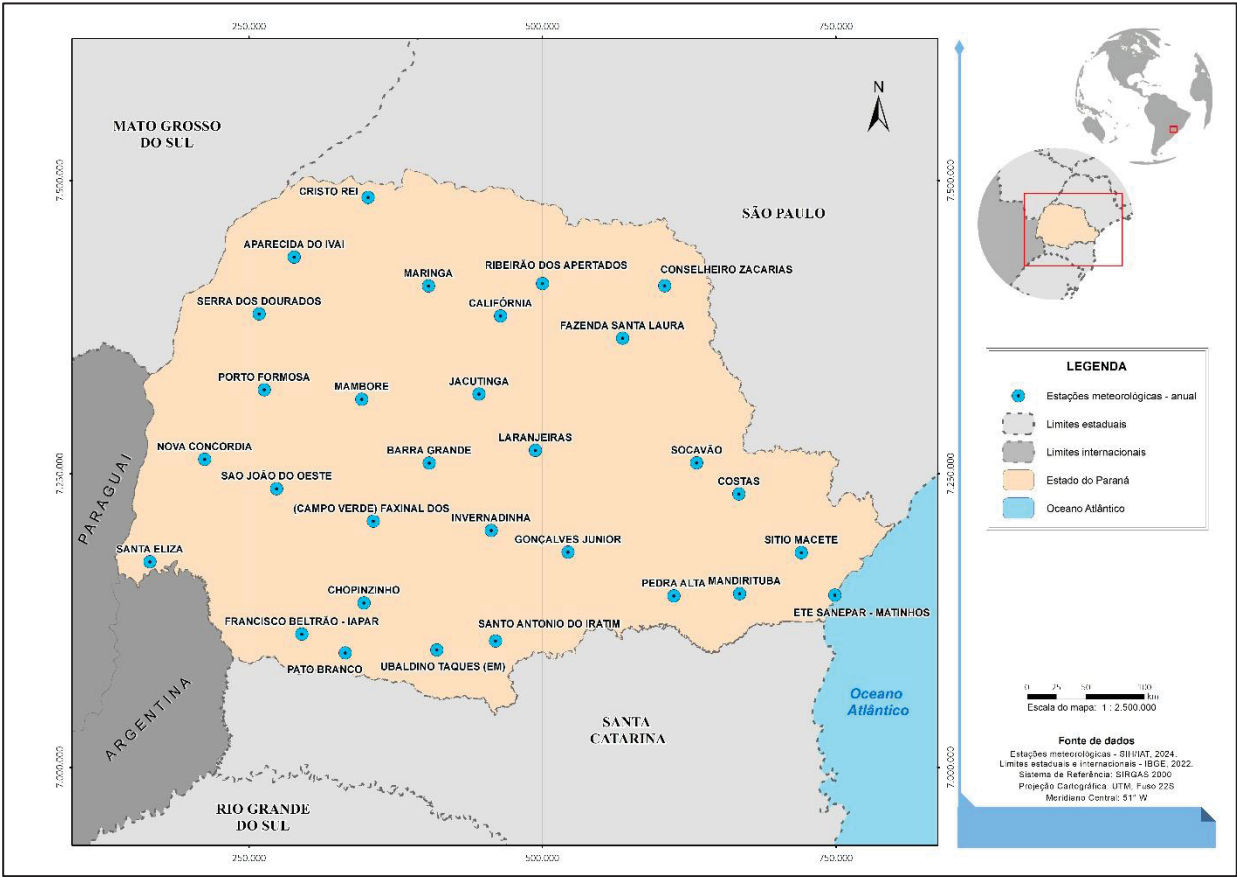
Segundo Morettin e Bussab (2010), o valor de R² varia de 0 a 1, indicando o grau em que o modelo de regressão explica os valores observados. Quanto mais próximo de 1, maior é o poder explicativo do modelo e melhor seu ajuste à amostra.

Para a realização dos testes de normalidade nos conjuntos de dados de precipitação, foi utilizado o software *Past* na versão 4.03, etapa essencial para a aplicação das análises estatísticas subsequentes. Após a verificação da normalidade, as demais análises estatísticas, como cálculo de médias, desvios padrão, RMSE, percentil 90 e correlações, foram realizadas no Excel, que oferece ferramentas adequadas para esses procedimentos. Para análise de significância e normalidade dos resíduos dos modelos de regressão foi utilizado o software *RStudio*.

3.3 ESTAÇÕES COM MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO

A seleção das Estações com monitoramento pluviométrico (EMP) para as análises anual e mensal seguiu os critérios predefinidos, assegurando a qualidade e representatividade dos dados. Foram selecionadas 30 EMP para a escala anual (QUADRO 4), considerando os valores de precipitação acumulada no ano analisado, e 30 para a escala mensal (QUADRO 5), com base nos valores de precipitação dos meses com maior acumulado de precipitação e os meses com menores volumes de precipitação durante o ano. A distribuição espacial das EMP pode ser visualizada nas FIGURA 5 e FIGURA 6. O QUADRO 6 apresenta a descrição das EMP em relação às unidades geomorfológicas, Mesorregiões e escalas de análise.

FIGURA 5 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES COM MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO ANUAIS



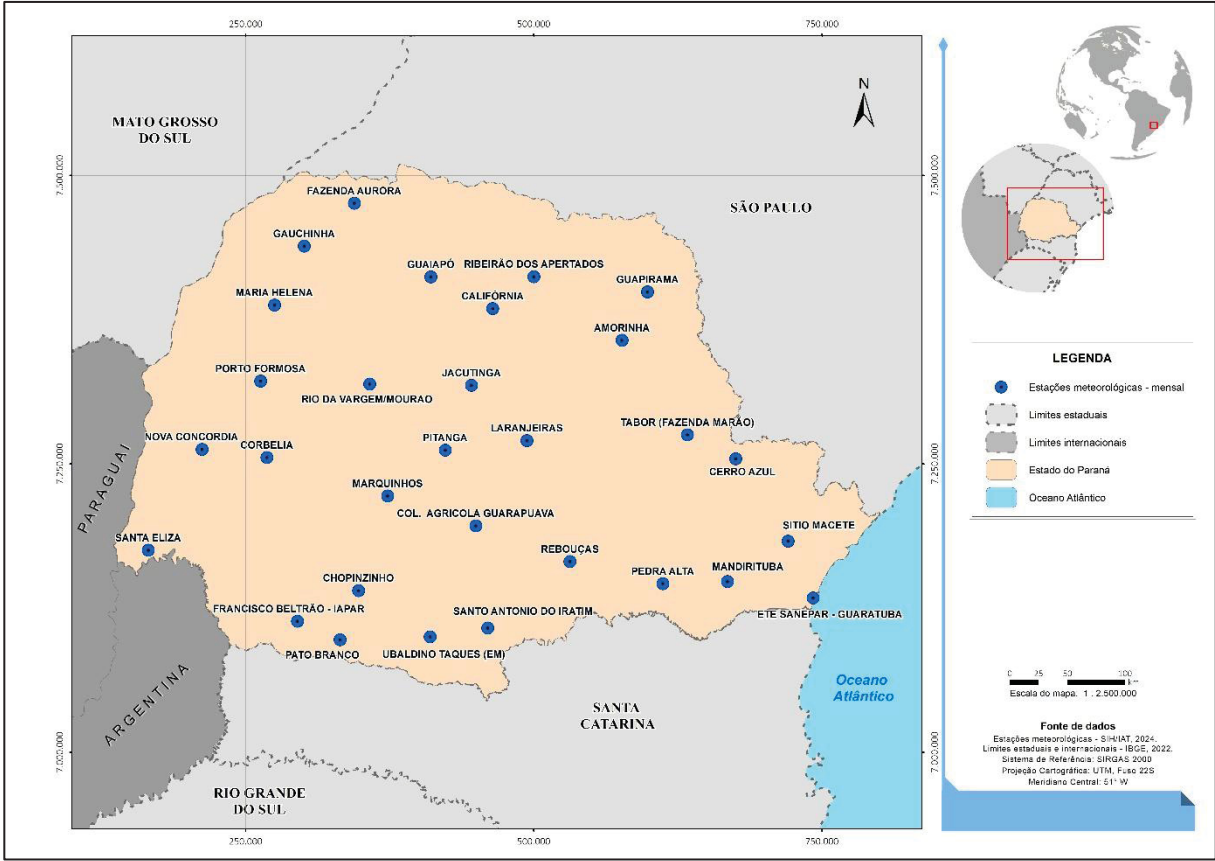
FONTE: A autora (2024)

QUADRO 4 - ESTAÇÕES COM MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO ANUAIS

MUNICÍPIO	CÓDIGO	EMP	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (M)	ENTIDADE
ALTO PIQUIRI	2453009	PORTO FORMOSA	24° 12' 00"	53° 19' 59"	430	ANA
BITURUNA	2651020	SANTO ANTONIO DO IRATIM	26° 09' 00"	51° 24' 00"	950	AGUASPARANÁ
CASCABEL	2453056	SAO JOÃO DO OESTE	24° 57' 43"	53° 14' 36"	662	AGUASPARANÁ
CASTRO	2449028	SOCAVÃO	24° 46' 28"	49° 42' 00"	1051	AGUASPARANÁ
CHOPINZINHO	2552030	CHOPINZINHO	25° 51' 00"	52° 31' 00"	800	ANA
CORONEL DOMINGOS SOARES	2651031	UBALDINO TAQUES (EM)	26° 13' 00"	51° 54' 00"	1100	ANA
FRANCISCO BELTRÃO	2653012	FRANCISCO BELTRÃO - IAPAR	26° 04' 59"	53° 03' 00"	650	IAPAR
GUARAPUAVA	2551034	INVERNADINHA	25° 18' 00"	51° 25' 59"	1050	AGUASPARANÁ
IBAÍTI	2350063	FAZENDA SANTA LAURA	23° 49' 09"	50° 19' 44"	636	AGUASPARANÁ
IRATI	2550029	GONÇALVES JUNIOR	25° 28' 00"	50° 46' 59"	797	AGUASPARANÁ
IVAIPORÃ	2451022	JACUTINGA	24° 15' 00"	51° 31' 59"	720	AGUASPARANÁ
LAPA	2549059	PEDRA ALTA	25° 48' 00"	49° 52' 58"	903	AGUASPARANÁ
LARANJEIRAS DO SUL	2552019	(CAMPO VERDE) FAXINAL DOS INDIOS	25° 13' 21"	52° 25' 52"	785	AGUASPARANÁ
LONDRINA	2351070	RIBEIRÃO DOS APERTADOS	23° 24' 00"	51° 00' 00"	500	AGUASPARANÁ
MAMBORÉ	2452014	MAMBORÉ	24° 16' 59"	52° 31' 00"	702	AGUASPARANÁ
MANDIRITUBA	2549062	MANDIRITUBA	25° 46' 35"	49° 19' 28"	920	AGUASPARANÁ
MARINGÁ	2351013	MARINGÁ	23° 25' 00"	51° 57' 00"	542	INMET
MATINHOS	2548089	ETE SANEPAR - MATINHOS	25° 46' 35"	48° 30' 55"	2	AGUASPARANÁ
MORRETES	2548110	SÍTIO MACETE	25° 27' 15"	48° 48' 25"	15	AGUASPARANÁ
PARANAVAÍ	2252023	CRISTO REI	22° 43' 52"	52° 26' 47"	400	AGUASPARANÁ
PATO BRANCO	2652013	PATO BRANCO	26° 13' 59"	52° 40' 59"	760	AGUASPARANÁ
RESERVA	2451039	LARANJEIRAS	24° 41' 00"	51° 03' 35"	1200	AGUASPARANÁ
RIO BRANCO DO SUL	2449020	COSTAS	25° 00' 37"	49° 20' 27"	480	ANA
SANTA MARIA DO OESTE	2451021	BARRA GRANDE	24° 46' 45"	51° 57' 16"	929	AGUASPARANÁ
SANTA MÔNICA	2353041	APARECIDA DO IVAI	23° 10' 59"	53° 04' 00"	300	AGUASPARANÁ
SANTO ANTONIO DA PLATINA	2349059	CONSELHEIRO ZACARIAS	23° 24' 50"	49° 58' 51"	603	AGUASPARANÁ
SÃO MIGUEL DO IGUAÇU	2554013	SANTA ELIZA	25° 30' 15"	54° 19' 39"	297	AGUASPARANÁ
TOLEDO	2453017	NOVA CONCORDIA	24° 43' 32"	53° 50' 42"	513	AGUASPARANÁ
UMUARAMA	2353022	SERRA DOS DOURADOS	23° 37' 00"	53° 22' 00"	500	AGUASPARANÁ
CALIFÓRNIA	2351037	CALIFÓRNIA	23° 39' 00"	51° 21' 00"	790	AGUASPARANÁ

FONTE: A autora (2024)

FIGURA 6 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES COM MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO MENSAIS



FONTE: A autora (2024)

QUADRO 5 - ESTAÇÕES COM MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO MENSAIS

MUNICÍPIO	CÓDIGO	EMP	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE(M)	ENTIDADE
ALTO PIQUIRI	2453009	PORTO FORMOSA	24° 12' 00"S	53° 19' 59"W	430	ANA
BITURUNA	2651020	SANTO ANTONIO DO IRATIM	26° 09' 00"S	51° 24' 00"W	950	AGUASPARANÁ
CALIFÓRNIA	2351037	CALIFÓRNIA	23° 39' 00"S	51° 21' 00"W	790	AGUASPARANÁ
CAMPO MOURÃO	2452045	RIO DA VARGEM/MOURAO	24° 14' 05"S	52° 24' 09"W	668	AGUASPARANÁ
CASTRO	2449030	TABOR (FAZENDA MARÃO)	24° 37' 59"S	49° 40' 59"W	1100	AGUASPARANÁ
CERRO AZUL	2449008	CERRO AZUL	24° 49' 00"S	49° 16' 00"W	320	ANA
CHOPINZINHO	2552030	CHOPINZINHO	25° 51' 00"S	52° 31' 00"W	800	ANA
CORBÉLIA	2453012	CORBÉLIA	24° 47' 55"S	53° 17' 29"W	696	AGUASPARANÁ
CORONEL DOMINGOS SOARES	2651031	UBALDINO TAQUES (EM)	26° 13' 00"S	51° 54' 00"W	1100	ANA
FRANCISCO BELTRÃO	2653012	FRANCISCO BELTRÃO - IAPAR	26° 04' 59"S	53° 03' 00"W	650	IAPAR
GUAPIRAMA	2350054	GUAPIRAMA	23° 31' 00"S	50° 01' 59"W	600	AGUASPARANÁ
GUARAPUAVA	2551010	COL. AGRÍCOLA GUARAPUAVA	25° 21' 00"S	51° 30' 00"W	1058	IAPAR
GUARATUBA	2548087	ETE SANEPAR - GUARATUBA	25° 53' 42"S	48° 34' 50"W	5	AGUASPARANÁ
IBAÍTI	2350041	AMORINHA	23° 53' 49"S	50° 14' 53"W	780	AGUASPARANÁ
IVAIPORÃ	2451022	JACUTINGA	24° 15' 00"S	51° 31' 59"W	720	AGUASPARANÁ
LAPA	2549059	PEDRA ALTA	25° 48' 00"S	49° 52' 58"W	903	AGUASPARANÁ
LONDRINA	2351070	RIBEIRÃO DOS APERTADOS	23° 24' 00"S	51° 00' 00"W	500	AGUASPARANÁ
MANDIRITUBA	2549062	MANDIRITUBA	25° 46' 35"S	49° 19' 28"W	920	AGUASPARANÁ
MARIA HELENA	2353023	MARIA HELENA	23° 36' 28"S	53° 12' 15"W	372	AGUASPARANÁ
MARINGÁ	2351045	GUAIAPO	23° 24' 00"S	51° 52' 26"W	584	AGUASPARANÁ
MARQUINHO	2552008	MARQUINHOS	25° 06' 44"S	52° 15' 30"W	872	AGUASPARANÁ
MORRETES	2548110	SÍTIO MACETE	25° 27' 15"S	48° 48' 25"W	15	AGUASPARANÁ
PARANAVAÍ	2252027	FAZENDA AURORA	22° 49' 05"S	52° 31' 00"W	367	AGUASPARANÁ
PATO BRANCO	2652013	PATO BRANCO	26° 13' 59"S	52° 40' 59"W	760	AGUASPARANÁ
PITANGA	2451013	PITANGA	24° 45' 26"S	51° 45' 33"W	892	AGUASPARANÁ
PLANALTINA DO PARANÁ	2352048	GAUCHINHA	23° 08' 57"S	52° 56' 43"W	354	AGUASPARANÁ
REBOUÇAS	2550038	REBOUÇAS	25° 37' 48"S	50° 41' 17"W	918	AGUASPARANÁ
RESERVA	2451039	LARANJEIRAS	24° 41' 00"S	51° 03' 35"W	1200	AGUASPARANÁ
SÃO MIGUEL DO IGUAÇU	2554013	SANTA ELIZA	25° 30' 15"S	54° 19' 39"W	297	AGUASPARANÁ
TOLEDO	2453017	NOVA CONCORDIA	24° 43' 32"S	53° 50' 42"W	513	AGUASPARANÁ

FONTE: A autora (2024)

QUADRO 6 - CARACTERIZAÇÃO DAS EMP POR UNIDADE, MESORREGIÃO E ESCALA DE ANÁLISE

UNIDADE GEOMORFOLÓGICA	MESORREGIÃO	EMP	ANÁLISE
LITORAL	METROPOLITANA	ETE SANEPAR - GUARATUBA	MENSAL
LITORAL	METROPOLITANA	ETE SANEPAR - MATINHOS	ANUAL
SERRA DO MAR	METROPOLITANA	SITIO MACETE	ANUAL; MENSAL
PRIMEIRO	METROPOLITANA	CERRO AZUL	MENSAL
PRIMEIRO	METROPOLITANA	COSTAS	ANUAL
PRIMEIRO	METROPOLITANA	MANDIRITUBA	ANUAL; MENSAL
PRIMEIRO	CENTRO ORIENTAL	SOCAVÃO	ANUAL
PRIMEIRO	CENTRO ORIENTAL	TABOR (FAZENDA MARÃO)	MENSAL
SEGUNDO	NORTE PIONEIRO	AMORINHA	MENSAL
SEGUNDO	NORTE PRIONEIRO	CONSELHEIRO ZACARIAS	ANUAL
SEGUNDO	NORTE PIONEIRO	FAZENDA SANTA LAURA	ANUAL
SEGUNDO	SUDESTE	GONÇALVES JUNIOR	ANUAL
SEGUNDO	NORTE PIONEIRO	GUAPIRAMA	MENSAL
SEGUNDO	NORTE CENTRAL	JACUTINGA	ANUAL; MENSAL
SEGUNDO	CENTRO ORIENTAL	LARANJEIRAS	ANUAL; MENSAL
SEGUNDO	METROPOLITANA	PEDRA ALTA	ANUAL; MENSAL
SEGUNDO	SUDESTE	REBOUÇAS	MENSAL
TERCEIRO	CENTRO-SUL	(CAMPO VERDE) FAXINAL DOS INDIOS	ANUAL
TERCEIRO	NOROESTE	APARECIDA DO IVAI	ANUAL
TERCEIRO	CENTRO-SUL	BARRA GRANDE	ANUAL
TERCEIRO	NORTE CENTRAL	CALIFÓRNIA	ANUAL
TERCEIRO	NORTE CENTRAL	CALIFÓRNIA	MENSAL
TERCEIRO	SUDOESTE	CHOPINZINHO	ANUAL MENSAL
TERCEIRO	CENTRO-SUL	COL. AGRICOLA GUARAPUAVA	MENSAL
TERCEIRO	OESTE	CORBELIA	MENSAL
TERCEIRO	NOROESTE	CRISTO REI	ANUAL
TERCEIRO	NOROESTE	FAZENDA AURORA	MENSAL
TERCEIRO	SUDOESTE	FRANCISCO BELTRÃO - IAPAR	ANUAL MENSAL
TERCEIRO	NOROESTE	GAUCHINHA	MENSAL
TERCEIRO	NORTE CENTRAL	GUAIAPO	MENSAL
TERCEIRO	CENTRO-SUL	INVERNADINHA	ANUAL
TERCEIRO	CENTRO OCIDENTAL	MAMBORE	ANUAL
TERCEIRO	NOROESTE	MARIA HELENA	MENSAL
TERCEIRO	NORTE CENTRAL	MARINGA	ANUAL
TERCEIRO	CENTRO-SUL	MARQUINHOS	MENSAL
TERCEIRO	OESTE	NOVA CONCORDIA	ANUAL; MENSAL
TERCEIRO	SUDOESTE	PATO BRANCO	ANUAL; MENSAL
TERCEIRO	CENTRO-SUL	PITANGA	MENSAL
TERCEIRO	NOROESTE	PORTO FORMOSA	ANUAL; MENSAL
TERCEIRO	NORTE CENTRAL	RIBEIRÃO DOS APERTADOS	ANUAL; MENSAL
TERCEIRO	CENTRO OCIDENTAL	RIO DA VARGEM/MOURAO	MENSAL
TERCEIRO	OESTE	SANTA ELIZA	ANUAL; MENSAL
TERCEIRO	SUDESTE	SANTO ANTONIO DO IRATIM	ANUAL; MENSAL
TERCEIRO	OESTE	SAO JOÃO DO OESTE	ANUAL
TERCEIRO	NOROESTE	SERRA DOS DOURADOS	ANUAL
TERCEIRO	CENTRO-SUL	UBALDINO TAQUES (EM)	ANUAL; MENSAL

FONTE: A autora (2024)

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir das análises das estações com monitoramento pluviométrico (EMP) e das estimativas de precipitação geradas pelos produtos de satélite CHIRPS e IMERG. Esses resultados são importantes para analisar a acurácia das estimativas de precipitação realizadas por esses produtos, quando comparados com os dados observados em EMP validadas. A discussão é organizada em torno das análises anuais e mensais, além da avaliação espacial. Os valores acumulados, tanto anuais quanto mensais, das EMP, CHIRPS e IMERG são expressos em milímetros (mm) para os respectivos períodos de análise.

4.1 ANÁLISE TEMPORAL DAS ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO CHIRPS E IMERG

4.1.1 Estimativas Anuais

Após a etapa de tratamento e organização dos dados, foram calculados os acumulados anuais de precipitação dos produtos CHIRPS e IMERG, e comparados com os valores dos acumulados nas EMP. Em seguida, foram realizados os cálculos dos resíduos, que se refere a diferença entre o valor estimado e o valor observado. Este cálculo foi empregado com o intuito de avaliar as discrepâncias e concordâncias nos valores acumulados de precipitação anual entre os produtos de satélite e as EMP. Após, foram calculados os valores de média, desvio padrão e dos valores mínimo e máximo para todos os conjuntos de dados.

Ao analisar a distribuição dos valores anuais acumulados das EMP, do CHIRPS e do IMERG, por meio do teste de Shapiro-Wilk, constatou-se que esses conjuntos de dados seguem uma distribuição normal. Da mesma forma, ao examinar a distribuição dos valores residuais entre o CHIRPS e as EMP (TABELA 1), verificou-se que esses resíduos também apresentam distribuição normal. Diante disso, foi possível analisar os valores mínimo, máximo, média e desvio padrão (TABELA 2).

Entretanto, ao realizar o teste de normalidade para os valores dos resíduos entre o IMERG e as EMP (TABELA 3), verificou-se que os dados não seguem uma distribuição normal. Nesse caso, optou-se por analisar apenas os valores mínimo e

máximo (TABELA 4), pois, em conjuntos sem distribuição normal, a média e o desvio padrão não são adequados para descrever a tendência central ou a dispersão dos dados, uma vez que eles não representam o comportamento do conjunto (Fonseca e Martins, 2012). Nesse sentido, considerando os resultados do teste de normalidade, foram calculados o valor de RMSE para os resíduos do produto CHIRPS (TABELA 2) e o percentil 90 para os resíduos do IMERG (TABELA 4). Posteriormente, foram calculados o coeficiente de Pearson e o R^2 a partir da regressão linear simples para as estimativas de cada produto de satélite em comparação com os valores observados nas EMP.

TABELA 1 - RESÍDUO ENTRE A PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA DAS EMP E CHIRPS

CÓDIGO	NOME	ANO	EMP (mm)	CHIRPS (mm)	RESÍDUO (mm)
2452014	MAMBORE	2023	2604,2	1841,9	-762,3
2453009	PORTO FORMOSA	2023	2140,3	1601,8	-538,5
2453017	NOVA CONCORDIA	2022	2173,3	1694,7	-478,6
2552019	(CAMPO VERDE) FAXINAL DOS ÍNDIOS	2023	2515,4	2171,1	-344,3
2353041	APARECIDA DO IVAI	2023	1759,2	1423,9	-335,3
2351013	MARINGA	2020	1282,6	995,6	-287,0
2252023	CRISTO REI	2023	1833,3	1567,8	-265,5
2548110	SITIO MACETE	2022	2441,8	2207,0	-234,8
2651020	SANTO ANTONIO DO IRATIM	2023	2154,6	1928,5	-226,1
2350063	FAZENDA SANTA LAURA	2022	1548,5	1326,3	-222,2
2451021	BARRA GRANDE	2021	1559,6	1362,5	-197,1
2549059	PEDRA ALTA	2014	1824,4	1659,1	-165,3
2651031	UBALDINO TAQUES (EM)	2014	2406,7	2256,2	-150,5
2451039	LARANJEIRAS	2014	2152,9	2019,9	-133,0
2351070	RIBEIRÃO DOS APERTADOS	2018	1740,0	1629,6	-110,4
2353022	SERRA DOS DOURADOS	2018	1723,2	1663,2	-60,0
2552030	CHOPINZINHO	2020	1431,7	1398,4	-33,3
2453056	SAO JOÃO DO OESTE	2016	2049,3	2021,8	-27,5
2548089	ETE SANEPAR - MATINHOS	2014	2074,5	2050,2	-24,3
2549062	MANDIRITUBA	2023	1461,7	1447,3	-14,4
2551034	INVERNADINHA	2017	1898,4	1914,5	16,1
2451022	JACUTINGA	2023	1938,9	1973,3	34,4
2449028	SOCAVÃO	2018	1314,5	1385,6	71,1
2652013	PATO BRANCO	2016	1957,4	2040,7	83,3
2653012	FRANCISCO BELTRÃO - IAPAR	2018	1920,9	2024,3	103,4
2351037	CALIFORNIA	2023	1692,9	1820,1	127,2
2449020	COSTAS	2022	1446,4	1604,3	157,9
2550029	GONÇALVES JUNIOR	2018	1363,7	1536,9	173,2
2554013	SANTA ELIZA	2019	1508,1	1825,6	317,5
2349059	CONSELHEIRO ZACARIAS	2014	1240,6	1637,7	397,1

FONTE: A autora (2024)

LEGENDA: Tabela 1: Gradiente de cores representando a discrepância dos resíduos em relação a zero, variando de branco (concordância) a vermelho intenso (maiores discrepâncias).

