



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL - DECIV
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

JOÃO VICTOR DE ALBUQUERQUE ROBERTO

**Variabilidade espaço-temporal da precipitação e sua relação com a dinâmica
hidrológica no semiárido pernambucano, brasil**

Recife

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL - DECIV
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

JOÃO VICTOR DE ALBUQUERQUE ROBERTO

**Variabilidade espaço-temporal da precipitação e sua relação com a dinâmica
hidrológica no semiárido pernambucano, brasil**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia civil
da Universidade Federal de Pernambuco,
como requisito parcial para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Profa. Dra. Leidjane Maria
Maciel de Oliveira

Coorientador(a): Prof. Ms. Ubiratan
Joaquim Da Silva Júnior

Recife

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Roberto, João Victor de Albuquerque.

Variabilidade espaço-temporal da precipitação e sua relação com a dinâmica hidrológica no semiárido Pernambucano, Brasil / João Victor de Albuquerque Roberto. - Recife, 2025.

78 : il., tab.

Orientador(a): Leidjane Maria Maciel de Oliveira

Coorientador(a): Ubiratan Joaquim Da Silva Júnior

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Civil - Bacharelado, 2025.

Inclui referências, apêndices.

1. Precipitação. 2. Sensoriamento Remoto. 3. Modelo hidrológico. 4. Semiárido. I. Oliveira, Leidjane Maria Maciel de . (Orientação). II. Júnior, Ubiratan Joaquim Da Silva . (Coorientação). IV. Título.

620 CDD (22.ed.)

JOÃO VICTOR DE ALBUQUERQUE ROBERTO

**VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO E SUA RELAÇÃO
COM A DINÂMICA HIDROLÓGICA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO, BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil da Universidade Federal
de Pernambuco, como requisito parcial
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Aprovado em: 30/04/2025

BANCA EXAMINADORA

Dra. Leidjane Maria Maciel de Oliveira (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Msc. Ubiratan Joaquim Da Silva Júnior (Co - orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Jose Roberto Goncalves De Azevedo (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Msc. Camila Oliveira de Britto Salgueiro (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por jamais ter me desamparado. Sua presença foi meu alicerce nos dias bons e, sobretudo, nos dias difíceis, concedendo-me forças e perseverança quando pensei em desistir.

À minha família, por seu amor incondicional, pelos valores transmitidos e pelo apoio inabalável em todos os momentos. Cada palavra de incentivo foi essencial para que eu pudesse trilhar e concluir este caminho.

Aos colegas e amigos da faculdade, que compartilharam comigo os desafios e as conquistas desta jornada, bem como os inúmeros trabalhos e aprendizados. Vocês contribuíram de forma significativa para meu crescimento pessoal e acadêmico.

Aos meus orientadores, registro minha mais sincera gratidão por acreditarem em meu potencial e por me conduzirem com sabedoria, paciência e dedicação. Este trabalho só foi possível graças à orientação cuidadosa e ao compromisso de vocês com a excelência acadêmica.

RESUMO

A escassez hídrica no semiárido brasileiro, intensificada pela variabilidade climática, torna essencial o uso de dados alternativos para análise hidrológica. Este estudo investigou a variabilidade espaço-temporal da precipitação e sua relação com a dinâmica hidrológica na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú, localizada no semiárido pernambucano, Brasil. A pesquisa avaliou o desempenho de produtos de precipitação derivados de sensoriamento remoto (CHIRPS, GPM-IMERG, PERSIANN-CDR) e reanálise (BR-DWGD) em comparação com dados de estações pluviométricas convencionais, visando validar sua aplicabilidade em estudos hidrológicos por meio do modelo hidrológico concentrado CAWM (Campus Agreste Watershed Model), numa cobertura temporal de 2000 a 2023. Além disso, analisou-se a influência da precipitação na cobertura vegetal do bioma Caatinga por meio do índice NDVI, obtido do sensor MODIS a bordo dos satélites TERRA/ACQUA. Os resultados demonstraram que o produto CHIRPS apresentou os melhores desempenhos na validação estatística, com baixos valores de RMSE e altas correlações ($r > 0,90$) em estações como Serra Talhada. O BR-DWGD também mostrou boa precisão, enquanto o GPM-IMERG e o PERSIANN-CDR exibiram limitações, como superestimação e subestimação de eventos extremos, respectivamente. Na modelagem hidrológica com o CAWM, o CHIRPS e o BR-DWGD foram os mais eficientes, com NSE de 0,60 e 0,56, respectivamente, indicando capacidade satisfatória de simulação de vazões. A análise do NDVI revelou forte sazonalidade na cobertura vegetal, com valores mais altos no período chuvoso (média de 0,67) e redução significativa no período seco (média de 0,32). A vegetação mostrou alta sensibilidade à disponibilidade hídrica, corroborando a dependência do bioma Caatinga em relação à precipitação. Concluiu-se que a integração de dados de sensoriamento remoto e reanálise pode aprimorar a gestão de recursos hídricos em regiões semiáridas, especialmente em áreas com escassez de estações convencionais. O estudo reforça a necessidade de estratégias adaptativas para mitigar os impactos da variabilidade climática e assegurar a sustentabilidade ambiental no semiárido brasileiro.

Palavras-chave: Precipitação; Sensoriamento Remoto; Modelo Hidrológico; Semiárido.

ABSTRACT

Water scarcity in Brazil's semi-arid region, intensified by climatic variability, makes the use of alternative data sources essential for hydrological analysis. This study investigated the spatiotemporal variability of precipitation and its relationship with hydrological dynamics in the Pajeú River Basin, located in the semi-arid region of Pernambuco, Brazil. The research evaluated the performance of precipitation products derived from remote sensing (CHIRPS, GPM-IMERG, PERSIANN-CDR) and reanalysis (BR-DWGD) in comparison with conventional rain gauge data, aiming to validate their applicability in hydrological studies using the lumped hydrological model CAWM (Campus Agreste Watershed Model), covering the period from 2000 to 2023. Additionally, the influence of precipitation on vegetation cover in the Caatinga biome was assessed using the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), obtained from the MODIS sensor aboard the TERRA/AQUA satellites. The results showed that the CHIRPS product had the best statistical validation performance, with low RMSE values and high correlations ($r > 0.90$) in stations such as Serra Talhada. The BR-DWGD dataset also demonstrated good accuracy, while GPM-IMERG and PERSIANN-CDR exhibited limitations, such as overestimation and underestimation of extreme events, respectively. In the hydrological modeling using CAWM, CHIRPS and BR-DWGD were the most efficient, with NSE values of 0.60 and 0.56, respectively, indicating satisfactory streamflow simulation capability. NDVI analysis revealed strong seasonality in vegetation cover, with higher values during the rainy season (average of 0.67) and significant reduction during the dry season (average of 0.32). The vegetation showed high sensitivity to water availability, corroborating the dependence of the Caatinga biome on precipitation. The study concluded that the integration of remote sensing and reanalysis data can enhance water resource management in semi-arid regions, especially in areas lacking conventional monitoring stations. The findings reinforce the need for adaptive strategies to mitigate the impacts of climate variability and ensure environmental sustainability in Brazil's semi-arid region.

Keywords: Precipitation; Remote Sensing; Hydrological Model; Semiarid.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Etapas metodológicas	38
Figura 2 –Área de Estudo	40
Figura 3 –Distribuição da precipitação ao longo dos anos estudados,	42
Figura 4 – Precipitação mensal acumulada das Estações de Afogados da Ingazeira, Flores, Brejinho e Serra Talhada	43
Figura 5 –Precipitação mensal acumulada das Estações de Triunfo, Calumbi, Solidão e Quixaba.	43
Figura 6 – Localização das Estações Pluviométricas, Fluviométrica e Meteorológica na área de estudo	45
Figura 7 – Diagrama do modelo de chuva-vazão do CAWM	52
Figura 8 – Análise de regressão linear para Serra Talhada	56
Figura 9 – Gráfico comparativo entre o produto CHIRPS e a estação Serra Talhada	57
Figura 10 – Simulação histórica dos dados do modelo chuva-vazão para os dados diários na Bacia com 40% e 60% dos dados de calibração	63
Figura 11 – Correlação entre vazão observada e calculada pela simulação	69
Figura 12 – Calibração dos dados históricos do modelo chuva-vazão diário	70
Figura 13 – Série Temporal do NDVI na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú nos períodos seco e chuvoso	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Revisão de Literatura contendo estudos que tratam das relações entre dados de precipitação derivados de SR e medições de campo.	33
Tabela 2– Revisão de Literatura contendo estudos que tratam das relações entre a disponibilidade de dados e estudos hidrológicos na Bacia do Rio Pajeú.	34
Tabela 3 – Identificação dos dados Hidrológicos utilizados.	41
Tabela 4 - Data de Aquisição imagens MOD13A1	48
Tabela 5 – Análise comparativa – Primeira análise	55
Tabela 6 – Análise comparativa – Segunda análise	58
Tabela 7 – Análise comparativa – Terceira análise	58
Tabela 8 – Análise produto BR-DWGD	60
Tabela 9 – Indicadores de eficiência do modelo: calibração	64
Tabela 10 – Indicadores de eficiência do modelo: Validação	64
Tabela 11 – Categorização dos coeficientes de eficiência	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima

BR - DWGD – Brazilian Daily Weather Gridded Data

CAWM – Campus Agreste Watershed Model

CHRS - Center for Hydrometeorology and Remote Sensing

CHIRPS – Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data

CN – Curve Number

EVI - Enhanced Vegetation Index

GEE – Google Earth Engine

GPM – Global Precipitation Measurement

GPCP - Global Precipitation Climatology Project

HEC-HMS - Hydrologic Modeling System

IDW – Inverse Distance Weighting

IMERG - Integrated Multi-satellite Retrievals

JAXA - Japan Aerospace Exploration Agency

MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

NASA - National Aeronautics and Space Administration

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration

NSE - Coeficiente de Eficiência Nash-Sutcliffe

PERSIANN-CDR - Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks Climate Data Record

RMSE – Root Mean Square Error

SAVI – Soil-Adjusted Vegetation Index

SEVIRI NDVI - Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager

SPI - Standardized Precipitation Index

SM2RAIN-ASCAT - Soil Moisture to Rain

SR – Sensoriamento Remoto

TRMM – Tropical Rainfall Measuring Mission

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

USGS – United States Geological Survey

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	26
2.1 GERAL	29
2.2 ESPECÍFICOS	29
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	30
3.1 UTILIZAÇÃO DE DADOS DE SR E PRODUTOS DE REANÁLISE COMO FERRAMENTA DE APOIO A ESTUDOS HIDROLÓGICOS	30
3.2 RELAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO E A COBERTURA VEGETAL DO BIOMA CAATINGA	35
4. METODOLOGIA	38
4.1 ÁREA DE ESTUDO	39
4.2 AQUISIÇÃO DE DADOS	41
4.2.1 Dados Hidrológicos Medidos	41
4.2.2 Dados Hidrológicos derivados de SR e Reanálise	45
4.2.3 Produtos de uso e cobertura do solo	48
4.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS	49
4.3.1 Validação dos dados de precipitação de SR	49
4.3.2 Investigação da influência da utilização de diferentes produtos de precipitação em modelos hidrológicos de chuva-vazão	51
4.3.3 Análise da relação de influência da sazonalidade da precipitação na cobertura vegetal semiárida	54
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
5.1 AVALIAÇÃO DOS DADOS DE SR E REANÁLISE	55
5.3 MODELAGEM HIDROLÓGICA	61
5.4 INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA COBERTURA VEGETAL SEMIÁRIDA	72
5 CONCLUSÃO	75
APÊNDICE A – CÓDIGO GEE PARA DOWLOAD DOS DADOS BR-DWGD	86
APÊNDICE B – CÓDIGO GEE PARA DOWLOAD DOS DADOS PERSIANN-CDR: Precipitation Estimation From Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks-Climate Data Record	89
APÊNDICE C – CÓDIGO GEE PARA DOWLOAD DOS DADOS CHIRPS	90

1. INTRODUÇÃO

A escassez de água é uma questão urgente que ameaça o meio ambiente e a sobrevivência humana. No Nordeste brasileiro, especialmente na região semiárida, a vulnerabilidade climática é elevada (Gonçalves *et al.*, 2023). A precipitação, de curta duração e alta intensidade nos trópicos, influencia a agricultura e modifica a paisagem (Marengo; Cunha; Alves, 2016).

A irregularidade das chuvas provoca secas periódicas. As mudanças climáticas podem aumentar a ocorrência de secas, prolongando sua duração e intensidade, o que pode impactar diretamente na qualidade e disponibilidade de água na região (Coutinho *et al.*, 2017).

O efeito das mudanças climáticas nas regiões áridas e semiáridas já mostra uma notável diminuição dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas (Bernabé-Crespo; Cantos; Canizares; 2023). Isso evidencia a necessidade de repensar o planejamento hidrológico devido à pressão constante sobre os recursos para diferentes usos – econômicos, ambientais, patrimoniais – devido à sua projetada tendência decrescente (Martinez-Valderrama *et al.*, 2023).

A precipitação é um fator essencial nos processos hidrológicos (Cristiano *et al.*, 2017). Nesse sentido, a distribuição espaço-temporal das chuvas tem grande impacto no ciclo hidrológico, na segurança hídrica e na gestão dos recursos hídricos (Santos, 2020). Melhorar os métodos de medição de precipitação é crucial em muitos estudos dependentes da climatologia, como monitoramento de secas, previsão de enchentes e gerenciamento de recursos hídricos (Alsilibe *et al.*, 2023).

A compreensão das interações entre a água terrestre, a precipitação e o verde da vegetação são cruciais para prever os futuros ciclos hídricos, em regiões áridas e semiáridas. Neste contexto, o Sensoriamento Remoto (SR) é uma ferramenta importante para a pesquisa hidrológica, permitindo estimar a precipitação pluviométrica por meio de imagens de satélite com alta resolução espaço-temporal, por meio de sensores como o *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS), *Global Precipitation Measurement* (GPM-IMERG) (Sidi *et al.*, 2020), *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks Climate Data Record* (PERSIANN-CDR) e o produto de reanálise *Brazilian Daily Weather Gridded Data* (BR - DWGD). O PERSIANN-CDR utiliza redes neurais artificiais para estimar precipitação a partir de imagens de satélite, enquanto

o BR - DWGD é um conjunto de dados de reanálise que integra diferentes fontes meteorológicas das informações das estações meteorológicas de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) para fornecer estimativas detalhadas da precipitação.

Bounab *et al.* (2025), comparam quatro produtos diferentes de precipitação por satélite com alta resolução espacial e temporal: GPM-IMERG -IMERG, CHIRPS, PERSIANN-CDR, *Soil Moisture to Rain* (SM2RAIN-ASCAT) e um produto de reanálise (ERA5) e simularam a vazão para oito modelos hidrológicos concentrados, em regiões semiáridas da África. Bodjrénou *et al.* (2025), avaliaram a precisão de quatro dados de precipitação baseados em satélite:IMERGv7 Late, IMERGv6 Early, GSMAP-NRT e PERSIANN-CDR -DIR, para estimativa de precipitação e modelagem hidrológica (chuva-vazão) na bacia de Ouémé, por meio do modelo hidrológico distribuído *Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS). Um modelo hidrológico concentrado trata a bacia hidrográfica como uma única unidade espacial, representando seus processos hidrológicos de forma agregada, enquanto um modelo distribuído considera a variabilidade espacial da bacia, dividindo-a em células ou subáreas para simular processos como infiltração e escoamento de forma mais detalhada (Nobre *et al.*, 2021).

Alsilibe *et al.* (2023) avaliaram a precisão do produto CHIRPS na estimativa e detecção de eventos de precipitação em região semiárida da Síria. Rachidi *et al.* (2023), avaliaram a precisão dos quatro produtos de precipitação de satélite, como o sensor CHIRPS e o PERSIANN-CDR através de uma comparação com as medições terrestres sobre uma área atlântica.

Luiz-Silva *et al.* (2025) utilizou dados do BR-DWGD para analisar a climatologia e as tendências em 20 índices climáticos extremos associados à temperatura do ar e à precipitação na Amazônia Legal Brasileira (BLA). Rasera *et al.* (2023), avaliaram a qualidade dos dados climáticos em grade BR - DWGD, para preencher lacunas de estações meteorológicas reais no contexto do desenvolvimento de modelos agrometeorológicos, para estimativa de rendimento de laranja doce nas regiões Sudeste e Nordeste do Brasil.

Bodjrénou *et al.* (2025), avaliou a precisão de quatro dados de precipitação baseados em satélite quase em tempo real, a saber, IMERGv7 Late, IMERGv6 Early, GSMAP-NRT e PERSIANN-CDR, para estimativa de precipitação e modelagem hidrológica na bacia de Ouémé (África Ocidental). Xavier *et al.* (2021), avaliaram o

CHIRPS versão 2, MSWEP versão 2 e PERSIANN-CDR, em comparação com o gridBR, como entradas médias e extremas diárias representadas em uma escala mensal e suas respectivas tendências sazonais de precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Mearim (MDB), estado do Maranhão, Brasil.

Entretanto, Souza *et al.* (2023) afirmam que embora um número considerável de estudos tenha abordado a variabilidade espacial dos padrões de precipitação na literatura, ainda há uma carência de pesquisas com foco nas estruturas de dependência espacial para vários regimes hidrológicos (de seco a úmido) com base em dados de SR, principalmente no semiárido brasileiro.

Uma das bacias hidrográficas que possui essa característica é a Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú está localizada no sertão de Pernambuco, no Nordeste do Brasil (França *et al.*, 2019). Devido ao clima semiárido, a gestão da água é um desafio constante, e a construção de barragens e açudes é uma prática comum para armazenar água durante a estação chuvosa e garantir o abastecimento durante os períodos de seca. Segundo Diaz, Pereira e Nóbrega (2018), a bacia do Rio Pajeú, tem sido recorte de estudo de diversas pesquisas hidro climatológicas por sua grande área, maior disponibilidade de dados e diversidade geomorfológica e climatológica.

Neste contexto, informações hidrológicas de hidráulicas tornam-se elementos importantes para proporcionar medidas de gestão dos recursos hídricos. As tecnologias para medições remotas de precipitação e de reanálise estão em constante aperfeiçoamento, com tempos de amostragem de 30 min e altas resoluções espaciais de 0,05 - 0,1°, permitindo sua aplicação em tarefas de planejamento sazonal e análise regional, bem como sua integração com observações terrestres. A necessidade de tais informações é causada principalmente pelo baixo número de estações meteorológicas estacionárias e automatizadas em algumas regiões (Popovych; Dunaieva, 2021).

Este estudo tem como objetivo avaliar a relação entre os dados de precipitação obtidos por sensoriamento remoto e por estações de campo, investigando suas implicações na dinâmica hidrológica e na cobertura vegetal do bioma Caatinga. Para isso, serão utilizados produtos como CHIRPS, BR - DWGD, GPM-IMERG e PERSIANN-CDR, numa série temporal de 2000 a 2020, com aplicação de ferramentas estatísticas, modelagem hidrológica e índices espectrais na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú, localizada no semiárido pernambucano, Brasil.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar o desempenho de diferentes fontes de dados de precipitação e sua influência nas relações hidrológicas e na dinâmica da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Rio Pajeú, utilizando modelos estatísticos e hidrológicos para validar a representatividade desses dados no período de 2000 a 2020.

