

## **Preliminary study of GPM-IMERG data to analyze rainfall variability in the state of Alagoas – Brazil**

Juarez Antônio da Silva Júnior<sup>\*</sup>, Ubiratan Joaquim da Silva Junior<sup>\*\*</sup>, Anderson Luiz Ribeiro de Paiva<sup>\*\*\*</sup>, Sylvania Melo dos Santos<sup>\*\*\*\*</sup>, Leidjane Maria Maciel de Oliveira<sup>\*\*\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, Pernambuco, Brasil, [juarez.silvajunior@ufpe.br](mailto:juarez.silvajunior@ufpe.br),

<sup>\*\*</sup> Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação / UFPE, Recife-PE, Brasil, [ubiratan.joaquim@ufpe.br](mailto:ubiratan.joaquim@ufpe.br),

<sup>\*\*\*</sup> Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DECIV), Docente permanente do PPGEC, UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil, [anderson.paiva@ufpe.br](mailto:anderson.paiva@ufpe.br);

<sup>\*\*\*\*</sup> DECIV, Docente permanente do PPGEC, UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil, [sylvana.santos@ufpe.br](mailto:sylvana.santos@ufpe.br);

<sup>\*\*\*\*\*</sup> DECIV, Docente permanente do PPGEC, UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil, [leidjane.oliveira@ufpe.br](mailto:leidjane.oliveira@ufpe.br).

Received 10 November; accepted 4 December

### **Abstract**

Precipitation in the state of Alagoas - Brazil, presents an extremely irregular spatial and temporal behavior, which makes it possible to analyze the hydrological behavior and rainfall variability in the region. To better understand the variability of rainfall in Alagoas from 2000 to 2022, precipitation data from the GPM-IMERG (Global Precipitation Measurement) orbital network and rain gauges were used, as well as the Precipitation Anomaly Index (IAC) and the of Concentrated Precipitation (IPC) to understand the dynamics of abnormal rainfall events and their forms of variability. It was observed that rainfall in Alagoas exhibits a seasonal pattern, with annual rainfall varying approximately between 500 mm and 1900 mm, evidenced by the IAC values, which fluctuated between the categories of "extremely rainy" and "extremely dry". On the other hand, the annual IPC showed high stability, being generally classified as "Low irregularity", with the exception only in 2009. Regarding the detection capacity of the GPM-IMERG data, the results showed that in the rainy months, spatial errors were discrepant, remaining below 10 mm. However, in months with less rainfall, errors were significant, reaching around 30 mm. This research demonstrated the usefulness of GPM-IMERG data in analyzing precipitation in vast areas, which can support the proposal of measures to reduce or mitigate conflicts arising from water scarcity, in addition to identifying alternatives to improve the population's access to water. water resources.

Keywords: Hydrology, Precipitation, Remote Sensing.

## **Estudo preliminar de Dados GPM-IMERG para análise da variabilidade pluviométrica no estado de Alagoas - Brasil**

### **Resumo**

A precipitação no estado de Alagoas - Brasil, apresenta um comportamento espacial e temporal extremamente irregular, o que possibilita a análise do comportamento hidrológico e da variabilidade pluviométrica da região. Para melhor compreender a variabilidade das chuvas em Alagoas entre 2000 a 2022, foram utilizados dados de precipitação da rede orbital GPM-IMERG (*Global Precipitation Measurement*) e de pluviômetros, bem como o Índice de Anomalia de Precipitação (IAC) e o Índice de Precipitação Concentrada (IPC), para entender a dinâmica de eventos anormais de chuvas e suas formas de variabilidades. Observou-se que as chuvas em Alagoas exibem um padrão sazonal, com precipitações anuais variando aproximadamente entre 500 mm e 1.900 mm, evidenciado pelos valores do IAC, que oscilaram entre as categorias de "extremamente chuvoso" e "extremamente seco". Por outro lado, o IPC anual mostrou alta estabilidade, sendo geralmente classificado como "Baixa irregularidade", com exceção apenas em 2009. Quanto à capacidade de detecção dos dados do GPM-IMERG, os resultados evidenciaram que nos meses chuvosos, os erros espaciais foram discrepantes, permanecendo abaixo de 10 mm. No entanto, nos meses com menor volume de chuvas, os erros foram significativos, atingindo cerca de 30 mm. Esta pesquisa demonstrou a utilidade dos dados do GPM-IMERG na análise da precipitação em vastas áreas, o que pode subsidiar a proposição de medidas para reduzir ou mitigar os conflitos decorrentes da escassez de água, além de identificar alternativas para melhorar o acesso da população aos recursos hídricos.

Palavras-chave: Hidrologia, Precipitação, Sensoriamento Remoto.

## 1. Introdução

A precipitação pluviométrica tem sido o elemento do clima que provoca as transformações mais rápidas na paisagem do meio tropical e subtropical, sobretudo durante o verão, como episódios de chuvas concentradas (chuvas intensas ou aguaceiros), que ocorrem anualmente no Estado de Alagoas; não raras vezes resultam em tragédias, principalmente na zona costeira e nas grandes cidades (Silva, 2022). O conhecimento da variabilidade espacial e temporal da precipitação é fundamental, sobretudo para regiões que apresentam elevado índice de seca, como o Nordeste brasileiro, que apresenta grande vulnerabilidade às alterações climáticas.

As informações sobre mudanças no regime pluvial como resultado das mudanças climáticas são essenciais para o desenvolvimento de gestões públicas que venham conduzir ações sobre gerenciamento dos recursos hídricos e possibilitem mitigar seus impactos sobre a agricultura e o meio ambiente (França; Silva, 2023). Vários sistemas meteorológicos de multiescala interferem na variabilidade e intensidade das chuvas na região Nordeste do Brasil (NEB), destacando-se a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), os Sistemas Frontais (FS), Vórtices Ciclônicos Troposféricos Superiores (UTCV), Distúrbios de Ondas nos Ventos Alísios (WDTW), Circulações de Brisa, Camada de Inversão dos Ventos Alísios (TWIL), Distúrbios de Ondas de Leste (EWD) e Linhas de Instabilidade (IL) (Oliveira-Júnior, 2021; Muanza; Fedorova; Levit, 2022; Jardim et al. 2021). Além disso, existem vários modos de variabilidade climática, por exemplo, o El Niño-Oscilação Sul (ENSO), o Gradiente de Temperatura da Superfície do Mar Interhemisférico Atlântico (AISSTG), a Oscilação Decadal do Pacífico (PDO) e a Oscilação Madden-Julian (MJO), que interferem nos volumes de chuva do NEB e nas intensidades de seca e eventos chuvosos (Hou et al. 2020; Pereira et al. 2022).

Alagoas é um estado localizado na NEB e tem um clima tropical úmido. O clima da região é influenciado principalmente pelo Oceano Atlântico, o que significa que a proximidade com o mar desempenha um papel importante nas condições climáticas. As chuvas em Alagoas são mais intensas durante o período de abril a agosto, que é conhecido como o inverno ou estação chuvosa. Já o período de setembro a março é conhecido como verão ou estação seca, com chuvas

mais escassas, ocasionando com elevadas temperaturas, ambiente mais seco e escassez de água para a população principalmente nos municípios do Sertão (Cavalcante; Silva; Brandão, 2022). O histórico climático do estado de Alagoas mostra que o clima tem oscilado entre os extremos quentes e frios ao longo dos períodos, interferindo também nos regimes de chuva em toda sua extensão (Comisso; Medeiros, 2021).

Em especial, no estado de Alagoas, o ano de 2022 foi considerado o 20º estado mais quente desde 1961 e, mesmo marcado pela ocorrência do fenômeno La Niña (Lyra; Freitas; Santiago, 2020). O aumento gradual e contínuo de eventos extremos de tempo, como chuvas intensas ou ondas de frio e calor, e de clima, como secas severas, aponta para um cenário atual diferente do que era observado há três ou quatro décadas no Brasil. Alagoas está inserido nessa realidade, já que, a cada ano, são registrados chuvas intensas, secas e recordes de temperatura (Wanderley et al., 2014). De acordo com um levantamento do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) destacado no estudo de Silva (2022), em março de 2022, as temperaturas do ar no em Alagoas bem como as chuvas intensas, tem ficado acima da média histórica desde os anos 90. Portanto, o diagnóstico das secas e chuvas intensas em conjunto com o desenvolvimento e implementação de sistemas voltados para o seu monitoramento, é um trabalho importante, em especial num estado que abrange tantas regiões (Silva, 2020).