TABELA 2 - ANÁLISE DESCRITIVA DA PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA CHIRPS

PARÂMETROS	EMP (mm)	CHIRPS (mm)	RESÍDUO (mm)
MÉDIA	1838,6	1734,3	-104,3
DESVIO PADRÃO	381,4	304,0	248,6
MÍNIMO	1240,6	995,6	-762,3
MÁXIMO	2604,2	2253,2	397,1
RSME	-	-	265,7

FONTE: A autora (2024)

Ao analisar os dados do CHIRPS, foi observado que para algumas EMP o produto apresentou repetição de estimativas idênticas para diferentes dias. Por exemplo, na EMP Col. Agrícola Guarapuava, as estimativas para os dias 03/09/2016 e 05/09/2016 foram de 19,331764 mm. Da mesma forma, na estação Pato Branco, os dias 03/09/2016 e 05/09/2016 também apresentam a mesma estimativa de 19,331764 mm. A recorrência de estimativas foi identificada não apenas para esses dias, mas também em outros dias, anos e estações. Essa repetição nos dados pode influenciar na análise dos valores de precipitação acumulada diariamente, porém não é possível afirmar se a duplicidade de valores estimados diariamente impacta nos acumulados mensais ou anuais.

A análise dos resíduos do CHIRPS apresenta uma média de -104,3 mm, indicando que, de modo geral, o produto está subestimando a precipitação quando comparado aos dados observados das EMP. O desvio padrão mede a dispersão dos dados em relação à média, indicando o quanto os resíduos do CHIRPS variam em torno da média. O desvio padrão de 248,6 mm demonstra que há uma alta variabilidade nos resíduos, ou seja, as diferenças entre as estimativas do CHIRPS e os valores observados nas EMP variam entre os anos.

Nesse sentido, foi calculado o RMSE para avaliar a acurácia das estimativas em relação aos valores observados, fornecendo uma média das discrepâncias entre eles. O valor de RMSE para os resíduos dos acumulados anuais de precipitação indica que o CHIRPS apresenta um erro médio quadrático de 265,7 mm em relação às EMP. A análise dos resíduos anuais entre as diferentes EMP revela variações no desempenho do CHIRPS ao longo dos anos. Em algumas EMP, as estimativas do CHIRPS mostraram proximidade com os dados observados, como em Mandirituba, em 2023, com um resíduo de -14,4 mm, Invernadinha, em 2017, com 16,1 mm, e ETE SANEPAR – Matinhos, com -24,3 mm em 2014.

No entanto, o produto também apresentou estimativas discrepantes, como em Mamborê, que apresentou, em 2023, o maior resíduo negativo, de -762,3 mm, seguido por Porto Formosa, no mesmo ano, com -538,5 mm, e Nova Concórdia, em 2022, com -478,6 mm. Esses valores refletem uma subestimação da precipitação pelo CHIRPS nessas localidades e períodos. Nessas EMP, os acumulados mensais superaram os 2000 mm, com destaque para Mamborê, que registrou o maior acumulado anual de precipitação entre as EMP analisadas, totalizando 2604,2 mm, conforme os dados observados.

A variação nos resíduos também é observada em diferentes anos dentro de uma mesma mesorregião, como na EMP Pato Branco, em 2016, com um resíduo de 83,3 mm, Chopinzinho, em 2020, com -33,3 mm, e Francisco Beltrão – IAPAR, em 2018, com um resíduo positivo de 103,4 mm. Esses resultados mostram que, mesmo dentro de uma mesma região e unidade geomorfológica, as estimativas do CHIRPS apresentaram variações para diferentes anos.

Os resultados mostram que o CHIRPS superestimou a precipitação em algumas localidades com volumes registrados abaixo da média de 1838,6 mm. Exemplos incluem Conselheiro Zacarias, em 2014, com um resíduo de 397,1 mm e o menor acumulado de precipitação entre as EMP analisadas; Santa Eliza, em 2019, com 317,5 mm; e Gonçalves Júnior, em 2018, com 173,2 mm, todos apresentando volumes de chuva inferiores à média do conjunto.

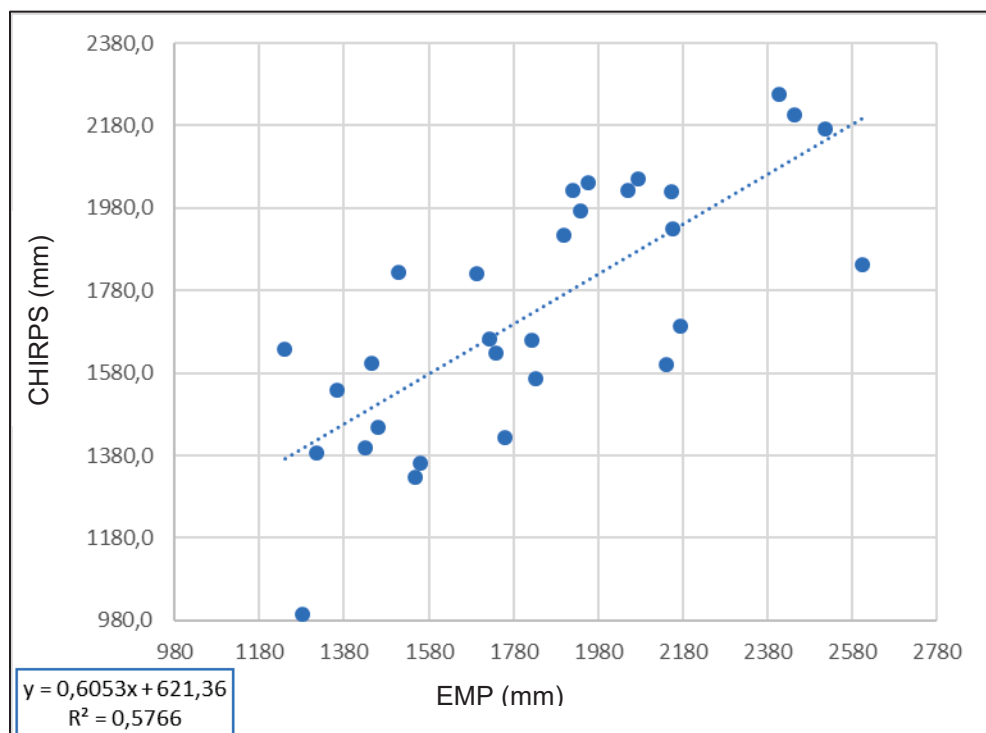
Após essa primeira análise, foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson (r) para avaliar o ajuste e a relação linear entre os dados estimados pelos produtos de satélite e os dados observados pelas EMP. Assim sendo, o coeficiente de correlação (r), obtido para os acumulados anuais entre o CHIRPS e as EMP, foi de 0,76. O coeficiente de correlação de 0,76 entre os dados de precipitação acumulada anual estimados pelo CHIRPS e os observados nas EMP mostra uma correlação positiva alta, indicando que, em linhas gerais, os padrões de precipitação estimados pelo CHIRPS acompanham a tendência dos dados observados. Porém, ainda existe uma variação, com discrepâncias em alguns anos que podem refletir limitações em capturar a variabilidade anual em certos contextos regionais.

Esses resultados são consistentes com os achados na pesquisa de Wu et al. (2019), que avaliaram o desempenho do CHIRPS para monitorar a seca na província de Yunnan, na China, e comparou os dados do produto com observações realizadas por 122 medidores entre 1981 e 2015. Segundo os autores, o CHIRPS apresentou um

bom desempenho na estimativa de precipitação acumulada anual, com um coeficiente de correlação (CC) de 0,79, erro quadrático médio (RMSE) de 234,35 mm e erro absoluto médio (MAE) de 167,59. Isso indica uma concordância entre os dados do CHIRPS e as observações das estações pluviométricas daquela região.

Posteriormente, foi calculado o valor de R^2 a partir de regressão simples para avaliar o ajuste dos dados dos produtos de satélite em relação aos dados observados nas EMP. A análise do gráfico de dispersão entre os dados de precipitação observados pelas EMP e os valores estimados pelo CHIRPS (GRÁFICO 1) mostra uma relação positiva. Isso significa que, à medida que os valores de precipitação das estações aumentam, as estimativas do CHIRPS também aumentam.

GRÁFICO 1 – PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA: EMP X CHIRPS



FONTE: A autora (2024)

O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,5766$), indica que 57,66% da variação nas estimativas do CHIRPS pode ser explicada pela variação nos dados das EMP, com um *p-valor* de 0,000001146 (significativo a $p < 0,05$, estatística F). O teste dos resíduos do modelo de regressão indicou normalidade na distribuição, indicando que o modelo é adequado para descrever a relação entre as duas variáveis.

De modo geral, as maiores subestimações ocorreram em 2023, com várias estações mostrando resíduos negativos. De acordo com o boletim divulgado pelo INMET em parceria com o INPE, ANA e o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres - Cenad (2024), no ano de 2023 foram observadas características associadas a um El Niño moderado a forte. Embora não tenha sido o fenômeno mais intenso registrado, causou impactos em várias regiões do país, como no Sul do Brasil, onde os acumulados de chuva superaram amplamente a média histórica (INMET et al., 2024). A presença de eventos de El Niño, como parte da dinâmica do El Niño-Oscilação Sul (ENOS), contribui para a variabilidade da precipitação no Paraná, com tendência a intensificar eventos de chuva extrema (Pinheiro, 2016; Gebert e Kist, 2023).

A ocorrência de um evento El Niño moderado a forte, pode justificar as discrepâncias encontradas entre os registros das EMP e os estimados pelo produto de satélite para o ano de 2023, uma vez que o aumento da precipitação pode não ter sido totalmente capturado pelo CHIRPS. Conforme Dinku et al. (2018), a subestimação de valores extremos pode estar relacionada a metodologia de interpolação espacial do CHIRPS, que combina anomalias médias ponderadas pelas distâncias das estações próximas. Esse processo de média espacial tende a suavizar a variabilidade das estimativas de precipitação, o que, embora contribua para um bom desempenho geral, frequentemente leva à subestimação de eventos de precipitação extrema (Dinku et al., 2018).

Apesar das discrepâncias observadas, o CHIRPS mostrou proximidade com os valores observados no acumulado anual. Kolluru V., Kolluru S. e Concati (2020), ao analisar o desempenho do CHIRPS em diversas regiões da Índia, destacaram sua viabilidade e importância para a modelagem hidrológica em bacias tropicais não monitoradas ou que demandam dados de longo prazo, devido à sua capacidade de fornecer estimativas de precipitação consistentes. No entanto, os autores também identificaram que, embora eficaz em muitos aspectos, o CHIRPS subestimou eventos de precipitação extrema. Isso indica que, em situações de alta intensidade de chuva, o CHIRPS pode não representar a magnitude desses eventos (Kolluru V., Kolluru S. e Concati, 2020).

Gao et al. (2018), em um estudo que analisou o desempenho do CHIRPS na escala anual, comparando os dados com 29 pluviômetros distribuídos pela Bacia do Rio Haihe, na China, relataram uma boa concordância com as medições de

precipitação em solo, evidenciada por uma forte correlação ($R^2 = 0,8663$, $p < 0,01$). Os resultados indicaram um erro médio (ME) de 29,61 mm/ano, erro quadrático médio (RMSE) de 48,41 mm/ano e viés (BIAS) de 0,2%. Contudo, foi observado que o CHIRPS tende a superestimar a precipitação, quando o acumulado anual ultrapassa 350 mm. De maneira geral, o estudo concluiu que o CHIRPS é um conjunto de dados relevante para o monitoramento da precipitação, sendo útil para a análise da variabilidade espacial e temporal na região estudada (Gao et al., 2018). Esses estudos reforçam a necessidade de análises regionalizadas para avaliar a eficiência das estimativas do CHIRPS em diferentes contextos. A seguir, são apresentados os resultados da análise do IMERG em relação aos acumulados anuais.

TABELA 3 - RESÍDUO ENTRE A PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA DAS EMP E IMERG

CÓDIGO	NOME	ANO	EMP (mm)	IMERG (mm)	RESÍDUO (mm)
2548110	SITIO MACETE	2022	2441,8	1668,3	-773,5
2452014	MAMBORE	2023	2604,2	2087,8	-516,4
2453009	PORTO FORMOSA	2023	2140,3	1989,9	-150,4
2350063	FAZENDA SANTA LAURA	2022	1548,5	1421,2	-127,3
2653012	FRANCISCO BELTRÃO - IAPAR	2018	1920,9	1841,7	-79,2
2252023	CRISTO REI	2023	1833,3	1760,0	-73,3
2451022	JACUTINGA	2023	1938,9	1866,1	-72,8
2548089	ETE SANEPAR - MATINHOS	2014	2074,5	2002,2	-72,3
2453017	NOVA CONCORDIA	2022	2173,3	2107,3	-66,0
2353041	APARECIDA DO IVAÍ	2023	1759,2	1693,3	-65,9
2552019	(CAMPO VERDE) FAXINAL DOS	2023	2515,4	2454,2	-61,2
2451039	LARANJEIRAS	2014	2152,9	2094,4	-58,5
2550029	GONÇALVES JUNIOR	2018	1363,7	1333,6	-30,1
2449028	SOCAVÃO	2018	1314,5	1285,8	-28,7
2651020	SANTO ANTONIO DO IRATIM	2023	2154,6	2128,6	-26,0
2552030	CHOPINZINHO	2020	1431,7	1415,8	-15,9
2449020	COSTAS	2022	1446,4	1453,0	6,6
2652013	PATO BRANCO	2016	1957,4	1976,0	18,6
2351070	RIBEIRÃO DOS APERTADOS	2018	1740,0	1758,8	18,8
2353022	SERRA DOS DOURADOS	2018	1723,2	1745,0	21,8
2451021	BARRA GRANDE	2021	1559,6	1615,2	55,6
2549059	PEDRA ALTA	2014	1824,4	1899,7	75,3
2351037	CALIFORNIA	2023	1692,9	1770,4	77,5
2549062	MANDIRITUBA	2023	1461,7	1561,6	99,9
2351013	MARINGÁ	2020	1282,6	1394,2	111,6
2551034	INVERNADINHA	2017	1898,4	2012,9	114,5
2554013	SANTA ELIZA	2019	1508,1	1623,0	114,9
2651031	UBALDINO TAQUES (EM)	2014	2406,7	2564,5	157,8
2453056	SAO JOÃO DO OESTE	2016	2049,3	2213,7	164,4
2349059	CONSELHEIRO ZACARIAS	2014	1240,6	1486,8	246,2

FONTE: A autora (2024)

LEGENDA: Tabela 3: Gradiente de cores representando a discrepância dos resíduos em relação a zero, variando de branco (concordância) a vermelho intenso (maiores discrepâncias)

TABELA 4 - ANÁLISE DESCRITIVA DA PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA IMERG

PARÂMETROS	EMP (mm)	IMERG (mm)	RESÍDUO (mm)
MÉDIA	1838,6	1807,5	-
DESVIO PADRÃO	381,4	323,6	-
MÍNIMO	1240,6	1285,8	-773,5
MÁXIMO	2604,2	2564,5	246,2
PERCENTIL 90	-	-	172,6

FONTE: A autora (2024)

Os valores mínimo e máximo de -773,5 mm e 246,2 mm, respectivamente, refletem a variação nos resíduos do IMERG. Para uma análise mais detalhada dos resíduos, foi calculado o percentil 90, que resultou em 172,6 mm. Isso indica que 90% do valor absoluto dos resíduos do produto estão abaixo desse valor, indicando que, na maioria das comparações anuais, a diferença entre a estimativa do IMERG e os dados observados nas EMP é inferior a 172,6 mm. Esse resultado evidencia uma variação nos resíduos do IMERG, com algumas estimativas apresentando discrepâncias em relação aos valores observados nas EMP.

As maiores subestimações do produto foram nas EMP de Sitio Macete em 2022, com resíduo de -773,5 mm e Mamborê em 2023, com resíduo de -516,4. De modo geral, observa-se que o IMERG subestimou os valores de precipitação mais elevados nas EMP que registraram altos volumes anuais (acima de 2000 mm). Esses resultados demonstram que o IMERG apresentou desvios negativos em anos de precipitação anual elevada. Resultados semelhantes foram encontrados por Nan et al. (2021), que avaliaram o desempenho do produto sobre a China continental, demonstrando que os produtos IMERG podem subestimar os níveis de precipitação em casos de altos volumes de precipitação.

Em alguns anos as estimativas do IMERG se aproximaram dos valores observados, como por exemplo, nas EMP Chopinzinho (2020) com resíduo de -15,9 mm, Costas (2022) com resíduo 6,6 mm, e Pato Branco (2016) com resíduo de 18,6 mm. Resultados consistentes, com subestimações e superestimações relativamente baixas, demonstrando estimativas mais confiáveis do produto quando considerado o acumulado anual para essas EMP.

A análise das maiores superestimações revelou que tanto os altos volumes de precipitação, em relação ao conjunto analisado, quanto os valores abaixo da média do grupo (1838,6 mm) apresentaram superestimações pelo IMERG. Exemplos incluem a EMP Conselheiro Zacarias, que em 2014 registrou um acumulado de 1240,6

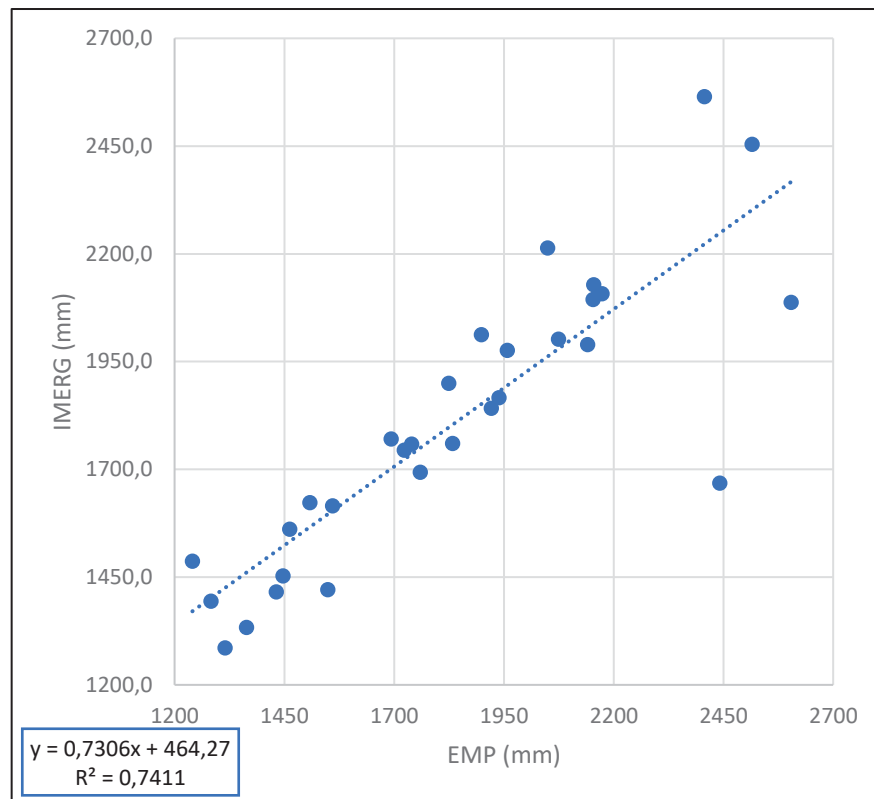
mm, enquanto o IMERG estimou 1486,8 mm, resultando em um resíduo de 246,2 mm; a EMP Ubaldino Taques, com um acumulado de 2406,7 mm no mesmo ano e resíduo de 157,8 mm; e a EMP São João do Oeste, que em 2016 registrou 2049,3 mm, com resíduo de 164,4 mm.

De forma geral, a análise dos resíduos evidencia que o desempenho do IMERG varia ao longo do tempo e entre as regiões do Paraná. Apesar de apresentar boa concordância com os dados observados em algumas situações, foram registradas maiores discrepâncias em outras. A amplitude dos resíduos, variando de -773,5 mm a 246,2 mm, reflete essa variabilidade, também destacada no estudo de Gadêlha et al. (2019). Segundo Gadêlha et al. (2019), embora o IMERG apresente boa concordância com dados observados em estações pluviométricas, sua capacidade de captar eventos extremos pode ser limitada, especialmente em regiões com baixa densidade de pluviômetros disponíveis para a calibração das estimativas.

Após essa análise inicial, foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson (r). O coeficiente obtido para o acumulado anual foi de 0,86 entre o IMERG e as EMP, indicando uma correlação positiva alta que indica uma associação consistente entre os dados estimados e os observados. Esse valor reforça os resultados encontrados por Gadêlha et al. (2019), que apontam uma correlação positiva alta entre dados de precipitação estimados pelo produto e os observados em estações meteorológicas para acumulados anuais.

Em seguida, foi calculado o valor de R^2 a partir de regressão simples para avaliar o ajuste dos dados dos produtos de satélite em relação aos dados observados nas EMP. A análise do gráfico de dispersão entre os dados de precipitação observados pelas EMP e os valores estimados pelo IMERG (GRÁFICO 2) revela uma relação positiva. Isso indica que, à medida que os valores de precipitação das estações aumentam, as estimativas do IMERG também crescem.

GRÁFICO 2 - PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA: EMP X IMERG



FONTE: A autora (2024)

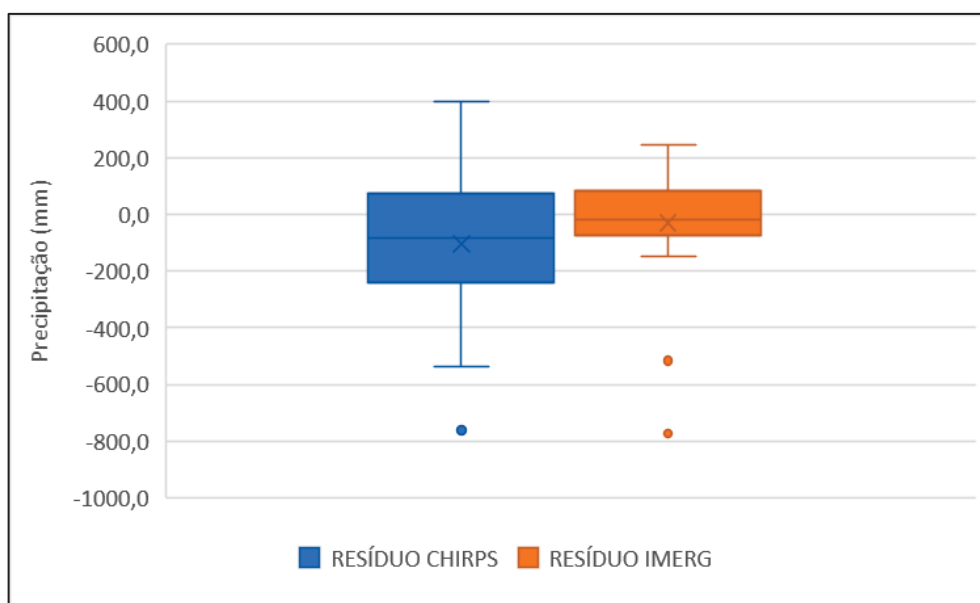
O coeficiente de determinação ($R^2=0,7411$) revela que 74,11% da variação nas estimativas do IMERG pode ser explicada pela variação nos dados observados, com *p-valor* de 0,000000001046 (significante a $p < 0,05$, estatística F). O teste de Shapiro-Wilk apontou que os resíduos do modelo de regressão não seguem uma distribuição normal, o que implica uma limitação em termos de inferência estatística, mesmo após a transformação logarítmica, a normalidade dos resíduos não foi alcançada. Embora o modelo mostre uma relação estatisticamente significativa, a falta de normalidade dos resíduos, ainda que não anule a significância geral do modelo, requer cautela na interpretação desses resultados.

No estudo realizado por Zhang et al., (2023), que avaliou as estimativas do IMERG para a precipitação mensal, sazonal e anual na China continental, utilizando dados de 1.200 estações meteorológicas de 2014 a 2020 como referência. Os resultados indicaram que o IMERG apresentou um bom desempenho na captura das distribuições espaciais e temporais da precipitação no país, com coeficientes de

correlação superiores a 0,95 e viés relativo variando entre 15,38% e 23,46%. O desempenho foi melhor na escala anual do que na mensal, sendo mais eficaz durante o verão. No entanto, a qualidade das estimativas foi afetada por condições climáticas e topográficas, com desafios maiores em regiões áridas, semiáridas e de alta elevação (Zhang et al., 2023). Apesar das diferenças regionais, esses resultados evidenciam a variabilidade das estimativas do IMERG em diferentes contextos e ressaltam a importância de análises regionais para compreender suas limitações e potencialidades.

A partir do GRÁFICO 3 é possível observar a distribuição dos resíduos para cada produto de satélite. Nota-se que os resíduos do CHIRPS apresentam maior dispersão em comparação ao IMERG. Ambos, no entanto, exibem outliers em seus conjuntos de dados.

GRÁFICO 3 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DE PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA: CHIRPS E IMERG



FONTE: A Autora (2024)

Os resultados demonstram que os dois produtos apresentam variações na modelagem da precipitação anual acumulada quando comparados aos dados observados. Os resultados da análise de correlação e desempenho entre os produtos CHIRPS e IMERG revelam diferenças na estimativa de precipitação acumulada anual. No caso do coeficiente de determinação (R^2), é importante considerar a influência de outliers nos resultados. Além disso, as discrepâncias nos resíduos podem estar

relacionadas a erros das próprias EMP, uma vez que a seleção envolveu uma tolerância na variação da precipitação registrada na EMP principal em relação às EMP vizinhas.

A complexidade da captação de precipitação por satélites é evidenciada pelas discrepâncias observadas, que incluem superestimções e subestimções, dependendo da localidade e do período analisado (Gadêlha et al., 2019; Xiao, Xia e Zou, 2020). Esses achados demonstram a variabilidade dos dados de precipitação estimados pelos produtos, destacando a necessidade de considerar métricas estatísticas na avaliação da confiabilidade das estimativas fornecidas (Hordofa et al., 2021; Popovych e Dunaieva, 2021).

4.1.2 Estimativas Mensais

A precipitação acumulada mensal dos produtos CHIRPS e IMERG foi calculada e comparada aos dados das EMP. Primeiramente, são apresentados os resultados da análise dos meses com os menores acumulados de precipitação, seguidos pelos resultados referentes aos meses com os maiores acumulados de precipitação. Após a organização e tratamento dos dados, realizou-se o cálculo dos resíduos entre os conjuntos de dados. Esse cálculo teve o objetivo de avaliar as discrepâncias nos acumulados mensais de precipitação.

Ao avaliar a distribuição dos conjuntos de dados referentes aos meses com os menores registros de precipitação acumulada, utilizando o teste de Shapiro-Wilk, constatou-se que os valores observados nas EMP, assim como as estimativas do CHIRPS e do IMERG, não seguem uma distribuição normal. No entanto, ao examinar a distribuição dos valores residuais entre as EMP e o CHIRPS e entre as EMP e o IMERG, verificou-se que esses resíduos apresentam distribuição normal. Diante disso, foi possível apresentar os valores mínimo, máximo, média e desvio padrão dos resíduos de ambos os produtos

Em seguida, foram calculados o valor de RMSE para os resíduos do produto CHIRPS e para os resíduos do IMERG. Em sequência, foram calculados o coeficiente de Pearson e o R^2 a partir da regressão linear simples para as estimativas de cada produto de satélite em comparação com os valores observados nas EMP. A seguir são apresentados os valores dos resíduos dos meses com os menores acumulados

de precipitação entre o CHIRPS e as EMP (TABELA 5). Os resultados da análise descritiva referentes ao CHIRPS são expostos na TABELA 6.