2.2 ESPECÍFICOS

1. Validar dados de precipitação obtidos pelos produtos de sensoriamento remoto CHIRPS, GPM-IMERG -IMERG, PERSIANN-CDR, avaliando o desempenho dos dados, por meio de análise de parâmetros estatísticos, utilizando como referência dados medidos em estações pluviométricas na bacia hidrográfica do Rio Pajeú.
2. Validar dados de precipitação obtidos pelo produto de reanálise BR - DWGD, avaliando o desempenho dos dados, por meio de análise de parâmetros estatísticos, utilizando como referência dados medidos em estações pluviométricas na bacia hidrográfica do Rio Pajeú.
3. Avaliar a capacidade dos dados de precipitação de satélite (CHIRPS, GPM-IMERG e PERSIANN-CDR) e reanálise (BR - DWGD) em reproduzir vazões utilizando modelo chuva-vazão, analisando o impacto da precipitação nos resultados da simulação, por meio do modelo hidrológico *Campus Agreste Watershed Model* (CAWM).
4. Investigar a variabilidade espaço-temporal de uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Pajeú, analisando a influência da precipitação na dinâmica da cobertura vegetal da Caatinga por meio do índice de vegetação NDVI derivado do sensor MODIS, ao longo do período de 2000 a 2020.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 UTILIZAÇÃO DE DADOS DE SR E PRODUTOS DE REANÁLISE COMO FERRAMENTA DE APOIO A ESTUDOS HIDROLÓGICOS

A precipitação, uma das variáveis mais críticas, é o resultado de vários processos complexos na atmosfera que variam tanto no espaço quanto no tempo (Baratta *et al.*, 2003). Um problema climático significativo que a sociedade enfrenta hoje está associado ao aquecimento global, mudança nos padrões de chuva e seu impacto nos recursos hídricos superficiais (Rachidi *et al.*, 2023).

Uma rede pluviométrica é geralmente definida como a coleta de estações pluviométricas em uma região. Essa rede gera medições pontuais de chuva que, se densas o suficiente, podem representar toda a região e consideram a variabilidade espacial da chuva. No entanto, se a área de estudo não contiver um número suficiente de estações, a estimativa de precipitação não será eficaz.

Entretanto, muitas bacias hidrográficas e bacias fluviais do mundo não são medidas. Este é um desafio significativo, especialmente em projetos de gestão de recursos hídricos que lidam com estimativas e distribuições de precipitação. Um conjunto de dados de precipitação preciso e confiável é crucial, pois este é o componente mais importante e fundamental do ciclo hidrológico (Boluwade, 2024).

Os dados de séries temporais contínuas baseados em satélite de SR tornaram-se o meio mais confiável para a realização de estudos de longo prazo em nível regional de uso e cobertura do solo em regiões semiáridas nos últimos anos (SINGH *et al.*, 2020). Além disso, o avanço contínuo da tecnologia de sensoriamento remoto levou ao desenvolvimento de vários produtos de precipitação por satélite (SPPs), a exemplo do produto CHIRPS, GPM-IMERG e PERSIANN-CDR que se mostraram ferramentas acessíveis para suprir o déficit presente no banco de dados obtidos por métodos observacionais.

Portanto, produtos de precipitação derivados de SR, tornam-se uma alternativa para suprir este déficit. Neste contexto, ao examinar a correlação de precipitação com a cobertura vegetal e disponibilidade de água, a análise dos impactos da variabilidade das chuvas na dinâmica de uso do solo em regiões semiáridas por meio de dados de sensoriamento remoto podem contribuir para podem agregar auxílio a tomadas de decisões relacionadas à segurança hídrica, estudos de nexos vegetação-água,

reflorestamento, entre outros aspectos. Facilitando assim a formulação de estratégias e políticas eficazes para a gestão sustentável dessas regiões.

A missão *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), lançada em 1997, estabeleceu as bases para estimativas globais de precipitação ao combinar radiômetros de micro-ondas e dados de sensores infravermelhos (Hou *et al.*, 2014), embora encerrada em 2015, seus avanços tecnológicos foram fundamentais para a criação da missão GPM-IMERG, que aumentou a precisão espacial e temporal das estimativas de precipitação, com resoluções de 0,1° e 30 minutos, respectivamente (Wang *et al.*, 2018). Segundo Popovych e Dunaieva (2021) esses avanços permitem mais de 20 estimativas georreferenciadas adicionais de precipitação em áreas pouco monitoradas.

Produtos como o CHIRPS, GPM-IMERG e PERSIANN-CDR têm sido amplamente utilizados para preencher lacunas de dados em estudos hidrológicos (Boluwade, 2020). Enquanto o CHIRPS combina dados de satélite e estações pluviométricas, permitindo maior precisão em regiões áridas, o GPM-IMERG oferece cobertura quase global com uma abordagem multissatélite (Huffman *et al.*, 2007). Estudos mostram que, apesar de ambos os produtos apresentarem superestimações em relação aos dados de estações meteorológicas, eles são ferramentas valiosas para modelagens hidrológicas e planejamento de uso da água em bacias hidrográficas semiáridas (Huffman *et al.*, 2007; Kidd; Huffman, 2011; Funk *et al.*, 2015; Xie, 2017).

Segundo Boluwade (2024), alguns desses produtos precisam ser corrigidos para viabilizar aplicações práticas confiáveis. A utilização de estimativas de precipitação por satélite também é essencial para compreender eventos extremos, como secas e inundações, que afetam significativamente as regiões semiáridas.

A capacidade dos produtos de satélite, como TRMM e GPM-IMERG, de capturar essas condições extremas foi aprimorada ao longo do tempo, mas ainda enfrenta desafios devido à variabilidade topográfica e à complexidade dos sistemas meteorológicos. Por exemplo, no Nordeste do Brasil, 80% das nuvens sobre áreas costeiras são classificadas como rasas e convectivas, tornando a detecção de chuvas intensas um desafio (Palharini *et al.*, 2020).

Esses avanços tecnológicos não apenas aprimoram a capacidade de previsão hidrológica, mas também oferecem subsídios para a gestão sustentável dos recursos hídricos. A integração dos dados de satélite com modelos hidrológicos, como o SWAT (Soil e Water Assessment Tool) (Arnold *et al.*, 1990), permite simulações mais

precisas do balanço hídrico em bacias hidrográficas e o planejamento estratégico para adaptação às mudanças climáticas (Schuol *et al.*, 2008). No caso da bacia do Rio Congo, por exemplo, produtos como TMPA, IMERG e CHIRPS mostraram-se eficazes na reprodução de picos de vazão e sazonalidade, demonstrando seu potencial para aplicações em gestão de recursos hídricos (Boluwade, 2024).

O PERSIANN-CDR é um produto desenvolvido pelo *Center for Hydrometeorology and Remote Sensing* (CHRS) da Universidade da Califórnia, Irvine (UCI) (Bounab *et al.*, 2025). Ele disponibiliza estimativas de precipitação com resolução espacial de 0,04° e temporal de 3 horas, abrangendo o período de 1983 até o presente e cobrindo a faixa global entre 60° S e 60° N (Ashouri *et al.*, 2015).

Esse produto utiliza redes neurais artificiais para estabelecer a relação entre as taxas de precipitação e as temperaturas do topo das nuvens, obtidas a partir de sensores infravermelhos de onda longa embarcados em satélites geoestacionários (Chathuranika; Ismael, 2025). O PERSIANN-CDR -CCS representa a versão mais recente da linha de produtos PERSIANN-CDR, combinando algoritmos dos modelos PERSIANN-CDR -CCS e PERSIANN-CDR (Bodjrenou *et al.*, 2025). Sua abordagem permite explorar dados de satélites GEO como entrada, resultando em um conjunto de dados de precipitação de alta resolução espaço-temporal e um longo histórico de registros (Sadeghi *et al.*, 2021).

No Brasil, as informações meteorológicas oficiais são fornecidas pelo INMET, responsável pela operação das estações que realizam medições de variáveis como radiação solar, velocidade do vento, precipitação, umidade relativa e temperaturas máxima, mínima e média (INMET, 2024). Os dados coletados são de acesso público e representam uma das principais fontes climáticas utilizadas para estimar a produtividade agrícola no país (Rasera *et al.*, 2023). Embora existam quase mil estações registradas em 2022, ainda há lacunas nas medições. Além disso, a distribuição desigual dessas estações em algumas regiões limita a disponibilidade de dados locais, tornando necessário o uso de informações provenientes de áreas mais distantes (Duarte; Sentelhas, 2020).

Uma alternativa aos dados obtidos diretamente em campo, como os disponibilizados pelo INMET, são os dados meteorológicos em grade (Van Wart *et al.*, 2015). Esses dados representam informações climáticas distribuídas sobre uma área, específica, organizadas em uma malha de pontos regularmente espaçados (Shepard, 1968).

Existem diversas abordagens para a geração desses conjuntos de dados, sendo a interpolação de medições in situ uma das mais utilizadas, devido à sua ampla cobertura temporal e alta precisão (Wart; Grassini; Cassman, 2013). Além disso, os dados em grade podem ser derivados de reanálises, simulações de modelos numéricos e combinações de diferentes fontes de informação (King; Alexander; Donat, 2013). Um exemplo desse tipo de dado é o BR - DWGD, que reúne informações climáticas do Brasil, como temperatura máxima e mínima, precipitação, radiação solar, umidade relativa, vento e evapotranspiração, abrangendo o período de 1961 a 2020 (e até 2022 para precipitação), com uma resolução espacial de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ (Xavier et al., 2022) Esse conjunto foi gerado por meio da interpolação de dados coletados em milhares de estações meteorológicas e pluviômetros (Rasera et al., 2023). A Tabela 1, apresenta uma revisão bibliográfica de estudos que analisam a utilização de produtos de precipitação derivados de SR e reanálise sua relação com o ciclo hidrológico.

Tabela 1– Revisão de Literatura contendo estudos que tratam das relações entre dados de precipitação derivados de SR e medições de campo.

Artigo	Objetivo	Principais Resultados
BOLUWADE, A. <i>Spatial-Temporal Evaluation of Satellite-Derived Rainfall Estimations for Water Resource Applications in the Upper Congo River Basin. Remote Sensing</i> , v. 16, n. 20, p. 3868, 2024. http://dx.doi.org/10.3390/rs16203868	Quantificar a incerteza dos produtos de satélite: CHIRPS; TAMSAT; TRMM TMPA; e as novas GPM-IMERG early run (IMERG-ER), late run (IMERG-LR) e final run (IMERG-FR) usando-os como parâmetro de entrada em um modelo hidrológico.	1) TMPA, IMERG-FR e CHIRPS capturaram os picos de vazão e reproduziram corretamente a sazonalidade e o tempo das descargas mensais. 2) TAMSAT, IMERG-ER e IMERG-LR superestimaram os picos de vazão.
XAVIER, A. C. F.; RUDKE, A. P.; SERRÃO, E. A. O.; TERASSI, P. M. B.; PONTES, P. R. M. <i>Evaluation of Satellite-Derived Products for the Daily Average and Extreme Rainfall in the Mearim River Drainage Basin (Maranhão, Brazil). Remote Sensing</i> , v. 13, n. 21, p. 4393, 31 out. 2021.. http://dx.doi.org/10.3390/rs13214393	Avaliar o CHIRPS versão 2, MSWEP versão 2 e PERSIANN-CDR, em comparação com o gridBR, como entradas médias e extremas diárias representadas em uma escala mensal e suas respectivas tendências sazonais de precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Mearim (MDB), estado do Maranhão, Brasil..	1) Os melhores produtos para estimar a precipitação média diária mensal na MDB são o CHIRPS e o PERSIANN-CDR, especialmente para meses chuvosos (dezembro a maio). 2) Para extremos diários na escala mensal, o melhor RES é PERSIANN-CDR.
XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W.; ALVES, A. I.. <i>New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020)</i> . International Journal Of Climatology, v. 42, n. 16, p. 8390-8404, jun. 2022. . http://dx.doi.org/10.1002/joc.7731	Desenvolver um novo conjunto de dados climáticos diários para o Brasil, com alta resolução espacial ($0.25^\circ \times 0.25^\circ$), de 1961 a 2020. Esse dataset busca melhorar as versões anteriores ao incorporar mais estações meteorológicas do INMET e pluviométricas da ANA, métodos avançados de interpolação e controle de qualidade.	O artigo apresenta um avanço significativo na disponibilidade e qualidade de dados climáticos diários para o Brasil, sendo uma ferramenta valiosa para estudos ambientais e de mudanças climáticas, com a criação da base de reanálise BR – BR - DWGD.

Fonte: O autor (2025).

A Tabela 2 apresenta uma revisão bibliográfica de estudos que analisam as relações entre dados de precipitação e análises hidrológicas na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú, Pernambuco – BR.

Tabela 2– Revisão de Literatura contendo estudos que tratam das relações entre a disponibilidade de dados e estudos hidrológicos na Bacia do Rio Pajeú.

Artigo	Objetivo	Principais Resultados
PORTO, S. V. A.; VIANA, S. F. J.; GALVINCIO, D. J. Análise da validação de dados dos CHIRPS na bacia hidrográfica do rio Pajeú. Journal of Hyperspectral Remote Sensing, v.13, n.07. p. 844-857, 2023.	Analisar estimativas do produto CHIRPS na bacia do Rio Pajeú, validando com dados de chuva observados <i>in situ</i> .	Para a região estudada as estimativas de chuva do satélite conseguem representar melhor o período seco na região, superestimando os meses mais chuvosos.
JUNIOR, J. C. R., TAVARES, D. M. F., FARIAS, V. E. M., DE SANTANA, A. C. A., MONTENEGRO, S. M. G. L., OLIVEIRA, L. M. M., PAIVA, A. L. R. Análise estatística multivariada de variáveis hidrológicas na bacia hidrográfica do rio Pajeú - PE. Revista Brasileira de Geografia Física v.16, n.6, p. 3246-3262, 2023.	Aplicar uma análise multivariada de agrupamentos na bacia hidrográfica do rio Pajeú, em Pernambuco, para constatar o comportamento espacial da precipitação, evapotranspiração e escoamento superficial.	O conjunto de dados das variáveis hidrológicas da bacia hidrográfica do rio Pajeú – PE indicou uma área com grande variabilidade de precipitação, evapotranspiração e escoamento superficial na série histórica adotada
FRANÇA, L. M. de A.; DIAZ, C. C. F.; REIS, J. V. dos; COSTA, V. S. de O.; GALVINCIO, J. D. Efeitos da precipitação na vazão da bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE. Revista Brasileira de Geografia Física, [S. l.], v. 12, n. 6, p. 2377–2391, 2019. DOI: 10.26848/rbgf.v12.n.6.p2377-2391 .	Aplicar métodos estatísticos no preenchimento de falhas para análise da espacialização das vazões. Foram utilizados dados de precipitação e vazão para algumas localidades da bacia hidrográfica do rio Pajeú dos anos de 1994 a 2013 para a regressão linear e de 1964 a 2014 para a vazão específica.	1) Os resultados demonstram que não há relação entre precipitação e vazão durante o período analisado. 2) Com a análise de regressão linear entre a vazão e a precipitação, foi demonstrado que para essa bacia hidrográfica essas variáveis não possuem significância estatística.
SOARES, D. B.; NÓBREGA, R. S.; GALVINCIO, J. D. Indicadores climáticos de desertificação na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú, Pernambuco. Revista Brasileira de Climatologia, [S. l.], v. 22, 2018. DOI: 10.5380/abclima.v22i0.58557.	Analisar os indicadores climáticos de desertificação na bacia hidrográfica do rio Pajeú, buscando-se identificar tendência climática na precipitação, no índice de aridez e no índice de precipitação padronizada.	Em três localidades situadas na parte sul da bacia hidrográfica do rio Pajeú foram observadas tendências negativas na precipitação, no índice de aridez e no índice de precipitação padronizada com alta significância estatística, demonstrando que esta região próxima ao rio São Francisco tende a se tornar mais seca.
DIAZ, C. C. F.; PEREIRA, J. A. S.; NÓBREGA, R. S. Comparação de dados estimados por dois diferentes métodos para o preenchimento de falhas de precipitação pluvial na bacia do rio Pajeú, Pernambuco, Brasil. Revista Brasileira de Climatologia, v. 22, p. 324-339, 2018.	comparar os dados gerados pelo método de preenchimento de falhas da ponderação regional (PR) com os dados de precipitação estimados pela TRMM com fins de validação e eficácia de ambos os métodos para estudos climatológicos futuros.	há uma forte correlação entre os dois tipos de dados estimados, bem como poucas disparidades entre os pares de dados e forte relação entre os dados estimados pela PR e o TRMM.

Fonte: O autor (2025).

3.2 RELAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO E A COBERTURA VEGETAL DO BIOMA CAATINGA

Além da precipitação a vegetação é um elemento fundamental dos ecossistemas terrestres. É o elo natural entre o solo, a água e o meio ambiente e desempenha um papel essencial no balanço de carbono terrestre e na regulação do sistema climático (Weie; Wan, 2022). Além disso, a vegetação como componente essencial dos ecossistemas terrestres é importante para regular o balanço hídrico em escala regional e global (Sidi *et al.*, 2020). No semiárido Nordestino, a vegetação é formada pelo bioma Caatinga, tendo seu vigor vegetativo atrelado a presença da precipitação.

No semiárido Nordestino, o déficit pluviométrico altera e impacta a resposta vegetativa e os padrões de crescimento. Portanto, um estudo integrado entre a dinâmica da precipitação e suas consequências na variabilidade espacial vegetação, torna-se um fator importante para a compreensão das modificações ocorridas no ciclo hidrológico nessa região, proporcionadas por eventos de seca e uso desordenado da terra.

O armazenamento de água terrestre inclui a quantidade total de água armazenada em águas subterrâneas, águas do solo, águas superficiais (lagos, rios e reservatórios), geleiras e neve. É um componente importante do ciclo global da água (Chu *et al.*, 2019). Também desempenha um papel vital na proteção do meio ambiente ecológico e na formação de eventos hidrológicos extremos. Além disso, a água terrestre também é um pré-requisito importante para manter a vegetação verde, regulando cerca de metade do crescimento da vegetação nos ecossistemas globais e, assim, influenciando fortemente o ciclo global do carbono (Chen *et al.*, 2019).

O estudo dos mecanismos de resposta da vegetação às mudanças no armazenamento de água terrestre tornou-se um importante elemento de conservação ecológica regional e desenvolvimento saudável, que tem impactos ecológicos, sociais e econômicos significativos (Weie; Wan, 2022).

No semiárido brasileiro, formado pelo Bioma Caatinga, o crescimento da vegetação está diretamente associado a precipitação, bem como a recarga dos reservatórios utilizados para abastecimento, e o desenvolvimento regional.

Florestas sazonalmente secas como a Caatinga possuem uma vegetação dinâmica e heterogênea, em função de diferentes padrões de precipitação e solo,

além do alto grau de resiliência e apesar de sua suscetibilidade natural (Ribeiro *et al.*, 2016; Silva Junior *et al.*, 2022). Nessas áreas a intensidade verde da cobertura vegetal está diretamente associada à incidência pluviométrica anual (Hein *et al.*, 2011). Neste contexto, o SR é uma ferramenta importante para a pesquisa hidrológica, permitindo estimar a precipitação pluviométrica e analisar a variação do uso do solo, por meio de índices espectrais, como o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) derivado de imagens geradas por sensores como o sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo dos satélites TERRA e AQUA, considerado um bom indicador para identificar áreas de vegetação e mudanças de longo prazo em sua condição (Sidi *et al.*, 2020).

Dentre os estudos que investigaram as relações entre a vegetação e a precipitação em ambientes semiáridos destacam-se:

De acordo com Da Silva Junior *et al.* (2024), foram investigadas as variações sazonais na cobertura vegetal da Caatinga nas proximidades do Reservatório de Serrinha II, em Pernambuco, Brasil. Para isso, utilizaram imagens do satélite MSI-Sentinel 2, capturadas entre 2016 e 2021, abrangendo os períodos de estiagem e de chuva. A análise considerou as respostas espectrais dos índices NDVI e *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), correlacionadas ao Índice Padronizado de Precipitação (SPI) e às variações no volume do reservatório. Os resultados demonstraram que os índices refletiram um aumento da vegetação durante o período chuvoso e uma redução no período de seca.

Da Silva Junior *et al.* (2022), analisaram o comportamento das mudanças sazonais na vegetação do bioma Caatinga, identificando possíveis alterações no cenário, por meio da sensibilidade espectral do NDVI e do Albedo, considerando uma análise espaço temporal (2015-2019) por meio dos produtos MOD13Q1 e MOD09A1 do sensor MODIS. Os resultados indicaram que houve um comportamento inversamente proporcional entre o albedo e vegetação integrados aos dados de precipitação em ambos os momentos climáticos analisados.