A análise da variabilidade pluviométrica vem crescendo cada vez mais como destaque científico, a exemplo do surgimento de dados e técnicas de Sensoriamento Remoto que proporcionam metodologias derivadas de sensores orbitais, radares e satélites, capazes de promover estimativas de precipitação em maiores coberturas espaciais e precisões de detecção diversas, como o *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks* (PERSIANN) de Nguyen et al. (2018); *TRMM Multisatellite Precipitation Analysis* (TMPA) com Kawanishi et al. (2013); *Global Satellite Mapping of Precipitation* (GSMaP) de Kubota et al. (2007); *ERA-INTERIM (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)* com Lavers et al. (2022). Dentre os diversos modelos de missões disponíveis, o Projeto *Global Precipitation Measurement* (GPM-IMERG) tem apresentado bons resultados no monitoramento de chuvas e temperatura na região dos trópicos e, se mostrou uma alternativa confiável para utilização na análise dos regimes de precipitação (Schumacher; Funk,

2023; Pradhan et al., 2022; Duarte et al., 2022). Como a nova geração de satélite de observação de precipitação, o GPM-IMERG oferece opções para analisar a precipitação e, atualmente, pesquisadores de diferentes regiões do mundo realizaram avaliações de consistências dos produtos GPM IMERG (Getirana et al., 2020; Rozante et al., 2018).

A necessidade de compreender as mudanças climáticas e seus efeitos sobre o ambiente natural reforça a importância dos estudos de tendências em séries temporais, dada a dinâmica constante dos processos hidrológicos. Com isso, os fatores de correlação sazonal e anual em uma região, são úteis para várias atividades que dependem da precipitação pluviométrica ao longo do ano. A distribuição da precipitação pluviométrica pode auxiliar o desenvolvimento de atividades que dependem de fatores climáticos (Marrafon; Reboita, 2020; Regoto et al., 2021). Com maior destaque, a distribuição da precipitação tem influência direta na produtividade agrícola necessária à população, ao gerenciamento de recursos hídricos com metas de sustentabilidade e no equilíbrio da economia da região nordeste do Brasil (Nóbrega; Santiago, 2016; Marrafon; Reboita, 2020).

Nesse contexto, vários métodos de análise de tendências, sazonalidade e identificação de eventos extremos são utilizados na literatura, como o Índice de Precipitação Padronizada (SPI) de Freitas et al. (2021); Análise de Valor Extremo Não Estacionário em Vu e Mishra (2019); e Teste de Mann-Kendall em Li et al. (2021). Além desses métodos, assinala-se o Índice de Anomalia de Chuva (AIC) desenvolvido por Van-Rooy (1965) que incorpora um procedimento de classificação para atribuir magnitudes às anomalias de precipitação positivas e negativas, usando valores de precipitação normalizados com base no histórico da estação de um determinado local. A comparação com o período atual coloca a produção em uma perspectiva histórica, sendo procedimento de normalização mais simples do que o usado na computação (SPI) (Raziei, 2021). Dessa forma, o estudo de séries temporais usando dados meteorológicos de satélite, sobretudo com base em técnicas estatísticas, permite identificar os padrões pluviométricos de uma localidade/região, podendo ser um grande subsídio às pesquisas em recursos hídricos.

O propósito deste estudo consiste em estudo preliminar para examinar as precipitações registradas no estado de Alagoas durante o período de 2000 a 2022, empregando a técnica do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) e o Índice de

Precipitação Concentrada (IPC) com o auxílio do produto GPM-IMERG. Além disso, foi realizada uma avaliação da precisão dessa detecção em uma análise mensal, comparando os resultados com medições obtidas através de pluviômetros terrestres. Dessa forma, foi possível também deduzir conclusões acerca de eventos de chuvas anormais e identificar os fatores que influenciam a variabilidade das precipitações em Alagoas baseado em dados provenientes de satélites em órbita.

## 2. Material e métodos

### Dados GPM-IMERG

O *Global Precipitation Measurement* (GPM-IMERG) consiste em um Observatório Central e aproximadamente 10 satélites de constelação com a finalidade de fornecer produtos globais de precipitação (Huffman et al., 2015). O Observatório Central carrega um radar de precipitação de dupla frequência e um gerador de imagens de micro-ondas GPM multicanal. O GPM-IMERG fornece três níveis de produtos relacionados à precipitação, sendo o nível 3 utilizado neste estudo (Schumacher; Funk, 2023). Os produtos de nível 3 são produzidos com o algoritmo IMERG, que intercalibra e mescla estimativas de precipitação de todos os sensores de micro-ondas da constelação, estimativas de satélite infravermelho calibradas por micro-ondas e dados mensais de precipitação de medidores (Pradhan et al., 2022). Os produtos GPM-IMERG oferecem uma resolução espacial de  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  e alta resolução temporal de 30 min, com uma cobertura espacial de  $60^\circ$  S a  $60^\circ$  N (Huffman et al., 2015; Fang et al., 2019). Os dados mensais GPM-IMERG *Day 1 Final Run V5* cobrindo o estado de Alagoas de 2000 a 2022 foi usado neste estudo, disponibilizado pela Nasa (2019). O produto *Final Run V5* apresenta análises mensais de medidores para correção de viés, geralmente considerados resultados mais precisos do que os produtos quase em tempo real (*Early e Late Run*), e é amplamente utilizado em pesquisas de hidrologia e clima.

### Dados Pluviométricos

Os dados de precipitação adotados como de referência foram obtidos através do Boletim Anual de Precipitação que é um relatório emitido pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH/AL)

disponível em SEMARH (2023). Esse documento apresenta informações detalhadas sobre os níveis de precipitações ocorridos em Alagoas por meio de observações de pluviômetros terrestres de diversas fontes como SEMARH/AL, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF). Foram coletados dados de precipitação de 45 postos pluviométricos entre 2000 a 2022 distribuídos conforme a Figura 1.

Com base nos dados mensais de precipitação obtidos pelo GPM-IMERG, realizou-se o cálculo do número de meses com chuvas máximas e mínimas, relacionado à escassez e ao excesso de chuva. O critério de contagem foi estabelecido com base nos valores de média e desvio padrão da série de dados referente ao período de 2000 a 2022, conforme demonstrado nas equações 1 e 2 (Silva, 2023).

$$NP+ = P_{(m+a)} \quad (1)$$

$$NP- = P_{(m-a)} \quad (2)$$

onde: NP+ representa o número de meses em que as precipitações (P) excederam o valor do limiar superior (chuvas máximas), calculado como a soma da média (m) e do desvio padrão da série (a). NP- é o número de meses em que as precipitações (P) que ficaram abaixo do limiar inferior (chuvas mínimas), determinado como a diferença entre a média (m) e o desvio padrão da série (a).

Assim evidencia-se a quantificação anual do número de meses com precipitações anormais, proporcionando a capacidade de identificar a instabilidade e variações significativas no padrão de chuvas ao longo do tempo (Caballero et al. 2018).