TABELA 5 – MESES COM MENORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO: RESÍDUOS ENTRE AS EMP E O CHIRPS

NOME	MÊS	ANO	EMP (mm)	CHIRPS (mm)	RESÍDUO (mm)
GUAPIRAMA	outubro	2014	15	89,6	74,6
CORBELIA	setembro	2016	49,5	109,3	59,8
PATO BRANCO	setembro	2016	69,2	121,6	52,4
LARANJEIRAS	outubro	2014	41,7	86,7	45,0
FRANCISCO BELTRÃO - IAPAR	julho	2018	12,2	55,4	43,2
PEDRA ALTA	agosto	2014	34,8	76,4	41,6
ETE SANEPAR - GUARATUBA	outubro	2014	47,6	86,3	38,7
UBALDINO TAQUES (EM)	agosto	2014	64,7	101,1	36,4
SANTO ANTONIO DO IRATIM	maio	2023	29,7	59,7	30,0
COL. AGRICOLA GUARAPUAVA	julho	2017	2,8	30,5	27,7
TABOR (FAZENDA MARÃO)	julho	2018	11,6	37,2	25,6
PORTO FORMOSA	julho	2023	70,3	92,8	22,5
RIO DA VARGEM/MOURAO	maio	2023	57	76,9	19,9
SANTA ELIZA	agosto	2019	0	19,6	19,6
NOVA CONCORDIA	julho	2022	26,5	42,4	15,9
CALIFÓRNIA	maio	2023	21,1	36,3	15,2
SITIO MACETE	julho	2022	21,8	36,5	14,7
CHOPINZINHO	abril	2020	44,1	57,7	13,6
MARIA HELENA	julho	2018	8,1	21,0	12,9
AMORINHA	julho	2022	5,5	15,4	9,9
JACUTINGA	julho	2022	38	44,0	6,0
REBOUÇAS	abril	2018	2,9	8,8	5,9
PITANGA	abril	2021	4,9	10,2	5,3
MANDIRITUBA	maio	2023	26,2	30,6	4,4
GUAIAPO	setembro	2020	7,2	11,1	3,9
RIBEIRÃO DOS APERTADOS	julho	2018	7	9,5	2,5
MARQUINHOS	julho	2022	60,8	61,7	0,9
GAUCHINHA	julho	2023	23,3	19,8	-3,5
FAZENDA AURORA	julho	2023	19,3	10,5	-8,8
CERRO AZUL	julho	2022	41,9	30,6	-11,3

FONTE: A autora (2024)

LEGENDA: Tabela 5 - Gradiente de cores representando a discrepância dos resíduos em relação a zero, variando de branco (concordância) a vermelho intenso (maiores discrepâncias).

TABELA 6 - ANÁLISE DESCRITIVA DOS MESES COM MENORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO CHIRPS

PARÂMETROS (mm)	EMP (mm)	CHIRPS (mm)	RESIDUAL (mm)
MÉDIA	-	-	20,8
DESVIO PADRÃO	-	-	20,7
MÍNIMO	0	8,8	-11,3
MÁXIMO	70,3	121,6	74,6
RMSE	-	-	29,1

FONTE: A Autora (2024)

O Desvio Padrão de 20,7 mm, que representa a variabilidade dos resíduos em relação à média, indica que há uma dispersão nos resíduos. O RMSE de 29,1 mm, demonstra que, em média, as estimativas do CHIRPS se desviam dos valores de referência em cerca de 29,1 mm.

Na análise dos resíduos para os acumulados mínimos mensais, as maiores discrepâncias do CHIRPS foram observadas nas EMP Guapirama (outubro de 2014), com um resíduo positivo de 74,6 mm; Corbélia (setembro de 2016), com 59,8 mm positivos; e Pato Branco (setembro de 2016), com 52,4 mm. Embora o foco da análise não sejam as estimativas diárias, cabe destacar que para a EMP Guapirama, nos dias 24 e 25 de outubro de 2014, o CHIRPS registrou estimativas idênticas de 10,91514 mm. Situação semelhante foi identificada em Pato Branco, onde o produto estimou valores iguais de 19,33176 mm nos dias 3 e 5 de setembro de 2016. Em Corbélia, entretanto, não foram detectadas estimativas repetidas.

O CHIRPS também apresentou proximidade com os registros de algumas EMP. Exemplos incluem Ribeirão dos Apertados (julho de 2018), com um resíduo de 2,5 mm; Marquinhos (julho de 2022), com resíduo de 0,9 mm; e Gauchinha (julho de 2023), com um resíduo negativo de -3,5 mm. As maiores subestimações foram registradas nas EMP Fazenda Aurora (julho de 2023), com -8,8 mm, e Cerro Azul (julho de 2022), com -11,3 mm. Em períodos de baixa precipitação, considerando que julho é um dos meses mais secos no Paraná (Gebert e Kist, 2023), o CHIRPS, de modo geral, apresentou estimativas próximas aos valores observados.

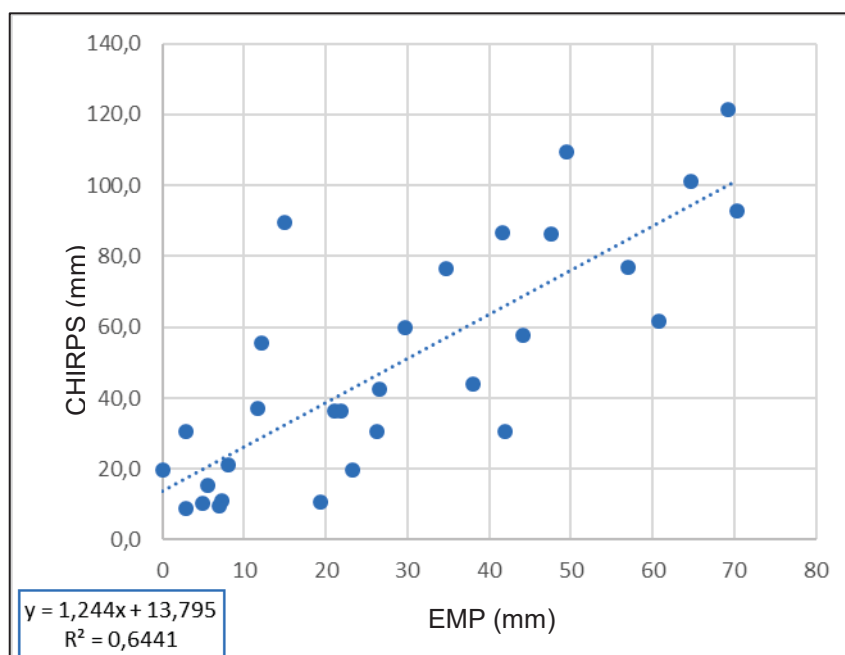
No estudo de Guo et al. (2017), que analisou o desempenho do CHIRPS em períodos de baixa precipitação e seca em uma bacia na China, o produto demonstrou boa capacidade para identificar e caracterizar esses eventos na escala de análise mensal. Como destacado por Gao et al. (2021), a detecção de precipitação nesses períodos é particularmente desafiadora, pois as chuvas tendem a ser esporádicas e, frequentemente, de baixa intensidade.

De modo geral, o CHIRPS superestimou os valores de precipitação dos acumulados mínimos mensais. A questão da duplicidade de estimativas foi observada também nas EMP de Laranjeiras (outubro de 2014), onde as estimativas se repetiram nos dias 17 e 18/10/2014, assim como nos dias 30 e 31/10/2014. Da mesma forma, na ETE SANEPAR – Guaratuba, também em outubro de 2014, ocorreram duplicações nos dias 18 e 19/10/2014. Para ambas as EMP, o CHIRPS apresentou superestimação, com resíduos de 45,0 mm e 38,7 mm, respectivamente. Esses casos

demonstraram que o CHIRPS, no conjunto analisado, apresentou maiores desvios nas estimativas para os meses de outubro de 2014 e setembro de 2016, inclusive para a EMP de Corbélia, que, embora não apresente valores duplicados, teve uma estimativa superior ao dobro do valor registrado na EMP.

Em seguida, foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson para avaliar a relação linear entre os dados estimados pelos produtos de satélite e os dados observados pelas EMP. A correlação de Pearson entre as EMP e o CHIRPS foi de 0,80, indicando uma correlação positiva forte. Esse reflete uma boa correspondência entre as estimativas e as observações de precipitação. Em seguida, foram calculados os valores de R^2 a partir de regressão simples, a análise dos resultados e do gráfico de dispersão (GRÁFICO 4) revela uma relação positiva entre os conjuntos de dados CHIRPS e EMP.

GRÁFICO 4 – MESES COM MENORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO: EMP X CHIRPS



FONTE: A autora (2024)

O coeficiente de determinação $R^2=0,6441$ e o *p-valor* de 0.00000009637 (significante a $p < 0,05$, estatística F), indicam que cerca de 64,41% da variação nos valores estimados pelo CHIRPS pode ser explicada pelos valores observados nas EMP. Além disso, os resíduos do modelo de regressão foram testados e apresentaram distribuição normal, o que indica que o modelo é adequado para representar a relação

entre as duas variáveis. Diversos fatores podem influenciar a variação das estimativas fornecidas pelo CHIRPS. Dinku et al. (2018) destacam que, mesmo em áreas sem registro de precipitação, o CHIRPS pode gerar estimativas, ainda que em valores baixos, especialmente na ausência de dados de pluviômetros para calibração em solo. Esse comportamento está possivelmente relacionado à influência do modelo climatológico de base, o CHPclim (Dinku et al., 2018).

A seguir são apresentados os valores dos resíduos dos meses com os menores acumulados de precipitação entre o IMERG e as EMP (TABELA 7). Os resultados da análise descritiva referentes ao IMERG são expostos na TABELA 8.

TABELA 7 - MESES COM MENORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO: RESÍDUOS ENTRE AS EMP E O IMERG

NOME	MÊS	ANO	EMP (mm)	IMERG (mm)	RESÍDUO (mm)
PEDRA ALTA	agosto	2014	34,8	83,3	48,5
UBALDINO TAQUES (EM)	agosto	2014	64,7	99,0	34,3
SANTO ANTONIO DO IRATIM	maio	2023	29,7	62,5	32,8
ETE SANEPAR - GUARATUBA	outubro	2014	47,6	75,1	27,5
SANTA ELIZA	agosto	2019	0	27,5	27,5
PATO BRANCO	setembro	2016	69,2	96,6	27,4
RIO DA VARGEM/MOURAO	maio	2023	57	83,3	26,3
PITANGA	abril	2021	4,9	28,1	23,2
GUAIAPO	setembro	2020	7,2	30,2	23,0
FRANCISCO BELTRÃO - IAPAR	julho	2018	12,2	33,5	21,3
CALIFÓRNIA	maio	2023	21,1	41,7	20,6
LARANJEIRAS	outubro	2014	41,7	61,8	20,1
COL. AGRICOLA GUARAPUAVA	julho	2017	2,8	17,1	14,3
SITIO MACETE	julho	2022	21,8	32,7	10,9
AMORINHA	julho	2022	5,5	12,6	7,1
NOVA CONCORDIA	julho	2022	26,5	33,5	7,0
MARQUINHOS	julho	2022	60,8	67,0	6,2
TABOR (FAZENDA MARÃO)	julho	2018	11,6	17,1	5,5
CORBELIA	setembro	2016	49,5	54,7	5,2
MARIA HELENA	julho	2018	8,1	12,6	4,5
RIBEIRÃO DOS APERTADOS	julho	2018	7	11,2	4,2
REBOUÇAS	abril	2018	2,9	6,5	3,6
GUAPIRAMA	outubro	2014	15	16,4	1,4
FAZENDA AURORA	julho	2023	19,3	16,4	-2,9
GAUCHINHA	julho	2023	23,3	20,1	-3,2
MANDIRITUBA	maio	2023	26,2	22,3	-3,9
CERRO AZUL	julho	2022	41,9	37,9	-4,0
PORTO FORMOSA	julho	2023	70,3	66,2	-4,1
JACUTINGA	julho	2022	38	29,8	-8,2
CHOPINZINHO	abril	2020	44,1	31,7	-12,4

FONTE: A autora (2024)

LEGENDA: Tabela 7 - Gradiente de cores representando a discrepância dos resíduos em relação a zero, variando de branco (concordância) a vermelho intenso (maiores discrepâncias)

TABELA 8 - ANÁLISE DESCRITIVA DOS MESES COM MENORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO IMERG

PARÂMETROS	EMP (mm)	IMERG (mm)	RESIDUAL (mm)
MÉDIA	-	-	12,1
DESVIO PADRÃO	-	-	14,8
MÍNIMO	0	6,5	-12,4
MÁXIMO	70,3	254,7	48,5
RMSE	-	-	18,9

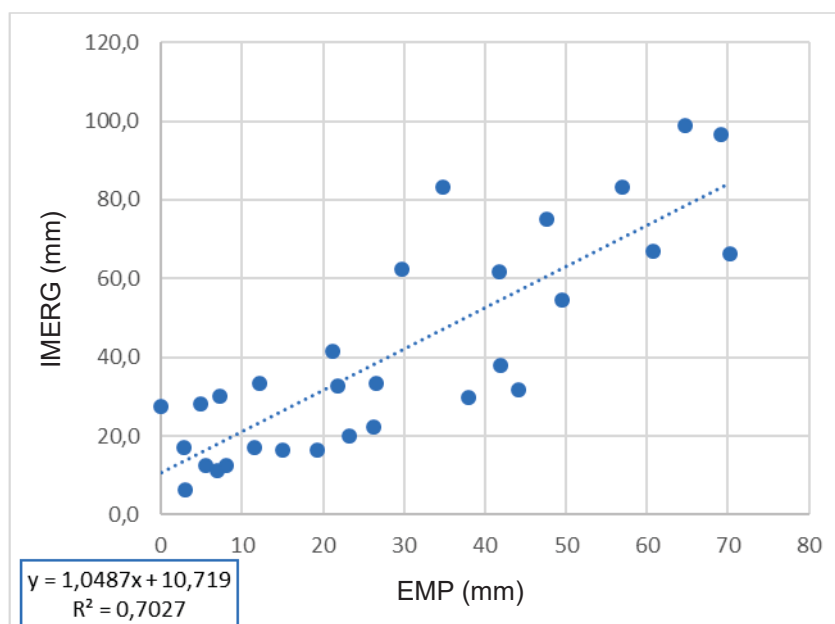
FONTE: A autora (2024)

O Desvio Padrão de 14,8 mm, representa a variabilidade dos resíduos em relação à média e indica uma dispersão nos resíduos. O RMSE de 18,9 mm, indica que, em média, as estimativas do IMERG se desviam dos valores observados em cerca de 18,9 mm.

A partir da análise dos resíduos é possível observar que as estimativas mais discrepantes fornecidas pelo IMERG foram para as EMP Pedra Alta (agosto de 2014), com um resíduo de 48,5 mm; Ubaldino Taques (agosto de 2014), com um resíduo de 34,3 mm; e Santo Antônio do Iratim (maio de 2023), com um resíduo de 32,8 mm. Os maiores resíduos negativos foram observados nas EMP Chopinzinho (abril, 2020) com resíduo de -12,4 mm e Jacutinga (julho, 2022) com -8,2 mm. Contudo, as estimativas do IMERG foram próximas aos valores observados em diversas EMP, como nas de Fazenda Aurora (julho de 2023), Gauchinha (julho de 2023), Guapirama (outubro de 2014) e Rebouças (abril de 2018), com resíduos variando de -3,2 mm a 3,6 mm.

O cálculo do coeficiente de Pearson resultou em um valor de 0,84, indicando uma forte relação positiva entre as estimativas de precipitação dos produtos e os dados observados nas estações. Esse valor de correlação indica que o IMERG e as EMP possuem uma relação linear diretamente proporcional. Também foi calculado o valor de R^2 a partir de regressão simples para os valores do IMERG em relação as EMP, que indicou uma relação significativa entre os conjuntos de dados (GRÁFICO 5).

GRÁFICO 5 - MESES COM MENORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO: EMP X IMERG



FONTE: A Autora (2024)

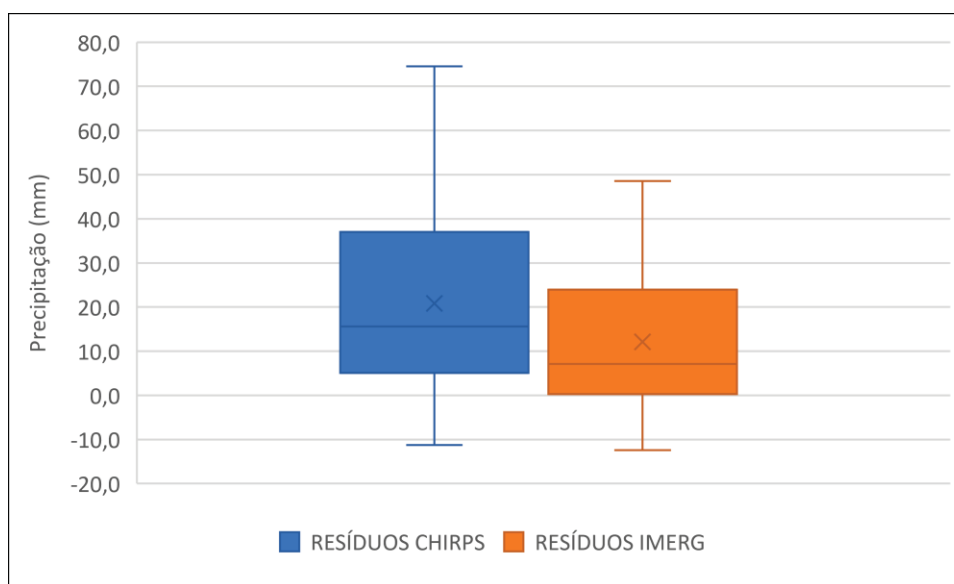
O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,7027$) indica que cerca de 70,27% da variabilidade dos valores estimados pelo IMERG pode ser explicada pelos valores observados nas EMP, refletindo uma forte correspondência entre eles. O *p-valor* de 0,000000007354 ($p < 0,05$) confirma a significância estatística do modelo de regressão. Além disso, o teste de Shapiro-Wilk dos resíduos, indicou normalidade na distribuição, reforçando a adequação do modelo de regressão para descrever a relação entre as variáveis.

Nascimento et al., (2021), realizaram um estudo que avaliou o desempenho dos produtos da versão 6 do IMERG na estimativa de precipitação em comparação com dados observados em 511 pluviômetros distribuídos pelo Paraná. Na escala de análise mensal, o produto apresentou valores de precipitação próximos dos observados com R^2 de 0,73 (Nascimento et al., 2021). Os erros foram menores no inverno, devido às menores taxas de precipitação. Segundo os autores, embora se esperasse maiores RMSEs durante a estação chuvosa, o verão apresentou um viés positivo significativo, indicando que o IMERG superestimou a precipitação observada (Nascimento et al., 2021).

A partir do GRÁFICO 6 observa-se a distribuição dos resíduos para cada produto de satélite. O gráfico indica que não há outliers. Nota-se que o CHIRPS

apresenta uma maior dispersão dos resíduos, com valores variando de -11,3 mm a 74,6 mm. Isso indica que as estimativas desse produto apresentam maior variação em relação aos valores observados. IMERG Mostra uma dispersão menor, com resíduos variando de -12,4 mm a 48,5 mm, indicando uma menor variabilidade nos erros em relação aos valores observados.

GRÁFICO 6 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DOS MESES COM MENORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO: CHIRPS E IMERG



FONTE: A Autora (2024)

A seguir são apresentados os resultados das análises dos meses com os maiores acumulados de precipitação observados nas EMP. Após a etapa de tratamento e organização dos dados, realizou-se o cálculo dos resíduos entre os conjuntos de dados, para analisar as discrepâncias entre os dados observados nas EMP e as estimativas dos produtos CHIRPS e IMERG nos meses com os maiores valores de precipitação acumulada. Ao analisar a distribuição dos valores mensais acumulados das EMP, do CHIRPS e do IMERG, por meio do teste de Shapiro-Wilk, constatou-se que todos os conjuntos de dados apresentam uma distribuição normal, bem como os valores dos resíduos de ambos os produtos. Por essa razão, foi possível analisar os valores mínimo, máximo, média e desvio padrão.

Em seguida, foram calculados o valor de RMSE para os resíduos do produto CHIRPS e para os resíduos do IMERG. Também foram calculados o coeficiente de

Pearson e o R^2 a partir da regressão linear simples para as estimativas de cada produto de satélite em comparação com os valores observados nas EMP.

A seguir são apresentados os valores dos resíduos dos meses com os maiores acumulados de precipitação entre o CHIRPS e as EMP (TABELA 9). Os resultados da análise descritiva referentes ao CHIRPS são expostos na TABELA 10.

TABELA 9 - MESES COM MAIORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO: RESÍDUOS ENTRE AS EMP E O CHIRPS

NOME	MÊS	ANO	EMP (mm)	CHIRPS (mm)	RESÍDUO (mm)
NOVA CONCORDIA	outubro	2022	482,7	257,2	-225,5
UBALDINO TAQUES (EM)	junho	2014	535,1	319,0	-216,1
SITIO MACETE	dezembro	2022	400,5	228,8	-171,7
JACUTINGA	outubro	2022	326,5	161,4	-165,1
MARQUINHOS	outubro	2022	429,8	278,0	-151,8
COL. AGRICOLA GUARAPUAVA	dezembro	2017	295,8	147,9	-147,9
RIO DA VARGEM/MOURAO	outubro	2023	466,6	325,6	-141,0
GAUCHINHA	fevereiro	2023	393,4	254,5	-138,9
SANTO ANTONIO DO IRATIM	outubro	2023	564,7	432,2	-132,5
MARIA HELENA	janeiro	2018	384,7	252,9	-131,8
PEDRA ALTA	junho	2014	348,0	227,8	-120,2
AMORINHA	outubro	2022	276,8	199,9	-76,9
FAZENDA AURORA	fevereiro	2023	334,3	258,9	-75,4
PORTO FORMOSA	fevereiro	2023	326,7	252,3	-74,4
CERRO AZUL	dezembro	2022	212,1	145,0	-67,1
TABOR (FAZENDA MARÃO)	março	2018	261,4	200,3	-61,1
REBOUÇAS	outubro	2018	297,4	238,1	-59,3
ETE SANEPAR - GUARATUBA	março	2014	346,3	293,6	-52,7
MANDIRITUBA	outubro	2023	421,5	369,0	-52,5
CORBELIA	fevereiro	2016	337,1	285,3	-51,8
PITANGA	janeiro	2021	469,2	427,7	-41,5
SANTA ELIZA	novembro	2019	196,6	161,9	-34,7
GUAPIRAMA	setembro	2014	172,0	149,7	-22,3
LARANJEIRAS	setembro	2014	313,6	294,0	-19,6
PATO BRANCO	fevereiro	2016	300,3	281,9	-18,4
CHOPINZINHO	dezembro	2020	203,0	195,3	-7,7
FRANCISCO BELTRÃO - IAPAR	março	2018	323,6	322,5	-1,1
GUAIAPO	dezembro	2020	199,7	202,6	2,9
CALIFÓRNIA	fevereiro	2023	313,2	316,7	3,5
RIBEIRÃO DOS APERTADOS	janeiro	2018	279,0	368,5	89,5

FONTE: A autora (2024)

LEGENDA: Tabela 9: Gradiente de cores representando a discrepância dos resíduos em relação a zero, variando de branco (concordância) a vermelho intenso (maiores discrepâncias).

TABELA 10 - ANÁLISE DESCRITIVA DOS MESES COM MAIORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO E O CHIRPS

PARÂMETROS (mm)	EMP (mm)	CHIRPS (mm)	RESIDUAL (mm)
MÉDIA	340,4	261,6	-78,8
DESVIO PADRÃO	100,0	77,6	72,1
MÍNIMO	172,0	145,0	-225,5
MÁXIMO	564,7	432,2	89,5
RSME	-	-	106,0

FONTE: A autora (2024)

Os dados analisados mostram que o CHIRPS em média subestimou os valores dos meses com maiores acumulados de precipitação em relação às EMP, com uma média de -78,8 mm no resíduo e um desvio padrão de 72,1 mm, evidenciando variações nos erros de estimativa. O mínimo observado nos resíduos é de -225,5 mm, indicando uma subestimação, enquanto o máximo é de 89,5 mm, apontando que, em alguns casos, o CHIRPS superestima os valores. O RMSE de 106,0 mm indica que, em média, as estimativas do CHIRPS apresentam esse desvio em relação aos dados observados.

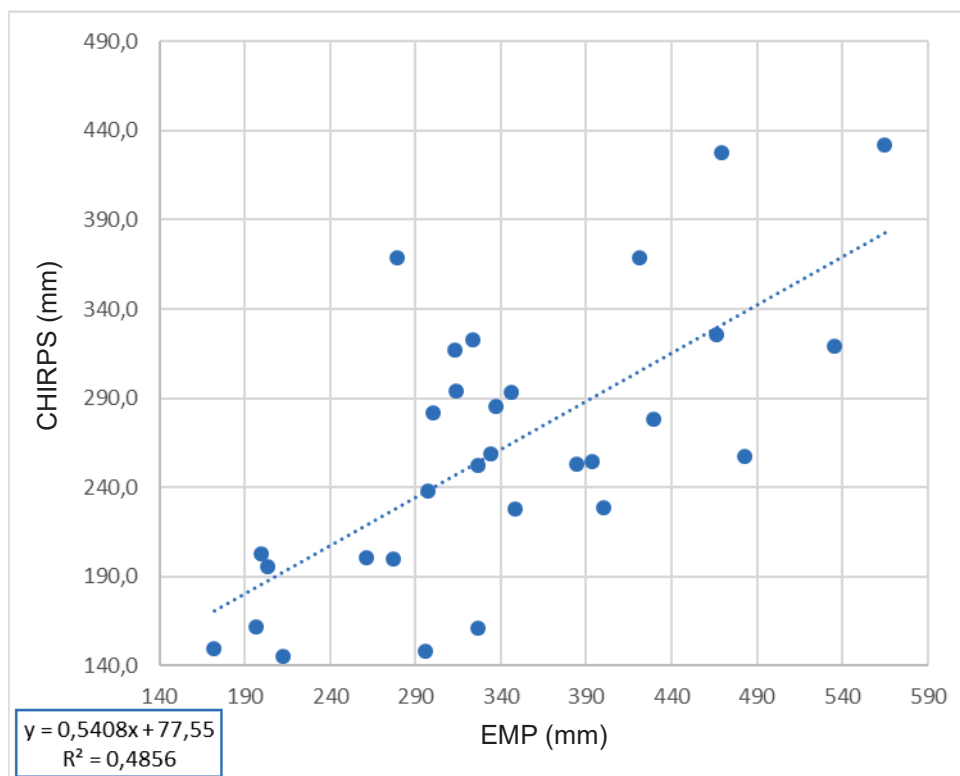
As maiores discrepâncias nas estimativas do CHIRPS foram observadas para as EMP de Nova Concórdia (outubro de 2022), com um resíduo de -274,8 mm, Ubaldino Taques (junho de 2014), com -163,8 mm, e Sítio Macete (dezembro de 2022), com -171,7 mm. A maior superestimação ocorreu na EMP de Ribeirão dos Apertados, onde a estação registrou um acumulado de 279,0 mm em janeiro de 2018, enquanto o produto de satélite estimou 368,5 mm, resultando em um resíduo de 89,5 mm.