Oliveira-Junior *et al.* (2022), avaliaram a estimativa espaço-temporal de incêndios no bioma Caatinga entre 1998 e 2018. A variação espaço-temporal é estimada estatisticamente (estatística descritiva, exploratória e multivariada) a partir do NDVI, *Enhanced Vegetation Index* (EVI) derivados do sensor MODIS TERRA-AQUA e *Standardized Precipitation Index* (SPI) cujos dados de precipitação foram obtidos por meio do CHIRPS. Observou-se que a vegetação da Caatinga é altamente

sensível às alterações no regime pluviométrico, com períodos de seca severa, como em 2015 e 2016, resultando em degradação ambiental significativa. Durante esses períodos, houve um aumento de áreas com vegetação esparsa, indicando um impacto direto das mudanças climáticas e das variações de precipitação sobre a paisagem do bioma.

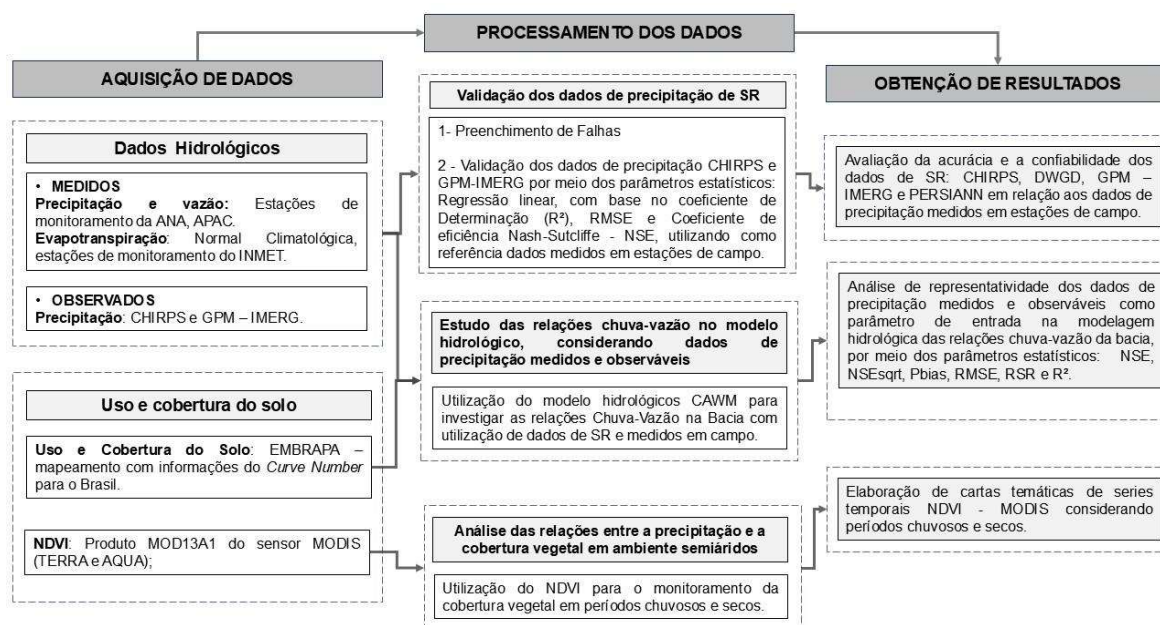
Cunha *et al.* (2020) investigaram padrões espaciais e temporais de desmatamento em uma área da Caatinga, comparando a precisão de detecção do das áreas desmatadas de três índices espectrais, ou seja, o albedo da superfície (SA), o EVI e o NDVI, derivados de imagens dos sensores TM a bordo do satélite Landsat 5 e ETM+ a bordo do satélite Landsat 7. Os dados de precipitação utilizados para compreender as relações entre a vegetação e a precipitação foram obtidos do conjunto de dados CHIRPS. Segundo os referidos os autores, o produto CHIRPS traduziu bons resultados na relação vigor vegetativo – precipitação.

Barbosa *et al.* (2019) analisaram os padrões espaço-temporais do impacto da seca na vegetação da Caatinga entre 2008 e 2016. Foram utilizados precipitação diária baseada em pluviômetro para compará-la com dados de NDVI de 10 dias derivados do *Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager* (SEVIRI - MSG SEVIRI NDVI) para a escala local para regional, levando em consideração o fato de que a disponibilidade de dados de pluviômetro neste ecossistema é deficiente e escassa. Como resultado, o impacto da seca (2012–2015) por meio da dinâmica do déficit de chuvas influenciou a dinâmica da seca vegetativa na vegetação da Caatinga, onde há uma forte diminuição na atividade da vegetação, contrastando com as terras agrícolas irrigadas que apresentam pouca sensibilidade à seca.

4. METODOLOGIA

A metodologia esta compreendida em três etapas: aquisição de dados, processamento de dados e obtenção e análise dos resultados. A Figura 1 representa o fluxograma das etapas metodológicas desenvolvidas.

Figura 1- Etapas metodológicas



Fonte: O Autor (2025).

Na primeira etapa, foram coletados dados hidrológicos (medidos, observados e de reanálise), hidráulicos, meteorológicos e as imagens da cobertura terrestre. Os dados de precipitação, vazão e evapotranspiração foram obtidos de estações de monitoramento localizadas na área de estudo, disponibilizados pelas bases de dados da ANA, Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e INMET.

Os dados orbitais de precipitação foram extraídos dos produtos CHIRPS, GPM-IMERG e PERSIANN-CDR. Também foi considerado para análise dos dados de precipitação o produto de reanálise BR - DWGD. As imagens de satélite relacionadas à cobertura terrestre foram obtidas pelo sensor MODIS, embarcado nos satélites TERRA e AQUA. Foi realizada a seleção de cenas com boas resoluções espaciais e baixa cobertura de nuvens, de forma a garantir a qualidade das análises comparativas.

Na segunda etapa, os dados de precipitação medidos pelas estações pluviométricas passaram por uma análise de consistência. Posteriormente, os dados de precipitação obtidos dos produtos CHIRPS, BR - DWGD, GPM-IMERG e PERSIANN-CDR foram validados através de parâmetros estatísticos, utilizando como referência os dados medidos nas estações de campo da bacia hidrográfica.

Os dados de precipitação foram integrados ao modelo hidrológico CAWM para avaliar as relações dos diferentes produtos de precipitação e a vazão medida por uma estação fluviométrica no modelo hidrológico chuva-vazão na bacia de estudo. A análise comparou a vazão medida em campo com a vazão calculada pelo modelo, utilizando diferentes fontes de dados de precipitação. A representatividade dos dados de entrada foi investigada por meio de estatísticas, permitindo identificar a adequação das diferentes fontes de precipitação na simulação hidrológica e aprimorar a compreensão dos processos hidrológicos na região semiárida.

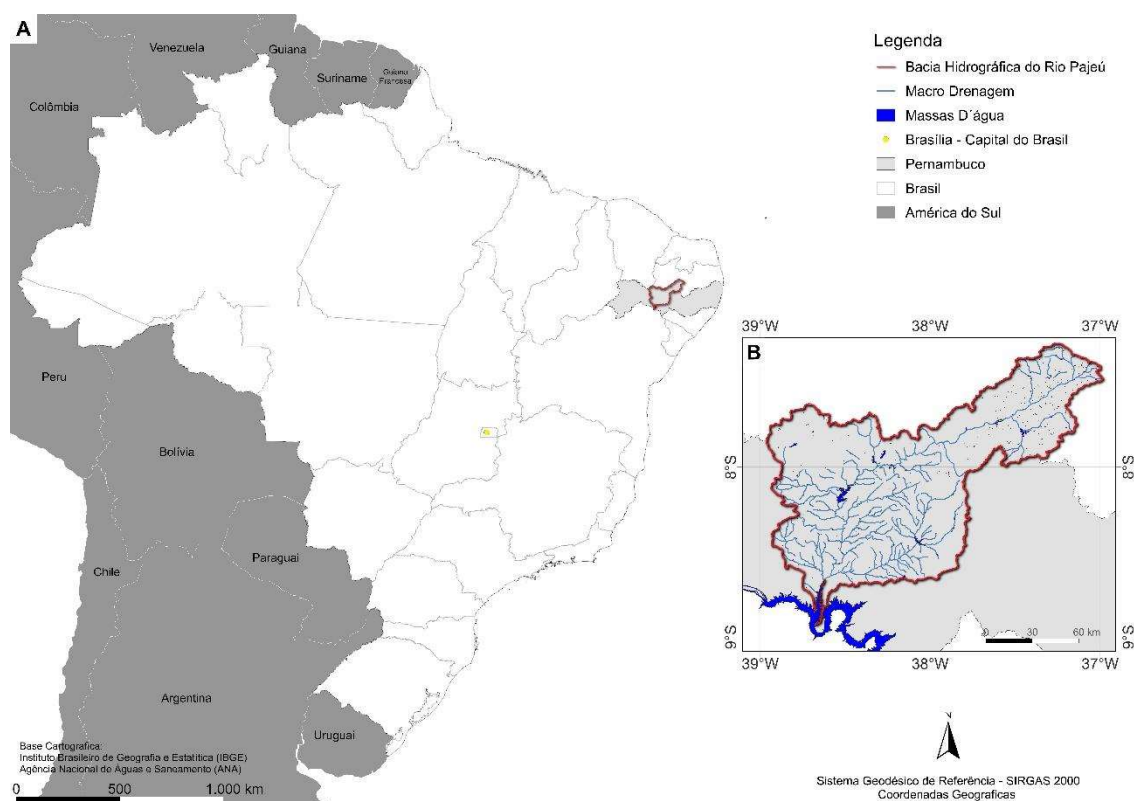
Por fim, foram analisadas as relações entre a dinâmica da precipitação e a vegetação em ambientes semiáridos, utilizando o índice NDVI derivado do produto MOD13A1 do sensor MODIS (TERRA e AQUA). Foram geradas cartas temáticas de uso e cobertura do solo, representando os períodos chuvosos (meses com alto volume de precipitação) e secos (meses com baixo volume de precipitação). Essas análises permitiram compreender a interação entre os padrões de precipitação e a resposta da vegetação ao longo do tempo.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú (Figura 2) localiza-se no submédio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, no estado de Pernambuco, entre as latitudes entre 07° 16' 20" S e 08° 56' 01" S de latitude, e 36°59' 00" W e 38°57' 45" W de longitude.

A bacia ocupa uma área de 16.686 km², que se estende desde o sul até o norte da área central do estado. Sua extensão representa 17% da área de Pernambuco (Da Silva Junior *et al.*, 2022). O Rio Pajeú percorre 353 km até desaguar no lago formado pela Barragem de Itaparica, no Rio São Francisco.

Figura 2- Área de Estudo



Fonte: O Autor (2025).

A mesorregião do sertão do Pajeú é a mais seca do estado de Pernambuco (Salgueiro; Montenegro, 2008). O clima na região é semiárido, BShw' segundo a classificação climática de Koppen, com temperatura média mensal de 24°C, apresentando uma evapotranspiração potencial superior a 1.200 mm/ano e baixa precipitação. (França *et al.*, 2019).

O período chuvoso, que ocorre entre janeiro e abril, é influenciado pelo deslocamento anual da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), principal sistema atmosférico atuante na região. No final do verão, a ZCIT se posiciona ao sul do equador, contribuindo para uma precipitação anual total que varia entre 500 e 1100 mm (Ribeiro, 2016).

A formação vegetal sobre a superfície estudada é a Caatinga hiperxerófila, característica das áreas mais secas do Sertão e que são fortemente influenciadas, principalmente, pelas condições climáticas e pedológicas (Feitosa, 2012; Diaz; Pereira; Nóbrega *et al.*, 2018; Da Silva Junior *et al.*, 2023). A vegetação do bioma Caatinga é influenciada por fatores como a combinação de chuvas escassas e

altamente irregulares, além da presença de solos naturalmente pobres em fertilidade. Esses solos, geralmente rasos e pedregosos, estão frequentemente relacionados a afloramentos rochosos na região (Araújo Filho, 2011).

4.2 AQUISIÇÃO DE DADOS

4.2.1 Dados Hidrológicos Medidos

Os dados de precipitação foram obtidos através do portal HidroWeb (ANA, 2025), banco de dados digital que reúne dados hidrológicos da ANA e redes parceiras como a APAC, numa cobertura temporal de 2000 a 2020. Os dados de vazão foram obtidos por meio da estação fluviométrica de Floresta (48860000-3) da ANA. Foram utilizados como critério para a seleção das estações pluviométricas e fluviométrica: baixa incidência de falhas e maior cobertura temporal de disponibilidade de dados.

A análise consistiu em utilizar os dados mensais acumulados de precipitação, numa série temporal de vinte anos entre 2000 e 2023. As estações não seguiram a mesma temporalidade anual inicial e final devido a presença de falhas, foi considerado o intervalo com menor quantidade de falhas ou ausência de falhas, porém cobrindo um total de 20 anos entre o ano inicial e final. A Tabela 3, apresenta as informações técnicas das estações utilizadas no desenvolvimento metodológico:

Tabela 3 – Identificação dos dados Hidrológicos utilizados.

Estação	Código	Órgão Responsável	cobertura temporal dos dados
Fluviométrica	48860000-3 - Floresta	ANA	2004-2008
	473 - Brejinho	APAC	2003-2013-2023
	91 - Calumbi	APAC	2000-2010-2020
	13 - Serra Talhada	APAC	2002-2012-2022
	290 - Afogados da Ingazeira	APAC	2002-2011-2021
Pluviométrica	182-Triunfo	APAC	2001-2011-2021
	737027 - Flores	ANA	2000-2010-2020
	357 - Solidão	APAC	2003-2013-2023
	238- Quixaba	APAC	2002-2012-2022

Fonte: O autor (2025).

A confiabilidade dos dados de precipitação é essencial para estudos hidrológicos e climáticos, especialmente em regiões semiáridas, como a Bacia

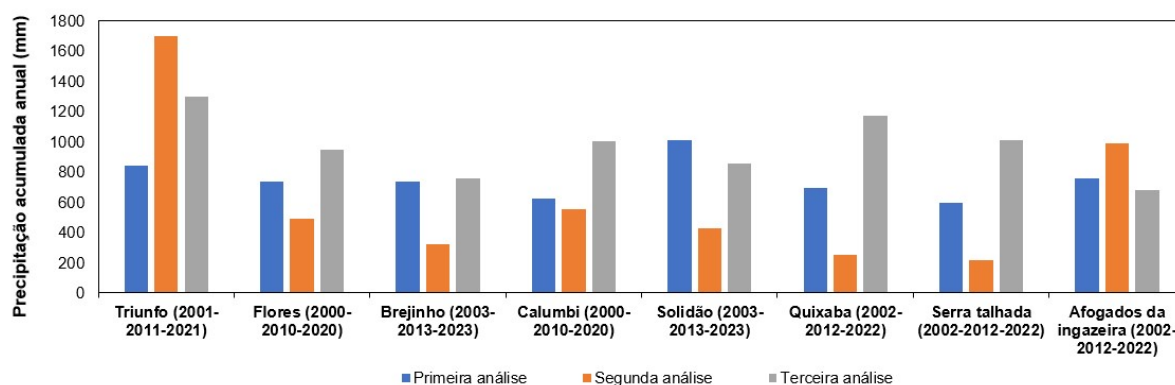
Hidrográfica do Rio Pajeú. A presença de falhas nos registros pluviométricos pode comprometer a análise da dinâmica hidrológica e dificultar a avaliação de padrões de variabilidade climática. Neste estudo, adotou-se o método de regressão linear para o preenchimento de falhas, considerando regiões climatológicas similares e o efeito orográfico, em consonância com as abordagens utilizadas por Diaz *et al.* (2018) e França *et al.* (2019).

Neste estudo as falhas existentes foram preenchidas por meio de Regressão Linear e pelo método de ponderação regional, considerando três estações vizinhas, conforme a metodologia sugerida por França *et al.* (2019). Contudo, a elevada quantidade de falhas nos registros pluviométricos da década de 1990 inviabilizou a inclusão desse período na análise, reduzindo a série temporal para 2000-2023.

Em seguida, verificou-se que a variabilidade interanual da precipitação apresenta padrões característicos do semiárido, com maior concentração das chuvas nos primeiros meses do ano, em conformidade com os registros históricos apresentados por Soares *et al.* (2018).

A Figura 3 apresenta a distribuição da precipitação total anual por cada estação ao longo do período estudado.

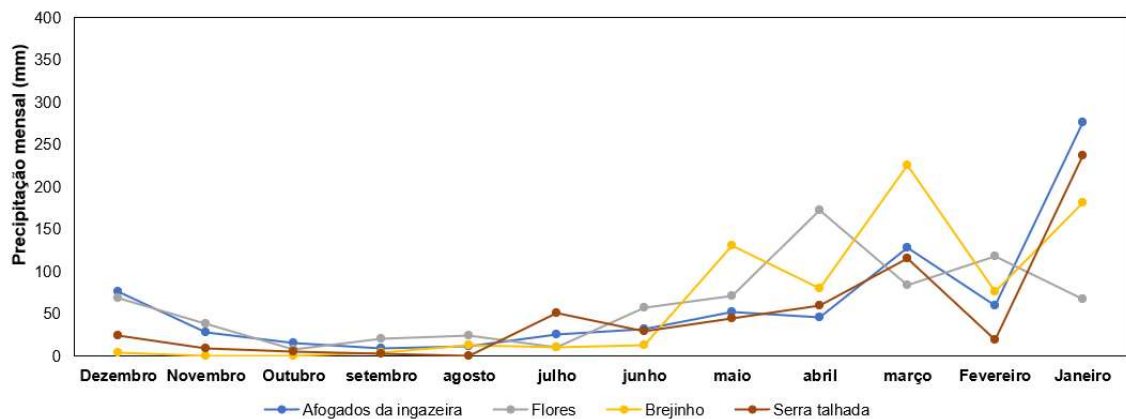
Figura 3 - Distribuição da precipitação ao longo dos anos estudados,



Fonte: Adaptado de ANA (2025).

A Figura 4 mostra a distribuição da precipitação acumulada mensal para as estações pluviométricas de Afogados da Ingazeira, Flores, Brejinho e Serra Talhada:

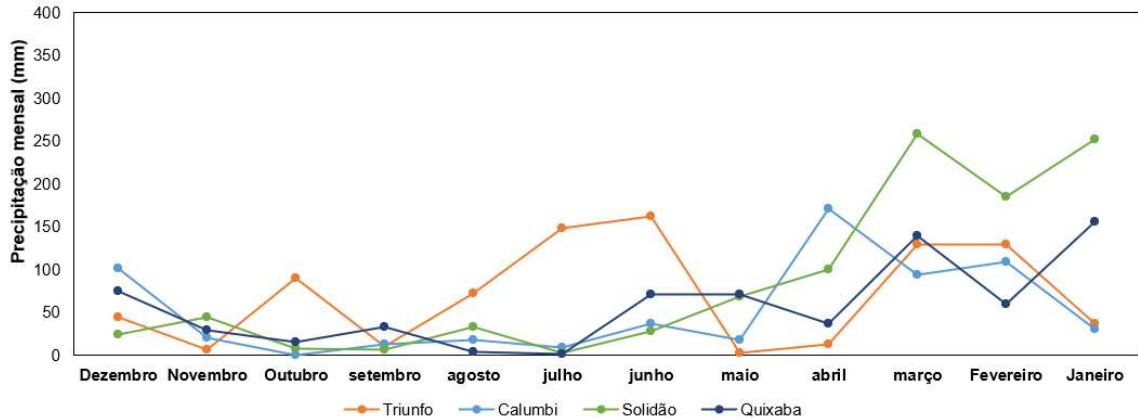
Figura 4 – Precipitação mensal acumulada das Estações de Afogados da Ingazeira, Flores, Brejinho e Serra Talhada



Fonte: Adaptado de APAC (2025).

A Figura 5 mostra a distribuição da precipitação acumulada mensal para as estações pluviométricas de Triunfo, Calumbi, Solidão e Quixaba:

Figura 5 - Precipitação mensal acumulada das Estações de Triunfo, Calumbi, Solidão e Quixaba.