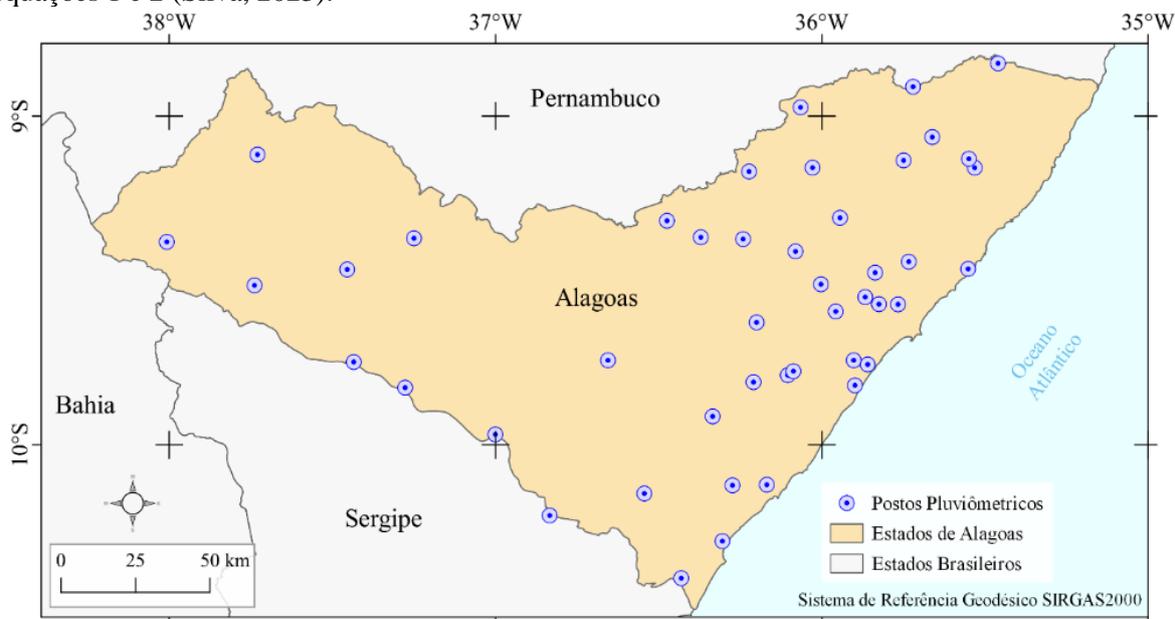


Figura 1 - Localização das estações pluviométricas no Estado de Alagoas – Brasil.

### Índice de Anomalia de Precipitação (IAC)

Para caracterizar os anos extremos secos e chuvosos no estado de Alagoas, utilizou-se o Índice de Anomalia de Chuva (IAC), desenvolvido por Van-Rooy (1965), sendo utilizado para classificar as severidades positivas e negativas em anomalias pluviométricas. O IAC permite a classificação das precipitações e o monitoramento de períodos secos e chuvosos em um dado período a partir de uma série de dados de chuvas mensais. Foi calculado o

IAC para períodos mensais de 2000 a 2022 usando as equações (3) e (4):

$$IAC = 3 \left[ \frac{N - \bar{N}}{\bar{M} - \bar{N}} \right] \text{ Para anomalias positivas} \quad (3)$$

$$IAC = -3 \left[ \frac{N - \bar{N}}{\bar{M} - \bar{N}} \right] \text{ Para anomalias negativas} \quad (4)$$

onde: N é a precipitação anual;  $\bar{N}$  é a precipitação média anual da série histórica;  $\bar{M}$  é a média das dez maiores precipitações anuais;  $\bar{X}$  é a média das dez

precipitações anuais mais baixas; e  $N - \bar{N}$  representa a anomalia positiva e a anomalia negativa com base em valores positivos ou negativos. Enquanto para a classificação das

anomalias anuais utilizou-se a metodologia de Freitas (2004) adaptada por Brubacher, Oliveira e Guasselli (2021), como se pode observar no detalhamento da Tabela 1.

**Tabela 1** - Classes de Intensidade do Índice de Anomalia de Chuva (IAC).

Faixa do IAC	Classe de Anomalia
< -4	Extremamente Seco
-2 a -4	Muito seco
0 a -2	Seco
0 a 2	Chuvoso
2 a 4	Muito chuvoso
4 <	Extremamente chuvoso

Fonte: Araújo et al. (2009).

### Índice de Concentração de Precipitação (ICP)

O ICP é um índice de avaliação do grau de concentração sazonal da precipitação e fornece informações para a comparação de diferentes climas em termos de regime de precipitação para diferentes estações. É amplamente utilizada para estudos de variedade de ciclos hidrológicos, monitoramento de chuvas, além de ser uma ferramenta de alerta precoce para prevenção de desastres relacionados a inundações e erosão (Back; Sônego; Pereira, 2020).

Michiels; Gabriels; Hartmann (1992) definiram o Índice de Concentração de Precipitação de acordo com os valores de ICP da Tabela 1.

$$ICP = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{(\sum_{i=1}^{12} p_i)^2} \quad (5)$$

Onde  $p_i$  representa a precipitação mensal no mês. Quanto maior o valor do ICP, maior é a tendência de concentração de precipitação em determinados período do ano, conforme apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2** - Classificação do índice de concentração de precipitação.

Faixa do ICP	Classes do Índice de Concentração
$\leq 10$	Regular
$10 < ICP \leq 15$	Baixa irregularidade
$16 < ICP \leq 20$	Média irregularidade
$> 20$	Alta irregularidade

Fonte: Michiels; Gabriels; Hartmann (1992).

### Métricas de Avaliação

Vários estudos relatam sobre a confiabilidade do GPM-IMERG, suas limitações e recomendações para seu uso em aplicações específicas. (Pradhan et al. 2022; Kim et al. 2022). Dessa forma, a análise da precisão dos dados GPM-IMERG se tornou um mecanismo fundamental para garantir a confiabilidade das informações de precipitação derivadas de satélites e para informar a tomada de decisões em diversas áreas que dependem desses dados (Silva et al., 2021).

Com a finalidade de avaliar a precisão dos dados de precipitação, dois indicadores estatísticos foram utilizados para quantificar a consistência dos dados GPM-IMERG em comparação com dados de referências obtidos pelos pluviômetros terrestres, incluindo o Coeficiente de Correlação ( $r$ ) (equação 6) e o Erro Quadrático Médio (RMSE) (equação 7).

$$r = \frac{\sum_i^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_i^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_i^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_i^n (Y_i - X_i)^2}{n}} \quad (7)$$

Onde:  $n$  é o número total de dados de observação por satélite e medidor;  $X_i$  e  $Y_i$  representam a observação dos postos pluviométricos  $i$  e os dados do GPM-IMERG, respectivamente;  $\bar{X}$  e  $\bar{Y}$  são os valores médios correspondentes (Fang et al. 2019). Foi adotado somente os meses de 2022 para a análise de detecção, uma vez que a verificação amostral mensal pode comportar maior sensibilidade na identificação de discrepâncias.

A espacialização do módulo das discrepâncias também foi avaliada neste estudo

usando Interpolação pela Ponderação do Inverso da Distância (IDW) com o software de livre acesso QGIS 3.15. O IDW permite gerar uma superfície matricial baseado na média ponderada espacial baseada nos valores dos pontos vizinhos ao ponto em que se deseja interpolar e é amplamente utilizado na representação de informações espaciais específicas (Ghomlaghi; Nasseri; Bayat, 2022).

### 3. Resultados e discussão

#### Análise temporal de precipitação anual

Com base nos registros de precipitação anual do GPM-IMERG no período de 2000 a 2022, a Figura 2 ilustra a distribuição ao longo do tempo para estado de Alagoas.

É perceptível um padrão visual de sazonalidade, no qual as maiores quantidades de chuva estão concentradas entre os anos de 2004, 2009 e 2011, enquanto os anos de 2001 e 2011 apresentam índices de precipitação mais baixos. A

série temporal revelou uma média global de 1.239,  $\pm$  349,02 mm, sendo que 59,1% das observações ultrapassaram essa média.

Conforme Buriti e Barbosa (2018) em 2012, houve dois elementos de extrema relevância que contribuíram para a redução significativa das taxas de precipitação no NEB. O primeiro foi o impacto da manifestação do fenômeno El Niño, que provocou uma reconfiguração na circulação atmosférica, levando à diminuição das chuvas nas áreas tropicais. O segundo fator foi originado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), usualmente responsável por estimular a ocorrência de precipitações. No entanto, no ano de 2012, a ZCIT apresentou uma localização excepcional, posicionando-se predominantemente acima da linha do Equador. Isso gerou um padrão distinto de distribuição de chuvas, resultando em um acúmulo significativo de precipitações na região Norte do Brasil, em detrimento da região Nordeste (Silva et al., 2023).