O CHIRPS demonstrou concordância com os valores observados, destacando-se a EMP de Francisco Beltrão – IAPAR (março, 2018), com um resíduo de -1,1 mm, o mais próximo dentro do conjunto analisado. Além disso, o produto apresentou estimativas próximas aos registros da EMP de Guaiapó (dezembro, 2020), com resíduo de 2,9 mm, e Califórnia (fevereiro, 2023), com resíduo de 3,5 mm. De modo geral, o CHIRPS subestimou os valores de precipitação, apresentando variações nas estimativas com discrepâncias de diferentes magnitudes.

O coeficiente de correlação, que mede a força da relação entre as EMP e o CHIRPS, apresentou um valor de 0,70. Esse coeficiente indica uma correlação positiva forte, ou seja, que as estimativas do CHIRPS apresentam relação linear com os registros das EMP. A seguir, o gráfico de dispersão (GRÁFICO 7) exibe a relação

entre os valores de precipitação estimados pelo CHIRPS (eixo Y) e os valores observados pelas EMP (eixo X).

GRÁFICO 7 - MESES COM MAIORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO: EMP X CHIRPS



FONTE: A Autora (2024)

A análise da relação entre os valores de precipitação estimados pelo CHIRPS e os valores observados nas EMP revela uma correlação positiva. O coeficiente de determinação $R^2=0,4856$, indica que aproximadamente 48,56% da variação nos valores de precipitação estimados pelo CHIRPS pode ser explicada pelos dados das EMP, com *p-valor* de 0,00001889 (significante a $p < 0,05$, estatística F) e distribuição normal dos resíduos do modelo de regressão. Esses resultados corroboram as recomendações de Hardofa et al. (2021), que indicam maior confiabilidade do CHIRPS em escalas mensais ou superiores, devido à integração de múltiplas fontes de dados, como imagens de satélite, medições pluviométricas e produtos de reanálise.

No entanto, a análise espacial das estimativas de precipitação sugere limitações na representação de variações locais, aspecto também identificado por Costa et al. (2019), que observaram baixa heterogeneidade na espacialização dos

dados do CHIRPS no Sul do Brasil. Embora o produto seja eficaz na captação dos padrões gerais de precipitação, discrepâncias em algumas áreas podem comprometer a acurácia em escalas regionais mais detalhadas.

A seguir são apresentados os valores dos resíduos dos meses com os menores acumulados de precipitação entre o IMERG e as EMP (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

TABELA 11 - MESES COM MAIORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO: RESÍDUOS ENTRE AS EMP E O IMERG

NOME	MÊS	ANO	EMP (mm)	IMERG (mm)	RESÍDUO (mm)
SITIO MACETE	dezembro	2022	400,5	125,7	-274,8
RIO DA VARGEM/MOURAO	outubro	2023	466,6	302,8	-163,8
NOVA CONCORDIA	outubro	2022	482,7	343,7	-139,0
MARQUINHOS	outubro	2022	429,8	298,3	-131,5
PITANGA	janeiro	2021	469,2	351,9	-117,3
PATO BRANCO	fevereiro	2016	300,3	205,3	-95,0
CERRO AZUL	dezembro	2022	212,1	122,0	-90,1
JACUTINGA	outubro	2022	326,5	240,3	-86,2
CORBELIA	fevereiro	2016	337,1	254,7	-82,4
ETE SANEPAR - GUARATUBA	março	2014	346,3	267,8	-78,5
AMORINHA	outubro	2022	276,8	201,6	-75,2
UBALDINO TAQUES (EM)	junho	2014	535,1	464,4	-70,7
GAUCHINHA	fevereiro	2023	393,4	327,9	-65,5
SANTA ELIZA	novembro	2019	196,6	136,8	-59,8
SANTO ANTONIO DO IRATIM	outubro	2023	564,7	507,4	-57,3
COL. AGRICOLA GUARAPUAVA	dezembro	2017	295,8	241,8	-54,0
TABOR (FAZENDA MARÃO)	março	2018	261,4	210,6	-50,8
REBOUÇAS	outubro	2018	297,4	252,2	-45,2
PEDRA ALTA	junho	2014	348	309,6	-38,4
MARIA HELENA	janeiro	2018	384,7	346,7	-38,0
FRANCISCO BELTRÃO - IAPAR	março	2018	323,6	287,9	-35,7
FAZENDA AURORA	fevereiro	2023	334,3	305,8	-28,5
CALIFÓRNIA	fevereiro	2023	313,2	309,8	-3,4
MANDIRITUBA	outubro	2023	421,5	418,9	-2,6
LARANJEIRAS	setembro	2014	313,6	311,0	-2,6
GUAIAPO	dezembro	2020	199,7	197,9	-1,8
GUAPIRAMA	setembro	2014	172	180,0	8,0
CHOPINZINHO	dezembro	2020	203	218,7	15,7
PORTO FORMOSA	fevereiro	2023	326,7	375,6	48,9
RIBEIRÃO DOS APERTADOS	janeiro	2018	279	387,6	108,6

FONTE: A Autora (2024)

LEGENDA: Tabela 11: Gradiente de cores representando a discrepância dos resíduos em relação a zero, variando de branco (concordância) a vermelho intenso (maiores discrepâncias).

TABELA 12 - ANÁLISE DESCRITIVA DOS MESES COM MAIORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO E O IMERG

PARÂMETROS	EMP (mm)	IMERG (mm)	RESIDUAL (mm)
MÉDIA	340,4	283,5	-56,9
DESVIO PADRÃO	100,0	94,1	70,0
MÍNIMO	172,0	122,0	-274,8
MÁXIMO	564,7	507,4	108,6
RSME	-	-	89,3

FONTE: A autora (2024)

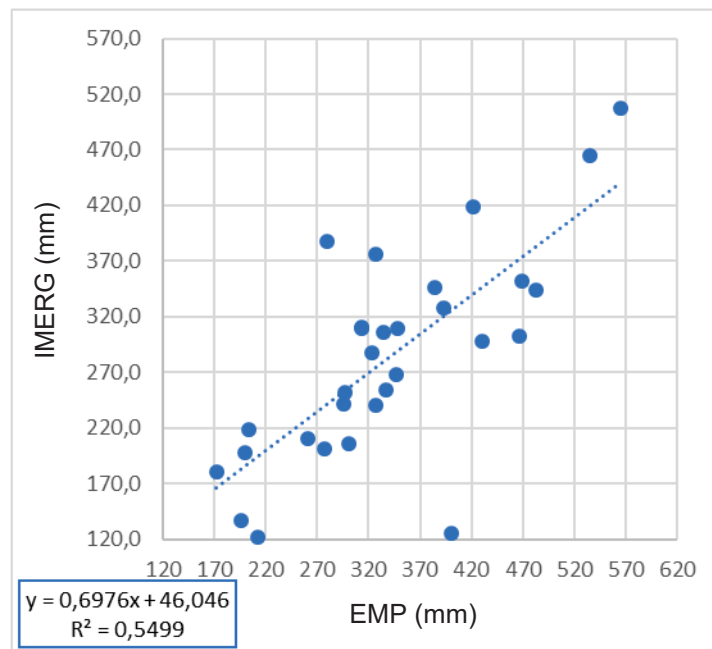
Os resultados indicam que o IMERG, em média, subestimou os valores de precipitação em relação às EMP, com uma diferença média de -56,9 mm. O desvio padrão dos resíduos (70,0 mm) reflete a variabilidade nas diferenças entre os valores observados e estimados em relação à média do conjunto. Enquanto o mínimo residual atingiu -274,8 mm, evidenciando casos de subestimação, o máximo foi de 108,6 mm, demonstrando superestimações. O RMSE de 89,3 mm demonstra a média dos erros nas estimativas.

As subestimações ocorreram para as EMP de Sitio Macete (dezembro, 2022) com resíduo de -274,8 mm, Rio da vargem/Mourão (outubro, 2023) com resíduo de -163,8 mm e Nova Concordia (outubro, 2022) com resíduo de -139,0 mm. A maior superestimação do IMERG foi o valor estimado para a EMP de Ribeirão dos Apertados (janeiro, 2018), enquanto a estação registrou 279,0 mm de precipitação acumulada mensal, o produto estimou 387,6 mm, gerando um resíduo de 108,6 mm.

O IMERG apresentou concordância com diversas EMP, tais com Califórnia (fevereiro, 2023), com o menor resíduo no conjunto analisado, Mandirituba (outubro, 2023), Laranjeiras (setembro, 2014) e Guiapó (dezembro, 2020), com resíduos que variam de -1,8 mm a -3,4 mm, demonstrando proximidade com os valores observados em diferentes meses e anos. O IMERG apresentou superestimação da precipitação apenas nas EMP de Guapirama (setembro de 2014), Chopinzinho (dezembro de 2020), Porto Formosa (fevereiro de 2023) e Ribeirão dos Apertados (janeiro de 2018). Nas demais EMP, o produto subestimou os acumulados mensais, variando entre níveis menores e maiores de discrepância. Da mesma forma, o IMERG, com um coeficiente de correlação de 0,74, também demonstra uma relação positiva com os dados das EMP, sugerindo que ambos os produtos de satélite conseguem refletir, de forma geral, o comportamento das chuvas registradas.

O GRÁFICO 8 demonstra que a correlação entre os valores de precipitação estimados pelo IMERG-EMP e os valores observados nas EMP revela uma relação positiva. O modelo de regressão apresenta *p*-valor de 0.000002756 (significante a $p < 0,05$, estatística F) e distribuição normal dos resíduos. Esse modelo indica que, em geral, conforme os valores observados nas EMP aumentam, os valores estimados pelo IMERG acompanham essa variação. O coeficiente de determinação $R^2 = 0,5499$ indica que aproximadamente 54,99% da variação nos valores de precipitação estimados pelo IMERG pode ser explicada pelos valores observados nas EMP.

GRÁFICO 8 - MESES COM MAIORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO: EMP X IMERG



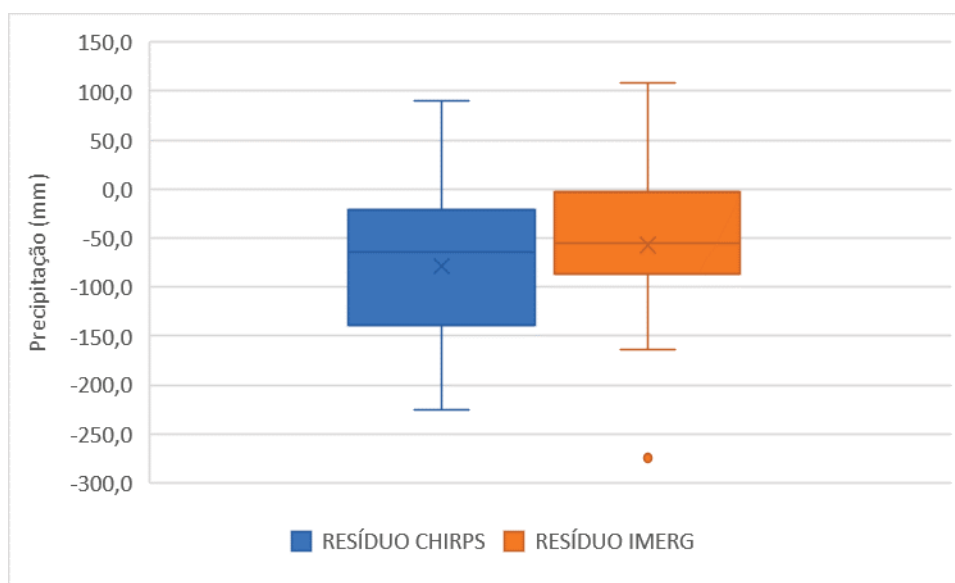
FONTE: A Autora (2024)

Segundo Nascimento et al., (2021), um valor de R^2 mais baixo reflete que uma parte da variabilidade na precipitação não é captada pelo modelo, o que pode ser resultado de limitações na resolução espacial ou na metodologia de estimação utilizada pelo IMERG. Por exemplo, eventos intensos de chuva, por ocorrerem em áreas pequenas e intervalos curtos, podem ser subestimados na escala diária e não contabilizados na mensal, apesar da calibração final considerar observações mensais (Nascimento et al., 2021).

O GRÁFICO 9 permite visualizar a distribuição dos resíduos das estimativas de precipitação dos produtos de satélite em relação aos dados observados nas EMP.

Observa-se que o CHIRPS apresenta uma dispersão maior dos resíduos em comparação ao IMERG. O CHIRPS possui limites inferiores e superiores amplos com resíduos que variam de -225,5 mm e 89,5 mm, não apresentando outliers. Enquanto o IMERG apresenta um outlier negativo e resíduos variando de -274,8 mm a 108,6 mm.

GRÁFICO 9 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DOS MESES COM MAIORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO: CHIRPS E IMERG



FONTE: A autora (2024)

Essas discrepâncias nos dados indicam que, embora os produtos tenham se aproximado dos valores observados, ainda existem diferenças que podem impactar a interpretação dos dados e a modelagem climática (Hardofa et al., 2021). Por exemplo, o mês de junho é tipicamente seco no estado (Pereira et al., 2008; Fritzsons et al., 2011), no entanto, em 2014, nessas localidades apresentou um comportamento atípico registrando um alto índice pluviométrico. Guo et al. (2021) ressalta que, durante eventos extremos, a precipitação pode ser altamente variável, desse modo dificulta a captura da variabilidade pelos algoritmos, resultando em subestimativas.

Os resultados reforçam a importância de análises detalhadas para avaliar a acurácia dos produtos de precipitação (Hordofa et al., 2021; Nan et al., 2021). Uma vez que considerar a variabilidade espacial e temporal é essencial, pois o desempenho dos produtos varia conforme a localização e o período analisado (Dinku

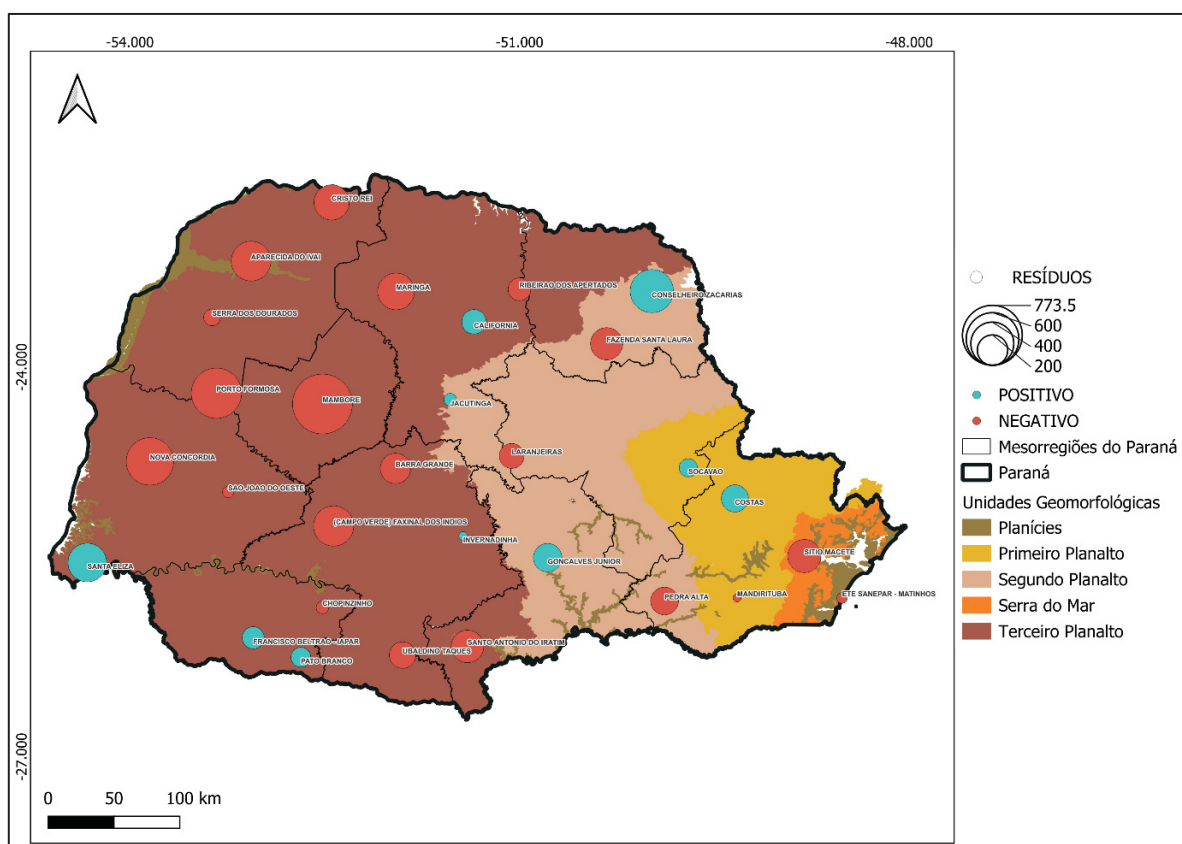
et al., 2006; Torres et al., 2020; Filgueiras et al., 2022; Kuki, Ferreira e Reboita, 2021). Esses resultados evidenciam a importância de aprimorar as abordagens de estimativa em cada produto para atender melhor às necessidades de monitoramento e análise de precipitação, principalmente em cenários de alta variabilidade climática (Quedi, Campos; Fan, 2018).

4.2 ANÁLISE ESPACIAL DAS ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO NO PARANÁ

A análise dos resíduos dos produtos CHIRPS e IMERG, calculados em relação aos dados de precipitação observados nas EMP, permite avaliar as concordâncias e discrepâncias desses produtos em diferentes regiões do Paraná. A seguir, discute-se a variação dos resíduos por região, considerado os valores dos resíduos dos acumulados anuais, meses com os menores acumulados e maiores acumulados para cada produto.

A análise da distribuição espacial dos resíduos para os acumulados anuais do CHIRPS (FIGURA 7) no Paraná revela que, na maioria dos casos, as estimativas do produto subestimaram os valores observados pelas EMP.

FIGURA 7 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS RESÍDUOS DA PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA CHIRPS

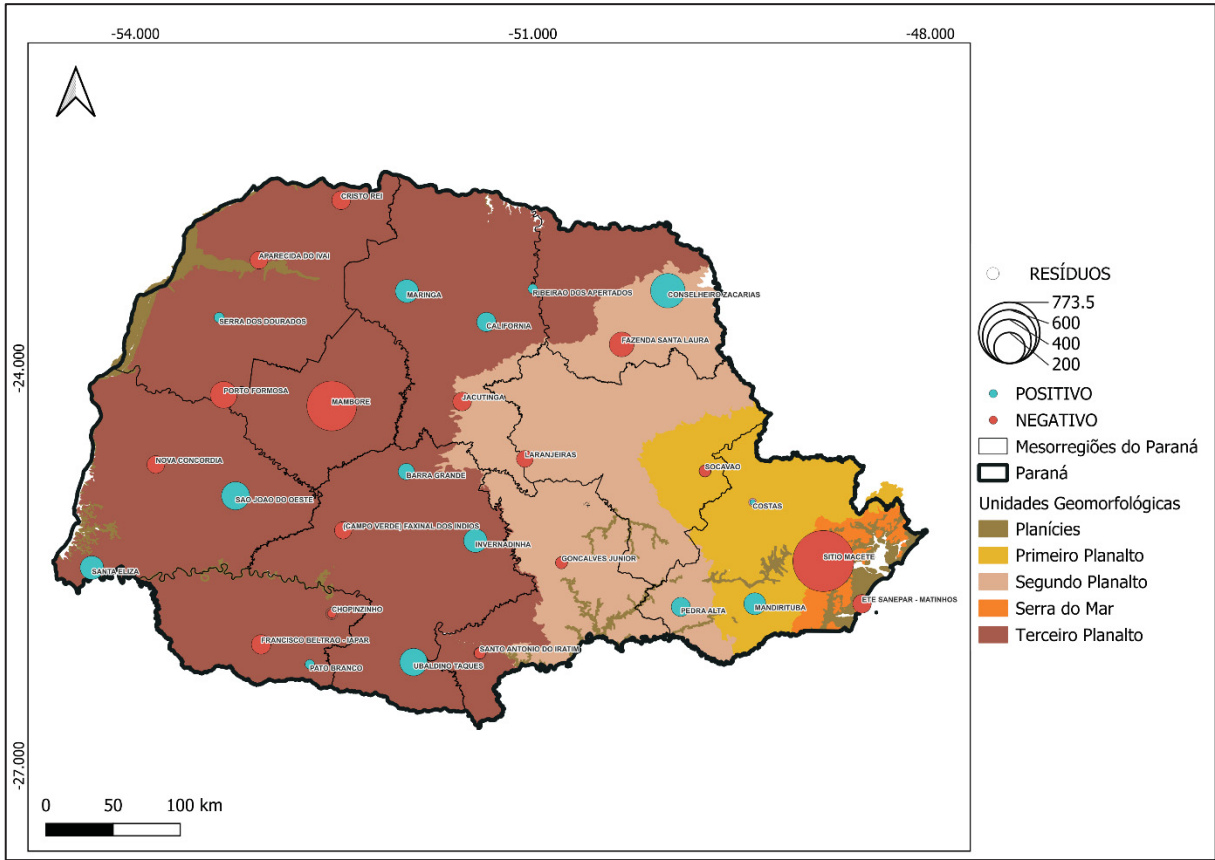


FONTE: A autora (2024)

Com algumas exceções, as maiores discrepâncias concentraram-se no Terceiro Planalto, destacando-se os resíduos nas EMP Mamborê (2023), na região Centro-Oriental, Porto Formosa (2023), na região Noroeste, e Nova Concórdia (2022), na região Oeste, com resíduos de -762,3 mm, -538,5 mm e -478,6 mm, respectivamente. As estimativas para a região Noroeste do estado apresentaram subestimações em todas as EMP analisadas. E os menores resíduos foram identificados nas EMP Invernadinha (2017), localizada na região Centro-Sul no Terceiro Planalto, Mandirituba (2023), na região Metropolitana no Primeiro Planalto, e ETE SANEPAR – Matinhos (2014), no Litoral do estado.

As estimativas do acumulado anual realizadas pelo IMERG (FIGURA 8) apresentam subestimações e superestimações em regiões variadas, além de diversos valores próximos aos registros das EMP.

FIGURA 8 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS RESÍDUOS PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA IMERG

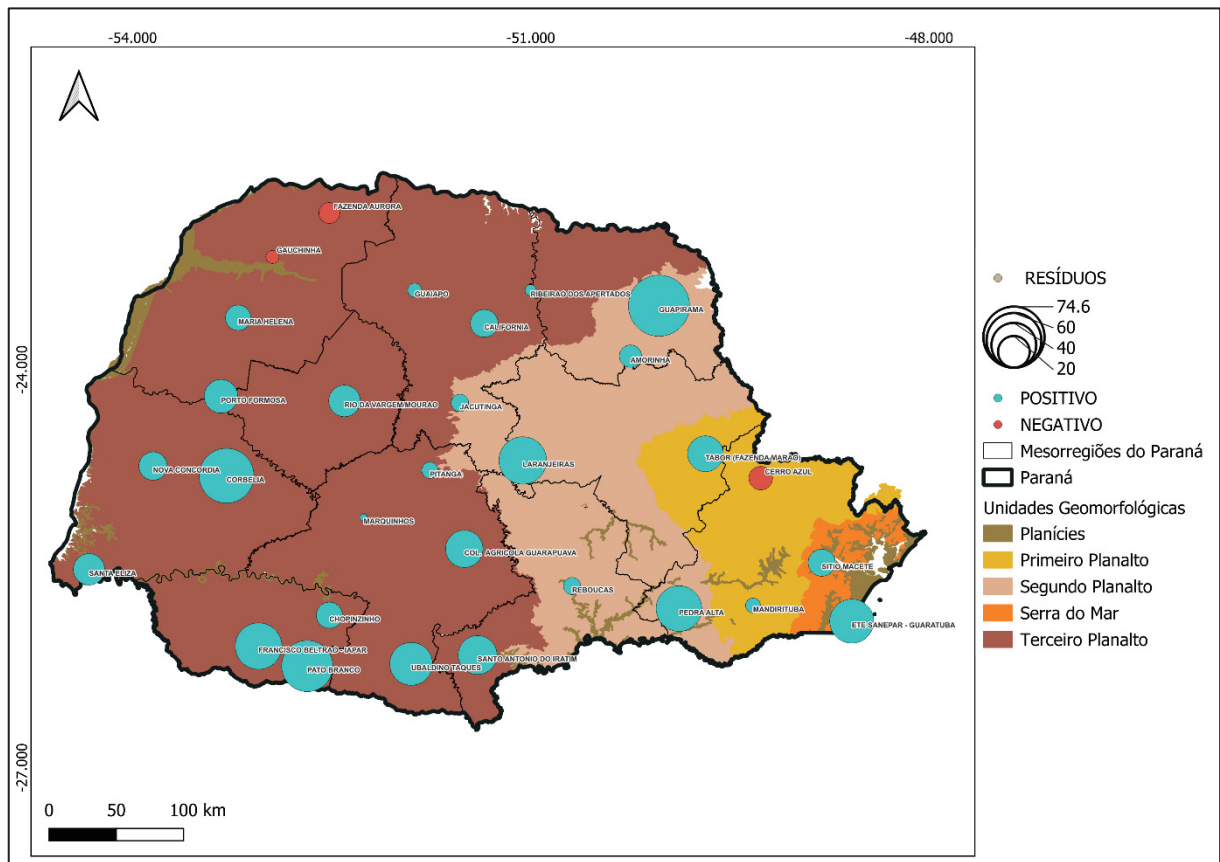


FONTE: A autora (2024)

As maiores discrepâncias são observadas nas EMP Sitio Macete (2022) localizada na Serra do mar, e Mamborê (2023) localizada na região Centro-Oriental no Terceiro Planalto. As maiores concordâncias estão, na maioria dos casos, localizadas no Terceiro Planalto, exemplos disso são as EMP Serra dos Dourados (2018), na região Noroeste, Ribeirão dos Apertados (2018), no Norte Central, além de Pato Branco (2016) e Chopinzinho (2020), localizadas no Sudoeste. Nessas localidades os resíduos variaram de -15,9 mm a 21,8 mm.

A partir da FIGURA 9, observa-se que o CHIRPS superestimou a precipitação na maioria das EMP analisadas, considerando o mês com o menor acumulado registrado pela EMP.

FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS RESÍDUOS PARA MESES COM MENORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO DO CHIRPS

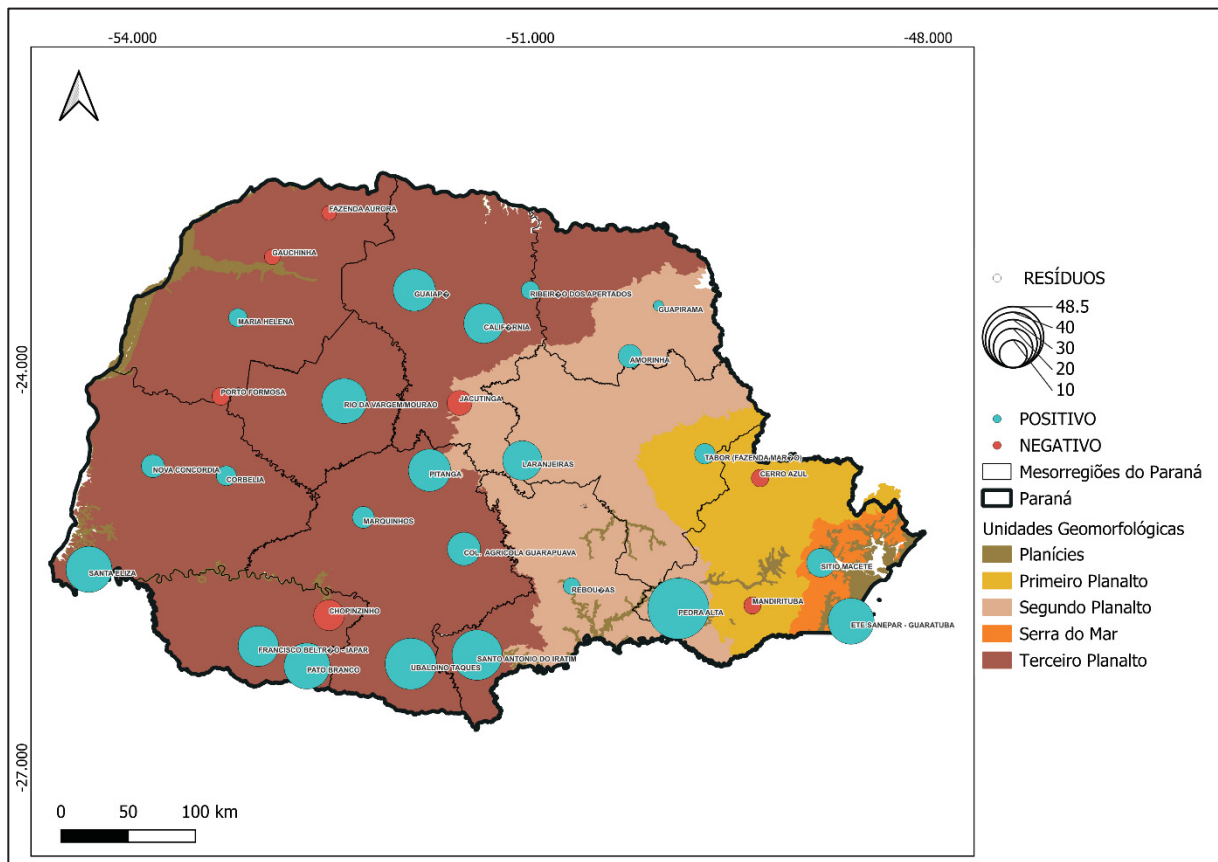


FONTE: A autora (2024)

As maiores discordâncias estão localizadas nas EMP Guapirama (outubro, 2014) na região do Norte Pioneiro, no Primeiro Planalto, em Corbélia (setembro, 2016) na região Oeste no Segundo Planalto. O produto apresentou estimativas próximas as das EMP em diversas localidades, tais como na EMP Marquinhos (julho, 2022), localizada na região Centro-Sul e Ribeirão dos Apertados (julho, 2018) no Norte Central, ambas no Terceiro Planalto, com resíduos de 0,9 mm, 2,5 mm, respectivamente. O produto subestimou em somente três EMP, duas localizadas no Noroeste (Terceiro Planalto) e outra na região Metropolitana, no Primeiro Planalto.

A distribuição dos resíduos do IMERG (FIGURA 10) evidencia que o produto superestimou a precipitação para a maioria das EMP analisadas.

FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS RESÍDUOS PARA OS MESES COM MENORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO DO IMERG

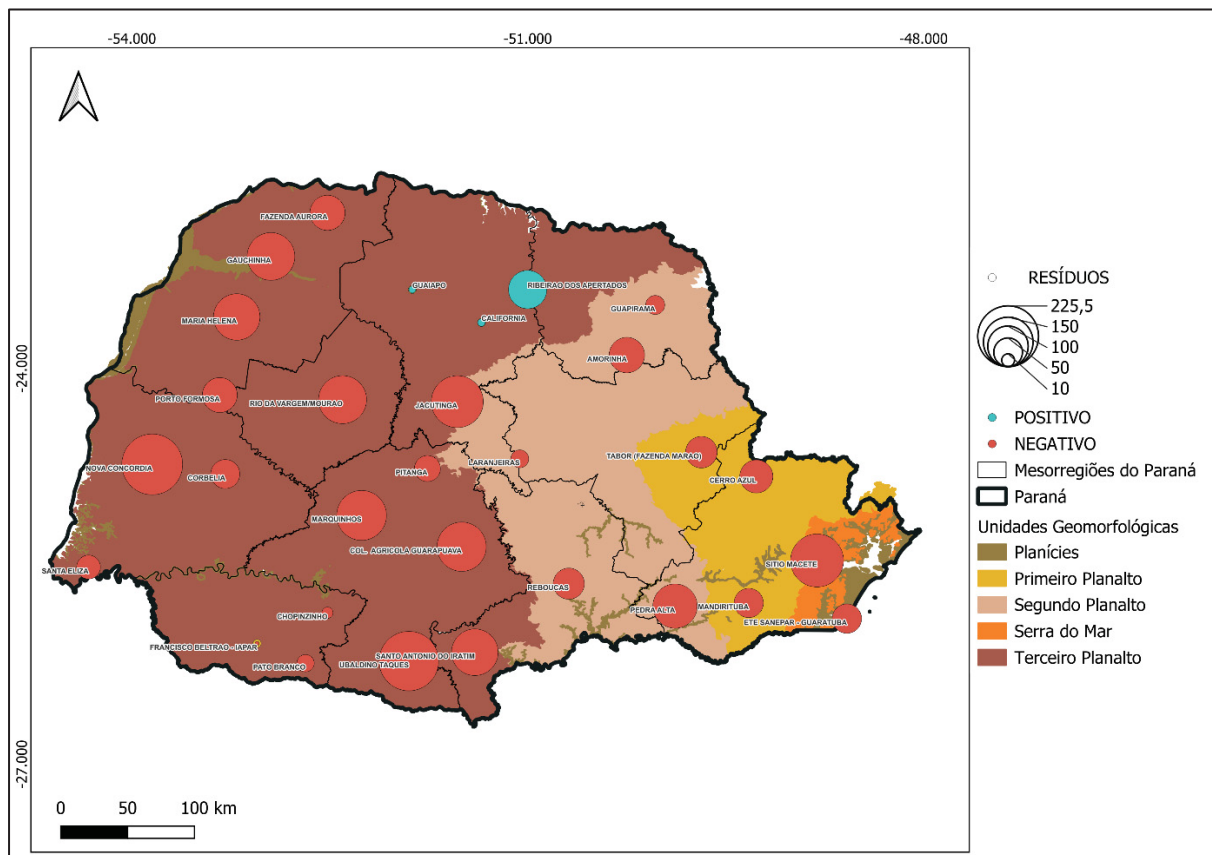


FONTE: A autora (2024)

Destaca-se a superestimação ocorrida na EMP Pedra Alta (agosto, 2014), na região Metropolitana, com o maior resíduo positivo (48,5 mm). Em diversos casos o produto se aproximou dos valores registrados das EMP, como é caso de Guapirama (outubro, 2014) onde o resíduo foi de 1,4 mm, no Norte Pioneiro. Essas duas EMP estão localizadas na unidade geomorfológica do Segundo Planalto. Observa-se que na região Noroeste, no Terceiro Planalto, o produto apresentou estimativas próximas as observações das EMP. Em Fazenda Aurora (julho, 2023), Gauchinha (julho, 2023), Maria Helena (julho, 2018) e Porto Formosa (julho, 2023), o IMERG apresentou resíduos que variaram de -4,1 mm a 4,5 mm.

Ao analisar os resíduos do CHIRPS (FIGURA 11) para os meses com os maiores volumes de precipitação registrados pelas EMP, observa-se que o produto subestimou os valores na maioria das EMP analisadas.

FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS RESÍDUOS PARA OS MESES COM MAIORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO DO CHIRPS

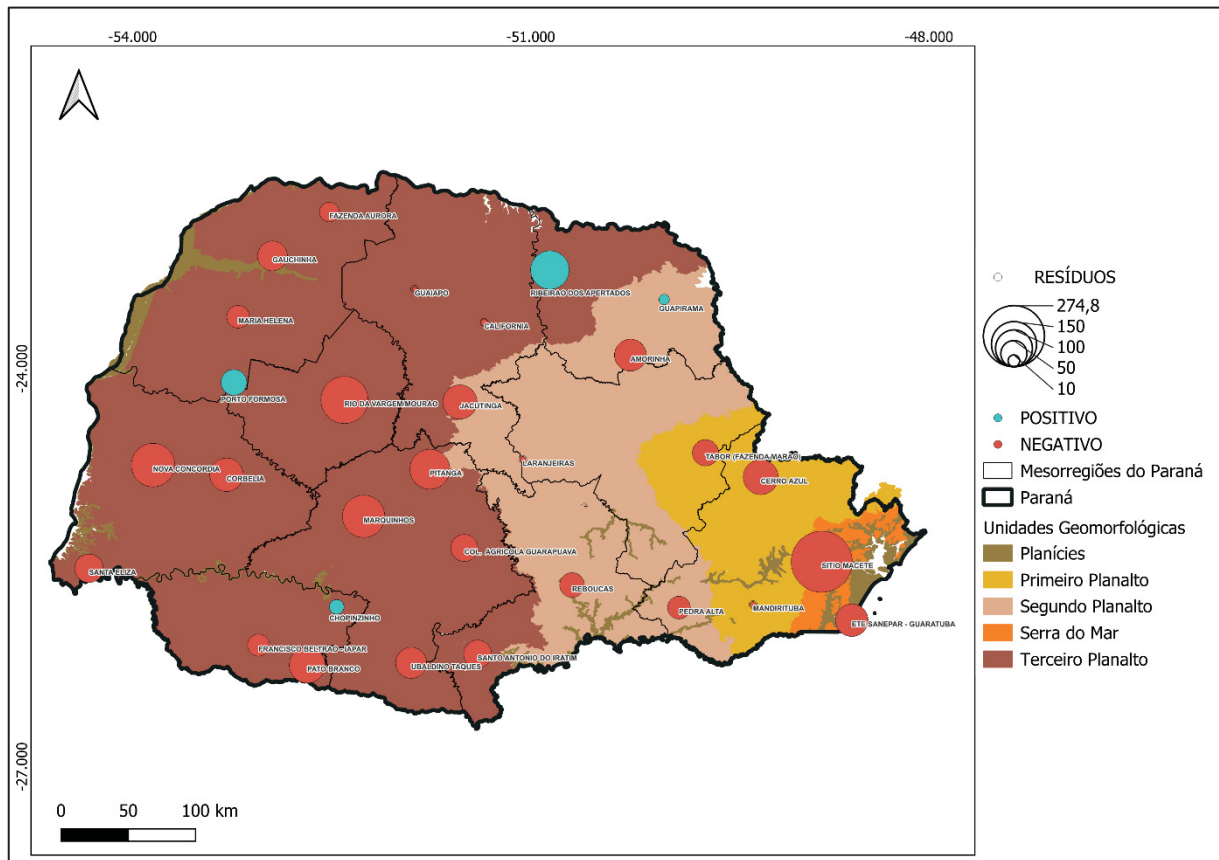


FONTE: A Autora (2023)

As maiores subestimações ocorreram em Nova Concórdia (outubro, 2022) no Oeste e Ubaldino Taques (junho, 2014) na região Centro-Sul no Terceiro Planalto. Na região Norte Central o CHIRPS superestimou a precipitação em três das quatro EMP analisadas, a maior discrepância foi na EMP Ribeirão dos Apertados (janeiro, 2018) com resíduo de 89,5 mm. Para as três EMP localizadas na região Sudoeste, no Terceiro Planalto, o IMERG apresentou estimativas próximas aos valores observados, na EMP Chopizinho (dezembro, 2020) o resíduo foi de -7,7 mm, em Pato Branco (fevereiro, 2016) -18,4mm e em Francisco Beltrão (março, 2018) o resíduo foi de -1,1 mm.

A distribuição dos resíduos do IMERG (FIGURA 12) pelo estado revela que o produto subestimou a precipitação na maioria das EMP.

FIGURA 12 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS RESÍDUOS PARA OS MESES COM MAIORES ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO DO IMERG



FONTE: A autora (2024)

Na EMP Sitio Macete (dezembro, 2022), na Serra do Mar, o resíduo foi de -274,8, o maior entre o conjunto analisado. A maior superestimação ocorreu para a EMP Ribeirão dos Apertados (janeiro, 2018), localizada no Norte Pioneiro, com 108,6 mm de resíduo. O produto apresentou estimativas próximas aos valores observados em diversas localidades, que incluem as EMP de Guaiapó (dezembro, 2020), na região Norte Central, no Terceiro Planalto, Laranjeiras (setembro, 2014), no Centro Oriental, no Segundo Planalto e Mandirituba (outubro, 2023), localizada na região Metropolitana no Primeiro Planalto. Nessas estações os resíduos foram de -1,8 mm na primeira e de -2,6 mm nas outras duas.

Na região do litoral, ambos os produtos apresentaram resíduos negativos nas análises anual e dos meses com maiores acumulados de precipitação nas duas EMP analisadas. Essa subestimação pode estar relacionada à complexidade da dinâmica de precipitação no litoral, onde a alta pluviosidade é atribuída a uma combinação de

fatores, que incluem a maritimidade e a orografia da Serra do Mar (Fritzsos et al., 2011). As chuvas orográficas ocorrem devido à incidência de correntes de ar que se movem perpendicularmente ao relevo, além da brisa marítima que contribui para a formação de chuvas, aumentando a variabilidade dos eventos de precipitação (Pereira et al., 2008; Nascimento, Silvestre e Neto, 2020).

Ainda na região do Litoral, na análise dos valores mínimos mensais, o CHIRPS e o IMERG apresentaram resíduos positivos, sugerindo uma propensão à subestimação nos meses mais chuvosos e de superestimação nos meses com menor volume de chuva acumulada para essa região. De acordo com Gadelha et al. (2019), subestimações em regiões costeiras podem estar associadas à dificuldade dos sensores de micro-ondas passivos e infravermelhos em detectar processos de chuvas convectivas.

Na Serra do Mar, onde foi analisada uma única EMP, os produtos subestimaram a precipitação, com o IMERG apresentando os maiores resíduos negativos, tanto na análise da precipitação anual quanto nos meses com os maiores acumulados de precipitação. A elevada pluviosidade característica da região, resultante da influência orográfica e da formação de nuvens orográficas (Fritzsos et al., 2011), pode representar um desafio para os produtos de satélite (Nan et al., 2021). Nan et al. (2021) evidenciaram que a complexidade topográfica em áreas montanhosas, como a Serra do Mar, pode interferir na capacidade dos sensores de satélite de detectar a precipitação. Sensores de infravermelho e de micro-ondas passivos nem sempre conseguem captar a precipitação nessas regiões. Como consequência, há uma tendência desses sensores registrarem apenas uma fração da precipitação gerada pela convecção profunda (Gadêlha et al., 2019; Kolluru V., Kolluru S. e Concati, 2020; Nan et al., 2021).

Ambos os produtos superestimaram os valores de precipitação na análise dos meses com os menores acumulados, apresentando resíduos abaixo da média dos resíduos e próximos aos valores observados. Isso sugere que a dificuldade dos produtos nessa região pode estar associada à estimativa de altos volumes de precipitação, que são característicos do regime climático local. Sobre as discrepâncias registradas na EMP localizada na Serra do Mar, os erros associados ao desempenho dos produtos podem estar relacionados tanto às características específicas da região, como a influência do relevo acidentado e a proximidade com o oceano, quanto à resolução do pixel dos produtos.

O CHIRPS possui pixels de $0,05^\circ$ (~5 km), enquanto o IMERG opera com pixels de $0,1^\circ$ (~11 km). Essa diferença de resolução, aliada à variação acentuada do relevo, pode impactar a representação da precipitação nessas áreas (El Kenawy et al., 2015; Nascimento et al., 2021). Estudos indicam que, em áreas costeiras, pequenas variações espaciais, como aquelas observadas entre o oceano e cadeias montanhosas próximas, podem induzir à falha dos sensores de satélite na diferenciação entre pixels de terra e de água (El Kenawy et al., 2015; Nascimento et al., 2021), resultando em interferências no sinal e limitações na estimativa da precipitação (Nascimento et al., 2021). Além disso, as estimativas de precipitação em regiões montanhosas tendem a apresentar padrões distintos conforme a orientação do relevo: no sentido do oceano (leste), onde prevalecem as chuvas orográficas, os valores são frequentemente subestimados, enquanto no lado oposto, após variações bruscas de altitude, as estimativas podem ser superestimadas (Nascimento et al., 2021).

Por exemplo, no caso do IMERG (versão 06), Nascimento et al. (2021) demonstraram que, no Paraná, as maiores discrepâncias do produto em relação aos dados das estações pluviométricas ocorreram nas áreas costeiras (leste do estado). Isso ocorreu porque, devido à extensão dos pixels do IMERG, a variabilidade espacial da precipitação tende a ser suavizada em regiões onde há efeitos orográficos significativos. Esse padrão foi observado tanto na escala diária quanto na mensal na região litorânea, e também na região sudoeste do estado, para os produtos diários, onde ocorrem variações abruptas de altitude (Nascimento et al., 2021).

No Primeiro Planalto, os resíduos apresentaram variações entre as diferentes localidades. Na Região Metropolitana, por exemplo, o IMERG apresentou estimativas próximas aos valores observados na EMP de Mandirituba (maio de 2023) e na EMP Costas (2022). Os produtos apresentaram padrões de discrepância e concordância semelhantes dentro das escalas de análise, com resíduos menores nos meses de menor precipitação acumulada. Isso pode refletir diferenças na acurácia dos produtos na estimativa da precipitação nessa região, influenciadas pela expressiva variabilidade climática local. Conforme Pinheiro (2016), durante o verão, a circulação marítima transporta umidade do Atlântico, intensificando as chuvas, enquanto a ocorrência frequente de frentes frias também contribui para eventos de precipitação intensa. A proximidade do oceano favorece a formação de sistemas chuvosos, resultando em um regime de precipitação caracterizado por chuvas intensas e

frequentes, especialmente na primavera e no verão (Terassi e Galvani, 2021; Pinheiro, 2016).

Nas regiões Centro Oriental e Metropolitana, ambas localizadas no Segundo Planalto, os dois produtos apresentaram resíduos negativos, indicando subestimativa dos valores nas análises anual e dos meses com maiores acumulados de precipitação. Na mesma unidade, no Norte Pioneiro e no Sudeste para os valores nos meses com menores acumulados de precipitação, o IMERG teve baixos resíduos positivo, enquanto o CHIRPS apresentou variações mistas. Esse comportamento variado pode resultar das características pluviométricas regionais que são distintas e complexas, influenciadas por diversos fatores ambientais e locais (Fritzsos et al., 2011). A subestimativa consistente pode estar associada ao regime de precipitação característico dessa região, com eventos mais concentrados em determinadas épocas do ano (Terassi e Galvani, 2022). Essa variação entre subestimativas e superestimativas sugere que ambos os produtos possuem limitações, e o grau e a direção da discrepância com os dados observados podem variar, dependendo das características climáticas e topográficas locais (Hardofa et al., 2021).

No Terceiro Planalto, nas regiões Centro-Sul e Oeste, os resíduos mostram diferenças, com o CHIRPS apresentando valores negativos e o IMERG valores positivos. Enquanto que no Sudoeste e Norte Central os produtos apresentaram resíduos positivos e negativos. A variação dos resíduos do IMERG foi menos discrepante em algumas regiões como no Sudeste, enquanto o CHIRPS apresentou resíduos de magnitude variada. Nas regiões Noroeste e Centro Ocidental, ambos os produtos mostram resíduos negativos, especialmente o CHIRPS. Essas diferenças sugerem variações sazonais ou locais no comportamento da precipitação, além de limitações dos produtos em capturar padrões específicos de precipitação. Segundo Caramori e Faria (2012), o processo de chuva está relacionado a características topográficas, que pode afetar a dinâmica do fluxo de ar e, consequentemente, a formação de nuvens e a precipitação. A interação entre diferentes fatores climáticos e geomorfológicos pode criar uma dinâmica complexa que afeta a regularidade e a intensidade das precipitações (Silva, Caramori e Faria, 2012).

A análise regionalizada dos resíduos evidência que tanto o CHIRPS quanto o IMERG apresentam limitações em representar a precipitação em regiões de relevo acidentado, como a Serra do Mar, ou em áreas com padrões pluviométricos complexos, como o Terceiro Planalto (Nan et al., 2021; Toté et al., 2015). As

concordâncias e discrepâncias observadas refletem a complexidade dos processos atmosféricos locais e sugerem que, de maneira geral, os produtos de satélite apresentam boa correspondência com os valores médios de precipitação registrados. No entanto, as incertezas tendem a ser maiores em situações de precipitação extrema, tanto para os menores quanto para os maiores acumulados. Em alguns casos, os produtos estimaram valores próximos aos observados nas EMP, o que indica que, apesar da variabilidade no desempenho, ambos apresentam padrões semelhantes de erro e acerto.

A análise dos resíduos de precipitação entre as diferentes regiões do Paraná indica, que geralmente, ambos os produtos superestimam os valores, com variações na magnitude dessas estimativas. De modo geral, observa-se que, para volumes maiores de chuva, o CHIRPS apresenta resíduos mais discrepantes que o IMERG em várias localidades, como nas regiões Norte Central e Centro-Sul. Enquanto, em algumas áreas como o Noroeste, os produtos apresentaram subestimativas dos valores de precipitação, o que destaca as variações regionais nos padrões pluviométricos e nas capacidades de modelagem dos produtos. Esta diferença pode estar associada à limitações dos produtos em captar eventos climáticos complexos, como frentes frias e complexos convectivos de mesoescala (CCMs), que podem resultar em altos volumes de chuva (Balicki, Andrade e Hornes, 2020).

As observações demonstram os desafios enfrentados na modelagem para estimar de eventos pluviométricos intensos, particularmente em áreas com relevo acidentada e climas variados. Em regiões de clima subtropical e tropical superúmido, como o sudoeste e o litoral (Cunico e Prim, 2018), tanto o IMERG quanto o CHIRPS superestimaram a precipitação durante meses de baixa precipitação, e apresentaram subestimações em períodos com altos índices pluviométricos. Esses padrões indicam que a variabilidade sazonal e as influências orográficas, como em áreas montanhosas e costeiras, representam desafios para a modelagem dos eventos de precipitação (Nan et al., 2021).

Além disso, compreende-se que o Paraná apresenta uma complexidade atmosférica marcada por diferentes sistemas de circulação e relevo variada, resultando em padrões regionais distintos de precipitação (Fritzsos et al., 2011). Sistemas atmosféricos como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e frentes frias, associados à massa de ar polar atlântica, atuam de forma diferenciada nas regiões do estado, promovendo uma concentração de precipitação em algumas

áreas e uma variabilidade espacial em outras (Pinheiro, 2016). A combinação desses fatores cria desafios específicos para ambos os produtos.

A ausência de dados pluviométricos observados em solo em algumas regiões pode resultar em correções inadequadas e, conseqüentemente, em estimativas imprecisas, uma vez que a qualidade e a densidade da rede de estações são fatores essenciais para a calibração das estimativas de satélite (Huffman et al., 2023). No caso do Paraná, não foi possível confirmar quais e quantas estações foram utilizadas para a calibração dos produtos de precipitação, pois essas informações estão distribuídas em diferentes bases de dados, muitas das quais não estavam atualizadas ou não eram de fácil acesso.

Segundo Gao et al. (2021), em áreas com baixa cobertura de dados em solo, como regiões isoladas, a integração de estimativas de satélite com observações de radar e medições de superfície tem se mostrado uma estratégia eficaz para melhorar a acurácia das estimativas, mitigando limitações e proporcionando uma representação mais confiável da precipitação, especialmente em condições climáticas adversas.

Tanto o CHIRPS quanto o IMERG podem apresentar erros sistemáticos, como subestimação ou superestimação da precipitação, os quais tendem a ser mais expressivos em regiões com menor densidade de estações meteorológicas ou em eventos de precipitação extrema. A metodologia de coleta e o processamento dos dados influenciam diretamente esses erros, evidenciando a necessidade de uma avaliação contínua e detalhada das estimativas fornecidas pelos produtos de satélite para compreender melhor suas limitações e possibilidades de aplicação (Hordofa et al., 2021; Rosa et al., 2021; Popovych e Dunaieva, 2021).

Os produtos de precipitação CHIRPS e IMERG apresentam comportamentos variados em relação a eventos extremos e fenômenos como o El Niño. Em situações de extremos de precipitação, como baixa precipitação ou chuvas intensas, os produtos podem exibir limitações na acurácia devido à metodologia de estimativa, que influenciam diretamente esses erros (Dinku et al., 2018). A presença de áreas com valores nulos de precipitação também representa um desafio, pois erros no registro ou ausência de dados de referência nesses locais podem gerar discrepâncias nas estimativas fornecidas pelos produtos (Nan et al., 2021, Gadêlha et al., 2019).

As diferenças de resultados encontradas na literatura e a análise realizada sugerem que os produtos são influenciados por características regionais em suas estimativas e apresentam variações na qualidade conforme a escala temporal

verificada. Apesar das discrepâncias, houve várias concordâncias, o que indica que o CHIRPS e o IMERG são eficazes para estimar a precipitação no estado. Porém, sua aplicação em estudos de escala local, como no caso do Paraná, pode necessitar de ajustes regionais, considerando fatores como sazonalidade, influência costeira, dados de radar meteorológico e a incorporação de dados locais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo avaliar a acurácia das estimativas de precipitação dos produtos CHIRPS e IMERG para o estado do Paraná, por meio da comparação com dados de estações com monitoramento pluviométrico (EMP) e da análise das variações temporais e espaciais. Buscou-se identificar discrepâncias e concordâncias entre as estimativas de precipitação dos produtos de satélite e os dados observados nas EMP selecionadas, considerando a representatividade geográfica, a qualidade das medições e a escala temporal analisada.

Os produtos CHIRPS e IMERG combinam diferentes fontes de dados, incluindo observações de satélite, modelos estatísticos e correções baseadas em medições de estações pluviométricas. No entanto, o desempenho dessas estimativas varia conforme a região e a escala temporal. O CHIRPS, que se baseia em observações infravermelhas, apresenta resolução espacial mais fina, o que o torna adequado para estudos que exigem maior detalhamento geográfico. O IMERG, por sua vez, utiliza informações de radar e radiômetro para medir diretamente a precipitação do espaço, combinando medições de uma constelação de satélites e disponibilizando dados com resolução horária, o que favorece o monitoramento em tempo real.

A avaliação da acurácia das estimativas foi realizada por meio de métodos estatísticos descritivos e inferenciais, incluindo o cálculo dos resíduos, valores mínimo e máximo, média, desvio padrão, coeficiente de correlação de Pearson, raiz do erro quadrático médio (RMSE), percentil 90 e coeficiente de determinação (R^2) a partir de regressão linear simples. Além disso, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk, uma vez que a normalidade dos dados é essencial para a validade das análises estatísticas subsequentes.

Os resultados evidenciaram que, tanto na escala mensal quanto na anual, CHIRPS e IMERG apresentam variações na qualidade das estimativas, com diferenças regionais. Em algumas áreas, os produtos demonstraram boa correspondência com os valores registrados nas EMP, entretanto, em cenários de precipitação extrema, tanto para eventos de baixa quanto de alta intensidade, foram identificadas incertezas. Esses desvios podem estar associados à ausência de estações pluviométricas para calibração local, bem como às metodologias de processamento dos dados utilizadas por cada produto.