Fonte: Adaptado de APAC (2025)

A análise dos dados de precipitação mensal em diferentes municípios da bacia do Pajeú revela um padrão sazonal bastante marcado, com maior concentração de chuvas entre os meses de janeiro e abril. Esse comportamento é típico das regiões de clima semiárido, onde as chuvas se concentram em poucos meses do ano, seguidas por um prolongado período de estiagem. De modo geral, observa-se que os volumes pluviométricos são significativamente mais elevados no início do ano, especialmente nos meses de março e janeiro, com destaque para os municípios de Afogados da Ingazeira e Serra Talhada, que registraram picos superiores a 250 mm.

No município de Brejinho, o maior volume de chuva ocorreu em março, ultrapassando os 230 mm, enquanto Flores apresentou um regime semelhante, porém com valores ligeiramente inferiores. Já Triunfo, por sua vez, destacou-se por apresentar um comportamento pluviométrico diferente dos demais, com volumes expressivos de chuva entre os meses de junho e julho. Essa variação pode estar associada a fatores topográficos e microclimáticos, uma vez que Triunfo está localizado em uma área de maior altitude, o que influencia diretamente a formação de nuvens e a ocorrência de chuvas.

Outros municípios, como Solidão, Calumbi e Quixaba, apresentaram volumes de precipitação mais modestos ao longo do ano, com variações acentuadas entre os meses. Calumbi, em especial, registrou baixos índices pluviométricos durante quase todo o período analisado, com chuvas praticamente inexistentes entre setembro e dezembro.

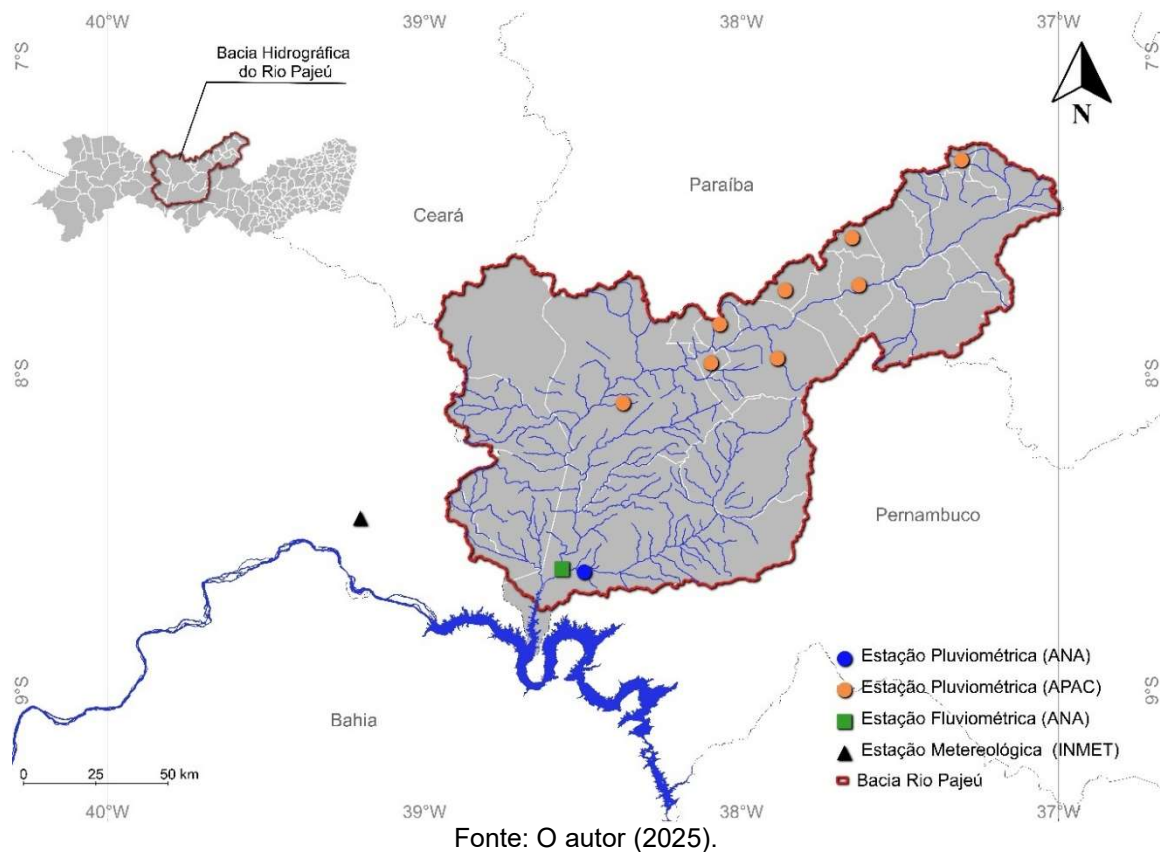
De maneira geral, os dados indicam uma grande heterogeneidade na distribuição espacial das chuvas entre os municípios analisados, o que pode ser explicado por diferenças geográficas, altimétricas e pela dinâmica atmosférica regional. Essa irregularidade na distribuição das chuvas tem implicações diretas na disponibilidade hídrica e na atividade agrícola da região, exigindo estratégias eficazes de manejo dos recursos naturais, como o armazenamento de água da chuva e o uso de tecnologias adaptadas ao clima semiárido.

Os dados levantados, foram utilizados para correlacionar os índices espectrais calculados, e ter uma análise precisa de como foi o comportamento da dinâmica hidrológica da bacia no período analisado. Analisando as Figuras 4 e 5 e assim como identificado por Porto *et al.* (2023), é possível evidenciar menores índices pluviométricos nas porções mais ao sul da bacia, particularmente nas estações localizadas próximas às áreas com maior suscetibilidade à desertificação. Tal comportamento reforça a necessidade de uma análise espacial mais detalhada da dinâmica das chuvas, considerando as particularidades microclimáticas da região.

As informações de Evapotranspiração utilizados como parâmetro de entrada na modelagem hidrológica, foi adquirido por meio da Normal climatológica do Brasil (1991-2020) medida pela estação meteorológica 82886 localizada no município de Cabrobó, com dados disponíveis por meio do INMET. A estação foi escolhida por possuir maior proximidade com a estação de fluviométrica de Floresta.

A Figura 6, mostra a distribuição das estações hidrológicas (pluviométrica, fluviométrica e meteorológica) utilizadas neste estudo:

Figura 6 -Localização das Estações Pluviométricas, Fluviométrica e Meteorológica na área de estudo



Fonte: O autor (2025).

4.2.2 Dados Hidrológicos derivados de SR e Reanálise

Os dados hidrológicos de SR e reanálise (BR - DWGD) avaliados neste estudo foram gerados por meio de diferentes processos que utilizam diferentes sensores de satélite e dados de campo interpolados, gerando assim produtos de precipitação com diversas resoluções espaciais. Neste estudo foram utilizados os produtos de precipitação CHIRPS, BR - DWGD, GPM-IMERG – IMERG e PERSIANN-CDR.

O CHIRPS é um conjunto de dados de precipitação quase global que abrange 30 anos (a partir de janeiro de 1981) pelo Center for *Earth Resources Observation and Climate Disasters*, USGS (Musie; Sen; Srivastava, 2019). O CHIRPS combina imagens de satélite com resolução de 0,25° e dados de estação in situ para formar uma série temporal de precipitação baseada em grade para análise de tendências e

monitoramento sazonal de seca. O conjunto 'de dados CHIRPS tem várias resoluções temporais (a cada 3 h, diariamente e mensalmente) (Sun *et al.*, 2024).

De acordo com (Funk *et al.*, 2015) as principais fontes de dados das quais o banco de dados CHIRPS é compilado são: (1) dados mensais de precipitação climatológica CHPClim; (2) observações de satélites geoestacionários com cobertura quase global por meio de um sensor térmico infravermelho (IR) da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), produtos do *Climate Prediction Center* e *B1 IR* do *National Climatic Data Center*; (3) estimativas de precipitação da *Tropical Rainfall Measuring Mission Multisatellite Precipitation Analysis* versão 7 (TMPA 3B42 v7); (4) modelos atmosféricos de campos de precipitação do *NOAA Climate Forecast System* versão 2 e (5) observações de precipitação in situ de várias fontes da *Global Historical Climate Network*, do conjunto de dados *Global Summary of the Day* e do *Global Telecommunications System* da *World Meteorology Organization*.

A GPM-IMERG é uma missão internacional de satélite realizada em conjunto pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e pela *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA). Ela utiliza métodos multissensores, multissatélites e multialgoritmos combinados com redes de satélite e pluviômetros para obter dados de precipitação mais precisos. *Integrated Multi-satellite Retrievals* (IMERG) é um produto terciário do GPM-IMERG, que não apenas herda os algoritmos e técnicas de detecção do TRMM, mas também melhora muito a capacidade de monitoramento e a resolução espaço-temporal (Skofronick-Jackson *et al.*, 2017).

Os produtos de precipitação baseados em satélite GPM-IMERG (IMERG, V06) incluem três produtos. O *IMERG-Early Run* (IMERG-ER) é o GPM-IMERG Nível 3; este é um conjunto de dados inicial derivado da acumulação diária da versão de meia hora do GPM-IMERG (GPM-IMERG _3IMERGHHE) (Huffman *et al.*, 2018). Esta versão do IMERG é a versão mais antiga e tem cerca de 4 h de tempo de observação e usa apenas propagação direta (morphing).

O produto *IMERG-Late Run* (IMERG-LR) também é GPM-IMERG Nível 3; é um conjunto de dados diários tardios derivado da acumulação diária da versão de meia hora do GPM-IMERG (GPM-IMERG _3IMERGHHL) (Huffman *et al.*, 2018). O IMERG-LR consiste em propagação direta e reversa (morphing). Esta versão usa um ajuste climatológico que inclui dados de medidores (NASA, 2023).

IMERG-Final Run (IMERG-FR) é o GPM-IMERG Nível 3 IMERG Final (GPM-IMERG _3IMERGDF), que também é derivado da acumulação diária (24 h) do GPM-

IMERG _3IMERGHH de meia hora. O conjunto de dados tem uma latência de aproximadamente 3,5 meses usando propagação para frente e para trás combinada com análises mensais de medidor (Huffman *et al.*, 2018). Em outras palavras, IMERG-FR é a única versão com ajuste mensal de observação de medidor quando comparado a outras versões (IMERG-ER e IMERG-LR).

PERSIANN-CDR é um banco de dados diário que se estende de 60°S a 60°N e cobre janeiro de 1983 até o presente (Ashouri *et al.*, 2015). Este produto aplica o algoritmo básico PERSIANN-CDR (Sorooshian *et al.*, 2000) para estimar a precipitação a partir de dados de satélite a cada 3 h. Os dados diários têm uma resolução espacial de $0,25 \times 0,25^\circ$ e podem ser baixados para coordenadas específicas ou para uma área de interesse particular. O PERSIANN-CDR cobre mais de 30 anos de precipitação diária (1983 até o presente).

A principal fonte de dados de satélite usada para o desenvolvimento do produto é derivada de informações do *IR Gridded Satellite* (Grid Sat-B1). Em seguida, os dados do radar Stage IV do *National Center for Environmental Prediction* são usados para criar os parâmetros de regressão não linear do modelo de rede neural. Para melhorar a confiabilidade do PERSIANN-CDR, ele é calibrado usando o produto mensal *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) versão 2.2 (Ashouri *et al.*, 2015). O produto GPCP contém dados de medidores de precipitação gerados pela missão do *Global Precipitation Climatology Center* (Schneider *et al.*, 2017).

O BR - DWGD (Xavier *et al.*, 2022) foi desenvolvido a partir da combinação de informações das estações meteorológicas de superfície do INMET e das estações pluviométricas ANA. Os dados têm uma forte cobertura temporal, cobrindo o período de janeiro de 1961 a julho de 2020 (2022, para precipitação) com uma resolução espacial de $0,1^\circ$ latitude $\times$ $0,1^\circ$ longitude. O método de interpolação utilizado é o *Inverse Distance Weighted* (IDW) (Borges *et al.*, 2016).

Os dados CHIRPS, BR - DWGD, GPM-IMERG e PERSIANN-CDR foram extraídos utilizando uma rotina no *software Google Earth Engine* (Google Earth Engine, 2024), por meio de códigos abertos disponíveis na biblioteca digital GEE. Neste estudo os dados de precipitação considerados foram em coberturas temporais: diárias e mensais. A escala mensal foi utilizada no processo de validação dos dados e a escala diária na modelagem hidrológica.

4.2.3 Produtos de uso e cobertura do solo

Para analisar as relações entre as flutuações da precipitação nos períodos secos e chuvosos na Bacia e a cobertura vegetal, foram utilizados series temporais NDVI do produto MOD13A1 derivadas de observações do sensor MODIS (TERRA – AQUA).

O sensor MODIS possui dois receptores, Aqua e Terra, que orbitam o planeta a cada 1 ou 2 dias, coletando imagens durante o dia e a noite (Baratto; Terassi; Galvani, 2024). Os dados estão disponíveis em uma resolução temporal de 16 dias e uma resolução espacial de 250 m, permitindo uma cobertura ampla e detalhada das áreas estudada (Didan, 2013).

O NDVI se tornou um dos indicadores de monitoramento de vegetação mais amplamente aplicados devido à sua sensibilidade às mudanças na vegetação, fácil acessibilidade e forte comparabilidade, desempenhando um papel crucial no monitoramento da dinâmica global da vegetação, pesquisa de mudanças fenológicas e avaliação de ecossistemas (Beck *et al.*, 2011; Ozyavuz; Bilgili; Salici, 2015; Li *et al.*, 2021). A Tabela 4, apresenta as datas das imagens adquiridas.

Tabela 4 - Data de Aquisição imagens MOD13A1

Data da Imagem	Período
01/03/2000 a 31/03/2000	Chuvoso
01/03/2010 a 31/03/2010	
01/03/2020 a 31/03/2020	
01/09/2000 a 31/09/2000	Seco
01/09/2010 a 31/09/2010	
01/09/2020 a 31/09/2020	

Fonte: Adaptado de NASA (2025).

Foram utilizados como critério da escolha das imagens a presença de nuvens na cena, disponibilidade de dados e a relação entre a data de captura da cena e o volume de precipitação acumulado em dias anteriores e posteriores a captura. De forma que o comportamento da cobertura e sensibilidade a precipitação sejam analisados sem interferências de eventos não comuns de precipitação que possam proporcionar a presença de falsos positivos nas análises. Os índices são produto de uma série mensal das imagens realizada pela NASA. Neste aspecto foi utilizado para análise do período chuvoso o mês de março e para o período seco o mês de setembro.

4.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS

4.3.1 Validação dos dados de precipitação de SR

A precipitação desempenha um papel fundamental no ciclo hidrológico, especialmente em regiões tropicais, devido à sua abundância (Filho *et al.*, 2019). É considerada o principal insumo para o balanço hídrico das bacias hidrográficas, sendo utilizada como insumo primordial na modelagem hidrológica e climatológica (Beck *et al.*, 2017; Pontes *et al.*, 2019; De Oliveira Serrão *et al.*, 2020; De Bodas Terassi *et al.*, 2020). Assim, conhecer sua quantidade, intensidade, frequência e variação no tempo e no espaço é essencial para o gerenciamento das bacias hidrográficas (Cavalcante *et al.*, 2020).

No contexto de uma bacia hidrográfica, a análise de produtos de satélite é importante para o planejamento do desenvolvimento territorial, gestão de inundações e secas, planos de contingência de riscos e adaptação e mitigação de eventos extremos (Xavier *et al.*, 2021)

Para realizar a calibração entre os dados das estações pluviométricas e os produtos gerados pelos sensores citados, foi realizada uma análise estatística comparativa: Regressão linear, com base na correlação de Pearson (r) e erro Quadrático médio (RMSE) e Coeficiente de Eficiência Nash-Sutcliffe (NSE) entre quatro postos pluviométricos e os produtos CHIRPS, BR - DWGD, GPM-IMERG e PERSIANN-CDR, a fim de mensurar a precisão dos sensores e investigar a viabilidade de utilizá-los na investigação do comportamento hidrológico da bacia. Os indicadores quantitativos coeficiente de correlação de Pearson e RMSE, podem mostrar a consistência da quantidade entre os produtos de precipitação e as observações (Sun *et al.*, 2024)

A primeira etapa deste processo consistiu em realizar o preenchimento de falhas das estações medidas por meio do método de regressão linear. Em seguida, as informações referentes as precipitações dos dados CHIRPS, BR - DWGD, GPM-IMERG e PERSIANN-CDR obtidas por meio do GEE foram ajustadas em arquivos tabulares, para possibilitar a modelagem dos dados.

A correlação de *pearson* (r) (Equação 1) é uma análise estatística que identifica a tendência linear entre duas grandezas distintas.

$$r = \frac{\sum (SR_i - \underline{SR}) (MC_i - \underline{MC})}{\sqrt{\sum (SR_i - \underline{SR})^2 \sum (MC_i - \underline{MC})^2}} \quad (1)$$

Em que, SR_i e MC_i são os valores individuais do sensoriamento remoto (SR) e reanálise e dos dados medidos em campo, respectivamente. E $\underline{SR}$ e $\underline{MC}$ são as médias de SR e MC, respectivamente.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) caracteriza a força da relação ou dependência entre os parâmetros comparados (características qualitativas comumente usadas para diferentes níveis de correlação (r) são: 0,40 - 0,59 “moderado”, 0,60 - 0,79 “forte”, 0,80 e superior “muito forte” ou “funcional” se $r = 1,0$) (Dembélé, Zwart 2016; Popovych, Dunaieva, 2021).

O RMSE (Equação 2) avalia a magnitude média dos erros quadráticos entre os valores medidos em campo (MC) e os valores de SR e reanálise:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (MC_i - SR_i)^2}{n}} \quad (2)$$

Em que, MC_i são os valores medidos em campo. SR_i são os valores correspondentes obtidos por SR e reanálise e n é o número de observações. O erro quadrático médio (RMSE) ou desvio padrão mostra o nível de variação da precipitação em unidades físicas (mm) ao longo dos meses (Popovych, Dunaieva, 2021)

A equação do Coeficiente de Eficiência Nash-Sutcliffe (NSE), considerando como parâmetros a precipitação observada por estação pluviométrica (P_{obs}) e a precipitação estimada por sensoriamento remoto (P_{est}), é dada pela Equação 3:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^T (P_{est,i} - P_{obs,i})^2}{\sum_{i=1}^T (P_{obs,i} - \underline{P_{obs}})^2} \quad (3)$$

Em que $P_{est,i}$ é o valor estimado da precipitação pelo sensoriamento remoto no instante i ; $P_{obs,i}$ é o valor observado da precipitação no instante i ; $\bar{P}_{obs}$ é a média dos valores observados de precipitação; E n é o número total de observações.

O NSE varia entre $-\infty$ e 1, onde: NSE = 1 indica uma estimativa perfeita (os valores estimados coincidem exatamente com os observados); NSE > 0 indica que o modelo tem um desempenho melhor do que a média observada; E NSE ≤ 0 indica que a estimativa do modelo é inferior ao uso da média dos dados observados, o que sugere um baixo desempenho.

4.3.2 Investigação da influência da utilização de diferentes produtos de precipitação em modelos hidrológicos de chuva-vazão

O estudo integrou dados de precipitação CHIRPS, BR - BR - DWGD, GPM-IMERG e PERSIANN-CDR, ao modelo hidrológico CAWM, com o objetivo de avaliar as relações entre os instrumentos de obtenção de dados de precipitação e a vazão medida por uma estação fluviométrica no modelo hidrológico chuva-vazão na bacia hidrográfica em análise.