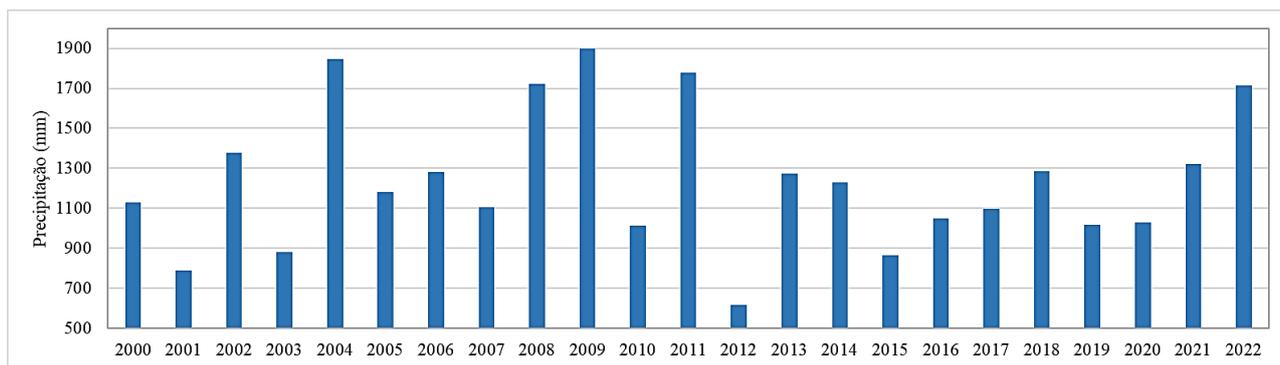


Figura 2 - Gráfico da precipitação anual entre 2000 e 2022 para o estado de Alagoas.

Por outro lado, em 2009, foi observado o ápice máximo registrado na série histórica, atingindo 1.319,85 mm, superando a média histórica dos últimos 20 anos de análise. De acordo com o estudo de Fialho e Molion (2012), esse aumento significativo nas chuvas desse ano pode ser atribuído, em grande parte, à influência do Oceano Atlântico, que manteve temperaturas acima do normal na região equatorial nos meses anteriores. Isso resultou em uma intensificação das Ondas de Leste, que normalmente ocorrem em maio, junho e julho. Além disso, Comisso e Medeiros (2021) realizaram uma pesquisa sobre a distribuição das chuvas no Estado de Alagoas e constataram que a precipitação nessa região apresenta uma distribuição irregular entre as mesorregiões, com os maiores números de dias

chuvosos observados no Leste e no Agreste Alagoano (Silva, et al. 2023). No geral, estas características são explicadas pela influência dos fenômenos meteorológicos, em especial, La-Niña e El-Niño e Ondas de Leste, que interferem na dinâmica da distribuição das chuvas em todo território Nordestino ocasionando fenômenos extremos tanto no período chuvoso como no período seco (Lyra; Freitas; Santiago, 2020).

Conforme os dados mensais de precipitação GPM-IMERG a Figura 3 detalha a distribuição do número de meses com chuvas máximas (NP+) e chuvas mínima (NP-) para os anos de 2000-2022. Os números de NP+ e NP- resultaram nos valores acima do limiar ( $m + a = 132,9$  mm) e abaixo do limiar ( $m - a = 18,85$  mm), respectivamente. Nos anos de 2000 e 2013, não

houve meses com chuvas mínimas; no entanto, nos anos de 2003, 2012, 2016 e 2018, não ocorreram chuvas máximas. Já nos anos de 2000, 2002, 2006, 2008, 2011 e 2020, houve pelo menos três meses com chuvas máximas, enquanto apenas os anos de 2004, 2006 e 2019 registraram três meses de chuvas mínimas. Notavelmente, o ano de 2022 se destacou na série histórica, apresentando o maior número de meses com chuvas máximas, com apenas um mês de chuvas mínimas.

É possível observar uma estabilidade no número de meses com chuvas mínimas, com a maioria dos anos apresentando apenas um mês de

chuvas mínimas. Em contrapartida, a distribuição do número de meses com chuvas máximas demonstrou ser mais instável, com variações significativas de ano para ano. Por outro lado, os anos de 2006, 2007, 2017 e 2021 tiveram o mesmo número de meses com chuvas máximas e mínimas. No caso do ano de 2009, apesar de ter registrado 2 meses de chuvas máximas e 1 mês de chuva mínima, ele se destacou por apresentar a maior precipitação da série, atingindo 348 mm no mês de maio. Em resumo, ao longo de toda a série, foram contabilizados 41 meses com chuvas máximas e 32 meses com chuvas mínimas.

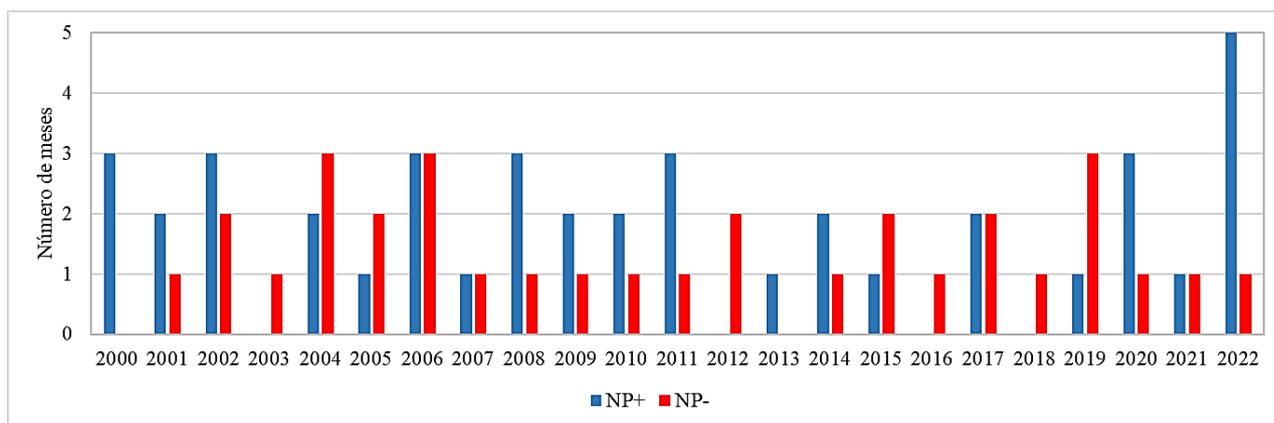


Figura 3 - Gráfico de barras do número de meses de chuvas mínimas (NP-) e o número de meses de chuvas máximas (NP+) de 2000 a 2022 para a área de estudo.

Ressalta-se que os meses que registraram chuvas máximas, majoritariamente ficaram concentradas nos meses de maio e junho, enquanto para os meses de chuvas mínimas, foi visto com maior frequência nos meses de outubro e novembro. Almeida e Cabral Júnior (2014) avaliaram a variabilidades sazonais e interdecadais da chuva nas microrregiões geográficas do estado da Paraíba e observaram que as médias observadas da precipitação, nas escalas temporais de décadas, interdecadais e/ou por estações, quando comparadas com as suas respectivas limiares superiores foram, menores que as médias aritméticas das séries e/ou maiores que as limiares inferiores. Conforme apontado por estudos

realizados por Galvani e Almeida (2021), as flutuações que excedem os valores médios (+) ou (-) em relação aos desvios padrão do elemento chuva são classificadas como eventos extremos. Importante ressaltar que, à primeira vista, essas oscilações podem ser intrínsecas às características da variabilidade climática.

### Índice de Anomalia de Chuvas (IAC)

Baseados nas estimativas de precipitações a Figura 4 detalha a distribuição das estimativas de IAC para o ano de 2000 a 2022.