Com base nos dados analisados, observa-se que o IMERG mostrou-se ligeiramente mais adequado para captar a precipitação no Paraná. Esse resultado pode estar relacionado ao uso de sensores de radar e radiômetros que permitem uma estimativa mais direta da precipitação, enquanto o CHIRPS, baseado em dados infravermelhos, pode apresentar limitações na detecção de precipitação em nuvens associadas a convecção profunda. Além disso, a disponibilidade de dados do IMERG em alta resolução temporal favorece um monitoramento mais dinâmico das variações de chuva na região, o que pode ter contribuído para sua melhor correspondência com os dados das EMP.

As características regionais também desempenham papel fundamental no desempenho das estimativas de precipitação por satélite. Em regiões montanhosas, por exemplo, variações na altitude podem resultar em subestimações ou superestimações das chuvas, uma vez que os produtos nem sempre capturam com precisão a complexidade dos padrões atmosféricos locais. Além disso, a variabilidade climática e a ocorrência de fenômenos em meso e microescala podem gerar discrepâncias nas estimativas, especialmente em áreas com dinâmica meteorológica mais complexa.

Diante da escassez de medições pluviométricas em diversas partes do mundo, este estudo contribui para a compreensão da acurácia dos produtos de precipitação por satélite, destacando seus potenciais e limitações. Como recomendações para pesquisas futuras, sugere-se a ampliação das análises para escalas diárias e horárias, particularmente para o IMERG, visando aplicações que demandem maior detalhamento temporal. Além disso, a calibração dos produtos pode ser aprimorada com a inclusão de um maior número de EMP validadas, o que, embora desafiador devido à disponibilidade limitada, representaria um avanço na confiabilidade das comparações.

Outro aspecto relevante é a necessidade de ajustes regionais para adequação das estimativas às condições climáticas e geográficas locais. Entre as estratégias sugeridas, destacam-se:

- Ajustes sazonais, considerando que os produtos podem apresentar desempenhos distintos entre a estação seca e a chuvosa, sendo necessária a calibração para reduzir erros sistemáticos em períodos de precipitação intensa ou reduzida;

- Correções por influência costeira, uma vez que a transição entre oceano e continente pode afetar as estimativas, exigindo a aplicação de modelos ou filtros específicos para mitigar esses efeitos;
- Integração de dados locais, incluindo medições de EMP adicionais e métodos de downscaling, que possibilitam a adequação da escala dos pixels dos produtos globais para melhor representar a variabilidade da precipitação em nível local.

A implementação dessas estratégias pode tornar as estimativas de precipitação por satélite mais confiáveis para aplicações hidrológicas, agrícolas e climáticas, ampliando sua utilidade na gestão de recursos hídricos e no monitoramento de eventos extremos.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, Jordene Teixeira de; LOBO JUNIOR, Murillo. Reliability and discrepancies of rainfall and temperatures from remote sensing and Brazilian ground weather stations. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 18, p. 100301, abr, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235293851930326X#bib41>. Acesso em: 02 jan. 2024.
- BALICKI, Marcos; DE ANDRADE, Aparecido Ribeiro; HORNES, Karin Linete. Gênese e impacto de tempestades severas no estado do Paraná (Brasil). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, 2020. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14222>
- BARBIERI, L. F. P. et al. Desempenho de método de estimativa da temperatura média diária: um estudo em áreas com forte pressão antrópica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 4, p. 857-874, 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/94202/1/Magna-5.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2024.
- BAYISSA, Yared et al. Evaluation of satellite-based rainfall estimates and application to monitor meteorological drought for the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. **Remote Sensing**, v. 9, n. 7, p. 669, 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/9/7/669> . Acesso em: 05 jan. 2024.
- BRAGA, H.J.; GHELLERE, R. Proposta de diferenciação climática para o Estado de Santa Catarina. In: 11 Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 1999, Florianópolis, SC. **Anais**. Florianópolis: Epagri, 1999. <https://www.sbagro.org/files/biblioteca/485.pdf>
- CARVALHO, SILVA e MYRA. **XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2021. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/142/XXIV-SBRH0262-2-0-20211110-214546.pdf>
- CHICCO, D.; WARRENS, M.J.; JURMAN, G. The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. **PeerJ Computer Science**, v. 7, p. e623, jul. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.623>.
- COMISSÃO NACIONAL DE CARTOGRAFIA – CONCAR. Especificações técnicas para estruturação de dados geoespaciais vetoriais (ET-EDGV 3.0). Versão 3.0. Brasília, DF: CONCAR, dezembro 2017.
- COSTA, Julio et al. Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, p. 228–243, jan./jun. 2019. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14127/7360>. Acesso em: 15 dez. 2023.

CORREA, Márcio Greyck Guimarães; GALVANI, Emerson. Variabilidade Espacial e Sazonal da Precipitação Pluviométrica na Bacia Hidrográfica no Rio Piquiri-PR. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 34, p. 21-30, 2017.

CUNICO, C.; PRIM, D. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Paraná (Vol. 1)**. Curitiba: ITCG. Disponível em: <http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Zoneamento-Ecologico-Economico-ZEE>, 2018.

DINKU, T. et al. Validation of satellite rainfall products over East Africa's complex topography. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 7, p. 1503-1526, abr. 2007. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/01431160600954688?src=getftr>. Acesso em: 03 jan. 2024.

DINKU, Tufa et al. Validation of the CHIRPS satellite rainfall estimates over eastern Africa. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 144, p. 292-312, 2018. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/qj.3244>

EBERT, Elizabeth E.; JANOWIAK, John E.; KIDD, Chris. Comparison of near-real-time precipitation estimates from satellite observations and numerical models. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 88, n. 1, p. 47-64, 2007. Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/88/1/bams-88-1-47.xml?tab_body=pdf

EL KENAWY, Ahmed M.; LOPEZ-MORENO, Juan I.; MCCABE, Matthew F.; VICENTE-SERRANO, Sergio M. Avaliação do produto de precipitação TMPA-3B42 usando uma rede de pluviômetros de alta densidade sobre terrenos complexos no nordeste da Península Ibérica. **Global and Planetary Change**, v. 133, p. 188-200, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818115300084>.

FILGUEIRAS, Roberto et al. Comparison and calibration of terraclimate climatological variables over the Brazilian territory. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 117, p. 103882, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895981122001717#bib24>. Acesso em: 02 jan. 2024.

FONSECA, Jairo Simon da; MARTINS, Gilberto de A. **Curso de estatística**, 6ª edição. São Paulo: Grupo GEN, 2012. E-book. ISBN 9788522477937. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522477937/>. Acesso em: 01 abr. 2024.

FRANCHITO, Sergio H. et al. Validation of TRMM precipitation radar monthly rainfall estimates over Brazil. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 114, n. D2, p. 148-227, 2009. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2007JD009580>. Acesso em: 02 jan. 2024.

FRITZSONS, Elenice et al. Análise da pluviometria para definição de zonas homogêneas no Estado do Paraná. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 23, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/274170601_ANALISE_DA_PLUVIOMETRIA_PARA_DEFINICAO_DE_ZONAS_HOMOGENEAS_NO_ESTADO_DO_PARANA. Acesso em: 30 nov. 2024.

FUNK, Chris; PETERSON, Pete; LANDSFELD, Martin; PEDREROS, Diego; VERDIN, James; SHUKLA, Shraddhanand; HUSAK, Gregory; ROWLAND, James; HARRISON, Laura; HOELL, Andrew; MICHAELSEN, Joel. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, v. 2, p. 150066, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>. Acesso em: 30 nov. 2023.

GADÊLHA, A. N. **Análise da Missão GPM (Global Precipitation Measurement) na Estimativa da Precipitação sobre Território Brasileiro**, 2018. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/13132/1/Arquivototal.pdf>

GADÊLHA, A. N. et al. Grid box-level evaluation of IMERG over Brazil at various space and time scales. **Atmospheric Research**, v. 218, p. 231-244, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016980951831072X>

GAO, Feng et al. Evaluation of CHIRPS and its application for drought monitoring over the Haihe River Basin, China. **Natural Hazards**, v. 92, p. 155-172, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322967769_Evaluation_of_CHIRPS_and_its_application_for_drought_monitoring_over_the_Haihe_River_Basin_China

GAO, Wenhua et al. A study of the fraction of warm rain in a pre-summer rainfall event over South China. *Atmospheric Research*, v. 262, p. 105792, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809521003483>

GEBERT, D.; KIST, A. Contribuição aos estudos da influência do El Niño-Oscilação Sul sobre a precipitação no estado do Paraná em escala mensal. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 33, p. 354-377, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.55761/abclima.v33i19.16827>.

GEBRECHORKOS, Solomon Hailu; HÜLSMANN, Stephan; BERNHOFER, Christian. Evaluation of multiple climate Data sources for managing environmental resources in East Africa. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 22, n. 8, p. 4547-4564, 2018. Disponível em: <https://hess.copernicus.org/articles/22/4547/2018/>

GUO, Hao et al. Meteorological drought analysis in the Lower Mekong Basin using satellite-based long-term CHIRPS product. **Sustainability**, v. 9, n. 6, p. 901, 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/6/901>

HIDROLOGIA DE GRANDE ESCALA (HGE). **ANA Data Acquisition**. UFRGS: 2021. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/hge/ana-data-Acquisition/>

HINKLE D. E., WIERSMA W., JURS, S. G. Applied Statistics for the Behavioral Sciences. 5° ed. Boston: Houghton Mifflin, 2003. 756 p.

HORDOFA, A. T.; LETA, O. T.; ALAMIREW, T.; KAWO, N. S.; CHUKALLA, A. D. Performance evaluation and comparison of satellite-derived rainfall datasets over the Ziway Lake Basin, Ethiopia. **Climate**, v. 9, n. 7, p. 113, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2225-1154/9/7/113>.

HOU, Arthur Y. et al. The global precipitation measurement mission. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 95, n. 5, p. 701-722, 2014. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/95/5/bams-d-13-00164.1.xml>. Acesso em: 18 mar. 2024.

HUFFMAN, George J. et al. NASA global precipitation measurement (GPM) integrated multi-satellite retrievals for GPM (IMERG). **Algorithm theoretical basis document (ATBD)** version, v. 4, n. 26, p. 30, 2020. Disponível em: https://gpm.nasa.gov/sites/default/files/2020-05/IMERG_ATBD_V06.3.pdf. Acesso em: 06 jan. 2024.

HUFFMAN, George J.; BOLVIN, David T.; JOYCE, Robert; NELKIN, Eric J.; TAN, Jackson; BRAITHWAITE, Dan; HSU, Kuolin; KELLEY, Owen A.; NGUYEN, Phu; SOROOSH, Soroosh; WATTERS, Daniel C.; WEST, B. Jason; XIE, Pingping. **Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD): NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG) Version 07**. Greenbelt, MD: NASA/GSFC, 12 jul. 2023. Disponível em: https://gpm.nasa.gov/sites/default/files/2023-07/IMERG_V07_ATBD_final_230712.pdf

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Divisão Regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias 2017**. IBGE, Cordenção de Geografia, Rio de Janeiro: IBGE, 2017. 82p. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, IBGE CIDADES. **Estados**. v. 22, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em 30 nov. 2023.

INMET; INPE; ANA; CENAD. **Painel El Niño**. Boletim Mensal nº 08, 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/uploads/notastecnicas/Painel-El-Ni%C3%B1o-Boletim-Mensal-No-08.pdf>

INSTITUTO ÁGUA E TERRA. Instituto das Águas do Paraná. Sistemas de Informações Hidrológicas. **Relatório de Alturas diárias de Precipitação**. Versão v1_0_245, 2024. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Sistema-de-Informacoes-Hidrologicas>.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS – ITCG. Mapa do Clima – Estado do Paraná. 2008. Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/mapa_climas_a3.pdf.

KEIKHOSRAVI-KIANY, M. S.; BALLING, R. C., Jr. Evaluation of GPM IMERG Early, Late, and Final Run in Representing Extreme Rainfall Indices in Southwestern Iran. *Remote Sensing*, v. 16, n. 15, p. 2779, 2024. DOI: 10.3390/rs16152779. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/16/15/2779>.

KIDD, C.; LEVIZZANI, V. Status of satellite precipitation retrievals. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 15, p. 1109-1116, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-15-1109-2011>.

KOLLURU, V.; KOLLURU, S.; KONKATHI, P. Evaluation and integration of reanalysis rainfall products under contrasting climatic conditions in India. **Atmospheric Research**, v. 246, p. 105121, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809520302805>.

KUKI, Cassia Akemi Castro; SOUZA FERREIRA, Glauber Willian de; REBOITA, Michelle Simões. Avaliação da performance da previsão sazonal para o Brasil utilizando o CFSv2 e ECMWF-SEAS5. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 29, p. 383-413, 2021. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/15388>. Acesso em: 02 jan. 2024.

LEITE, M.; ADACHESKI, P.; FILHO, J. Estudo da variabilidade da precipitação pluvial em municípios da região sul dos Campos Gerais, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 6, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/abclima.v6i0.25605>.

LIMA, Mirelle Tainá Vieira; OLIVEIRA, Carlos Wagner. Validação estatística dos dados climáticos disponíveis na plataforma Climate-Data. Org para o Estado do Ceará. **Revista Geama**, v. 7, n. 2, p. 13-20, 2021. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/3583/482484277>. Acesso em: 03 jan. 2024.

LIU, Jingyu et al. Evaluating extreme precipitation estimations based on the GPM IMERG products over the Yangtze River Basin, China. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 11, n. 1, p. 601-618, 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475705.2020.1734103>

MAHANTA, Aiswarya Rani et al. Assessment of multi-source satellite products using hydrological modelling approach. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 133, p. 103507, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706523001511>. Acesso em: 05 jan. 2024.

MALUF, J. R. T. A new climatic classification for the State of Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n. 1, p. 141-150, 2000.

MASSARI, C. et al. Um produto de precipitação diária de curta latência de 25 km para regiões com escassez de dados com base na integração da missão Global Precipitation Measurement de precipitação e produtos de umidade do solo de múltiplos satélites. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 24, p. 2687-2710, 2020. Disponível em: <https://hess.copernicus.org/articles/24/2687/2020/hess-24-2687-2020.html>.

MICHAELIDES, S.; LEVIZZANI, V.; ANAGNOSTOU, E.; BAUER, P.; KASPARIS, T.; LANE, J. E. Precipitation: Measurement, remote sensing, climatology and modeling. **Atmospheric Research**, v. 94, n. 4, p. 512-533, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.08.017>.

MINEROPAR. Minerais do Paraná. **Atlas geomorfológico do Estado do Paraná: escala 1:250.000; modelos reduzidos**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2006. Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-04/atlas_geomorforlogico_parana_2006.pdf

MONTGOMERY, D. C., JENNINGS, C. L., KULAHCI, M. **Introduction to Time Series Analysis and Forecasting**. 2ªed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008. 469 p. Disponível em: <https://pedro.unifei.edu.br/download/Montgomery.pdf>

MORETTIN, Pedro Alberto; BUSSAB, Wilton de Oliveira. Estatística básica. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

MORICE, Colin P. et al. Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: The HadCRUT4 *Data* set. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 117, n. D8, 2012. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2011JD017187>. Acesso em: 15 dez. 2023.

NASCIMENTO, G. Jéssica et al. Evaluating the latest IMERG products in a subtropical climate: The case of Paraná State, Brazil. **Remote Sensing**, v. 13, n. 5, p. 906, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/5/906>

NAN, Linjiang et al. Comprehensive evaluation of global precipitation measurement mission (GPM) IMERG precipitation products over Mainland China. **Water**, v. 13, n. 23, p. 3381, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/23/3381>

NASA. **The Global Precipitation Measurement Mission (GPM)**. GPM Mission Concept, 2024. Disponível em: <https://gpm.nasa.gov/missions/GPM>. Acesso em: 01 abr. 2024.

NASCIMENTO, Diego; OLIVEIRA, Ivanilton. Aplicação das estimativas de precipitação do Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) no estudo da pluviometria habitual e excepcional de Goiás e Distrito Federal (Application of rainfall estimates of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) in the study of the usual and exceptional rainfall of Goiás and Federal District). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 5, p. 1664-1679, 2018. Disponível em: <https://shorturl.at/ruQ30>

NASCIMENTO, Lindberg; SILVESTRE, Miriam Rodrigues; NETO, João Lima Sant'anna. Trends and rainfall tropicalization in Paraná State, south of Brazil. **Atmosfera**, v. 33, n. 1, p. 1-18, 2020. Disponível em: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-62362020000100001&script=sci_arttext&tlng=en#f1

NITSCHKE, Pablo Ricardo; CARAMORI, Paulo Henrique; RICCE, Wilian da Silva; PINTO, Larissa Fernandes Dias. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/atlas-climatico/atlas-climatico-do-parana-2019.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2023.

OLIVEIRA, Rômulo et al. Characteristics and diurnal cycle of GPM rainfall estimates over the central Amazon region. **Remote Sensing**, v. 8, n. 7, p. 544, 2016. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/8/7/544>

PACA, Victor Hugo da Motta et al. Variability of trends in precipitation across the Amazon River basin determined from the CHIRPS precipitation product and from station records. **Water**, v. 12, n. 5, p. 1244, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/5/1244>

PEREIRA, Gabriel et al. Análise da variabilidade da precipitação para o estado de Minas Gerais (1981-2017). **Revista Brasileira de Climatologia**, 2018. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14068/7309>. Acesso em: 03 jan. 2024.

PEREIRA, L.; CARAMORI, P.; RICCE, W.; SILVA, D.; CAVIGLIONE, J. Determinação do início e término da estação chuvosa no estado do Paraná. **Revista Geografar**, v. 3, n. 2, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/geografar.v3i2.13586>.

PINHEIRO, Gabriela Marques. **Variabilidade temporo-espacial da pluviosidade na bacia do alto Iguaçu**. 274 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

POPOVYCH, V. F.; DUNAIEVA, I. A. Assessment of the GPM IMERG and CHIRPS precipitation estimations for the steppe region of the Crimea. *Meteorology Hydrology and Water Management*. **Research and Operational Applications**, v. 9, n. 1-2, p. 1-13, 2021. Disponível em: <https://www.mhwm.pl/Assessment-of-the-GPM-IMERG-and-CHIRPS-precipitation-estimations-for-the-steppe-part,133088,0,2.html>.

PRAKASH, Satya; SRINIVASAN, Jayaraman. A comprehensive evaluation of near-real-time and research products of IMERG precipitation over India for the southwest monsoon period. **Remote Sensing**, v. 13, n. 18, p. 3676, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/18/3676>

QUEDI, E. S.; CAMPOS, J. A.; FAN, F. M. Validação de dados do Global Precipitation Mission (GPM) com observações in situ na bacia do Rio São Francisco. In: Simpósio De Recursos Hídricos Do Nordeste, 14., 2018, Maceió, AL. **Anais do XIV SRHNE**. Porto Alegre: ABRHidro, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/188104/001085296.pdf?sequence=1>.

RAZALI, N. M.; YAP, B. W. Power Comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors, and Anderson-Darling Tests. **Journal of Statistical Modeling and Analytics**, v. 2, n. 1, p. 21-33, 2011. Disponível em: https://www.nbi.dk/~petersen/Teaching/Stat2017/Power_Comparisons_of_Shapiro-Wilk_Kolmogorov-Smirn.pdf. Acesso em: 18 mar. 2024.

ROSA, Nicolas dos Santos; SCHULTZ, Gilson Bauer; SANTOS, Irani dos. Título do trabalho. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, XIV, 2021, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: UFPB, 2021. Trabalhos do Eixo 3: Técnicas e Tecnologias Aplicadas à Climatologia.

SANTOS, Leonardo José Cordeiro et al. Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia** v. 7, n. 2, dez. 2006.

SERVIR. **ClimateSERV**. 2024. Disponível em: <https://servirglobal.net/services/climateserv>. Acesso em: 05 mai. 2024.

SILVA, Carlos Batista et al. Precipitação na América do Sul—dados obtidos por estações meteorológicas automáticas e por sistemas orbitais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14148/7379>. Acesso em: 05 jan. 2024.

SILVA, G.; CARAMORI, P.; FARIA, R. Precipitações pluviais extremas em Londrina - PR. **Revista Geografar**, v. 7, n. 2, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/geografar.v7i2.25938>.

SLIVINSKI, Laura C. Historical reanalysis: what, how, and why?. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, v. 10, n. 8, p. 1736-1739, 2018. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2018MS001434>. Acesso em: 15 dez. 2023.

TAPIADOR, Francisco J.; TURK, F. J.; PETERSEN, Walt; HOU, Arthur Y.; GARCÍA-ORTEGA, Eduardo; MACHADO, Luiz A. T.; ANGELIS, Carlos F.; SALIO, Paola; KIDD, Chris; HUFFMAN, George J.; DE CASTRO, Manuel. Global precipitation measurement: Methods, datasets and applications. **Atmospheric Research**, v. 104–105, p. 70–97, 2012. ISSN 0169-8095. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.10.021>.

TERASSI, P.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.; GÓIS, G.; GALVANI, E. Variabilidade do índice de precipitação padronizada na região norte do estado do Paraná associada aos eventos de El Niño-Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 1, p. 11-25, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-7786331002>.

TERASSI, Paulo Miguel; GALVANI, Emerson. Análise da gênese pluvial a partir da aplicação da técnica Spatial Synoptic Classification na região leste do estado do Paraná. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 42, p. e185541-e185541, 2022. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/185541>.

TORRES, Francisca Lanai Ribeiro et al. Validação de diferentes bases de dados de precipitação nas bacias hidrográficas do Sapucaí e São Francisco. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 368-404, 2020. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14277/7519>. Acesso em: 02 jan. 2024.

TOTÉ, C. et al. Evaluation of satellite rainfall estimates for drought and flood monitoring in Mozambique. **Remote Sens** 7: 1758–1776. 2015. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/7/2/1758>

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to meteorological instruments and methods of observation**. WMO-No. 8. Genebra: WMO, 2014. Disponível em: ISBN 978-92-63-10008-5. <https://cloudatlas.wmo.int/en/home.html>

WU, Wenqi et al. Performance evaluation of the CHIRPS precipitation dataset and its utility in drought monitoring over Yunnan Province, China. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 10, n. 1, p. 2145-2162, 2019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475705.2019.1683082>

XIAO, Shuai; XIA, Jun; ZOU, Lei. Evaluation of multi-satellite precipitation products and their ability in capturing the characteristics of extreme climate events over the Yangtze River Basin, China. **Water**, v. 12, n. 4, p. 1179, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/4/1179>

YUAN, Fei et al. Assessment of GPM and TRMM multi-satellite precipitation products in streamflow simulations in a data-sparse mountainous watershed in Myanmar. **Remote Sensing**, v. 9, n. 3, p. 302, 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/9/3/302>

ZHANG, Ying et al. Evaluation of the GPM-IMERG V06 Final Run products for monthly/annual precipitation under the complex climatic and topographic conditions of China. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 62, n. 8, p. 929-946, 2023. Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/62/8/JAMC-D-22-0110.1.xml?tab_body=pdf

ZUBIETA, R., GETIRANA, A., Espinoza, J. C., Lavado-Casimiro, W., & Aragon, L. Hydrological modeling of the Peruvian–Ecuadorian Amazon Basin using GPM-IMERG satellite-based precipitation dataset. **Hydrology and Earth System Sciences**, 21(7), 3543-3555, 2017. Disponível em: <https://hess.copernicus.org/articles/21/3543/2017/>

APÊNDICE 1 – ESTAÇÕES COM MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO: PRINCIPAIS E VIZINHAS ANÁLISE ANUAL

MUNICÍPIO	CÓDIGO	EMP	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	ENTIDADE
Alto Piquiri	2453009	PORTO FORMOSA	24° 12' 00"S	53° 19' 59"W	430	ANA
Alto Piquiri	2453008	ALTO PIQUIRI	24° 01' 48"S	53° 26' 17"W	427	AGUASPARANÁ
Formosa do Oeste	2453010	FORMOSA DO OESTE	24° 16' 59"S	53° 19' 00"W	370	AGUASPARANÁ
Brasilândia do Sul	2453050	BRASILÂNDIA DO SUL	24° 11' 54"S	53° 31' 32"W	396	AGUASPARANÁ
Bituruna	2651020	SANTO ANTONIO DO IRATIM	26° 09' 00"S	51° 24' 00"W	950	AGUASPARANÁ
Bituruna	2651013	COLONIA AUGUSTO LOUREIRO	26° 11' 26"S	51° 17' 52"W	802	AGUASPARANÁ
Bituruna	2651023	LINHA SANTA MARIA	26° 07' 00"S	51° 34' 00"W	1030	AGUASPARANÁ
União da Vitória	2651016	SALTO DO VAU	26° 03' 00"S	51° 12' 00"W	800	AGUASPARANÁ
Cascavel	2453056	SAO JOÃO DO OESTE	24° 57' 43"S	53° 14' 36"W	662	AGUASPARANÁ
Cascavel	2553035	RIO DO SALTO	25° 08' 11"S	53° 19' 51"W	0	AGUASPARANÁ
Corbélia	2453012	CORBÉLIA	24° 47' 55"S	53° 17' 29"W	696	AGUASPARANÁ
Ibema	2553019	IBEMA	25° 06' 00"S	53° 04' 01"W	877	AGUASPARANÁ
Chopinzinho	2552030	CHOPINZINHO	25° 51' 00"S	52° 31' 00"W	800	ANA
Chopinzinho	2552031	BUGRE	25° 49' 00"S	52° 24' 57"W	644	AGUASPARANÁ
Chopinzinho	2552033	SÃO LUIZ DO OESTE	25° 43' 39"S	52° 30' 10"W	655	AGUASPARANÁ
Chopinzinho	2552034	BAIA	25° 44' 49"S	52° 23' 27"W	645	AGUASPARANÁ
Coronel Domingos Soares	2651031	UBALDINO TAQUES (EM)	26° 13' 00"S	51° 54' 00"W	1100	ANA
Coronel Domingos Soares	2651035	FAZENDA SANTA TEREZA	26° 22' 00"S	51° 52' 00"W	1180	AGUASPARANÁ
Coronel Domingos Soares	2651051	SOLAI NOVO	26° 03' 58"S	51° 54' 49"W	720	COPEL
Coronel Domingos Soares	2652023	USINA RIO CHOPIM	26° 21' 46"S	52° 00' 10"W	1028	AGUASPARANÁ
Francisco Beltrão	2653012	FRANCISCO BELTRÃO - IAPAR	26° 04' 59"S	53° 03' 00"W	650	IAPAR
Enéas Marques	2553044	ENÉAS MARQUES	25° 55' 59"S	53° 10' 11"W	585	AGUASPARANÁ
Enéas Marques	2553046	PINHALZINHO	25° 53' 15"S	53° 04' 57"W	560	AGUASPARANÁ
Marmeleiro	2653024	MARMELEIRO	26° 09' 08"S	53° 01' 05"W	640	ANA
Guarapuava	2551034	INVERNADINHA	25° 18' 00"S	51° 25' 59"W	1050	AGUASPARANÁ
Guarapuava	2551010	COL. AGRICOLA GUARAPUAVA	25° 21' 00"S	51° 30' 00"W	1058	IAPAR
Guarapuava	2551033	PALMEIRINHA	25° 15' 00"S	51° 33' 00"W	1050	ANA
Guarapuava	2551035	CAMPO DE DENTRO	25° 16' 21"S	51° 16' 20"W	1202	AGUASPARANÁ
Ibaiti	2350063	FAZENDA SANTA LAURA	23° 49' 09"S	50° 19' 44"W	636	AGUASPARANÁ
Ibaiti	2350041	AMORINHA	23° 53' 49"S	50° 14' 53"W	780	AGUASPARANÁ
Ibaiti	2350042	PATRIMONIO DO CAFÉ	23° 53' 18"S	50° 11' 04"W	730	AGUASPARANÁ
Ibaiti	2350049	CALIXTO	23° 37' 52"S	50° 18' 35"W	518	AGUASPARANÁ
Irati	2550029	GONÇALVES JUNIOR	25° 28' 00"S	50° 46' 59"W	797	AGUASPARANÁ