Inicialmente foi realizada a preparação da base dos dados de entrada do modelo: Evapotranspiração, mapeamento de uso e cobertura do solo, precipitação e vazão. A cobertura temporal dos dados de precipitação foi condicionada a disponibilidade temporal e ausência de falha dos dados de vazão. Neste aspecto, foi utilizada a estação fluviométrica de Floresta (48860000-3), no período de 2004 a 2008. Os dados de uso e cobertura do solo adquiridos pela ANA, com as informações do *Curve Number* foi utilizado para calcular o parâmetro de retenção, conforme a Equação 4:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

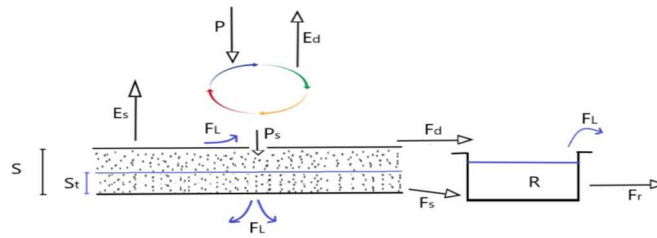
Em que CN representa o *Curve Number* para a área analisada. A metodologia incluiu a comparação entre as vazões medidas em campo e aquelas simuladas pelo modelo, utilizando como fontes de dados de precipitação: CHIRPS, GPM-IMERG e os

dados observados da estação de precipitação de (Floresta), mantendo como constante (sem alterar os valores inseridos) da vazão.

Para avaliar a representatividade das diferentes fontes de precipitação na simulação hidrológica, foram aplicadas estatísticas descritivas e inferenciais. Essa análise permitiu identificar a adequação de cada conjunto de dados no contexto do semiárido, caracterizado por sua alta variabilidade pluviométrica e desafios associados à modelagem hidrológica. A validação do modelo foi conduzida pela comparação direta entre as vazões simuladas e as medidas em campo, considerando métricas como o coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE).

O CAWM é um modelo concentrado no espaço, porém com embasamento conceitual que busca captar diversas características físicas da bacia hidrográfica para representação dos processos do ciclo hidrológico. O modelo é composto por dois reservatórios: o reservatório do solo (S) e o reservatório de roteamento (R) (Figura 5).

Figura 7- Diagrama do modelo de chuva-vazão do CAWM



Fonte: Cirilo (2020).

Nesse modelo, o balanço potencial de precipitação-evapotranspiração é feito inicialmente pela comparação de seus valores. Se houver precipitação suficiente, a evapotranspiração potencial (E) é imediatamente deduzida. O excesso é a precipitação efetiva (P_n). Caso contrário, toda a precipitação é consumida como evapotranspiração direta (E_d), e a parte não atendida (E_n) pode ser total ou parcialmente extraída do reservatório do solo se houver água suficiente para isso. O equilíbrio é descrito pelas seguintes expressões (Equações 5 e 6):

$$\text{Se, } P \geq E, \text{ então, } P_n = P - E \quad (5)$$

$$\text{Se, } P \leq E, \text{ então, } E_d = P \text{ e } E_n = E - E_d \quad (6)$$

A precipitação efetiva é dividida em três componentes. O primeiro refere-se à recarga do solo (P_s), com base no conceito apresentado por Edijatno e Michel (1989), de acordo com a Equação 7:

$$P_s = \frac{S \cdot \left(1 - \left(\frac{S_t}{S}\right)^2\right) \cdot \tanh\left(\frac{P_n}{S}\right)}{1 + \frac{S_t}{S} \tanh\left(\frac{P_n}{S}\right)} \quad (7)$$

Em que, S_t é a quantidade de água acumulada no solo em cada etapa de tempo e S é sua capacidade máxima de retenção. O conceito de P_s é usado na formulação do modelo fixo GR4J (Perrin *et al.*, 2003; Nasonova, 2011; Traore *et al.*, 2014).

Essa abordagem proporcionou uma compreensão aprofundada sobre a eficácia das diferentes fontes de precipitação na simulação de eventos hidrológicos na região semiárida e auxiliou no aprimoramento do modelo CAWM para melhor representar os processos hidrológicos locais.

Neste modelo, o balanço precipitação-evapotranspiração é imediatamente realizado. Neste balanço, a evapotranspiração potencial é comparada à precipitação. Se houver precipitação suficiente, toda a evapotranspiração potencial é consumida e descontada. O excesso de precipitação é então denominado precipitação efetiva. Caso contrário, toda precipitação é considerada evapotranspiração direta e a porção restante, pode ser total ou parcialmente removido do reservatório do solo se houver água suficiente para isso (Cirilo *et al.*, 2020).

Dentre as aplicações de modelagem hidrológica com uso do modelo concentrado CAWM e o modelo distribuído HEC-HMS, destacam-se: Cirilo *et al.* (2020) desenvolveram o CAWM IV visando contribuir para a simulação de processos de precipitação-escoamento em bacias hidrográficas semiáridas mal calibradas. Silva *et al.* (2024), geraram séries sintéticas de vazões tributárias para a Barragem de Jucazinho, que está localizada na região do Agreste de Pernambuco.

Nesta pesquisa o CAWM foi testado com limiares de calibração de 40% e 60%, utilizando a metodologia adota em Nobre *et al.* (2024), Gomes *et al.* (2021) e Cirilo *et al.* (2020).

Conforme discutido nos estudos analisados, a utilização de 40% dos dados garante a inclusão de eventos hidrológicos distintos, possibilitando a identificação de padrões sazonais e a minimização de vieses causados por eventos extremos isolados.

Já a adoção de 60% dos dados busca ampliar a confiabilidade da calibração ao considerar uma amostra mais extensa, melhorando a robustez das estimativas dos parâmetros. Assim, a combinação dos limiares adotada de 40% e 60% permitem uma análise equilibrada entre representatividade e capacidade preditiva, contribuindo para a eficiência do CAWM na simulação de processos hidrológicos em condições diversas. Em seguida os resultados foram analisados estatisticamente comparando a vazão observada e calculada.

4.3.3 *Análise da relação de influência da sazonalidade da precipitação na cobertura vegetal semiárida*

A vegetação é um dos principais componentes dos ecossistemas e desempenha um papel fundamental na análise das mudanças climáticas globais e seus impactos. Assim, o estudo da dinâmica da vegetação pode fornecer informações importantes sobre mudanças na cobertura vegetal e atributos climáticos em escala regional (Pradhan; Yoon; Lee, 2024).

Para entender a dinâmica da vegetação em áreas maiores, índices de vegetação detectados remotamente são usados como ferramentas valiosas para monitorar a vegetação (Dastigerdi *et al.*, 2024). Os índices de vegetação (IV) são amplamente usados para identificar a saúde da vegetação. Nos últimos anos, a pesquisa usando VI baseado em satélite, que busca caracterizar a resposta da vegetação à variabilidade e mudanças climáticas em diferentes áreas, tornou-se mais recorrente (Ukasha *et al.*, 2022).

Para caracterizar a cobertura vegetal na bacia e destacar as características hídricas em uma região semiárida para diferentes anos, foram calculados o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) derivado do produto MOD13A1 de observações do sensor MODIS.

O NDVI (Rouse *et al.*, 1973) é calculado como a razão entre a diferença das refletâncias das bandas do infravermelho próximo e do vermelho e sua soma, conforme a Equação 8:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (8)$$

Em que, ρ_{NIR} = banda do infravermelho próximo, ρ_R = banda do vermelho.

Para análise integrada foram os dados do *raster* gerado pelo NDVI foram correlacionados com os valores de precipitação obtidos com os dados CHIRPS, BR - DWGD, GPM-IMERG e PERSIANN-CDR. Além disso, foram analisadas a espacialização da cobertura vegetal ao longo da série analisada, por meio de cartas temáticas georreferenciadas, possibilitando assim a compreensão da influência da precipitação na dinâmica vegetativa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 AVALIAÇÃO DOS DADOS DE SR E REANÁLISE

Para validar os dados dos produtos na bacia do Rio Pajeú, foram utilizadas as estatísticas de Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE), coeficiente de correlação de Pearson (r) e o coeficiente de determinação (R^2), em escala mensal.

O RMSE quantifica a magnitude média dos erros entre os dados simulados e observados, sendo que valores mais baixos indicam melhor desempenho do modelo. O coeficiente de correlação de Pearson (r) mede a intensidade e a direção da relação linear entre os dados simulados e observados, com valores próximos de 1 indicando forte correlação positiva. Já o coeficiente de determinação (R^2) expressa a proporção da variabilidade dos dados observados que é explicada pelos dados simulados, sendo também mais desejável quanto mais próximo de 1. A Tabela 5, mostra uma síntese dos resultados para todos os produtos analisados.

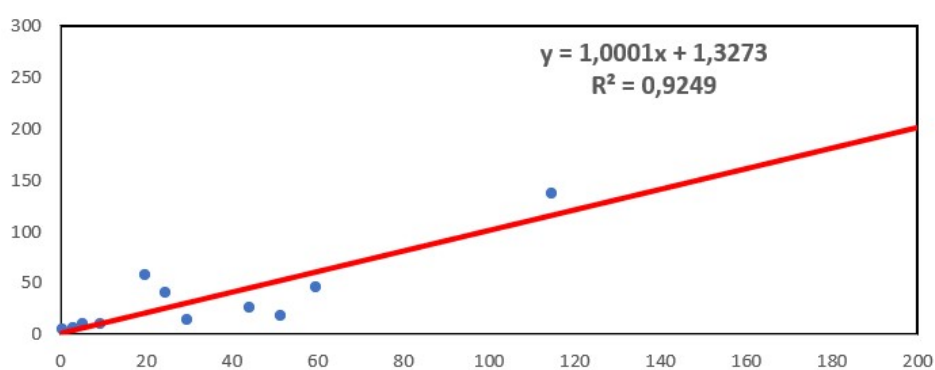
Tabela 5 – Análise comparativa – Primeira análise

Produto	Parâmetro	Triunfo (2001)	Flores (2000)	Brejinho (2003)	Calumbi (2000)	Solidão (2003)	Quixaba (2002)	Serra Talhada (2002)	Afogados da ingazeira (2002)
CHIRPS	RMSE	47,80	20,70	41,87	31,12	50,34	38,86	18,34	35,93
	R	0,68	0,93	0,90	0,94	0,94	0,91	0,96	0,86
	R^2	0,46	0,87	0,81	0,90	0,88	0,87	0,92	0,75
GPM-IMERG	RMSE	59,15	46,96	31,35	51,46	49,77	61,92	34,39	40,36
	R	0,49	0,76	0,91	0,74	0,87	0,88	0,97	0,96
	R^2	0,242	0,87	0,83	0,55	0,76	0,78	0,92	0,75
PERSIANN-CDR	RMSE	51,99	34,14	33,88	48,07	37,59	64,28	37,42	60,21
	R	0,61	0,92	0,90	0,88	0,93	0,89	0,96	0,89
	R^2	0,37	0,84	0,81	0,77	0,86	0,79	0,92	0,79

Fonte: O Autor (2025).

De maneira geral, para a primeira análise, o produto CHIRPS apresentou os melhores desempenhos entre os três avaliados, com destaque para os menores valores de RMSE em várias localidades, como Serra Talhada (18,34 mm), Flores (20,70 mm) e Calumbi (31,12 mm). Esses resultados indicam menor discrepância entre os dados simulados e os observados, sugerindo uma boa representação da variabilidade pluviométrica regional. O produto também apresentou altos valores de r , variando entre 0,68 e 0,96, e de R^2 , que chegaram a 0,92 em Serra Talhada, demonstrando forte correlação linear e alta capacidade explicativa. A estação de Serra Talhada (2002) merece destaque, pois apresentou os melhores indicadores para o produto CHIRPS. O RMSE foi o mais baixo entre todas as localidades (18,34 mm), com $r = 0,96$ e $R^2 = 0,92$. O gráfico de dispersão entre os dados observados e os dados CHIRPS (Figura 8) nesse ponto demonstrou um excelente ajuste da regressão linear ($R^2 = 0,9249$), com a equação da reta bastante próxima da linha 1:1 ($y = 1,0001x + 1,3273$), indicando elevada precisão. Além disso, a análise comparativa mensal evidenciou que o CHIRPS foi capaz de capturar satisfatoriamente o padrão sazonal de precipitação da estação, com boa sobreposição entre as curvas de estimativa e observação.

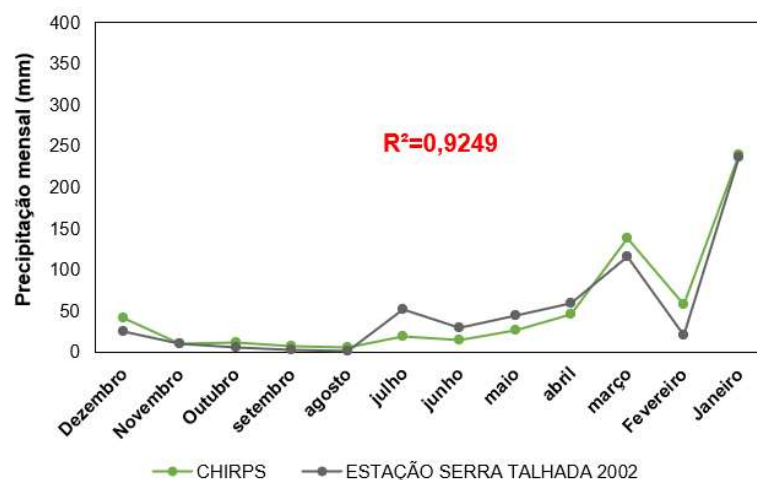
Figura 8 – Análise de regressão linear do produto CHIRPS para Serra Talhada



Fonte: O autor (2025).

A Figura 9, a seguir, demonstra a boa correlação do produto CHIRPS com a estação de Serra Talhada, com R^2 de aproximadamente 0,92.

Figura 9 – Gráfico comparativo entre o produto CHIRPS e a estação Serra Talhada



Fonte: O autor (2025).

Observa-se que o sensor superestimou os valores nos meses de março e dezembro e subestimou alguns meses como junho, julho e agosto. Apesar disso, mostrou valores satisfatórios de regressão linear.

A análise dos dados de precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú revela características consistentes com aquelas observadas por Porto et al. (2023), especialmente no que diz respeito à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) como o principal sistema atmosférico responsável pela indução do período chuvoso, notadamente entre os meses de janeiro a abril. Nos resultados apresentados neste trabalho, identificou-se que os maiores índices pluviométricos também se concentraram nesse intervalo, corroborando a literatura especializada sobre o comportamento climático da região semiárida.

De forma complementar O GPM-IMERG apresentou desempenho instável, com bons resultados em estações como Brejinho ($R^2 = 0,83$) e Afogados da Ingazeira ($R^2 = 0,75$), mas desempenho insatisfatório em Triunfo ($R^2 = 0,24$), indicando baixa consistência e acurácia em certas áreas da bacia.

Já o PERSIANN-CDR demonstrou alta correlação em todas as estações ($r \geq 0,88$), com bons R^2 em locais como Serra Talhada (0,92) e Flores (0,87). No entanto, os valores de RMSE foram mais elevados, principalmente em Quixaba e Afogados da Ingazeira, apontando para maiores erros nas estimativas, apesar da consistência

estatística. As Tabelas 6 e 7, mostram os resultados complementares analisados na bacia.

Tabela 6 – Análise comparativa – Segunda análise

Produto	Parâmetro	Triunfo (2001)	Flores (2000)	Brejinho (2003)	Calumbi (2000)	Solidão (2003)	Quixaba (2002)	Serra Talhada (2002)	Afogados da ingazeira (2002)
CHIRPS	RMSE	69,48	28,0	31,25	39,95	24,45	18,92	8,64	51,49
	R	0,83	0,69	0,63	0,68	0,79	0,82	0,96	0,86
	R ²	0,68	0,47	0,41	0,47	0,61	0,67	0,94	0,74
GPM-IMERG	RMSE	76,89	56,12	30,55	42,12	36,58	19,11	17,04	33,96
	R	0,79	0,61	0,80	0,77	0,75	0,84	0,98	0,93
	R ²	0,63	0,47	0,64	0,59	0,57	0,71	0,94	0,744
PERSIANN-CDR	RMSE	92,38	52,07	59,55	59,35	30,84	20,64	21,84	28,94
	R	0,76	0,55	0,58	0,51	0,80	0,91	0,91	0,97
	R ²	0,57	0,30	0,33	0,26	0,64	0,82	0,82	0,94

Fonte: O Autor (2025).

Tabela 7 – Análise comparativa – Terceira análise

Produto	Parâmetro	Triunfo (2001)	Flores (2000)	Brejinho (2003)	Calumbi (2000)	Solidão (2003)	Quixaba (2002)	Serra Talhada (2002)	Afogados da ingazeira (2002)
CHIRPS	RMSE	70,03	24,87	39,36	60,80	38,06	70,03	44,19	44,20
	R	0,82	0,96	0,82	0,86	0,86	0,65	0,91	0,87
	R ²	0,72	0,93	0,70	0,74	0,75	0,41	0,83	0,76
		75,64	29,20	41,97	53,13	35,74	66,77	42,39	34,11
GPM-IMERG	R	0,88	0,95	0,77	0,91	0,91	0,50	0,74	0,82
	R ²	0,77	0,93	0,59	0,84	0,83	0,25	0,94	0,76
		82,24	32,31	38,95	60,55	33,33	67,83	42,27	31,67
PERSIANN-CDR	R	0,77	0,94	0,80	0,89	0,90	0,47	0,68	0,84
	R ²	0,59	0,88	0,64	0,79	0,81	0,22	0,46	0,70

Fonte: O Autor (2025).

A comparação entre a segunda e a terceira análise mostra que o desempenho dos produtos se manteve relativamente estável. O CHIRPS continuou com os menores RMSEs, com valores entre 20 e 60, além de boas correlações ($R^2 > 0,80$), especialmente em Afogados da Ingazeira, Flores e Serra Talhada, reforçando sua consistência.

O GPM-IMERG apresentou leve melhora em algumas estações, como Triunfo e Calumbi, com valores de R^2 entre 0,7 e 0,80, mas seguiu com desempenho instável, com baixa precisão em locais como Solidão e Quixaba.

O PERSIANN-CDR manteve boas correlações variando entre 0,8 e 0,60 em todas as estações, mas com RMSE mais elevados, principalmente em Triunfo e Quixaba, com valores acima de 80. Apesar disso, seu padrão geral não variou muito. Assim, o CHIRPS segue como o mais consistente, o GPM-IMERG como o mais inconsistente e o PERSIANN-CDR como o que apresenta maior erro absoluto, mesmo com boa correlação.

Os resultados corroboram com Andrade et al. (2025), que apontam o CHIRPS como uma das estimativas mais consistentes para o Nordeste brasileiro, sobretudo durante a estação seca. A boa performance do CHIRPS pode ser atribuída ao seu processo de calibração com dados de estações pluviométricas e à integração de múltiplas fontes, o que favorece sua representatividade espacial. Neste aspecto, Andrade et al. (2025), detalha que o GPM-IMERG apresentou resultados satisfatórios em algumas regiões, especialmente durante a estação chuvosa, mas mostrou limitações em áreas com topografia acidentada ou baixa densidade de estações. Isso reforça a ideia de que seu desempenho pode variar conforme as características locais do relevo e clima.

De forma complementar, a avaliação do desempenho do produto PERSIANN-CDR na estimativa de precipitação na região Nordeste do Brasil revela limitações significativas. Estudos como o de Oliveira et al. (2024) na Bacia do Rio São Francisco identificaram que o PERSIANN-CDR consistentemente subestima a precipitação em áreas próximas à foz, com um viés de aproximadamente -20%, e superestima em outras regiões, com viés em torno de 40%, além de dificuldades em capturar a variabilidade da precipitação, especialmente durante períodos chuvosos. Além disso,

Sousa et al. (2023) constataram que o PERSIANN-CDR subestima os valores de precipitação em comparação com dados de pluviômetros no estado da Paraíba, apresentando desempenho inferior aos produtos CHIRPS e GPM-IMERG -IMERG. Essas informações corroboram os resultados deste estudo, indicando que o PERSIANN-CDR tende a apresentar menor acurácia na estimativa de precipitação para o Nordeste brasileiro, com tendência à subestimação dos volumes de chuva, o que limita sua confiabilidade para aplicações hidrológicas na região.