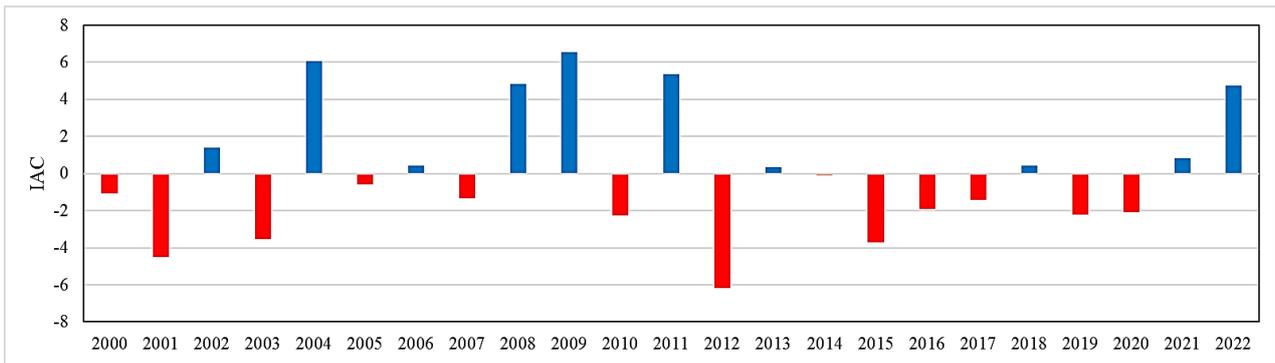


Figura 4 - Gráfico de barras do Índice de Anomalia de Chuvas (IAC), entre 2000 e 2022, estado de Alagoas.

Observa-se que nos anos de 2000 a 2012 houve alta variabilidade nos valores de IAC com uma diferença considerável nos valores dos índices dentre os anos entre picos negativos e positivos. Ainda neste intervalo, entre os anos de 2004 a 2006 mostraram valores de IAC variando levemente entre as classes “Seco” e “Chuvoso”, assim como visto também nos anos entre 2013-2014 e 2017-2018.

Os anos de 2011 e 2012 apresentaram comportamentos opostos nas classes do Índice de Anomalia de Chuvas (IAC), sendo categorizados como "Extremamente Chuvoso" e "Extremamente Seco", respectivamente. Já os anos de 2001 e 2012 foram classificados como "Extremamente Seco", enquanto 2004, 2008, 2009, 2011 e 2022 foram categorizados como "Extremamente Chuvoso", indicando uma predominância de anos com chuvas extremas na série temporal. Por outro lado, no que diz respeito aos valores intermediários do IAC, a maioria foi classificada como "Seco" ou "Muito Seco" ao longo da série, enquanto os valores positivos do IAC permaneceram próximos a zero, concentrando-se na categoria "Chuvoso".

A visível alternância entre valores positivos e negativos do IAC encontrada em todas as análises pode estar relacionado a ocorrência em função das influências exercidas por fenômenos

que afetam a precipitação pluviométrica da região do Nordeste brasileiro, entre eles estão o Dipolo do Atlântico (aquecimento/resfriamento do Atlântico Norte/Sul) e eventos anômalos no oceano Pacífico associados ao El Niño-Oscilação Sul (ENSOS) (Diniz et al., 2020). Os estudos de Alves et al. (2016), realizado no Nordeste, conseguiram constatar que os eventos fortes de ENSOS (El Niño e La Niña) definem padrões mais realísticos dos períodos úmidos e secos para as regiões fisiográficas do Estado, quando comparados com eventos moderados do El Niño-Oscilação Sul (ENSO). Semelhantemente, Rodrigues et al. (2020) afirmaram que as secas foram intensificadas pela eventual ação do fenômeno El Niño. Essas anomalias atmosféricas de escala planetária proporcionadas pelo ENSOS modificam a frequência, a intensidade e a distribuição espacial das chuvas no Nordeste brasileiro, afetando diretamente as atividades agrícolas (Diniz et al., 2020; Cavalcante; Silva; Brandão, 2022; Alves et al., 2016).

### Índice de Anomalia de Chuvas (IPC)

A Figura 5 apresenta as percentagens de Índice de Concentração de Precipitação para a série 2000-2022 para o estado de Alagoas.

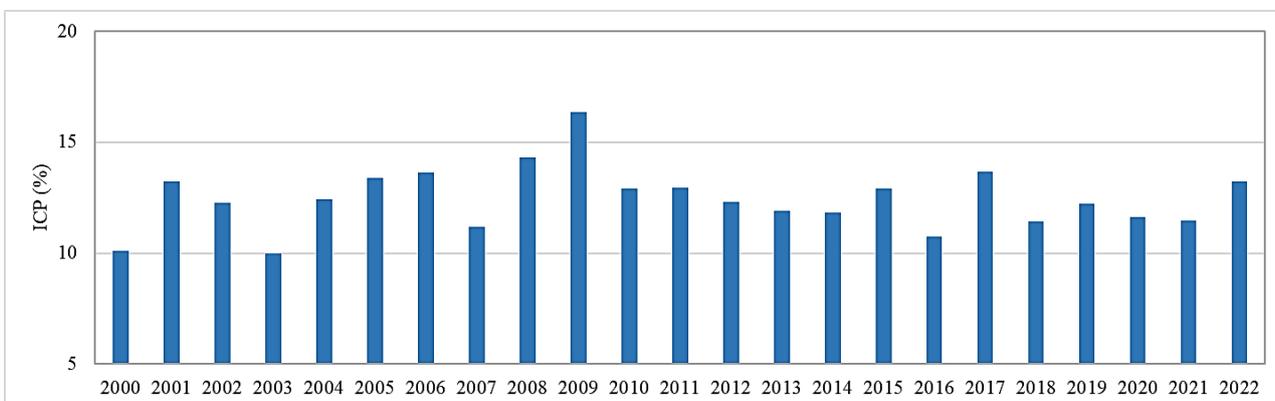


Figura 5 - Valores do índice de precipitação concentrada (IPC), na área de estudo.

Observa-se uma predominância de concentração de chuvas classificada como de “Baixa Irregularidade, com variações significativas de 2000 a 2009 e uma estabilidade de 2010 a 2022 (Figura 5). Por outro lado, somente o ano de 2009 foi classificada como “média irregularidade”, ou seja, além da maior precipitação registrada na série, a chuva não foi bem distribuída em todo o no de 2009. O inverso ocorreu no ano 2000, que choveu dentro da média histórica e bem distribuída mensalmente.

Esses resultados concordam com Cavalcante et al. (2020) que o ICP conseguiu comprovar a irregularidade das chuvas no leste de NEB. Siqueira e Nery (2021) observaram que no NEB que os valores de ICP apresentaram valores próximos a 12 com chuvas concentradas nos meses de fevereiro a maio. Embora mostrou divergência nos estudos de Junqueira et al. (2020) que encontrou um ICP anual de 28,48 %, indicando alta irregularidade na distribuição das chuvas anuais no município de Juazeiro-BA, Semiárido brasileiro.

### 3.4 Análise de Discrepâncias Mensais

A Tabela 3 resume os valores de RMSE e Correlação para os meses de 2022 obtidas na comparação estimativas de precipitação mensal entre os postos pluviométricos e os dados GPM-IMERG.

O desempenho de detecção no mês de fevereiro se destacou, evidenciado por um baixo valor de RMSE e alta correlação em comparação com os outros meses. No entanto, os meses de junho, julho e agosto apresentaram altos valores de RMSE, variando entre 30-40 mm, e uma correlação de cerca de 0,35-0,36. Em contraste, o mês de novembro teve o pior desempenho em comparação com os outros meses. Vale a pena mencionar o alto desempenho dos meses de janeiro, março, abril e maio, com valores de RMSE consistentemente abaixo de 20mm e correlações variando entre 0,6-0,7. No caso dos meses de setembro e outubro, embora tenham uma correlação moderada, em torno de 0,5, observou-se um RMSE relativamente baixo, seguido por um aumento na correlação e uma diminuição significativa no RMSE no mês de dezembro.

**Tabela 3** - Valores de RMSE e Correlação para os meses de 2022.

Meses de 2022	RMSE (mm)	Correlação
Janeiro	10,55	0,72
Fevereiro	5,53	0,80
Março	12,82	0,69
Abril	18,61	0,61
Maio	10,13	0,72
Junho	43,65	0,35
Julho	45,79	0,36
Agosto	42,89	0,36
Setembro	26,61	0,53
Outubro	33,8	0,50
Novembro	48,33	0,29
Dezembro	19,81	0,61

De maneira geral, os resultados apontaram para um RMSE médio de 26,5 mm, sendo que os meses do primeiro semestre, com exceção de junho, demonstraram valores abaixo dessa média. A correlação média foi de 0,54, não revelando um padrão específico em relação à distribuição mensal, embora tenha exibido um comportamento

semelhante ao RMSE, sugerindo uma ênfase nos meses do primeiro semestre. A representação gráfica da distribuição dos erros discrepantes entre os valores de precipitação do GPM-IMERG e os dados de referência pode ser visto na Figura 6.