Irati	2550007	IRATI	25° 28' 00"S	50° 37' 59"W	837	INMET
Irati	2550025	FERNANDES PINHEIRO (EST. EXP.	25° 27' 00"S	50° 34' 59"W	893	IAPAR
Irati	2550053	ITAPARA	25° 28' 00"S	50° 58' 59"W	900	AGUASPARANÁ
Ivaiporã	2451022	JACUTINGA	24° 15' 00"S	51° 31' 59"W	720	AGUASPARANÁ
Rio Branco do Ivaí	2451017	PORTO ESPANHOL	24° 21' 00"S	51° 25' 00"W	600	ANA
Aritanha do Ivaí	2451046	ARIRANHA	24° 22' 00"S	51° 30' 00"W	900	AGUASPARANÁ
Rio Branco do Ivaí	2451047	RIO BRANCO DO IVAÍ	24° 19' 20"S	51° 18' 40"W	675	AGUASPARANÁ
Laranjeiras do Sul	2552019	(CAMPO VERDE) FAXINAL DOS	25° 13' 21"S	52° 25' 52"W	785	AGUASPARANÁ
Marquinho	2552008	MARQUINHOS	25° 06' 44"S	52° 15' 30"W	872	AGUASPARANÁ
Nova Laranjeiras	2552010	NOVA LARANJEIRAS	25° 18' 25"S	52° 32' 34"W	730	AGUASPARANÁ
Nova Laranjeiras	2552047	VILA GUARANI	25° 12' 41"S	52° 39' 06"W	917	AGUASPARANÁ
Londrina	2351070	RIBEIRÃO DOS APERTADOS	23° 24' 00"S	51° 00' 00"W	500	AGUASPARANÁ
Assaí	2350032	CERRO LEÃO	23° 23' 38"S	50° 55' 26"W	533	AGUASPARANÁ
Londrina	2351003	EST AGROCLIMATOLOGI	23° 18' 00"S	51° 09' 00"W	585	IAPAR
Londrina	2351010	LONDRINA	23° 19' 00"S	51° 09' 00"W	566	INMET
Londrina	2351073	SÍTIO IGREJINHA	23° 34' 59"S	51° 04' 59"W	390	AGUASPARANÁ
Mamboré	2452014	MAMBORE	24° 16' 59"S	52° 31' 00"W	702	AGUASPARANÁ
Campo Mourão	2452045	RIO DA VARGEM/MOURAO	24° 14' 05"S	52° 24' 09"W	668	AGUASPARANÁ
Mamboré	2452035	GUARANI	24° 25' 59"S	52° 33' 00"W	650	AGUASPARANÁ
Mamboré	2452040	PENSAMENTO	24° 19' 00"S	52° 39' 00"W	638	AGUASPARANÁ
Maringá	2351013	MARINGA	23° 25' 00"S	51° 57' 00"W	542	INMET
Maringá	2351045	GUAIAPO	23° 24' 00"S	51° 52' 26"W	584	AGUASPARANÁ
Maringá	2352055	FLORIANO	23° 31' 35"S	52° 03' 13"W	424	AGUASPARANÁ
Sarandi	2351044	VALE AZUL	23° 29' 02"S	51° 54' 20"W	504	AGUASPARANÁ
Califórnia	2351037	CALIFORNIA	23° 39' 00"S	51° 21' 00"W	790	AGUASPARANÁ
Sengés	2449044	SENGES	24° 06' 00"S	49° 28' 00"W	650	AGUASPARANÁ
Rio Bom	2351026	RIO BOM	23° 45' 50"S	51° 24' 39"W	648	AGUASPARANÁ
Cambira	2351043	CRUZEIRO	23° 39' 46"S	51° 36' 09"W	601	AGUASPARANÁ
Paranavai	2252023	CRISTO REI	22° 43' 52"S	52° 26' 47"W	400	AGUASPARANÁ
Paranavai	2252017	FAZENDA SANTO ANTONIO	22° 39' 10"S	52° 31' 05"W	333	AGUASPARANÁ
Paranavai	2252027	FAZENDA AURORA	22° 49' 05"S	52° 31' 00"W	367	AGUASPARANÁ
Santo Antônio do Caiuá	2252024	SANTO ANTONIO DO CAIUÁ	22° 44' 04"S	52° 20' 38"W	327	AGUASPARANÁ
Terra Rica	2252022	TERRA RICA	22° 43' 50"S	52° 36' 59"W	437	AGUASPARANÁ
Pato Branco	2652013	PATO BRANCO	26° 13' 59"S	52° 40' 59"W	760	AGUASPARANÁ
Pato Branco	2652033	PASSO DA ILHA	26° 13' 52"S	52° 35' 48"W	745	AGUASPARANÁ
Pato Branco	2652035	PATO BRANCO - IAPAR	26° 07' 00"S	52° 40' 59"W	700	IAPAR
Vitorino	2652025	SAO CARAVAGGIO	26° 17' 21"S	52° 41' 52"W	815	AGUASPARANÁ

Mandirituba	2549062	MANDIRITUBA	25° 46' 35"S	49° 19' 28"W	920	AGUASPARANÁ
Quitandinha	2549003	RIO DA VÁRZEA DOS LIMA	25° 57' 00"S	49° 22' 59"W	810	ANA
Tijucas do Sul	2549063	RINCÃO	25° 49' 00"S	49° 09' 00"W	913	AGUASPARANÁ
Quitandinha	2549061	QUITANDINHA	25° 51' 54"S	49° 29' 59"W	820	ANA
Reserva	2451039	LARANJEIRAS	24° 41' 00"S	51° 03' 35"W	1200	AGUASPARANÁ
Reserva	2450058	RESERVA	24° 39' 00"S	50° 51' 00"W	850	AGUASPARANÁ
Reserva	2451035	BAIRRO DA IMBUÍA	24° 51' 33"S	51° 00' 32"W	934	AGUASPARANÁ
Reserva	2451043	BARRA BONITA	24° 34' 10"S	51° 09' 11"W	866	AGUASPARANÁ
Santa Maria do Oeste	2451021	BARRA GRANDE	24° 46' 45"S	51° 57' 16"W	929	AGUASPARANÁ
Pitanga	2451013	PITANGA	24° 45' 26"S	51° 45' 33"W	892	AGUASPARANÁ
Pitanga	2451026	ARROIO GRANDE	24° 37' 00"S	51° 49' 59"W	1050	AGUASPARANÁ
Santa Maria do Oeste	2451010	SANTA MARIA DO OESTE	24° 55' 59"S	51° 52' 59"W	900	AGUASPARANÁ
Santa Mônica	2353041	APARECIDA DO IVAÍ	23° 10' 59"S	53° 04' 00"W	300	AGUASPARANÁ
Planaltina do Paraná	2352048	GAUCHINHA	23° 08' 57"S	52° 56' 43"W	354	AGUASPARANÁ
Planaltina do Paraná	2352060	COMUR	23° 04' 38"S	52° 57' 33"W	362	AGUASPARANÁ
Santa Isabel do Ivai	2353001	SANTA ISABEL DO IVAÍ	23° 00' 24"S	53° 11' 20"W	400	ANA
Santa Isabel do Ivai	2353038	SÃO JOSÉ DO IVAÍ	23° 07' 52"S	53° 16' 38"W	339	AGUASPARANÁ
Santa Isabel do Ivai	2353044	NOVO PORTO TAQUARA	23° 11' 13"S	53° 12' 05"W	470	ANA
Santo Antônio da Platina	2349059	CONSELHEIRO ZACARIAS	23° 24' 50"S	49° 58' 51"W	603	AGUASPARANÁ
Guapirama	2350054	GUAPIRAMA	23° 31' 00"S	50° 01' 59"W	600	AGUASPARANÁ
Joaquim Távora	2349030	EST CRIACAO ESTADO	23° 30' 00"S	49° 52' 00"W	512	ANA
Santo Antônio da Platina	2350012	SANTO ANTONIO DA PLATINA	23° 18' 00"S	50° 04' 00"W	520	AGUASPARANÁ
São Miguel do Iguaçu	2554013	SANTA ELIZA	25° 30' 15"S	54° 19' 39"W	297	AGUASPARANÁ
São Miguel do Iguaçu	2554006	SÃO MIGUEL DO IGUAÇU	25° 20' 45"S	54° 14' 37"W	286,651	AGUASPARANÁ
Foz do Iguaçu	2554002	SALTO CATARATAS	25° 40' 59"S	54° 25' 59"W	152	AGUASPARANÁ
Foz do Iguaçu	2554030	CACIC	25° 18' 22"S	54° 24' 46"W	245,497	AGUASPARANÁ
Toledo	2453017	NOVA CONCORDIA	24° 43' 32"S	53° 50' 42"W	513	AGUASPARANÁ
Toledo	2453027	BOM PRINCÍPIO	24° 46' 22"S	53° 38' 34"W	617,635	AGUASPARANÁ
Toledo	2453028	DOIS IRMÃOS	24° 37' 13"S	53° 55' 34"W	519,499	AGUASPARANÁ
Toledo	2453059	TOLEDO	24° 40' 35"S	53° 42' 37"W	517,864	AGUASPARANÁ
Umuarama	2353022	SERRA DOS DOURADOS	23° 37' 00"S	53° 22' 00"W	500	AGUASPARANÁ
Maria Helena	2353023	MARIA HELENA	23° 36' 28"S	53° 12' 15"W	372	AGUASPARANÁ
Maria Helena	2353028	VILA CARBONELLA	23° 32' 55"S	53° 19' 16"W	455	AGUASPARANÁ
Umuarama	2353008	UMUARAMA - IAPAR	23° 43' 59"S	53° 16' 59"W	480	IAPAR
Umuarama	2353027	SANTA ELIZA	23° 31' 39"S	53° 27' 46"W	441	AGUASPARANÁ
Lapa	2549059	PEDRA ALTA	25° 48' 00"S	49° 52' 58"W	903	AGUASPARANÁ
Lapa	2549000	SÃO BENTO	25° 55' 59"S	49° 46' 59"W	750	COPEL

Lapa	2549091	LAPA - IAPAR	25° 46' 59"S	49° 46' 00"W	910	IAPAR
Lapa	2550028	PEDRA LISA	25° 41' 50"S	50° 00' 47"W	929	AGUASPARANÁ
Matinhos	2548089	ETE SANEPAR - MATINHOS	25° 46' 35"S	48° 30' 55"W	2	AGUASPARANÁ
Guaratuba	2548087	ETE SANEPAR - GUARATUBA	25° 53' 42"S	48° 34' 50"W	5	AGUASPARANÁ
Guaratuba	2548053	GUARATUBA	25° 52' 40"S	48° 37' 05"W	20	AGUASPARANÁ
Pontal do Paraná	2548037	IPANEMA	25° 40' 00"S	48° 27' 00"W	2	AGUASPARANÁ
Morretes	2548110	SÍTIO MACETE	25° 27' 15"S	48° 48' 25"W	15	AGUASPARANÁ
Morretes	2548095	MARTA - SAGRADO	25° 31' 33"S	48° 45' 01"W	14	AGUASPARANÁ
Morretes	2548000	MORRETES	25° 28' 00"S	48° 49' 59"W	8	ANA
Antonina	2548068	ANTONINA	25° 25' 59"S	48° 46' 00"W	375,556	AGUASPARANÁ
Morretes	2548093	FLORESTA	25° 33' 21"S	48° 41' 47"W	50	AGUASPARANÁ
Castro	2449028	SOCAVÃO	24° 46' 28"S	49° 42' 00"W	1051	AGUASPARANÁ
Castro	2449030	TABOR (FAZENDA MARÃO)	24° 37' 59"S	49° 40' 59"W	1100	AGUASPARANÁ
Cerro Azul	2449023	SÃO SEBASTIÃO	24° 51' 00"S	49° 28' 00"W	480	AGUASPARANÁ
Castro	2449026	ABAPÁ	24° 56' 15"S	49° 49' 27"W	1007	AGUASPARANÁ
Rio Branco do Sul	2449020	COSTAS	25° 00' 37"S	49° 20' 27"W	480	ANA
Cerro Azul	2549054	SANTA CRUZ - TIGRE	25° 03' 55"S	49° 07' 25"W	938	AGUASPARANÁ
Cerro Azul	2449008	CERRO AZUL	24° 49' 00"S	49° 16' 00"W	320	ANA
Cerro Azul	2449006	BALSA DO CERRO AZUL	24° 48' 00"S	49° 16' 59"W	270	ANA
Rio Branco do Sul	2449063	BALSA DO JACARE	24° 58' 00"S	49° 28' 00"W	150	ANA
Cerro Azul	2449023	SÃO SEBASTIÃO	24° 51' 00"S	49° 28' 00"W	480	AGUASPARANÁ

Legenda: No quadro, as estações principais estão destacadas em negrito, seguidas pelas estações vizinhas correspondentes.

APÊNDICE 2 – ESTAÇÕES COM MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO: PRINCIPAIS E VIZINHAS ANÁLISE MENSAL

MUNICÍPIO	CÓDIGO	EMP	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	ENTIDADE
Alto Piquiri	2453009	PORTO FORMOSA	24° 12' 00"S	53° 19' 59"W	430	ANA
Alto Piquiri	2453008	ALTO PIQUIRI	24° 01' 48"S	53° 26' 17"W	427	AGUASPARANÁ
Formosa do Oeste	2453010	FORMOSA DO OESTE	24° 16' 59"S	53° 19' 00"W	370	AGUASPARANÁ
Brasilândia do Sul	2453050	BRASILÂNDIA DO SUL	24° 11' 54"S	53° 31' 32"W	396	AGUASPARANÁ
Bituruna	2651020	SANTO ANTONIO DO IRATIM	26° 09' 00"S	51° 24' 00"W	950	AGUASPARANÁ
Bituruna	2651013	COLONIA AUGUSTO LOUREIRO	26° 11' 26"S	51° 17' 52"W	802	AGUASPARANÁ
Bituruna	2651023	LINHA SANTA MARIA	26° 07' 00"S	51° 34' 00"W	1030	AGUASPARANÁ
União da Vitória	2651016	SALTO DO VAU	26° 03' 00"S	51° 12' 00"W	800	AGUASPARANÁ
Corbélia	2453012	CORBÉLIA	24° 47' 55"S	53° 17' 29"W	696	AGUASPARANÁ
Iguatu	2453013	SALTO SAPUCAI	24° 37' 59"S	53° 06' 00"W	730	ANA
Cascavel	2453056	SÃO JOÃO DO OESTE	24° 57' 43"S	53° 14' 36"W	662	AGUASPARANÁ
Nova Aurora	2453011	USINA MELISSA	24° 32' 31"S	53° 12' 32"W	470	COPEL
Chopinzinho	2552030	CHOPINZINHO	25° 51' 00"S	52° 31' 00"W	800	ANA
Chopinzinho	2552031	BUGRE	25° 49' 00"S	52° 24' 57"W	644	AGUASPARANÁ
Chopinzinho	2552033	SÃO LUIZ DO OESTE	25° 43' 39"S	52° 30' 10"W	655	AGUASPARANÁ
Chopinzinho	2552034	BAIA	25° 44' 49"S	52° 23' 27"W	645	AGUASPARANÁ
Coronel Domingos Soares	2651031	UBALDINO TAQUES (EM)	26° 13' 00"S	51° 54' 00"W	1100	ANA
Coronel Domingos Soares	2651035	FAZENDA SANTA TEREZA	26° 22' 00"S	51° 52' 00"W	1180	AGUASPARANÁ
Coronel Domingos Soares	2651051	SOLAI NOVO	26° 03' 58"S	51° 54' 49"W	720	COPEL
Coronel Domingos Soares	2652023	USINA RIO CHOPIM	26° 21' 46"S	52° 00' 10"W	1028	AGUASPARANÁ
Francisco Beltrão	2653012	FRANCISCO BELTRÃO - IAPAR	26° 04' 59"S	53° 03' 00"W	650	IAPAR
Enéas Marques	2553046	PINHALZINHO	25° 53' 15"S	53° 04' 57"W	560	AGUASPARANÁ
Enéas Marques	2553044	ENÉAS MARQUES	25° 55' 59"S	53° 10' 11"W	585	AGUASPARANÁ
Marmeireiro	2653024	MARMELEIRO	26° 09' 08"S	53° 01' 05"W	640	ANA
Guarapuava	2551010	COL. AGRICOLA GUARAPUAVA	25° 21' 00"S	51° 30' 00"W	1058	IAPAR
Guarapuava	2551034	INVERNADINHA	25° 18' 00"S	51° 25' 59"W	1050	AGUASPARANÁ
Guarapuava	2551033	PALMEIRINHA	25° 15' 00"S	51° 33' 00"W	1050	ANA
Guarapuava	2551035	CAMPO DE DENTRO	25° 16' 21"S	51° 16' 20"W	1202	AGUASPARANÁ
Ibaiti	2350041	AMORINHA	23° 53' 49"S	50° 14' 53"W	780	AGUASPARANÁ
Ibaiti	2350063	FAZENDA SANTA LAURA	23° 49' 09"S	50° 19' 44"W	636	AGUASPARANÁ
Ibaiti	2350042	PATRIMONIO DO CAFÉ	23° 53' 18"S	50° 11' 04"W	730	AGUASPARANÁ
Pinhão	2350043	RIBEIRÃO DO CAFÉ	23° 57' 00"S	50° 01' 00"W	750	AGUASPARANÁ
Rebouças	2550038	REBOUÇAS	25° 37' 48"S	50° 41' 17"W	918	AGUASPARANÁ

Irati	2550029	GONÇALVES JUNIOR	25° 28' 00"S	50° 46' 59"W	797	AGUASPARANÁ
Irati	2550007	IRATI	25° 28' 00"S	50° 37' 59"W	837	INMET
Imbituva	2550043	APIABA	25° 20' 29"S	50° 47' 10"W	872	AGUASPARANÁ
Rebouças	2550035	TURVO	25° 42' 00"S	50° 31' 00"W	790	AGUASPARANÁ
Ivaiporã	2451022	JACUTINGA	24° 15' 00"S	51° 31' 59"W	720	AGUASPARANÁ
Cruzmaltina	2451006	PORTO MONTEIRO	24° 06' 00"S	51° 28' 59"W	625	ANA
Rio Branco do Ivaí	2451017	PORTO ESPANHOL	24° 21' 00"S	51° 25' 00"W	600	ANA
Rio Branco do Ivaí	2451047	RIO BRANCO DO IVAÍ	24° 19' 20"S	51° 18' 40"W	675	AGUASPARANÁ
Marquinho	2552008	MARQUINHOS	25° 06' 44"S	52° 15' 30"W	872	AGUASPARANÁ
Laranjeiras do Sul	2552019	(CAMPO VERDE) FAXINAL DOS	25° 13' 21"S	52° 25' 52"W	785	AGUASPARANÁ
Palmital	2452016	PALMITAL	24° 53' 04"S	52° 12' 10"W	890	AGUASPARANÁ
Goioxim	2552026	GOIOXIM	25° 11' 59"S	51° 59' 27"W	858	AGUASPARANÁ
Londrina	2351070	RIBEIRÃO DOS APERTADOS	23° 24' 00"S	51° 00' 00"W	500	AGUASPARANÁ
Assaí	2350032	CERRO LEÃO	23° 23' 38"S	50° 55' 26"W	533	AGUASPARANÁ
Londrina	2351003	EST AGROCLIMATOLOGI	23° 18' 00"S	51° 09' 00"W	585	IAPAR
Londrina	2351010	LONDRINA	23° 19' 00"S	51° 09' 00"W	566	INMET
Londrina	2351073	SÍTIO IGREJINHA	23° 34' 59"S	51° 04' 59"W	390	AGUASPARANÁ
Campo Mourão	2452045	RIO DA VARGEM/MOURAO	24° 14' 05"S	52° 24' 09"W	668	AGUASPARANÁ
Mamboré	2452014	MAMBORE	24° 16' 59"S	52° 31' 00"W	702	AGUASPARANÁ
Mamboré	2452035	GUARANI	24° 25' 59"S	52° 33' 00"W	650	AGUASPARANÁ
Mamboré	2452040	PENSAMENTO	24° 19' 00"S	52° 39' 00"W	638	AGUASPARANÁ
Maringá	2351045	GUIAIPÓ	23° 24' 00"S	51° 52' 26"W	584	AGUASPARANÁ
Maringá	2351013	MARINGÁ	23° 25' 00"S	51° 57' 00"W	542	INMET
Maringá	2352055	FLORIANO	23° 31' 35"S	52° 03' 13"W	424	AGUASPARANÁ
Sarandi	2351044	VALE AZUL	23° 29' 02"S	51° 54' 20"W	504	AGUASPARANÁ
Califórnia	2351037	CALIFÓRNIA	23° 39' 00"S	51° 21' 00"W	790	AGUASPARANÁ
Sengés	2449044	SENGÉS	24° 06' 00"S	49° 28' 00"W	650	AGUASPARANÁ
Rio Bom	2351026	RIO BOM	23° 45' 50"S	51° 24' 39"W	648	AGUASPARANÁ
Cambira	2351043	CRUZEIRO	23° 39' 46"S	51° 36' 09"W	601	AGUASPARANÁ
Paranavai	2252027	FAZENDA AURORA	22° 49' 05"S	52° 31' 00"W	367	AGUASPARANÁ
Paranavai	2252017	FAZENDA SANTO ANTONIO	22° 39' 10"S	52° 31' 05"W	333	AGUASPARANÁ
Santo Antônio do Caiuá	2252024	SANTO ANTONIO DO CAIUÁ	22° 44' 04"S	52° 20' 38"W	327	AGUASPARANÁ
Terra Rica	2252022	TERRA RICA	22° 43' 50"S	52° 36' 59"W	437	AGUASPARANÁ
Pato Branco	2652013	PATO BRANCO	26° 13' 59"S	52° 40' 59"W	760	AGUASPARANÁ
Pato Branco	2652033	PASSO DA ILHA	26° 13' 52"S	52° 35' 48"W	745	AGUASPARANÁ
Pato Branco	2652035	PATO BRANCO - IAPAR	26° 07' 00"S	52° 40' 59"W	700	IAPAR
Vitorino	2652025	SÃO CARAVAGGIO	26° 17' 21"S	52° 41' 52"W	815	AGUASPARANÁ

Mandirituba	2549062	MANDIRITUBA	25° 46' 35"S	49° 19' 28"W	920	AGUASPARANÁ
Quitandinha	2549003	RIO DA VÁRZEA DOS LIMA	25° 57' 00"S	49° 22' 59"W	810	ANA
Tijucas do Sul	2549063	RINCÃO	25° 49' 00"S	49° 09' 00"W	913	AGUASPARANÁ
Quitandinha	2549061	QUITANDINHA	25° 51' 54"S	49° 29' 59"W	820	ANA
Reserva	2451039	LARANJEIRAS	24° 41' 00"S	51° 03' 35"W	1200	AGUASPARANÁ
Reserva	2450058	RESERVA	24° 39' 00"S	50° 51' 00"W	850	AGUASPARANÁ
Reserva	2451035	BAIRRO DA IMBUÍA	24° 51' 33"S	51° 00' 32"W	934	AGUASPARANÁ
Reserva	2451043	BARRA BONITA	24° 34' 10"S	51° 09' 11"W	866	AGUASPARANÁ
Pitanga	2451013	PITANGA	24° 45' 26"S	51° 45' 33"W	892	AGUASPARANÁ
Santa Maria do Oeste	2451021	BARRA GRANDE	24° 46' 45"S	51° 57' 16"W	929	AGUASPARANÁ
Pitanga	2451026	ARROIO GRANDE	24° 37' 00"S	51° 49' 59"W	1050	AGUASPARANÁ
Santa Maria do Oeste	2451010	SANTA MARIA DO OESTE	24° 55' 59"S	51° 52' 59"W	900	AGUASPARANÁ
Planaltina do Paraná	2352048	GAUCHINHA	23° 08' 57"S	52° 56' 43"W	354	AGUASPARANÁ
Santa Mônica	2353041	APARECIDA DO IVAÍ	23° 10' 59"S	53° 04' 00"W	300	AGUASPARANÁ
Planaltina do Paraná	2352060	COMUR	23° 04' 38"S	52° 57' 33"W	362	AGUASPARANÁ
Santa Isabel do Ivai	2353001	SANTA ISABEL DO IVAÍ	23° 00' 24"S	53° 11' 20"W	400	ANA
Santa Isabel do Ivai	2353044	NOVO PORTO TAQUARA	23° 11' 13"S	53° 12' 05"W	470	ANA
Guapirama	2350054	GUAPIRAMA	23° 31' 00"S	50° 01' 59"W	600	AGUASPARANÁ
Santo Antônio da Platina	2349059	CONSELHEIRO ZACARIAS	23° 24' 50"S	49° 58' 51"W	603	AGUASPARANÁ
Joaquim Távora	2349030	EST CRIACAO ESTADO	23° 30' 00"S	49° 52' 00"W	512	ANA
Santo Antônio da Platina	2350012	SANTO ANTONIO DA PLATINA	23° 18' 00"S	50° 04' 00"W	520	AGUASPARANÁ
São Miguel do Iguaçu	2554013	SANTA ELIZA	25° 30' 15"S	54° 19' 39"W	297	AGUASPARANÁ
São Miguel do Iguaçu	2554006	SÃO MIGUEL DO IGUAÇU	25° 20' 45"S	54° 14' 37"W	287	AGUASPARANÁ
Foz do Iguaçu	2554002	SALTO CATARATAS	25° 40' 59"S	54° 25' 59"W	152	AGUASPARANÁ
Foz do Iguaçu	2554030	CACIC	25° 18' 22"S	54° 24' 46"W	245	AGUASPARANÁ
Toledo	2453017	NOVA CONCORDIA	24° 43' 32"S	53° 50' 42"W	513	AGUASPARANÁ
Toledo	2453027	BOM PRINCIPIO	24° 46' 22"S	53° 38' 34"W	618	AGUASPARANÁ
Toledo	2453028	DOIS IRMÃOS	24° 37' 13"S	53° 55' 34"W	519	AGUASPARANÁ
Assis Chateaubriand	2453030	BRAGANTINA	24° 36' 40"S	53° 36' 51"W	501	AGUASPARANÁ
Ouro Verde do Oeste	2453026	OURO VERDE DO OESTE	24° 46' 32"S	53° 54' 06"W	528	AGUASPARANÁ
Maria Helena	2353023	MARIA HELENA	23° 36' 28"S	53° 12' 15"W	372	AGUASPARANÁ
Umuarama	2353022	SERRA DOS DOURADOS	23° 37' 00"S	53° 22' 00"W	500	AGUASPARANÁ
Maria Helena	2353028	VILA CARBONELLA	23° 32' 55"S	53° 19' 16"W	455	AGUASPARANÁ
Umuarama	2353008	UMUARAMA - IAPAR	23° 43' 59"S	53° 16' 59"W	480	IAPAR
Umuarama	2353027	SANTA ELIZA	23° 31' 39"S	53° 27' 46"W	441	AGUASPARANÁ
Lapa	2549059	PEDRA ALTA	25° 48' 00"S	49° 52' 58"W	903	AGUASPARANÁ
Lapa	2549000	SÃO BENTO	25° 55' 59"S	49° 46' 59"W	750	COPEL