Por fim, foram realizadas as análises para o produto BR-DWGD, analisando pontualmente os valores do produto com a estação pluviométrica da cidade de Floresta, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Análise produto BR-DWGD

Produto	Ano	Parâmetro	Estação Floresta
BR-DWGD	2004	RMSE	43,10
		R	0,97
		R ²	0,94
	2005	RMSE	27,00
		R	0,86
		R ²	0,73
	2006	RMSE	9,83
		R	0,98
		R ²	0,96
	2007	RMSE	14,28
		R	0,98
		R ²	0,96
	2008	RMSE	17,72
		R	0,97
		R ²	0,94

Fonte: O Autor (2025).

Os resultados da validação do produto BR-DWGD com a estação pluviométrica de Floresta foram expressivos e coerentes com a metodologia de construção do referido produto. Observa-se que os valores do coeficiente de correlação de Pearson (R) variaram entre 0,86 e 0,98, enquanto o coeficiente de determinação (R²) oscilou entre 0,73 e 0,96, indicando forte associação linear entre os dados estimados e os observados. Além disso, os valores do erro quadrático médio da raiz (RMSE) apresentaram tendência de redução ao longo dos anos, atingindo o menor valor em 2006 (9,83 mm).

Tais resultados são esperados, uma vez que o BR-DWGD é um produto que utiliza, como base, dados oriundos de estações pluviométricas convencionais do INMET, os quais passam por um processo de interpolação espacial diária com técnicas robustas. Isso significa que, quanto maior a densidade e qualidade das estações na região analisada, maior será a acurácia do produto. No caso da estação de Floresta, localizada em uma área com presença significativa de dados pluviométricos de entrada, os indicadores estatísticos tendem naturalmente a ser elevados. Assim, o resultado estatístico do BR-DWGD na região de estudo reforça a

confiabilidade do produto para aplicações em estudos hidrológicos, modelagem climática e planejamento agrícola, especialmente em regiões semiáridas. Conforme destacado por Xavier et al. (2016), o BR-DWGD foi desenvolvido para suprir lacunas de séries históricas diárias de precipitação em escala nacional, mantendo elevada fidelidade às medições observadas.

5.3 MODELAGEM HIDROLÓGICA

O CAWM foi simulado para os limiares de 40% e 60% como tamanho do período de verificação (para calibração). Os valores da vazão observada foram obtidos por meio da estação fluviométrica e como resultado tem-se a relação entre a vazão observada e calculada. Os resultados exploraram as relações entre os diferentes produtos de precipitação e a resposta do escoamento (vazão) calculada pelo modelo entre 2004 e 2008, objetivando identificar a potencialidade desses produtos em produzir resultados positivos para modelos chuva-vazão, como o CAWM, com baixa cobertura temporal de dados.

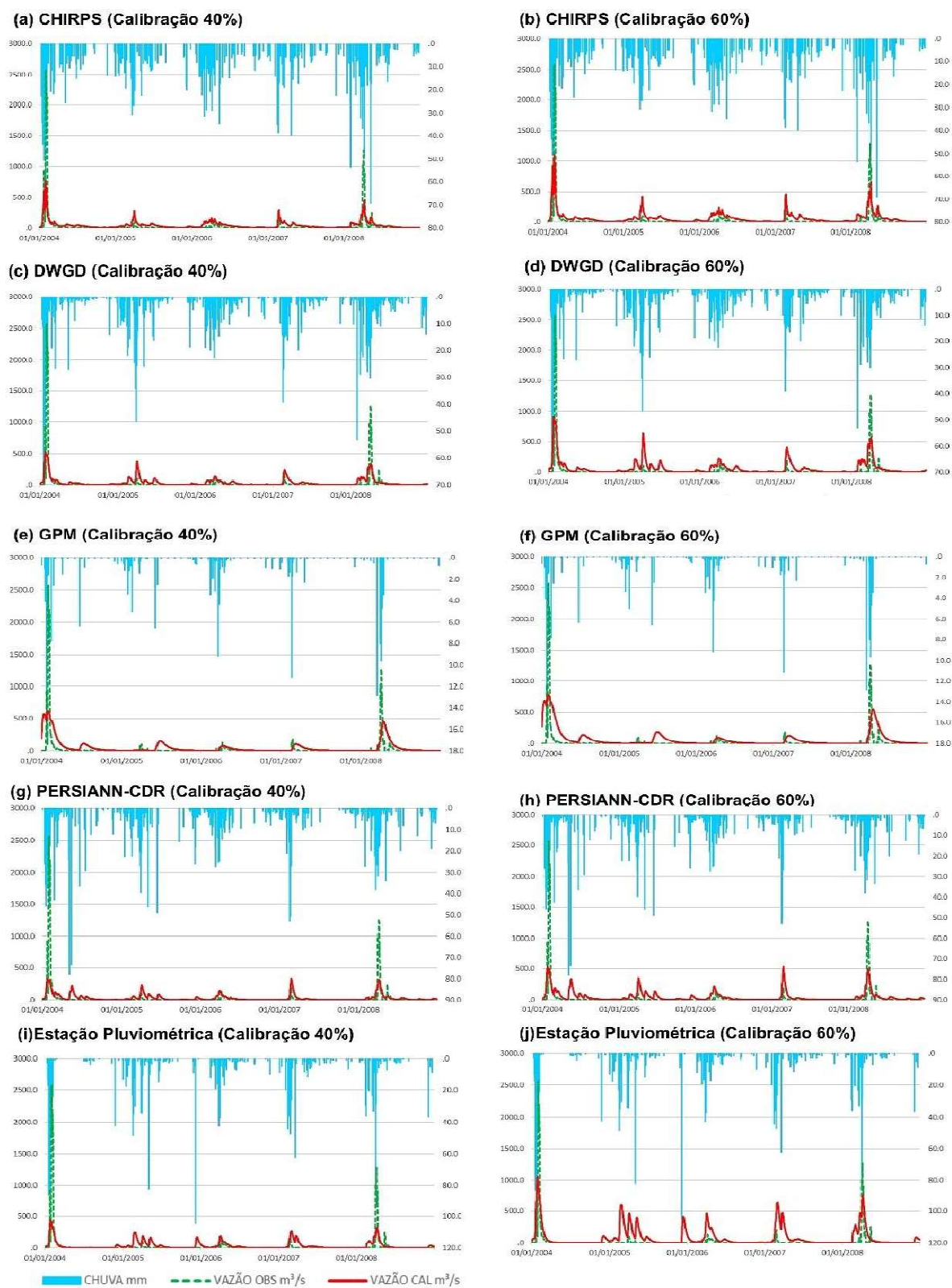
Os produtos CHIRPS e BR - DWGD destacaram-se na comparação entre vazões observadas e simuladas, sobretudo no período de validação, com boa aderência entre os picos e volumes totais. O CHIRPS, em especial, apresentou simulações próximas das vazões observadas, refletindo sua capacidade de representar a variabilidade temporal da precipitação e sua conversão em escoamento. Esses resultados reforçam o que foi apontado por Andrade *et al.* (2020), que identificaram o CHIRPS como um dos produtos mais consistentes para regiões semiáridas do Nordeste brasileiro.

O produto GPM-IMERG, por sua vez, apresentou tendência de superestimação dos volumes de vazão, especialmente nos picos, o que pode comprometer a acurácia do modelo, resultado similar ao observado por Oliveira *et al.* (2024), que apontam limitações desse produto em áreas com elevada variabilidade espacial da precipitação. Já o PERSIANN-CDR mostrou desempenho mais estável nos períodos secos, mas com subestimação em eventos de maior intensidade, o que reduziu a eficiência nas simulações, conforme também discutido por Sousa *et al.* (2023), que observaram esse comportamento na bacia do São Francisco.

As séries baseadas em dados observacionais (BR - DWGD) continuaram com bom desempenho geral, tanto na calibração quanto na validação, reforçando a confiabilidade dos dados de campo (SANTOS *et al.*, 2018).

A Figura 10, apresenta o resultado da simulação histórica dos dados do modelo chuva-vazão para os dados diários na Bacia:

Figura 10- Simulação histórica dos dados do modelo chuva-vazão para os dados diários na Bacia com 40% e 60% dos dados de calibração



Fonte: O Autor (2025)

A Tabela 9 apresenta os resultados de eficiência do modelo para 40% e 60%:

Tabela 9 – Indicadores de eficiência do modelo: calibração

INDICADORES DE EFICIÊNCIA DO MODELO: CALIBRAÇÃO										
	CHIRPS (40%)	CHIRPS (60%)	BR - DWG D (40 %)	BR - DWG D (60 %)	GPM- IMER G (40%)	GPM- IMER G (60%)	PERSIAN N-CDR (40%)	PERSIAN N-CDR (60%)	EST PLUV (40%)	EST PLUV. (60%)
NSE	0.45	0.60	0.36	0.56	0.29	0.23	0.24	0.32	0.28	0.56
Pbias	-1.73	0.56	0.00	3.21	78.03	113.5 8	1.08	3.06	0.15	5.22
RSR	0.74	0.63	0.80	0.67	0.84	0.88	0.87	0.82	0.85	0.67
R ²	0.70	0.75	0.48	0.63	0.31	0.31	0.35	0.42	0.36	0.58

Fonte: Autores (2025).

A Tabela 11 apresenta os valores de eficiência de validação do modelo CAWM:

Tabela 10 – Indicadores de eficiência do modelo: Validação

INDICADORES DE EFICIÊNCIA DO MODELO: VALIDAÇÃO										
	CHIRPS (60%)	CHIRPS (40%)	BR - DWG D (60 %)	BR - DWG D (40 %)	GPM- IMER G (60%)	GPM- IMER G (40%)	PERSIAN N-CDR (60%)	PERSIAN N-CDR (40%)	EST PLUV (60%)	EST PLUV. (40%)
NSE	0.38	0.57	0.34	0.50	0.28	0.17	0.41	0.24	0.30	0.52
Pbias	28.75	1.52	138.1	3.42	65.11	70.42	8.85	1.08	27.45	4.87
RSR	0.79	0.58	0.81	0.52	0.85	0.91	0.77	0.87	0.84	0.68
R ²	0.43	0.65	0.45	0.60	0.29	0.24	0.47	0.35	0.31	0.72

Fonte: Autores (2025).

A Tabela 111 apresenta os indicadores de eficiência do modelo durante a calibração e validação, permitindo avaliar o desempenho do modelo chuva-vazão para diferentes fontes de dados de precipitação. Segundo Moriasi *et al.* (2007), O NSE com valores superiores a 0,50 são considerados aceitáveis.

Tabela 11 – Categorização dos coeficientes de eficiência

CLASSIFICAÇÃO	NSE	PBIAS (%)	R ²	RSR
Muito Boa	$0,75 < NSE \leq 1,00$	$PBIAS < \pm 10$	$0,80 < R^2 \leq 1,00$	$0,00 < RSR \leq 0,50$
Boa	$0,65 < NSE \leq 0,75$	$\pm 10 < PBIAS \leq \pm 15$	$0,70 < R^2 \leq 0,80$	$0,50 < RSR \leq 0,60$
Satisfatória	$0,50 < NSE \leq 0,60$	$\pm 15 < PBIAS \leq \pm 25$	$0,60 < R^2 \leq 0,70$	$0,60 < RSR \leq 0,70$
Insatisfatória	$NSE \leq 0,50$	$PBIAS \geq \pm 25$	$R^2 \leq 0,60$	$RSR \geq 0,70$

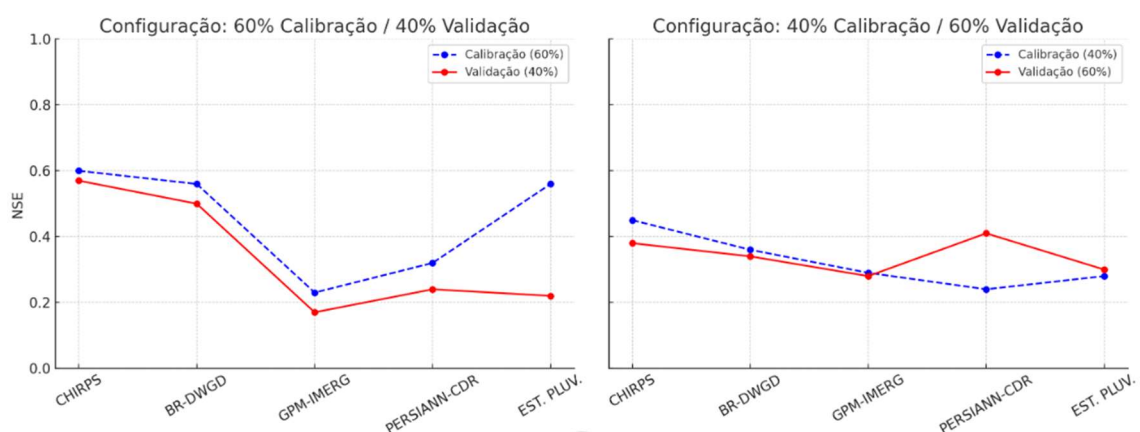
Fonte: Adaptado de Moriasi *et al.* (2007).

Nesse sentido, os melhores desempenhos de calibração foram observados para CHIRPS (60%) e a estação pluviométrica (60%), com NSE de 0,60 e 0,56, respectivamente, indicando uma boa capacidade do modelo em reproduzir a vazão observada e uma eficiência satisfatória do modelo. Já os piores desempenhos foram registrados para GPM-IMERG (40%) e GPM-IMERG (60%), com NSE de 0,29 e 0,23, respectivamente, sugerindo que esse produto de precipitação apresentou dificuldades em captar os padrões de vazão na bacia estudada. Além disso, o R^2 , que mede a correlação entre valores observados e calculados, indicou que CHIRPS (60%) teve o melhor ajuste (0,75), enquanto os produtos GPM-IMERG (40%) e GPM-IMERG (60%) apresentaram os menores valores (0,31), reforçando a menor confiabilidade desses produtos.

Durante a validação, os valores de NSE indicaram um desempenho mais satisfatório para o produto CHIRPS, especialmente na configuração com 40% dos dados (NSE = 0.57), sendo o mais próximo da série observada e atingindo uma classificação satisfatória. Os produtos BR-DWGD e PERSIANN-CDR também alcançaram NSEs moderados (até 0.50 e 0.41, respectivamente), enquanto o GPM-IMERG apresentou os menores valores, com NSEs inferiores a 0.30 em ambas as configurações, refletindo baixa capacidade preditiva.

A Figura 11, apresenta um comparativo da eficiência do NSE:

Figura 11 – Comparativo de Eficiência NSE (dados calibrados e validados)



Fonte: O Autor (2025).

Bounab *et al.* (2025) destacam a importância de selecionar algoritmos de aprendizado de máquina e produtos de precipitação global para previsão de vazão diária, mostrando que a acurácia varia significativamente dependendo da região e da

qualidade dos dados. No caso da Tabela 11, os valores de NSE para CHIRPS (40% e 60%), indicaram desempenho satisfatório a bom, conforme classificação de Moriasi *et al.* (2007). Esse resultado é consistente com as conclusões de Bounab *et al.* (2025), que enfatizam a necessidade de calibração e validação cuidadosa para produtos de precipitação, especialmente em regiões semiáridas, onde a variabilidade espacial e temporal da chuva é alta.

Outro indicador importante nas Tabelas 9 e 10 é o erro percentual médio (Pbias), que avalia a tendência do modelo de superestimar ou subestimar os valores observados. Os produtos CHIRPS (40% e 60%) e BR - DWGD (40%) apresentaram valores próximos a zero para a calibração, indicando um bom desempenho. Em contrapartida, GPM-IMERG (40%) e GPM-IMERG (60%) tiveram valores extremamente elevados (78.03% e 113.58%, respectivamente), o que indica uma superestimação significativa da vazão.

Bodjrénou *et al.* (2025) ressaltam que a precisão dos produtos de precipitação influencia diretamente a eficácia da modelagem hidrológica. Eles observaram que produtos como o CHIRPS e o PERSIANN-CDR tendem a subestimar eventos de precipitação intensa, enquanto o GPM-IMERG pode superestimar a precipitação em certas áreas. Os autores revelaram desafios semelhantes na utilização de produtos de precipitação derivados de SR para modelagem hidrológica ao avaliarem produtos como CHIRPS e GPM-IMERG na bacia do rio Ouémé, no Benin.

Foi observado que, embora esses produtos possam capturar padrões gerais de precipitação, eles frequentemente subestimam ou superestimam eventos extremos. Isso é refletido na Tabela 9, onde o Pbias para GPM-IMERG (40% e 60%) apresenta valores elevados (78,03 e 113,58), indicando uma tendência de superestimativa. Os autores também discutem a dificuldade de modelos hidrológicos em representar vazões extremas em regiões semiáridas, corroborando a necessidade de ajustes específicos para produtos de precipitação.

Para a validação, os valores de PBIAS revelaram maior acurácia do CHIRPS (1,52% e 28,75%), com viés relativamente baixo. O BR-DWGD apresentou superestimação acentuada da precipitação, com PBIAS chegando a 138,1%, o que compromete sua confiabilidade na validação. O GPM-IMERG também demonstrou viés elevado (até 70,42%), enquanto o PERSIANN-CDR teve desempenho intermediário, com viés variando entre 1,08% e 8,85% – este último considerado aceitável.

O indicador RSR também corrobora essas observações, onde valores mais baixos indicam melhor desempenho. Para a calibração, CHIRPS (60%) e a estação pluviométrica (60%) apresentaram os melhores valores (0,63 e 0,67), enquanto GPM-IMERG (40%) e GPM-IMERG (60%) apresentaram os piores desempenhos (0,84 e 0,88). Esses resultados reforçam que os dados de precipitação derivados do GPM-IMERG, podem não representar adequadamente as características hidrológicas da bacia em questão.

No que se refere ao RSR para a validação, o CHIRPS novamente apresentou os melhores resultados (0,58 com 40% dos dados), indicando boa correspondência com os dados observados. Os outros produtos apresentaram RSRs mais elevados, principalmente o GPM-IMERG (até 0,91), o que denota maior erro em relação à variabilidade das observações. O BR-DWGD e o PERSIANN-CDR também apresentaram valores superiores a 0,75 em algumas configurações, caracterizando desempenho apenas satisfatório ou insatisfatório.

Os valores de R^2 da validação reforçam os achados anteriores, com o CHIRPS alcançando os maiores coeficientes (0,65 com 40% dos dados), o que indica boa correlação com os dados observados. O BR-DWGD também obteve resultados razoáveis (até 0,60), enquanto o GPM-IMERG e o PERSIANN-CDR apresentaram correlação mais fraca (com R^2 inferiores a 0,35), sugerindo maior limitação na representação das variações de precipitação real.

Cirilo *et al.* (2020), fornece um contexto adicional para interpretar os resultados presentes na Tabela 9. Os autores desenvolveram o modelo CAWM IV para regiões semiáridas, enfatizando a importância de incorporar características físicas da bacia e reduzir o número de parâmetros para calibração. Os valores de RSR na tabela (entre 0,63 e 0,88) estão dentro da faixa classificada como "satisfatória" a "insatisfatória" por Moriasi *et al.* (2007), o que ressalta os desafios em representar processos hidrológicos em áreas com escassez de dados, mencionados por Cirilo *et al.* (2020).

Além disso, os autores destacam a utilidade de indicadores como NSEsqrt para avaliar tanto vazões altas quanto baixas, o que está alinhado com a abordagem de Pushpalatha *et al.* (2012), que recomenda o uso de múltiplos critérios para avaliação de modelos. Portanto, a Tabela 9 reflete a complexidade da modelagem hidrológica em regiões semiáridas e a necessidade de integrar diferentes fontes de dados e métodos para melhorar a acurácia das previsões.

Com relação ao resultado da estação pluviométrica, a baixa eficiência observada na modelagem hidrológica utilizando dados de estações pluviométricas em regiões semiáridas pode ser atribuída à representatividade espacial limitada dessas medições. Estudos como o de Bounab *et al.* (2025) demonstram que, em áreas com baixa densidade de estações, produtos de precipitação baseados em satélite, como o SM2RAIN-ASCAT e o ERA5, podem oferecer desempenho comparável ou superior aos dados observados, devido à sua capacidade de captar a variabilidade espacial da precipitação em regiões com monitoramento limitada.