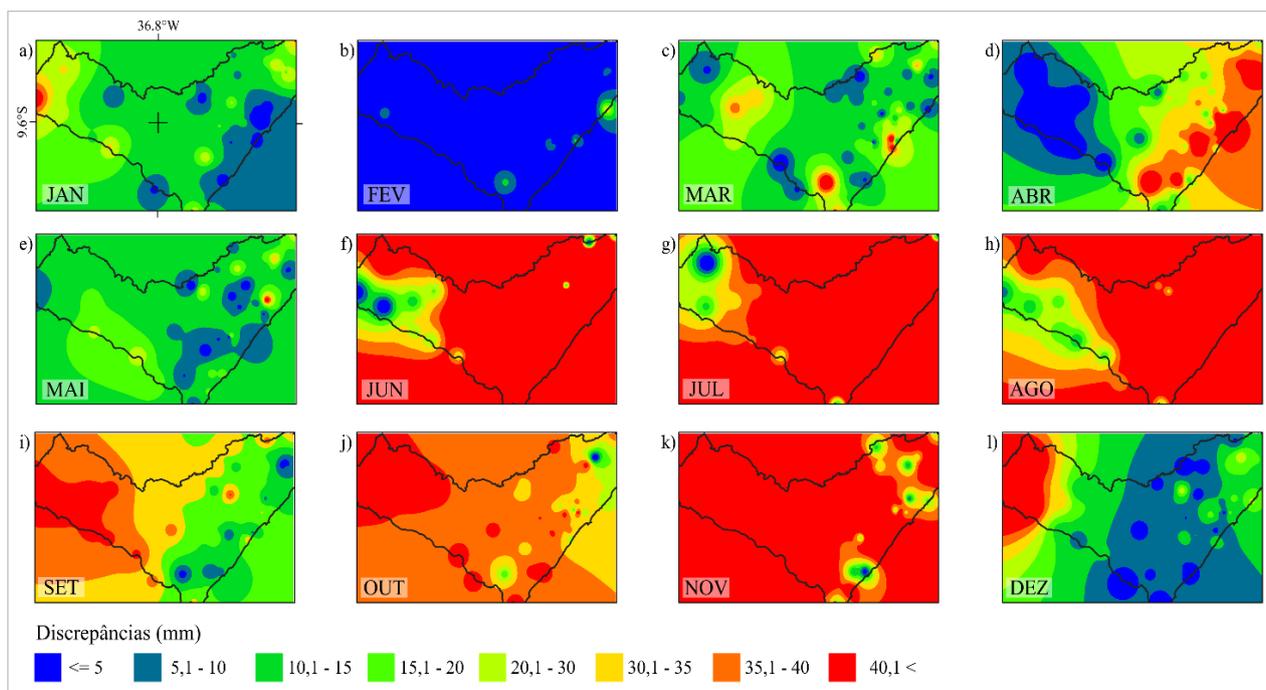


Figura 6 - Distribuição espacial de erros detectados na comparação dos dados GPM-IMERG e os pluviômetros para os meses de 2022.

De janeiro a maio, embora tenham surgido algumas discrepâncias pontuais, a distribuição espacial dos valores permaneceu predominantemente abaixo de 20 mm, destacando-se o mês de fevereiro pela notável uniformidade, com discrepâncias raramente excedendo 5 mm. No entanto, em abril, observaram-se áreas costeiras com discrepâncias concentradas acima de 30 mm. Os meses de junho, julho e agosto exibiram um padrão semelhante, caracterizado por uma alta uniformidade de erros acima de 40 mm, embora com uma diminuição nas regiões interiores. Setembro mostrou uma melhoria progressiva, com discrepâncias diminuindo à medida que se avança do interior em direção ao litoral, mas com uma distribuição heterogênea de erros. Em contraste, outubro apresentou discrepâncias acima de 30 mm abrangendo praticamente todo o estado. Novembro se destacou como o mês com a maior uniformidade nas discrepâncias espaciais, com a maioria dos erros classificados acima de 40 mm e algumas áreas isoladas no litoral norte e sul com discrepâncias abaixo de 30 mm.

Por fim, dezembro revelou uma notável variação espacial nas discrepâncias, com valores de erro consideravelmente altos no interior do estado e discrepâncias mais baixas, variando de 0 a 15 mm, na região central. A espacialização dos erros permitiu identificar que essas discrepâncias não estavam localizadas de maneira pontual, mas sim de maneira homogênea. É importante ressaltar que esses resultados foram influenciados pela

localização dos pluviômetros e pela aplicação do método de interpolação de algoritmo IDW (Ghomlaghi; Nasseri; Bayat, 2022).

Estudos recentes encontraram resultados semelhantes, como em Prakash et al. (2018), que avaliaram o desempenho dos produtos GPM-IMERG na Índia. Seus resultados indicaram que os dados foram afetados pelo processo orográfico, o que levou a erros maiores e versão negativa em áreas montanhosas. Por outro lado, Mahmoud (2020) observou que os produtos GPM-IMERG têm a capacidade de detectar chuvas sazonais tanto com a maior quanto com a menor precipitação. Em contrapartida, Pan et al. (2023) relataram que eventos esporádicos e intensos de precipitação em certas áreas apresentam dificuldades para estimativas precisas usando sensoriamento remoto. Além disso, fatores como sazonalidade, padrões de precipitação, mudanças no uso da terra e influências antropogênicas também contribuem para a variabilidade espacial dos erros na estimativa de precipitação usando dados GPM-IMERG.

Ainda nesse mesmo contexto, por exemplo, Islam, Yu e Cartwright (2020) avaliaram os produtos GPM-IMERG na Austrália em escalas diária, mensal e anual. Eles descobriram que o GPM-IMERG teve um bom desempenho, apesar de algumas discrepâncias em regiões com alta precipitação. Também foi revelado que o melhor desempenho do GPM-IMERG ocorre durante o inverno em termos de escala sazonal. Já no Brasil,

apesar de uma superestimação encontrada no interior do Brasil e uma subestimação na costa Nordeste, o produto GPM-IMEG apresentou o melhor desempenho em relação a outros produtos de precipitação por satélite nas análises encontradas por Rozante et al. (2018).

Também, a avaliação do produto de precipitação do satélite GPM-IMEG na bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte, localizada na região central do estado brasileiro de Goiás, Duarte et al. (2022) observaram um desempenho relativamente bom em escala diária para regiões com topografia suave e foi capaz de descrever o regime de chuvas em escalas de tempo maiores, independentemente das condições do terreno. No entanto, as recuperações de satélite não foram capazes de reproduzir os extremos de chuva em praticamente todas as situações, o que pode limitar sua aplicação em análises de frequência independentemente das condições do terreno. Enquanto neste estudo, no geral o desempenho dos dados GPM-IMERG apresentou um comportamento moderado e sem um padrão de precisão em relação aos meses chuvosos e secos, onde os meses de transição de estação meteorológica mostraram erros significativos.

No geral, a análise anual da precipitação no estado de Alagoas, no período de 2000 a 2022, revelou um padrão sazonal, caracterizado por alternâncias bem definidas nos regimes de precipitação, com ocorrência de alguns extremos tanto abaixo quanto acima da média histórica. Essa variação foi evidenciada pelas notáveis flutuações interanuais no número de meses com chuvas máximas e mínimas. Em determinados anos, registrou-se um comportamento mensal com chuvas abaixo de 18 mm e acima de 340 mm, exemplificado por 2006 e 2022.