Lapa	2549091	LAPA - IAPAR	25° 46' 59"S	49° 46' 00"W	910	IAPAR
Lapa	2550028	PEDRA LISA	25° 41' 50"S	50° 00' 47"W	929	AGUASPARANÁ
Guaratuba	2548087	ETE SANEPAR - GUARATUBA	25° 53' 42"S	48° 34' 50"W	5	AGUASPARANÁ
Matinhos	2548089	ETE SANEPAR - MATINHOS	25° 46' 35"S	48° 30' 55"W	2	AGUASPARANÁ
Guaratuba	2548053	GUARATUBA	25° 52' 40"S	48° 37' 05"W	20	AGUASPARANÁ
Pontal do Paraná	2548037	IPANEMA	25° 40' 00"S	48° 27' 00"W	2	AGUASPARANÁ
Morretes	2548110	SÍTIO MACETE	25° 27' 15"S	48° 48' 25"W	15	AGUASPARANÁ
Morretes	2548095	MARTA - SAGRADO	25° 31' 33"S	48° 45' 01"W	14	AGUASPARANÁ
Morretes	2548000	MORRETES	25° 28' 00"S	48° 49' 59"W	8	ANA
Antonina	2548068	ANTONINA	25° 25' 59"S	48° 46' 00"W	376	AGUASPARANÁ
Morretes	2548093	FLORESTA	25° 33' 21"S	48° 41' 47"W	50	AGUASPARANÁ
Castro	2449030	TABOR (FAZENDA MARÃO)	24° 37' 59"S	49° 40' 59"W	1100	AGUASPARANÁ
Castro	2449028	SOCAVÃO	24° 46' 28"S	49° 42' 00"W	1051	AGUASPARANÁ
Piraí do Sul	2449032	CAPINZAL	24° 30' 01"S	49° 43' 35"W	1026	AGUASPARANÁ
Piraí do Sul	2449011	PIRAÍ DO SUL	24° 31' 45"S	49° 55' 44"W	1068	AGUASPARANÁ
Cerro Azul	2449008	CERRO AZUL	24° 49' 00"S	49° 16' 00"W	320	ANA
Rio Branco do Sul	2449020	COSTAS	25° 00' 37"S	49° 20' 27"W	480	ANA
Cerro Azul	2449006	BALSA DO CERRO AZUL	24° 48' 00"S	49° 16' 59"W	270	ANA
Cerro Azul	2449023	SÃO SEBASTIÃO	24° 51' 00"S	49° 28' 00"W	480	AGUASPARANÁ

Legenda: No quadro, as estações principais estão destacadas em negrito, seguidas pelas estações vizinhas correspondentes

APÊNDICE 3 – CÓDIGO PARA EXTRAÇÃO DOS VALORES DE PRECIPITAÇÃO DAS IMAGENS DO PRODUTO CHIRPS

```

import os
import rasterio
import pandas as pd

def dms_to_decimal(d, m, s, direction):
    decimal = d + m / 60 + s / 3600
    if direction in ['S', 'W']:
        decimal *= -1
    return decimal

municipalities_dms = {
    "CAMPO VERDE (FAXINAL DOS)": {"lat_dms": (25, 13, 21, 'S'), "lon_dms": (52, 25, 52, 'W')},
    "AMORINHA": {"lat_dms": (23, 53, 49, 'S'), "lon_dms": (50, 14, 53, 'W')},
    "APARECIDA DO IVAI": {"lat_dms": (23, 10, 59, 'S'), "lon_dms": (53, 4, 0, 'W')},
    "BARRA GRANDE": {"lat_dms": (24, 46, 45, 'S'), "lon_dms": (51, 57, 16, 'W')},
    "CALIFÓRNIA": {"lat_dms": (23, 39, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 21, 0, 'W')},
    "CERRO AZUL": {"lat_dms": (24, 49, 0, 'S'), "lon_dms": (49, 16, 0, 'W')},
    "CHOPINZINHO": {"lat_dms": (25, 51, 0, 'S'), "lon_dms": (52, 31, 0, 'W')},
    "COL. AGRICOLA GUARAPUAVA": {"lat_dms": (25, 21, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 30, 0, 'W')},
    "CONSELHEIRO ZACARIAS": {"lat_dms": (23, 24, 50, 'S'), "lon_dms": (49, 58, 51, 'W')},
    "CORBELIA": {"lat_dms": (24, 47, 55, 'S'), "lon_dms": (53, 17, 29, 'W')},
    "COSTAS": {"lat_dms": (25, 0, 37, 'S'), "lon_dms": (49, 20, 27, 'W')},
    "CRISTO REI": {"lat_dms": (22, 43, 52, 'S'), "lon_dms": (52, 26, 47, 'W')},
    "ETE SANEPAR - GUARATUBA": {"lat_dms": (25, 53, 42, 'S'), "lon_dms": (48, 34, 50, 'W')},
    "ETE SANEPAR - MATINHOS": {"lat_dms": (25, 46, 35, 'S'), "lon_dms": (48, 30, 55, 'W')},
    "FAZENDA AURORA": {"lat_dms": (22, 49, 5, 'S'), "lon_dms": (52, 31, 0, 'W')},
    "FAZENDA SANTA LAURA": {"lat_dms": (23, 49, 9, 'S'), "lon_dms": (50, 19, 44, 'W')},
    "FRANCISCO BELTRÃO - IAPAR": {"lat_dms": (26, 4, 59, 'S'), "lon_dms": (53, 3, 0, 'W')},
    "GAUCHINHA": {"lat_dms": (23, 8, 57, 'S'), "lon_dms": (52, 56, 43, 'W')},
    "GONÇALVES JUNIOR": {"lat_dms": (25, 28, 0, 'S'), "lon_dms": (50, 46, 59, 'W')},
    "GUAIAPO": {"lat_dms": (23, 24, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 52, 26, 'W')},
    "GUAPIRAMA": {"lat_dms": (23, 31, 0, 'S'), "lon_dms": (50, 1, 59, 'W')},
    "INVERNADINHA": {"lat_dms": (25, 18, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 25, 59, 'W')},
    "JACUTINGA": {"lat_dms": (24, 15, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 31, 59, 'W')},
    "LARANJEIRAS": {"lat_dms": (24, 41, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 3, 35, 'W')},
    "MAMBORE": {"lat_dms": (24, 16, 59, 'S'), "lon_dms": (52, 31, 0, 'W')},
    "MANDIRITUBA": {"lat_dms": (25, 46, 35, 'S'), "lon_dms": (49, 19, 28, 'W')},
    "MARIA HELENA": {"lat_dms": (23, 36, 28, 'S'), "lon_dms": (53, 12, 15, 'W')},
    "MARINGÁ": {"lat_dms": (23, 25, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 57, 0, 'W')},
    "MARQUINHOS": {"lat_dms": (25, 6, 44, 'S'), "lon_dms": (52, 15, 30, 'W')},
    "NOVA CONCORDIA": {"lat_dms": (24, 43, 32, 'S'), "lon_dms": (53, 50, 42, 'W')},
    "PATO BRANCO": {"lat_dms": (26, 13, 59, 'S'), "lon_dms": (52, 40, 59, 'W')},
    "PEDRA ALTA": {"lat_dms": (25, 48, 0, 'S'), "lon_dms": (49, 52, 58, 'W')},
    "PITANGA": {"lat_dms": (24, 45, 26, 'S'), "lon_dms": (51, 45, 33, 'W')},
    "PORTO FORMOSA": {"lat_dms": (24, 12, 0, 'S'), "lon_dms": (53, 19, 59, 'W')},
    "REBOUÇAS": {"lat_dms": (25, 37, 48, 'S'), "lon_dms": (50, 41, 17, 'W')},
    "RIBEIRÃO DOS APERTADOS": {"lat_dms": (23, 24, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 0, 0, 'W')},
    "RIO DA VARGEM/MOURAO": {"lat_dms": (24, 14, 5, 'S'), "lon_dms": (52, 24, 9, 'W')},
    "SANTA ELIZA": {"lat_dms": (25, 30, 15, 'S'), "lon_dms": (54, 19, 39, 'W')},
    "SANTO ANTONIO DO IRATIM": {"lat_dms": (26, 9, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 24, 0, 'W')},
    "SÃO JOÃO DO OESTE": {"lat_dms": (24, 57, 43, 'S'), "lon_dms": (53, 14, 36, 'W')},
    "SERRA DOS DOURADOS": {"lat_dms": (23, 37, 0, 'S'), "lon_dms": (53, 22, 0, 'W')},
    "SÍTIO MACETE": {"lat_dms": (25, 27, 15, 'S'), "lon_dms": (48, 48, 25, 'W')},
    "SOCAVÃO": {"lat_dms": (24, 46, 28, 'S'), "lon_dms": (49, 42, 0, 'W')},
    "TABOR (FAZENDA MARÃO)": {"lat_dms": (24, 37, 59, 'S'), "lon_dms": (49, 40, 59, 'W')},
    "UBALDINO TAQUES (EM)": {"lat_dms": (26, 13, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 54, 0, 'W')}
}

```

```

municipalities = {
    municipality: {
        "lat": dms_to_decimal(*coords["lat_dms"]),
        "lon": dms_to_decimal(*coords["lon_dms"])
    }
    for municipality, coords in municipalities_dms.items()
}

def get_precipitation_value(tif_path, lat, lon):
    with rasterio.open(tif_path) as src:
        if not (src.bounds.left <= lon <= src.bounds.right and src.bounds.bottom <= lat <= src.bounds.top):
            print(f"Coordenadas ({lat}, {lon}) estão fora dos limites da imagem {tif_path}")
            return None

        row, col = src.index(lon, lat)

        if not (0 <= row < src.height and 0 <= col < src.width):
            print(f"Índices de pixel ({row}, {col}) estão fora dos limites para a imagem {tif_path}")
            return None
        value = src.read(1)[row, col]
        return value

tif_directory = 'C:\\Users\\suele\\Desktop\\MESTRADO\\DADOS\\CHIRPS_CLIMATESERV'
print(f"Verificando o diretório: {tif_directory}")
tif_files = [f for f in os.listdir(tif_directory) if f.endswith('.tif')]
print(f"Arquivos TIFF encontrados: {tif_files}") # Verificar arquivos encontrados

if not tif_files:
    print("Nenhum arquivo TIFF encontrado. Verifique o diretório.")
else:
    data = []
    for tif_file in tif_files:
        date = tif_file.split('.')[0]
        year = date[:4]
        month = date[4:6]
        tif_path = os.path.join(tif_directory, tif_file)
        for municipality, coords in municipalities.items():
            value = get_precipitation_value(tif_path, coords["lat"], coords["lon"])
            if value is not None:
                print(f"Valor de precipitação para {municipality} em {date}: {value}")
                data.append({
                    "date": date, "year": year, "month": month,
                    "municipality": municipality, "latitude": coords["lat"],
                    "longitude": coords["lon"], "precipitation": value
                })

df = pd.DataFrame(data)
print(f"Total de dados coletados: {len(df)}") # Verificar quantos dados foram coletados

output_directory = tif_directory
csv_path = os.path.join(output_directory, 'precipitation_data.csv')
df.to_csv(csv_path, index=False)
print(f"Arquivo CSV salvo em: {csv_path}") # Mostrar caminho do CSV
excel_path = os.path.join(output_directory, 'precipitation_data.xlsx')
df.to_excel(excel_path, index=False)
print(f"Arquivo Excel salvo em: {excel_path}") # Mostrar caminho do Excel

```

APÊNDICE 4 – CÓDIGOS PARA EXTRAÇÃO DOS VALORES DE PRECIPITAÇÃO ANUAL DAS IMAGENS DO IMERG

```

import os
import rasterio
import pandas as pd

def dms_to_decimal(d, m, s, direction):
    decimal = d + m / 60 + s / 3600
    if direction in ['S', 'W']:
        decimal *= -1
    return decimal

stations_dms = {
    "CAMPO VERDE (FAXINAL DOS)": {"lat_dms": (25, 13, 21, 'S'), "lon_dms": (52, 25, 52, 'W')},
    "AMORINHA": {"lat_dms": (23, 53, 49, 'S'), "lon_dms": (50, 14, 53, 'W')},
    "APARECIDA DO IVAI": {"lat_dms": (23, 10, 59, 'S'), "lon_dms": (53, 4, 0, 'W')},
    "BARRA GRANDE": {"lat_dms": (24, 46, 45, 'S'), "lon_dms": (51, 57, 16, 'W')},
    "CALIFÓRNIA": {"lat_dms": (23, 39, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 21, 0, 'W')},
    "CERRO AZUL": {"lat_dms": (24, 49, 0, 'S'), "lon_dms": (49, 16, 0, 'W')},
    "CHOPINZINHO": {"lat_dms": (25, 51, 0, 'S'), "lon_dms": (52, 31, 0, 'W')},
    "COL. AGRICOLA GUARAPUAVA": {"lat_dms": (25, 21, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 30, 0, 'W')},
    "CONSELHEIRO ZACARIAS": {"lat_dms": (23, 24, 50, 'S'), "lon_dms": (49, 58, 51, 'W')},
    "CORBELIA": {"lat_dms": (24, 47, 55, 'S'), "lon_dms": (53, 17, 29, 'W')},
    "COSTAS": {"lat_dms": (25, 0, 37, 'S'), "lon_dms": (49, 20, 27, 'W')},
    "CRISTO REI": {"lat_dms": (22, 43, 52, 'S'), "lon_dms": (52, 26, 47, 'W')},
    "ETE SANEPAR - GUARATUBA": {"lat_dms": (25, 53, 42, 'S'), "lon_dms": (48, 34, 50, 'W')},
    "ETE SANEPAR - MATINHOS": {"lat_dms": (25, 46, 35, 'S'), "lon_dms": (48, 30, 55, 'W')},
    "FAZENDA AURORA": {"lat_dms": (22, 49, 5, 'S'), "lon_dms": (52, 31, 0, 'W')},
    "FAZENDA SANTA LAURA": {"lat_dms": (23, 49, 9, 'S'), "lon_dms": (50, 19, 44, 'W')},
    "FRANCISCO BELTRÃO - IAPAR": {"lat_dms": (26, 4, 59, 'S'), "lon_dms": (53, 3, 0, 'W')},
    "GAUCHINHA": {"lat_dms": (23, 8, 57, 'S'), "lon_dms": (52, 56, 43, 'W')},
    "GONÇALVES JUNIOR": {"lat_dms": (25, 28, 0, 'S'), "lon_dms": (50, 46, 59, 'W')},
    "GUAIAPO": {"lat_dms": (23, 24, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 52, 26, 'W')},
    "GUAPIRAMA": {"lat_dms": (23, 31, 0, 'S'), "lon_dms": (50, 1, 59, 'W')},
    "INVERNADINHA": {"lat_dms": (25, 18, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 25, 59, 'W')},
    "JACUTINGA": {"lat_dms": (24, 15, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 31, 59, 'W')},
    "LARANJEIRAS": {"lat_dms": (24, 41, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 3, 35, 'W')},
    "MAMBORE": {"lat_dms": (24, 16, 59, 'S'), "lon_dms": (52, 31, 0, 'W')},
    "MANDIRITUBA": {"lat_dms": (25, 46, 35, 'S'), "lon_dms": (49, 19, 28, 'W')},
    "MARIA HELENA": {"lat_dms": (23, 36, 28, 'S'), "lon_dms": (53, 12, 15, 'W')},
    "MARINGA": {"lat_dms": (23, 25, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 57, 0, 'W')},
    "MARQUINHOS": {"lat_dms": (25, 6, 44, 'S'), "lon_dms": (52, 15, 30, 'W')},
    "NOVA CONCORDIA": {"lat_dms": (24, 43, 32, 'S'), "lon_dms": (53, 50, 42, 'W')},
    "PATO BRANCO": {"lat_dms": (26, 13, 59, 'S'), "lon_dms": (52, 40, 59, 'W')},
    "PEDRA ALTA": {"lat_dms": (25, 48, 0, 'S'), "lon_dms": (49, 52, 58, 'W')},
    "PITANGA": {"lat_dms": (24, 45, 26, 'S'), "lon_dms": (51, 45, 33, 'W')},
    "PORTO FORMOSA": {"lat_dms": (24, 12, 0, 'S'), "lon_dms": (53, 19, 59, 'W')},
    "REBOUÇAS": {"lat_dms": (25, 37, 48, 'S'), "lon_dms": (50, 41, 17, 'W')},
    "RIBEIRÃO DOS APERTADOS": {"lat_dms": (23, 24, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 0, 0, 'W')},
    "RIO DA VARGEM/MOURAO": {"lat_dms": (24, 14, 5, 'S'), "lon_dms": (52, 24, 9, 'W')},
    "SANTA ELIZA": {"lat_dms": (25, 30, 15, 'S'), "lon_dms": (54, 19, 39, 'W')},
    "SANTO ANTONIO DO IRATIM": {"lat_dms": (26, 9, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 24, 0, 'W')},
    "SÃO JOÃO DO OESTE": {"lat_dms": (24, 57, 43, 'S'), "lon_dms": (53, 14, 36, 'W')},
    "SERRA DOS DOURADOS": {"lat_dms": (23, 37, 0, 'S'), "lon_dms": (53, 22, 0, 'W')},
    "SÍTIO MACETE": {"lat_dms": (25, 27, 15, 'S'), "lon_dms": (48, 48, 25, 'W')},
    "SOCAVÃO": {"lat_dms": (24, 46, 28, 'S'), "lon_dms": (49, 42, 0, 'W')},
    "TABOR (FAZENDA MARÃO)": {"lat_dms": (24, 37, 59, 'S'), "lon_dms": (49, 40, 59, 'W')},
    "UBALDINO TAQUES (EM)": {"lat_dms": (26, 13, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 54, 0, 'W')}
}

```

```

stations = {
    station: {
        "lat": dms_to_decimal(*coords["lat_dms"]),
        "lon": dms_to_decimal(*coords["lon_dms"])
    }
    for station, coords in stations_dms.items()
}

def get_precipitation_value(src, lat, lon):
    row, col = src.index(lon, lat) # Obter as coordenadas do pixel mais próximo
    value = src.read(1)[row, col] # Ler o valor do pixel na única banda
    return value

tif_path = r'C:\Users\suele\Desktop\MESTRADO\DADOS\GIOVANNI\mensal\2014\GIOVANNI-
g4.accumulate.GPM_3IMERGM_07_precipitation.20141001-20141031.56W_27S_47W_21S.

data = []

with rasterio.open(tif_path) as src:
    year = 2014 # Ajuste para o ano correto, se necessário
    month = 10 # Defina o mês de acordo com os dados ou ajuste
    day = 1 # Defina o dia de acordo com os dados ou ajuste

    # Iterar sobre as estações
    for station, coords in stations.items():
        value = get_precipitation_value(src, coords["lat"], coords["lon"])
        data.append({
            "year": year,
            "month": month,
            "day": day,
            "station": station,
            "latitude": coords["lat"],
            "longitude": coords["lon"],
            "precipitation": value
        })

df = pd.DataFrame(data)

df.to_csv(f'precipitation_data_GPM_{month}_{year}.csv', index=False)

df.to_excel(f'precipitation_data_GPM_{month}_{year}.xlsx', index=False)

```

APÊNDICE 5 – CÓDIGOS PARA EXTRAÇÃO DOS VALORES DE PRECIPITAÇÃO MENSAL DAS IMAGENS DO IMERG

```

import os
import rasterio
import pandas as pd

def dms_to_decimal(d, m, s, direction):
    decimal = d + m / 60 + s / 3600
    if direction in ['S', 'W']:
        decimal *= -1
    return decimal

stations_dms = {

}

stations = {
    station: {
        "CAMPO VERDE (FAXINAL DOS)": {"lat_dms": (25, 13, 21, 'S'), "lon_dms": (52, 25, 52, 'W')},
        "AMORINHA": {"lat_dms": (23, 53, 49, 'S'), "lon_dms": (50, 14, 53, 'W')},
        "APARECIDA DO ÍVAI": {"lat_dms": (23, 10, 59, 'S'), "lon_dms": (53, 4, 0, 'W')},
        "BARRA GRANDE": {"lat_dms": (24, 46, 45, 'S'), "lon_dms": (51, 57, 16, 'W')},
        "CALIFÓRNIA": {"lat_dms": (23, 39, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 21, 0, 'W')},
        "CERRO AZUL": {"lat_dms": (24, 49, 0, 'S'), "lon_dms": (49, 16, 0, 'W')},
        "CHOPINZINHO": {"lat_dms": (25, 51, 0, 'S'), "lon_dms": (52, 31, 0, 'W')},
        "COL. AGRICOLA GUARAPUAVA": {"lat_dms": (25, 21, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 30, 0, 'W')},
        "CONSELHEIRO ZACARIAS": {"lat_dms": (23, 24, 50, 'S'), "lon_dms": (49, 58, 51, 'W')},
        "CORBELIA": {"lat_dms": (24, 47, 55, 'S'), "lon_dms": (53, 17, 29, 'W')},
        "COSTAS": {"lat_dms": (25, 0, 37, 'S'), "lon_dms": (49, 20, 27, 'W')},
        "CRISTO REI": {"lat_dms": (22, 43, 52, 'S'), "lon_dms": (52, 26, 47, 'W')},
        "ETE SANEPAR - GUARATUBA": {"lat_dms": (25, 53, 42, 'S'), "lon_dms": (48, 34, 50, 'W')},
        "ETE SANEPAR - MATINHOS": {"lat_dms": (25, 46, 35, 'S'), "lon_dms": (48, 30, 55, 'W')},
        "FAZENDA AURORA": {"lat_dms": (22, 49, 5, 'S'), "lon_dms": (52, 31, 0, 'W')},
        "FAZENDA SANTA LAURA": {"lat_dms": (23, 49, 9, 'S'), "lon_dms": (50, 19, 44, 'W')},
        "FRANCISCO BELTRÃO - IAPAR": {"lat_dms": (26, 4, 59, 'S'), "lon_dms": (53, 3, 0, 'W')},
        "GAUCHINHA": {"lat_dms": (23, 8, 57, 'S'), "lon_dms": (52, 56, 43, 'W')},
        "GONÇALVES JÚNIOR": {"lat_dms": (25, 28, 0, 'S'), "lon_dms": (50, 46, 59, 'W')},
        "GUAIAPÓ": {"lat_dms": (23, 24, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 52, 26, 'W')},
        "GUAPIRAMA": {"lat_dms": (23, 31, 0, 'S'), "lon_dms": (50, 1, 59, 'W')},
        "INVERNADINHA": {"lat_dms": (25, 18, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 25, 59, 'W')},
        "JACUTINGA": {"lat_dms": (24, 15, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 31, 59, 'W')},
        "LARANJEIRAS": {"lat_dms": (24, 41, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 3, 35, 'W')},
        "MAMBORE": {"lat_dms": (24, 16, 59, 'S'), "lon_dms": (52, 31, 0, 'W')},
        "MANDIRITUBA": {"lat_dms": (25, 46, 35, 'S'), "lon_dms": (49, 19, 28, 'W')},
        "MARIA HELENA": {"lat_dms": (23, 36, 28, 'S'), "lon_dms": (53, 12, 15, 'W')},
        "MARINGA": {"lat_dms": (23, 25, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 57, 0, 'W')},
        "MARQUINHOS": {"lat_dms": (25, 6, 44, 'S'), "lon_dms": (52, 15, 30, 'W')},
        "NOVA CONCORDIA": {"lat_dms": (24, 43, 32, 'S'), "lon_dms": (53, 50, 42, 'W')},
        "PATO BRANCO": {"lat_dms": (26, 13, 59, 'S'), "lon_dms": (52, 40, 59, 'W')},
        "PEDRA ALTA": {"lat_dms": (25, 48, 0, 'S'), "lon_dms": (49, 52, 58, 'W')},
        "PITANGA": {"lat_dms": (24, 45, 26, 'S'), "lon_dms": (51, 45, 33, 'W')},
        "PORTO FORMOSA": {"lat_dms": (24, 12, 0, 'S'), "lon_dms": (53, 19, 59, 'W')},
        "REBOUÇAS": {"lat_dms": (25, 37, 48, 'S'), "lon_dms": (50, 41, 17, 'W')},
        "RIBEIRÃO DOS APERTADOS": {"lat_dms": (23, 24, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 0, 0, 'W')},
        "RIO DA VARGEM/MOURAO": {"lat_dms": (24, 14, 5, 'S'), "lon_dms": (52, 24, 9, 'W')},
        "SANTA ELIZA": {"lat_dms": (25, 30, 15, 'S'), "lon_dms": (54, 19, 39, 'W')},
        "SANTO ANTONIO DO IRATIM": {"lat_dms": (26, 9, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 24, 0, 'W')},
    }
}

```

```

"SÃO JOÃO DO OESTE": {"lat_dms": (24, 57, 43, 'S'), "lon_dms": (53, 14, 36, 'W')},
"SERRA DOS DOURADOS": {"lat_dms": (23, 37, 0, 'S'), "lon_dms": (53, 22, 0, 'W')},
"SÍTIO MACETE": {"lat_dms": (25, 27, 15, 'S'), "lon_dms": (48, 48, 25, 'W')},
"SOCAVÃO": {"lat_dms": (24, 46, 28, 'S'), "lon_dms": (49, 42, 0, 'W')},
"TABOR (FAZENDA MARÃO)": {"lat_dms": (24, 37, 59, 'S'), "lon_dms": (49, 40, 59, 'W')},
"UBALDINO TAQUES (EM)": {"lat_dms": (26, 13, 0, 'S'), "lon_dms": (51, 54, 0, 'W')}
}
for station, coords in stations_dms.items()
}

def get_precipitation_value(src, lat, lon):
    row, col = src.index(lon, lat) # Obter as coordenadas do pixel mais próximo
    value = src.read(1)[row, col] # Ler o valor do pixel na única banda
    return value

tif_dir = r'C:\Users\suele\Desktop\MESTRADO\DADOS\GIOVANNI\mensal\2023' # Substitua pelo
caminho do diretório contendo seus arquivos TIFF

data = []

for tif_file in os.listdir(tif_dir):
    if tif_file.endswith('.tif'):
        tif_path = os.path.join(tif_dir, tif_file)

        try:
            date_part = tif_file.split('precipitation.')[1].split('-')[0]
            year = int(date_part[:4])
            month = int(date_part[4:6])
            day = 1 # Definir o dia como 1 para a análise mensal (ajuste conforme necessário)
        except (IndexError, ValueError):
            print(f"Erro ao processar o arquivo {tif_file}. Nome do arquivo não segue o padrão esperado.")
            continue

        with rasterio.open(tif_path) as src:
            # Iterar sobre as estações
            for station, coords in stations.items():
                value = get_precipitation_value(src, coords["lat"], coords["lon"])
                data.append({
                    "year": year,
                    "month": month,
                    "day": day,
                    "station": station,
                    "latitude": coords["lat"],
                    "longitude": coords["lon"],
                    "precipitation": value
                })

df = pd.DataFrame(data)

df.to_csv(f'precipitation_data_GPM_{month}_{year}.csv', index=False)

df.to_excel(f'precipitation_data_GPM_{month}_{year}.xlsx', index=False)

```