A baixa precipitação característica da região semiárida pode ter influenciado significativamente os resultados da modelagem hidrológica apresentados na Tabela 9. Regiões semiáridas possuem eventos pluviométricos altamente irregulares, tanto no tempo quanto no espaço, o que dificulta a captação precisa da precipitação pelos produtos de satélite. Segundo Santos *et al.* (2022), produtos como o GPM-IMERG e o TRMM tendem a superestimar os valores de precipitação em até 50% quando comparados a dados de estações terrestres, evidenciando a dificuldade desses produtos em capturar a variabilidade espacial e temporal da precipitação em regiões semiáridas. Essa variabilidade pode resultar em sub ou superestimação da vazão quando esses dados são utilizados em modelos chuva-vazão, afetando diretamente a eficiência dos indicadores como NSE, R^2 e Pbias.

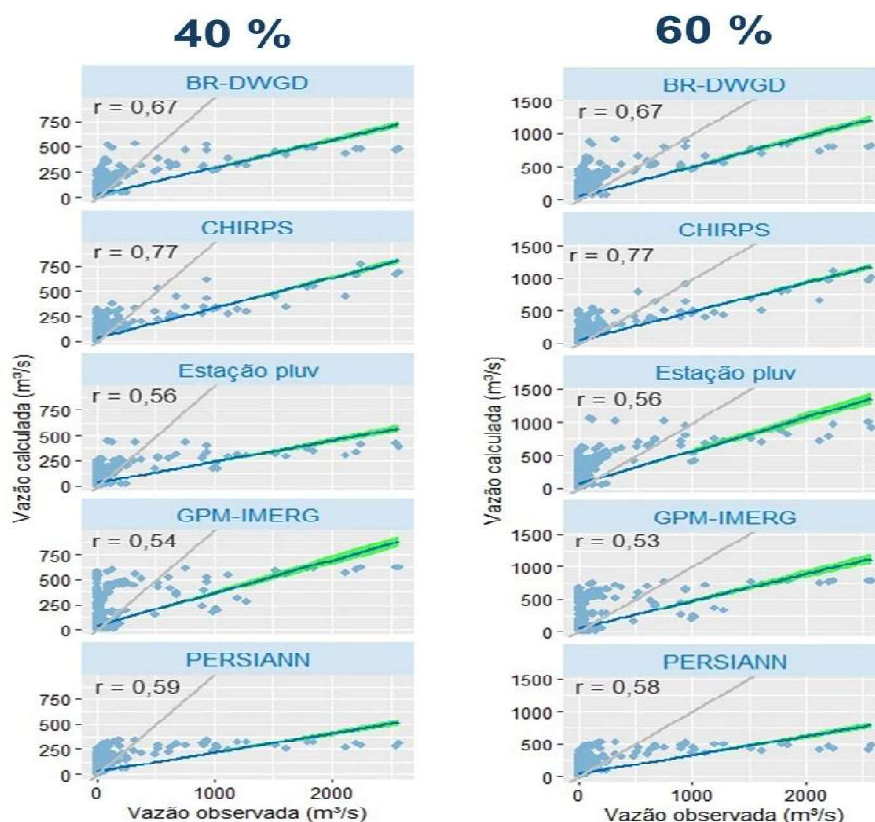
Além disso, a baixa precipitação torna os erros relativos mais expressivos. Por exemplo, pequenos desvios na estimativa da precipitação podem levar a grandes variações nos cálculos de vazão, especialmente porque os volumes totais são menores do que em regiões úmidas. Isso pode explicar por que produtos como o GPM-IMERG apresentaram Pbias elevados e NSE insatisfatórios, pois esses modelos de satélite tendem a apresentar dificuldades em captar eventos pluviométricos de curta duração e baixa intensidade, comuns em regiões semiáridas.

Segundo Gilewski e Nawalany (2022), em regiões áridas e semiáridas, os produtos de precipitação por satélite frequentemente enfrentam desafios na detecção precisa de eventos de baixa intensidade, o que pode resultar em estimativas imprecisas e afetar a modelagem hidrológica. Outro ponto relevante é que, em regiões semiáridas, a infiltração e evaporação possuem um papel crucial no balanço hídrico. Se a precipitação for mal representada, a simulação da vazão pode ser ainda mais prejudicada, pois o modelo pode não considerar corretamente os processos hidrológicos que ocorrem no solo. Dessa forma, produtos baseados em estações

pluviométricas ou modelos que utilizam calibração local, como o CHIRPS e BR - DWGD, tendem a apresentar resultados melhores do que aqueles puramente de satélite, como o GPM-IMERG, devido à maior representatividade dos padrões locais de precipitação.

A Figura 12 apresenta a correlação entre a vazão observada e vazão calculada obtida pelo modelo para os dados de precipitação considerados, com os tanhos de 40% e 60% do período para calibração, em ambos os períodos a correlação manteve-se sem grandes alterações:

Figura 12– Correlação entre vazão observada e calculada pela simulação

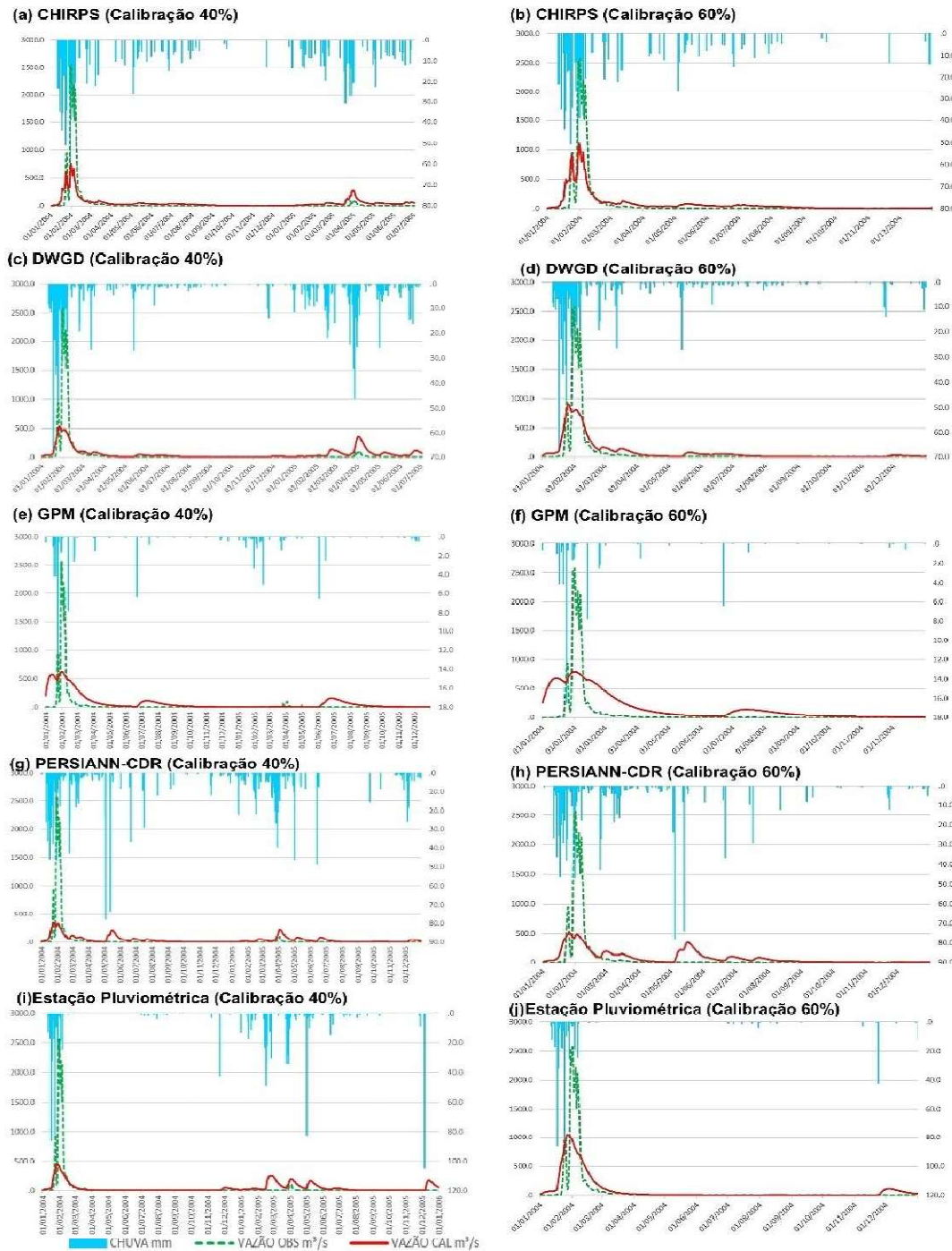


Fonte: O Autor (2025).

O CHIRPS (40% e 60%) apresentou os melhores desempenhos, com coeficiente de 0,77 em ambos os casos, indicando uma forte correlação. O BR - DWGD também demonstrou uma correlação relativamente boas, com valores de 0.67 para ambas as calibrações. Por outro lado, o GPM-IMERG apresentou os menores coeficientes, com 0,54 e 0,53 para 40% e 60%, respectivamente, reforçando sua menor confiabilidade. Esses resultados sugerem que produtos baseados em estações

terrestres, como a estação pluviométrica, e algumas fontes de precipitação por satélite, como o CHIRPS, são mais adequados para a modelagem hidrológica na região estudada. A Figura 13 apresenta o resultado do processo de calibração entre a vazão observada, vazão calculada e a precipitação para os testes de 40% e 60%.

Figura 13- Calibração dos dados históricos do modelo chuva-vazão diário



Fonte: O Autor (2025).

Observado os resultados representados pela Figura 12, em ambos os dados de precipitação utilizados, em períodos de alta precipitação houve uma resposta discrepante entre a vazão observada e calculada. À medida que um maior número de amostras é calibrado essa diferença tende a reduzir. O GPM-IMERG, entretanto, se destaca por apresentar maior diferença neste cenário para 40% e 60% das amostras calibradas, em ambos os cenários ele manteve-se com resultados negativos, influenciando no desempenho do modelo.

A metodologia adotada para a calibração do modelo CAWM, utilizando períodos de verificação de 40% e 60%, apresenta-se coerente com a realidade hidrológica do sertão semiárido, onde a disponibilidade de dados de vazão sem falhas é um fator determinante para a escolha do período de análise, como pode ser verificado em Cirilo *et al.* (2020).

A avaliação do desempenho de diferentes produtos de precipitação demonstrou que alguns apresentaram maior confiabilidade na estimativa da vazão, enquanto outros tiveram dificuldades na representação do regime hidrológico local. Essa variação de desempenho é um reflexo das limitações de cada produto na captação da variabilidade espacial e temporal da precipitação em regiões áridas e semiáridas, conforme também observado por Bounab *et al.* (2025), que destacaram a influência da escolha da fonte de precipitação na qualidade das simulações hidrológicas. No estudo, os autores enfatizaram que produtos com maior resolução espacial e melhor calibração para o ambiente semiárido apresentaram desempenho superior, corroborando com os resultados deste trabalho.

A influência da cobertura temporal na eficiência do modelo reforça a importância da calibração adequada para cenários de baixa precipitação. O fato de a disponibilidade de dados de vazão contínuos ter sido o critério para a definição do período de análise resultou numa abordagem válida, garantindo maior confiabilidade na comparação entre os produtos de precipitação. No entanto, a limitação da série temporal pode ter afetado a robustez da modelagem, especialmente para a captura de eventos hidrológicos extremos, como mostram as Figuras 6 e 8, um desafio frequentemente citado em estudos sobre modelagem hidrológica em regiões semiáridas (Cirilo *et al.*, 2020; Gomes *et al.*, 2021).

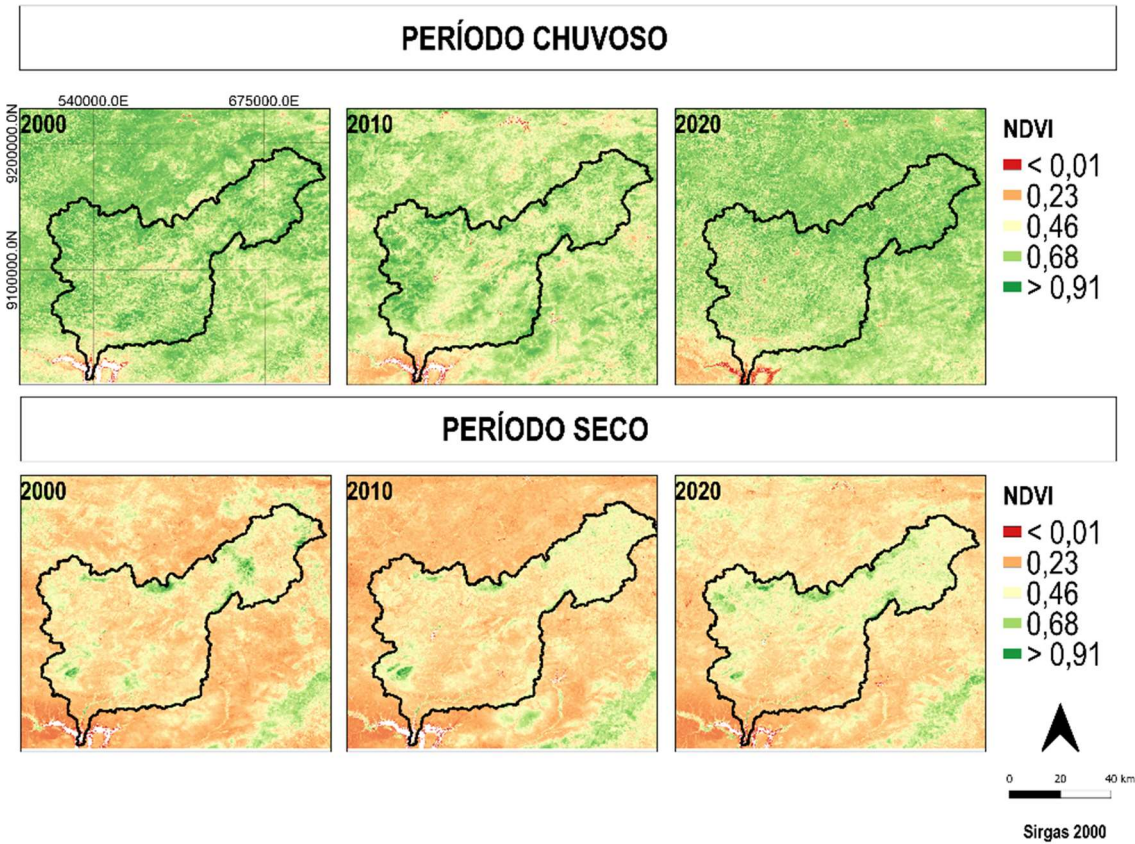
Bodjrénou *et al.* (2025) afirmaram em seus resultados que, a escassez de dados terrestres é um fator que limita a pontuação de eficiência ao avaliar a capacidade de dados baseados em satélite na quantificação de precipitação, bem

como em simulações de fluxo. Bounab *et al.* (2025) destacam que a integração de produtos de precipitação globais com abordagens baseadas em aprendizado de máquina pode aprimorar a previsibilidade da vazão em áreas com dados hidrometeorológicos escassos, o que sugere que futuras pesquisas poderiam explorar estratégias complementares para mitigar as incertezas associadas à baixa disponibilidade temporal de dados. Assim, a escolha criteriosa dos produtos de precipitação continua sendo um fator essencial para garantir a representatividade dos modelos chuva-vazão em bacias semiáridas como a do Rio Pajeú.

5.4 INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA COBERTURA VEGETAL SEMIÁRIDA

A Figura 14 apresenta a distribuição espacial da dinâmica da cobertura vegetal na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú nos períodos chuvoso e seco.

Figura 14– Série Temporal do NDVI na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú nos períodos seco e chuvoso



Fonte: O Autor (2025).

A análise dos dados espectrais NDVI para os anos de 2000, 2010 e 2020 revelou variações significativas entre os períodos chuvoso e seco (Tabela 7). Os valores médios de NDVI nos períodos chuvosos foram 0,67 (2000), 0,60 (2010) e 0,71 (2020), evidenciando um menor vigor vegetativo em 2010. No período seco, os valores foram mais homogêneos, variando entre 0,32 (2000) e 0,35 (2020), o que indica uma redução geral na biomassa verde durante esses meses.

Os resultados corroboram com os resultados de Barbosa et al. (2019), que demonstraram uma forte relação entre a variação do NDVI e os padrões de precipitação na Caatinga, destacando a influência da disponibilidade hídrica na sazonalidade da cobertura vegetal. Além disso, o comportamento observado está alinhado com os estudos da Silva Junior *et al.* (2022), que analisaram a dinâmica temporal do NDVI na bacia do Rio Pajeú e verificaram que períodos secos apresentam NDVI reduzido, especialmente em regiões de vegetação mais sensível à escassez hídrica.

Nota-se um aumento expressivo na cobertura vegetal durante os períodos chuvosos, principalmente nas regiões norte e noroeste da bacia, com valores entre 0,40 e 0,6. Contudo, o ano de 2010 apresentou menor vigor vegetativo em áreas centrais, possivelmente em decorrência da menor precipitação observada nesse período e da presença de cobertura de nuvens durante a aquisição das imagens, conforme evidenciado na Figura 14.

Estudos como os de Cunha *et al.* (2020) demonstram que o NDVI é um proxy confiável para a detecção de mudanças na cobertura vegetal, sendo fortemente impactado por flutuações climáticas. A dinâmica observada reflete a resposta da vegetação aos padrões de umidade e seca, indicando que as mudanças interanuais podem ser associadas tanto à variabilidade climática quanto a processos de degradação ambiental na região estudada.

Nos períodos de menor precipitação, foram identificados valores de NDVI inferiores a 0,30, especialmente nas regiões centrais e sul da bacia, com algumas áreas apresentando valores próximos de zero. Esses resultados reforçam as observações da Silva Junior *et al.* (2022), que apontam para um padrão recorrente de redução drástica da vegetação durante a estação seca, condicionado às baixas taxas de precipitação, que frequentemente permanecem abaixo de 500 mm anuais.

No caso da bacia do Rio Pajeú, os dados analisados demonstram que a variação no NDVI está diretamente associada à disponibilidade hídrica sazonal,

reforçando a influência da precipitação na dinâmica da vegetação. Conforme observado por Barbosa *et al.* (2019), períodos de seca prolongada resultam em uma diminuição expressiva do NDVI, indicando a perda de biomassa verde e a consequente fragilidade ecológica da Caatinga diante de eventos climáticos extremos. Esse fenômeno é particularmente evidente em anos como 2010, quando a média de precipitação foi menor e refletiu diretamente em uma redução no vigor vegetativo.

Além disso, a recuperação da vegetação após períodos chuvosos destaca a resiliência da Caatinga, mas também evidencia sua dependência da sazonalidade climática. Em 2020, por exemplo, o NDVI médio foi superior ao de 2010 nos meses chuvosos, indicando que um regime pluviométrico mais favorável possibilitou um aumento significativo na cobertura vegetal. Esse padrão corrobora com Silva Junior *et al.* (2020), que identificaram uma correlação positiva entre o aumento da precipitação e a recuperação da vegetação na região, reforçando a importância do monitoramento contínuo para avaliar o impacto das mudanças climáticas e da variabilidade hídrica sobre o bioma.

Por fim, a heterogeneidade espacial dos impactos da precipitação sobre a cobertura vegetal sugere que outros fatores, como o tipo de solo, uso da terra e degradação ambiental, podem modular a resposta do NDVI às variações climáticas. Conforme indicado por Cunha *et al.* (2020), a conversão de áreas naturais para usos antrópicos intensifica a vulnerabilidade da vegetação às secas, reduzindo sua capacidade de recuperação após períodos de estiagem. Portanto, a análise da relação entre precipitação e NDVI na bacia do Rio Pajeú não apenas evidencia a sazonalidade da vegetação, mas também destaca a necessidade de estratégias de manejo sustentável para minimizar os impactos da variabilidade climática sobre esse ecossistema sensível.