Outro aspecto digno de nota nesse contexto foram as variações nos valores do (IAC), que alternaram entre categorias de "extremamente chuvoso" e "extremamente seco", especialmente no período de 2000 a 2012. Entretanto, observou-se uma leve estabilidade nas categorias de "Seco" e "Muito Seco" de 2015 a 2020, enquanto 2021 e 2022 foram classificados como "Chuvoso" e "extremamente chuvoso", respectivamente. Apesar dessas flutuações, o (ICP) ao longo da série temporal mostrou uma alta estabilidade, sendo geralmente categorizado como "Baixa irregularidade", com apenas uma exceção em 2009, quando foi classificado como "Média irregularidade". Quanto à análise de consistência dos dados mensais GPM-IMERG, em comparação com os dados de pluviômetros, apenas para o ano de 2022, observou-se uma média de RMSE de 26,5

mm e uma correlação média de 0,54, sendo que os meses do segundo semestre apresentaram o pior desempenho nessa análise. A espacialização dos erros seguiu um padrão semelhante, destacando-se os meses de fevereiro e novembro, que exibiram alta homogeneidade espacial nas discrepâncias, com erros abaixo de 5 mm e acima de 40 mm, respectivamente.

#### 4. Conclusões

A análise realizada nessa pesquisa resultou em um cenário de aumento gradual da precipitação mensal e uma distinta variação sazonal nas chuvas em Alagoas. A identificação dos anos com maiores e menores índices pluviométricos ressalta a influência de fenômenos climáticos sazonais na região. Esses resultados contribuem para a compreensão dos padrões de chuva em Alagoas e podem ser úteis no planejamento de medidas de adaptação às mudanças climáticas e na gestão de recursos hídricos.

Os dados provenientes do GPM-IMERG desempenharam um papel de importância fundamental no monitoramento global e na compreensão das precipitações. No contexto desta pesquisa, eles têm sido essenciais para analisar a variabilidade pluviométrica abrangendo desde o lançamento do sistema no ano de 2000 até os dias atuais no estado de Alagoas. Além disso, eles simplificam a análise da variabilidade das chuvas em extensas áreas, como demonstrado no âmbito desta pesquisa.

Essa pesquisa poderá ser importante subsídio em estudos hidrológicos, especialmente por fornecer uma série de dados mais extensa. Essa série tem como propósito complementar informações para investigações futuras, ampliando o horizonte de conhecimento disponível. Ao empregar técnicas analíticas avançadas e dados abrangentes, esse estudo oferece uma abordagem abrangente para compreender as variações nas chuvas de Alagoas. Além de contribuir para a ciência hidrológica, os resultados dessa pesquisa podem orientar o desenvolvimento de estratégias de gestão de recursos hídricos e adaptação às mudanças climáticas na região.

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Mestrado do primeiro autor processo: 88887.910305/2023-00; a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco

(FACEPE) pela Bolsa de Cooperação Técnica (BFI) – processo: BFI-1955-3.01/22 do segundo autor e projeto APQ-1535-3.01/22 - Ecotecnologias inovadoras para manejo sustentável das águas pluviais urbanas; à Universidade Federal de Pernambuco – UFPE; ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC – UFPE e; ao Projeto Sensoriamento Remoto aplicado no delineamento espaço-temporal de corpos hídricos e áreas verdes no Semiárido brasileiro.

## Referências

- Alves, J.O., Pereira, P.C., Queiroz, M.G., Silva, T.G.F., 2016. Índice de Anomalia de Chuva para diferentes mesorregiões do estado de Pernambuco. *Pensar Acadêmico*, 14., 37–47.
- Almeida, H.A., Cabral Júnior, J.B., 2014. Variabilidades sazonais e interdecadais da chuva nas microrregiões geográficas do estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 7, 846-858.
- Araújo L., Moraes N.J.M, Sousa, F.A.S., 2009. Classificação da precipitação anual e da quadra chuvosa da bacia do rio Paraíba utilizando índice de anomalia de chuva (IAC). *Revista Ambient Água*, 4(3), 93-110.
- Back, A.J., Sônego, M., Pereira, J.R.S., 2020. Índices de concentração de chuvas da região sul do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 27, 57-72.
- Brubacher, J.P., Oliveira, G.G., Guasselli, L.A., 2021. Banco de Dados Espacial de Precipitação do Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 36, 471–493.
- Buriti, C.O., Barbosa, H.A., 2018. Um século de secas: por que as políticas hídricas não transformaram o Semiárido brasileiro? Chiado Editora, São Paulo.
- Caballero C.B., Jéssica F.O., Viviane R.D., André B.N., 2018. A precipitação pluviométrica em Pelotas/RS: tendência, sistemas sinóticos associados e influência da ODP. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 1, 1429–1441.
- Cavalcante, I.B.S., Silva, D.F., Brandão, J.C.C.B., 2022. Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação em Maceió-AL e de suas causas climáticas. *Pesquisas em Geociências*, 49, e123971–e123971, 2022. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/index.php/PesquisasemGeociencias/article/view/123971/88205>>.
- Cavalcante, I.B.S., Mendonça, H.S., Lima, M.J.S., Silva, D.F., Bonfim, O.E.T., 2020. Período de concentração de precipitação (PCP) e grau de concentração de precipitação (PCD) para Leste do Nordeste do Brasil e suas alterações em anos de ENOS. *REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA*, 1, 7-22.
- Comisso, H.S., Medeiros, E.S., 2021. Mapeamento da precipitação no estado de Alagoas por meio de técnicas geoestatísticas. *Revista Univap*, 27.
- Diniz, R.R.S., Alencar, M.L.S., Medeiros, S.A., Guerra, H.O.C., Sales, J.C.R., 2020. Índice de anomalia de chuvas da Microrregião do Cariri Ocidental Paraibano. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13, 2628.
- Duarte, L.V., Formiga, K.T.M., Costa, V.A.F., 2022. Analysis of the IMERG-GPM Precipitation Product Analysis in Brazilian Midwestern Basins Considering Different Time and Spatial Scales. *Water*, 14, 2472–247. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Acesso em: 16/9/2023.
- Fang, J., Yang, W., Luan, Y., Du J., Lin, A., Zhao, L., 2019. Evaluation of the TRMM 3B42 and GPM IMERG products for extreme precipitation analysis over China. *Atmospheric Research*, 223, 24–38.
- Fialho, W.M.B., Molion, E.L.C.B., 2012. Extremos de chuva na costa leste do NEB: o evento de maio de 2009. *Revista Ambientale*, 3, 65–72.
- França, I.L.M.; Silva, D.F., 2023. Similaridades de eventos extremos nas sub-bacias do rio São Francisco. *Revista Brasileira de Climatologia*, 32, 607–633.
- Freitas, A.A., Drumond, A., Carvalho, V.S.B., Reboita, M.S., Silva, B.C., Uvo, C.B., 2021. Drought Assessment in São Francisco River Basin, Brazil: characterization through spi and associated anomalous climate patterns. *Atmosphere*, [S.L.], 13, 41, 28.
- Freitas, M.A.S., 2004. Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semi-áridas. *Revista Tecnologia*, v. suplem., 84-95.
- Galvani, E., Almeida, H.A., 2021. Climatologia do regime de chuvas em Campina Grande, PB: modelos e variabilidades. *ENTRE-LUGAR*, [S. l.], 12, 147–169.
- Getirana, A., Kirschbaum, D., Mandarino, F., 2020. Potential of GPM IMERG Precipitation Estimates to Monitor Natural Disaster Triggers in Urban Areas: The Case of Rio de Janeiro, Brazil. *Remote Sensing*, 12, 4095.
- Ghomlaghi, Nasser, M., Bayat, B., 2022. How to enhance the inverse distance weighting method to detect the precipitation pattern in a large-scale watershed. *Hydrological Sciences Journal-journal Des Sciences Hydrologiques*, 67, 2014–2028.

- Hou, A., Bahr, A., Schmidt, S., Strebl, C., Ana, L.A., Chiesse, C.M., Friedrich, O., 2020. Forcing of western tropical South Atlantic sea surface temperature across three glacial-interglacial cycles. *Global and Planetary Change*, 188, 103150.
- Huffman, G.J., 2015. Nasa Global Precipitation Measurement (GPM) integrated multi-satellite retrievals for GPM (IMERG). Algorithm theoretical basis document (ATBD) version, 4., 30.
- Islam, M.A., Yu, B., Cartwright, N., 2020. Assessment and comparison of five satellite precipitation products in Australia. *Journal of Hydrology*, 590, 125-474.
- Jardim, A.M.R.F., Vinícius, M.; Silva, A.R., 2021. Spatiotemporal climatic analysis in Pernambuco State, Northeast Brazil. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 223, 105733–105733.
- Junqueira, H.S., Almeida, L.M.F., Souza, T.S., Nascimento, P.S., 2020. Análise da variação sazonal e de tendências na precipitação pluviométrica no município de Juazeiro-BA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13, 2641-2649.
- Kawanishi T., Kuroiwa, H., Kojima, M., Oikawa, K., 2013. TRMM Precipitation Radar. *Advances in Space Research*, 25, 969–972.
- Kim, T., Yang, T., Zhang, L., Hong, Y., 2022. Near real-time hurricane rainfall forecasting using convolutional neural network models with Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG) product. *Atmospheric Research*, 270, 106037.
- Kubota, T.; Shige, S.; Hashizume, H.; Aonashi, K., Takahashi, N., Seto, S., Hirose, M., Takayabu, Y. N., Ushio, T., Nakagawa, K., Iwanami, K., Kachi, M., Okamoto, K., 2007. Global Precipitation Map Using Satellite-Borne Microwave Radiometers by the GSMaP Project: Production and Validation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45, 2259–2275.
- Lavers, D.A., Simmons, A., Vamborg, F., Rodwell, M.J., 2022. An evaluation of ERA5 precipitation for climate monitoring. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 148, 3152-3165.
- Li, P., Yu, Z., Jiang, P., Wu, C., 2021. Spatiotemporal characteristics of regional extreme precipitation in Yangtze River basin. *Journal of Hydrology*, 603, 126-910.
- Lyra; M., Freitas, I.G.F., Santiago, D., 2020. Evento de Precipitação Intensa Associado às Perturbações Ondulatórias dos Alísios Sobre o Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13, 3195–3205.
- Mahmoud, M.T., Mohammed, S., Hamouda, M.A.; Mohamed, M.M., 2020. Impact of Topography and Rainfall Intensity on the Accuracy of IMERG Precipitation Estimates in an Arid Region. *Remote Sensing*, 13, 13–13.
- Marrafon, V.H., Reboita, M.S., 2020. Características da precipitação na América do Sul reveladas através de índices climáticos. *Revista Brasileira de Climatologia*, 26, 663 – 676.
- Michiels, P., Gabriels, D., Hartmann, R., 1992. Using the seasonal and temporal precipitation concentration index for characterizing the monthly rainfall distribution in Spain. *Catena*, 19, 43-58.
- Muanza G.A., Fedorova, N.I., Levit, V., 2022. Ligação da extremidade frontal com zona de convergência intertropical (zcit) e análise de fenômenos associados. *Revista de Geociências do Nordeste*, 8, 231–243.
- NASA. Precipitation Data Directory | NASA Global Precipitation Measurement Mission., 2019. Disponível em: <<https://gpm.nasa.gov/data/directory>>.
- Nguyen, P., Ombadi, M., Soroosh Sorooshian, Hsu, K., AghaKouchak, A., Braithwaite, D., Ashouri, H., Thorstensen, A. R., 2018. The PERSIANN family of global satellite precipitation data: a review and evaluation of products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22, 5801–5816.
- Nóbrega R.S., Ayane, G., 2016. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. *Norte Grande Geography Journal*, 63, 9–26.
- Oliveira-Júnior, J.F., Gois, G., Silva, I.J.L., Souza, E.O., Jardim, A.M.R.F., Silva, M.V., Shah, M., Jamjareegulgarn, P., 2021. Wet and dry periods in the state of Alagoas (Northeast Brazil) via Standardized Precipitation Index. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 224, 105-746.
- Pan, X., Wu, H., Chen, S., Nanding, N., Nanding, Z., Nanding, W., Li, C., Li, X., 2023. Evaluation and Applicability Analysis of GPM Satellite Precipitation over Mainland China. *Remote Sensing*, 15, 2866–2866.
- Pereira N.S., Clarke, L.J., Chiesi, C.M., Kilbourne, K.H., Crivellari, S., Cruz, F.W., Campos, J.L.P.S., Yu, T.L., Shen, C.C., Kikuchi, R.K.P., Pinheiro, B.R., Longo, G.O., Sial, A.N., Felis, T., 2022. Mid to late 20th century freshening of the western tropical South Atlantic triggered by southward migration of

- the Intertropical Convergence Zone. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 597, 111013–111013.
- Pradhan, R.K., Markonis, Y., Godoi, M.R.V., Villalba-Pradas, A., Andreadis, K.M., Nikolopoulos, E.I., Papalexiou, S.M., Rahim, A., Tapiador, F.J., Hanel, M., 2022. Review of GPM IMERG performance: A global perspective. *Remote Sensing Of Environment*, 268, 112754–112754.
- Prakash, S., Mitra, A. K., Aghakouchak, A., Liu, Z., Norouzi, H., Pai, D.S., 2018. A preliminary assessment of GPM-based multi-satellite precipitation estimates over a monsoon dominated region. *Journal of Hydrology*, 556, 865–876.
- Raziei, T., 2021. Revisiting the Rainfall Anomaly Index to serve as a Simplified Standardized Precipitation Index. *Journal of Hydrology*, 602, 126761.
- Regoto, P., Dereczynski, C., Clou, S.C., Bazzanela, A.C., 2021. Observed changes in air temperature and precipitation extremes over Brazil. *International Journal of Climatology*, 41, 5125–5142.
- Rodrigues, D.T., Gonçalves, W.A., Spyrides, M.H.C., Silva, C.M.S., Souza, D.O., 2020. Spatial distribution of the level of return of extreme precipitation events in Northeast Brazil. *International Journal of Climatology*, 40, 5098–5113.
- Rozante, J., Vila, D., Barboza C. J., Fernandes, A., Souza, A.D., 2018. Evaluation of TRMM/GPM Blended Daily Products over Brazil. *Remote Sensing*, 10, 882.
- Schumacher, C., Funk, A., 2023. Assessing Convective-Stratiform Precipitation Regimes in the Tropics and Extratropics With the GPM Satellite Radar. *Geophysical Research Letters*, 50.
- SEMARH. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos, 2023. Dados de Precipitação Mensal - Alagoas em Dados e Informações. Disponível em: <<https://dados.al.gov.br/catalogo/dataset/dados-de-precipitacao-mensal>>. Acesso em: 17/9/2023.
- Silva, N.A., Webber, B.G., Matthews, A.J., Feist, M.M., Stein, T.H., Holloway, C.E., Abdullah, M.F., 2021. Validation of GPM IMERG extreme precipitation in the Peninsular Malaysia and Philippines by station and radar data. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 893, 129.
- Silva, J.S., Cabral Júnior, J.B., Rodrigues, D.T., Silva, F.D.S., 2023. Climatology and significant trends in air temperature in Alagoas, Northeast Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 151, 1805–1824.
- Silva, S.A., 2020. Análise das interações entre variabilidade climática e cobertura da terra no regime hidrológico da Bacia Hidrográfica Interestadual do Rio Mundaú (Pernambuco/Alagoas). Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Silva, I.J.L., 2022. Períodos úmidos e secos no estado de Alagoas via índice de seca. 2022. 119 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió.
- Silva, F.L.P., 2023. Interpretando dados de chuva do Município de Caicó através da Estatística. 2023. 30f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Pedagogia) - Departamento de Ciências Exatas e Aplicadas, Centro de Ensino Superior do Seridó, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caicó.
- Siqueira, B., Nery, J.T., 2021. Concentração diária e mensal da precipitação pluvial no nordeste do Brasil: Uma contribuição dos índices CI e PCI. *Revista GeograficaR*, 16, 555.
- Van-Rooy, M.P., 1965. A Rainfall Anomaly Index (RAI), Independent of the Time and Space. *Notos*, 14, 43-48.
- Vu, T.M.; Mishra, A.K., 2019. Nonstationary frequency analysis of the recent extreme precipitation events in the United States. *Journal of Hydrology*, 575, 999–1010.
- Wanderley, H.S., Carvalho, A.L., Fernandes, R.C., Souza, J.L., 2014. Mudança no Regime Temporal da Temperatura do Ar e Precipitação Pluviométrica na Região de Rio Largo, Alagoas *Revista Brasileira de Geografia Física*, 7, 662–662, 2014.