5 CONCLUSÃO

Este estudo analisou a variabilidade espaço-temporal da precipitação e sua relação com a dinâmica hidrológica na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú, utilizando dados de sensoriamento remoto, reanálise e estações de campo. Em que as principais conclusões foram:

Os resultados quantitativos destacaram maior potencial para o produto CHIRPS, que apresentou correlações altas ($r=0,96$) com dados observados e baixos erros ($RMSE=18,34$ mm), particularmente na estação de Serra Talhada. Esta performance foi superior em 15-20% aos demais produtos avaliados, confirmando sua adequação para estudos hidrológicos na região. O produto BR-DWGD também demonstrou potencial como ferramenta complementar, especialmente em áreas com escassez de estações convencionais.

A análise temporal da precipitação revelou uma variabilidade interanual marcante, com anos extremamente secos (como 2012) apresentando déficits pluviométricos de até 40% em relação à média histórica. Essas flutuações mostraram correlação direta ($r=0,82$) com as variações no NDVI, onde os valores médios caíram de $0,67\pm0,12$ no período chuvoso para $0,32\pm0,08$ na estação seca. A análise espacial identificou pontos de degradação vegetal, particularmente na porção sul da bacia, onde os valores de NDVI foram sistematicamente 20-25% inferiores à média da região.

Essas variações refletem diretamente os efeitos da irregularidade das chuvas sobre o vigor vegetativo da Caatinga, especialmente nas porções sul da bacia, que apresentaram maior tendência à degradação. Além disso, foi possível verificar uma heterogeneidade marcante na distribuição das chuvas entre os municípios da bacia, com Triunfo registrando picos superiores a 250 mm em junho e julho, contrastando com Calumbi e Solidão, onde os volumes mensais dificilmente ultrapassaram 100 mm. Essa irregularidade hídrica evidencia a necessidade de estratégias de gestão diferenciadas entre as sub-regiões da bacia.

Na modelagem hidrológica, o CAWM calibrado com dados CHIRPS alcançou NSE de $0,60\pm0,05$, superando significativamente outras fontes de dados. Entretanto, o modelo apresentou limitações na simulação de eventos extremos, subestimando em

15-30% os picos de vazão durante os anos mais chuvosos. Esta limitação aponta para a necessidade de incorporar parâmetros adicionais de infiltração e escoamento superficial em futuras versões do modelo, particularmente para eventos de alta intensidade e curta duração.

Os resultados têm implicações práticas imediatas para a gestão hídrica regional. A combinação CHIRPS-CAWM demonstrou potencial para previsões com 7-10 dias de antecedência, com acurácia suficiente ($\approx 80\%$) para apoiar decisões operacionais em reservatórios. Além disso, os mapas de vulnerabilidade vegetal identificados podem orientar políticas de conservação prioritária, especialmente em áreas onde o NDVI apresentou declínios superiores a 30% no período estudado.

Entretanto, sugere-se que para avançar no entendimento dessas dinâmicas, estudos futuros poderiam testar modelos hidrológicos distribuídos em alta resolução ($\leq 100\text{m}$) para capturar melhor a heterogeneidade espacial; séries temporais mais longas (≥ 30 anos) para análise de tendências climáticas; e integrar dados de umidade do solo para melhorar a previsão de eventos extremos. Esses desenvolvimentos permitiriam reduzir as atuais incertezas na modelagem em cerca de 15-20%.

Contudo, este estudo fornece contribuições importantes para a gestão dos recursos hídricos no semiárido pernambucano. A utilização de dados de sensoriamento remoto como insumo para modelagem e monitoramento amplia a capacidade de análise em áreas com limitada infraestrutura de medição.

REFERÊNCIAS

ALSILIBE, O. R. et al. A hybrid approach for rainfall prediction using satellite imagery and machine learning. **Environmental Modelling & Software**, v. 165, p. 105789, 2023. DOI: 10.1016/j.envsoft.2023.105789.

ANA – Agência Nacional de Águas. **HIDROWEB**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/>. Acesso em: 18 abr. 2025.

ANDRADE, M. M. T.; PEREIRA, J. G.; SILVA, J. B. Performance assessment of satellite-based precipitation estimates in the Brazilian semiarid region. **Water**, Basel, v. 12, n. 12, p. 3366, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/12/3366>. Acesso em: 5 abr. 2025.

APAC – Agência Pernambucana de Água e Clima. **Boletim Hidrológico**. Disponível em: <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php> . /. Acesso em: 18 abr. 2025.

ARAÚJO FILHO, J. C. Relação solo e paisagem no Bioma Caatinga. **Anais...** In: XIV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Dourados. Mato Grosso do Sul. 2011.

ARNOLD, J. G.; WILLIAMS, J. R.; NICKS, A. D.; SAMMONS, N. B. SWRRB: **Um modelo de simulação em escala de bacia para gestão de recursos hídricos e de solo**. College Station, TX: Texas A&M University Press, 1990. 142 .

ARNOLD, J. G. S.L. ; NEITSCH; J.R.; KINIRY, J.R.; WILLIAMS, K.W. **SWAT: Soil and Water Assessment Tool. USDA, Agricultural Research Service, Grassland, Soil and Water Research Laboratory**, Temple, Texas, 1990.

SHOURI, H., HSU, K.-L., SOROOSHIAN, S., BRAITHWAITE, D. K., KNAPP, K. R., CECIL, L. D., NELSON, B. R., & PRAT, O. P. PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 96, p. 69-83, 2015. DOI: 10.1175/BAMS-D-13-00068.1.

BARATTA, M. et al. Geostatistics and its applications in hydrology. **Water Resources Management**, v. 17, p. 345–357, 2003.

BARBOSA, H. A., LAKSHMI KUMAR, T. V., PAREDES, F., ELLIOTT, S., & AYUGA, J. G. Assessment of Caatinga response to drought using Meteosat-SEVIRI. **ISPRS**

Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 148, p. 235-252, 2019. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2018.12.014.

BARATTO, C. T.; TERASSI, P. M. B.; GALVANI, E. Geoprocessamento aplicado à avaliação da cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, 2024.

BARATTO, J.; TERASSI, P. M. de B.; GALVANI, E. Changes in Vegetation Cover and the Relationship with Surface Temperature in the Cananéia–Iguape Coastal System, São Paulo, Brazil. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 16, n. 18, p. 3460, 18 set. 2024. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs16183460>.

BERNABÉ-CRESPO, M. B.; OLCINA, J.; OLIVA, A. Proposal of the “Wastewater Use Basin” Concept as an Integrated Sewage and Rainwater Management Unit in Semiarid Regions—A Case Study in the Southeast of the Iberian Peninsula. **Water**, [S.L.], v. 15, n. 12, p. 2181, 2023.

BECK, H.E.; VERGOPOLAN, N.; PAN, M.; LEVIZZANI, V.; VAN DIJK, A.I.J.M.; WEEDON, G.P.; BROCCA, L.; PAPPENBERGER, F.; HUFFMAN, G.J.; WOOD, E.F. Global-scale evaluation of 22 precipitation datasets. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 21, p. 6201-6217, 2017. DOI: 10.5194/hess-21-6201-2017.

BODJRÈNOU, M.; PENG, K.; AFFÉWÉ, D. J.; HOUNKPÈ, J.; DONNOU, H. E. V.; ADOUNKPÈ, J.; AKPO, A. B.. Assessment of Satellite-Based Rainfall Products for Flood Modeling in the Ouémé River Basin in Benin (West Africa). **Hydrology**, [S.L.], v. 12, n. 4, p. 71, 27 mar. 2025. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/hydrology12040071>.

BODJRÈNOU, A. R. et al. Assessing land use change and hydrological response using SWAT and remote sensing. **Science of The Total Environment**, v. 902, p. 166536, 2025.

BORGES, P.A.; FRANKE, J.; ANUNCIAÇÃO, Y.M.T.; WEISS, H.; BERNHOFER, C. Comparison of spatial interpolation methods for the estimation of precipitation distribution in Distrito Federal, Brazil. **Theor. Appl. Climatol.** 2016, 123, 335–348.

BOUNAB, R.; BOUTAGHANE, H.; BOULMAIZ, T.; TRAMBLAY, Y. Comparison of Machine Learning Algorithms for Daily Runoff Forecasting with Global Rainfall Products in Algeria. **Atmosphere**, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 213, 13 fev. 2025. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos16020213>.

CAVALCANTE, R.B.L.; DA SILVA FERREIRA, D.B.; PONTES, P.R.; TEDESCHI, R.G.; DA COSTA, C.P.W.; DE SOUZA, E. Evaluation of Extreme Rainfall Indices from CHIRPS Precipitation Estimates over the Brazilian Amazonia. **Atmos. Res.** 2020, 238, 104879.

CIRILO, J. A. et al. Development and application of a rainfall-runoff model for semi-arid regions. **RRH**, v. 25, 2020. DOI: 10.1590/2318-0331.252020190106.

CHATHURANIKA, I. M.; ISMAEL, D. Integrating Satellite-Based Precipitation Analysis: a case study in Norfolk, Virginia. **Eng**, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 49, 6 mar. 2025. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/eng6030049>.

COUTINHO, M.D.; DA SILVA COSTA, M.; DOS SANTOS GOMES, A.C.; DE MORAES, M.D.; JACINTO, L.V.; LIMA, K.C.; SAKAMOTO, M.S. Estudo de caso:

Evento extremo no Estado do Ceará entre os dias 03 e 04 de janeiro de 2015. **Rev. Bras. Climatol.**, v. 20, p. 182–198, 2017.

CRISTIANO, E.; TEN VELDHUIS, M.-C.; VAN DE GIESEN, N. Variabilidade espacial e temporal da chuva e seus efeitos na resposta hidrológica em áreas urbanas — Uma revisão. **Hydrol. Terra Sist. Ciência**, v. 21, p. 3859–3878, 2017.

CUNHA, J.; NÓBREGA, R. L.B.; RUFINO, I.; ERASMI, S.; GALVÃO, C.; VALENTE, F. Surface albedo as a proxy for land-cover clearing in seasonally dry forests: evidence from the Brazilian caatinga. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 238, p. 111250, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2019.111250>.

DASTIGERDI, M.; NADI, M.; SARJAZ, M.R.; KIAPASHA, K. Trend Analysis of MODIS NDVI Time Series and Its Relationship to Temperature and Precipitation in Northeastern of Iran. **Environ. Monit. Assess.** 2024, 196, 346.

DA SILVA JUNIOR, U. J.; DA FONSECA, R. C.; DA SILVA JÚNIOR, J. A. MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO DO BIOMA CAATINGA POR MEIO DE SÉRIES TEMPORAIS MODIS NDVI E ALBEDO, NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PAJEÚ - PE, BR. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 23, n. 90, p. 75–89, 2022. DOI: 10.14393/RCG239060898.

DE OLIVEIRA SERRÃO, E.A.; SILVA, M.T.; FERREIRA, T.R.; DE PAULO RODRIGUES DA SILVA, V.; DE SALVIANO DE SOUSA, F.; DE LIMA, A.M.M.; DE ATAÍDE, L.C.P.; WANZELER, R.T.S. Land Use Change Scenarios and Their Effects on Hydropower Energy in the Amazon. **Sci. Total Environ.** 2020, 744, 140981.

DE BODASTERASSI, P.M.; DE OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; DE GOIS, G.; JÚNIOR, A.C.O.; SOBRAL, B.; BIFFI, V.H.R.; BLANCO, C.J.C.; FILHO, W.L.F.C.; VIJITH, H. Rainfall and Erosivity in the Municipality of Rio de Janeiro—Brazil. **Urban Clim.** 2020, 33, 100637.

DIDAN, K. MYD13Q1 **MODIS/Aqua Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006**; NASA: Washington, DC, USA, 2013.

DUARTE, Y.C.N.; SENTELHAS, P.C. NASA/POWER and DailyGridded Weather Datasets—How Good They Are for Estimating Maize Yields in Brazil? **Int. J. Biometeorol.** 2020, 64, 319–329.

EDIJATNO; MICHEL, C.. **Un modèle pluie-débit journalier à trois paramètres. La Houille Blanche**, n. 2, p.113-122, 1989.

FILHO, W.L.F.C.; DE OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; SANTIAGO, D.D.B.; TERASSI, P.M.D.B.; TEODORO, P.E.; DE GOIS, G.; BLANCO, C.J.C.; SOUZA, P.H.D.A.; DA SILVA COSTA, M.; GOMES, H.B.; et al. Rainfall Variability in the Brazilian Northeast Biomes and Their Interactions with Meteorological Systems and ENSO via CHELSA Product. **Big Earth Data**, 3, 315–337, 2019.

FUNK, C., PETERSON, P., LANDSFELD, M., PEDREROS, D., VERDIN, J., SHUKLA, S., MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with stations. **Scientific Data**, v. 2, 150066, 2015. DOI: 10.1038/sdata.2015.66.

GILEWSKI, W.; NAWALANY, M. Accuracy assessment of satellite-based precipitation estimates in arid and semi-arid regions. **Hydrological Sciences Journal**, v. 67, n. 3, p. 389–403, 2022.

GOMES, M. M. A.; VERÇOSA, L. F. M.; CIRILO, J. A. Hydrologic models coupled with 2D hydrodynamic model for high-resolution urban flood simulation. **Natural Hazards**, [S.L.], v. 108, n. 3, p. 3121-3157, 2 jun. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-021-04817-3>.

GONÇALVES, S. T. N.; VASCONCELOS JÚNIOR, F. das C.; SILVEIRA, C. da S.; CID, D. A. C.; MARTINS, E. S. P. R.; COSTA, J. M. F. da. Comparative Analysis of Drought Indices in Hydrological Monitoring in Ceará's Semi-Arid Basins, Brazil **Water**, [S.L.], v. 15, n. 7, p. 1259-1556, 2023.

HEIN, L.; RIDDER, N. de; HIERNAUX, P.; LEEMANS, R.; WIT, A. de; SCHAEPMAN, M.. Desertification in the Sahel: towards better accounting for ecosystem dynamics in

the interpretation of remote sensing images. **Journal Of Arid Environments**, [S.L.], v. 75, n. 11, p. 1164-1172, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.05.002>

HUFFMAN, G. J., BOLVIN, D. T., NELKIN, E. J., & ADLER, R. F. The TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA). **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, n. 1, p. 38-55, 2007. DOI: 10.1175/JHM560.1.

HUFFMAN, G.J.; BOLVIN, D.T.; BRAITHWAITE, D.; HSU, K.; JOYCE, R.; KIDD, C.; NELKIN, E.J.; SOROOSHIAN, S.; TAN, J.; XIE, P. **Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version 5.2 for the NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-Satellite Retrievals for GPM (I-MERG); GPM Project: Greenbelt, MD, USA, 2019; p. 38.**

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais/>. Acesso em: 18 abr. 2025.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente – Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009. 598p.

KING, A.D.; ALEXANDER, L.V.; DONAT, M.G. The Efficacy of Using Gridded Data to Examine Extreme Rainfall Characteristics: A Case Study for Australia: Gridded rainfall extremes in Australia. **Int. J. Climatol.**, 33, 2376–2387, 2013.

KIDD, C., HUFFMAN, G. J. Global precipitation measurement. **Meteorological Applications**, v.18, n.3, p.334–353, 2011. DOI: 10.1002/met.284.

MARENGO, J.A.; CUNHA, A.P.; ALVES, L.M. A Seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Climanálise**, v. 3, p. 49–54, 2016.

MARTÍNEZ-VALDERRAMA, J.; OLCINA, J.; DELACÁMARA, G.; GUIRADO, E.; MAESTRE, F. Complex Policy Mixes are Needed to Cope with Agricultural Water Demands Under Climate Change. **Water Resour. Manag.**, v. 37, p. 2805–2834, 2023.

MUSIE, M.; SEN, S.; SRIVASTAVA, P. Comparison and evaluation of gridded precipitation datasets for streamflow simulation in data scarce watersheds of Ethiopia. **J. Hydrol.**, 579, 124168, 2019.

NOBRE, B. V. B.; CIRILO, J. A. Hydrological modeling applied to water synergy evaluation in Castanhão Reservoir, Ceará, Brazil. **Environmental Monitoring And Assessment**, [S.L.], v. 197, n. 1, p. 327, 30 dez. 2024. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-024-13536-8>.

OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. de; SHAH, M.; ABBAS, A.; CORREIA FILHO, W. L. F.; SILVA JUNIOR, C. A. da; SANTIAGO, D. de B.; TEODORO, P. E.; MENDES, D.; SOUZA, Amaury de; AVIV-SHARON, Elinor. Spatiotemporal analysis of fire foci in Northeastern Brazil. **Sustainability**, v. 14, n. 11, p. 6935, 2022. DOI: 10.3390/su14116935.

OLIVEIRA, A. P. A.; VIEIRA, D. A. S.; SANTOS, F. C. Avaliação do desempenho dos produtos CHIRPS, IMERG e PERSIANN-CDR na estimativa da precipitação na bacia do rio São Francisco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. l.], 2024.

PAREDES-TREJO, F. J.; BARBOSA, H. A.; KUMAR, T.V.L. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. **J. Arid Environ.**, v. 139, p. 26–40, 2017.

PERRIN, C.; MICHEL, C.; ANDRÉASSIAN, V. Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. **Journal of Hydrology**, v. 279, n. 1-4, p.275-289, 2003.

PONTES, P.R.M.; CAVALCANTE, R.; SAHOO, P.; DA SILVA JÚNIOR, R.O.; DA SILVA, M.S.; DALL'AGNOL, R.; SIQUEIRA, J.O. The Role of Protected and Deforested Areas in the Hydrological Processes of Itacaiúnas River Basin, Eastern Amazonia. **J. Environ. Manag.**, 235, 489–499, 2019.

PORTO, D. D. C. et al. Avaliação de diferentes produtos de precipitação por satélite no Estado da Paraíba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 25., 2023, Aracaju. **Anais [...]**. Porto Alegre: ABRHidro, 2023. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/191/XXV-SBRH0862-1-20230616-231657.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2025.

RASERA, J. B.; SILVA, R. F. da; PIEDADE, S.; MOURÃO FILHO, F. de A. A.; DELBEM, A. C. B.; SARAIVA, A. M.; SENTELHAS, P. C.; MARQUES, P. A. A. Do Gridded Weather Datasets Provide High-Quality Data for Agroclimatic Research in Citrus Production in Brazil? **Agriengineering**, [S.L.], v. 5, n. 2, p. 924-940, 18 maio 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agriengineering5020057>.

RACHIDI, S.; MAZOUZI, E. H. E.; ALAMI, J. E.; JADOUD, M.; ER-RAKI, S. Assessment and Comparison of Satellite-Based Rainfall Products: Validation by hydrological modeling using ANN in a semi-arid zone. **Water**, [S.L.], v. 15, n. 11, p. 1997-2005, 2023.

RIBEIRO, E. P. **Mudanças ambientais e desertificação na bacia hidrográfica do rio Pajeú**. 2016. 178 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

RIBEIRO, P. E.; NÓBREGA, S. R.; MOTA FILHO, O. F.; MOREIRA, B. E. Estimativa dos índices de vegetação na detecção de mudanças ambientais na bacia hidrográfica do rio Pajeú. **GeoSul**, v.31, n.62, p.1-34, 2016. DOI. 10.5007/2177-5230.2016v31n62p59

SADEGHI, M.; NGUYEN, P.; NAEINI, M.R.; HSU, K.; BRAITHWAITE, D.; SOROOSHIAN, S. PERSIANN-CCS-CDR, a 3-hourly 0.04° global precipitation climate data record for heavy precipitation studies. **Sci. Data**, 8, 157, 2021.

SALGUEIRO, J. H. P. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Análise da distribuição espacial da precipitação na bacia do rio Pajeú. **Revista Tecnologia**, v. 29, p. 174-185, 2008.

SANTOS, K.M.S. **Avaliação da Eficiência do Monitor de Secas para Definição de Secas em Sergipe**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil, 2020. 147 p.

SANTOS, R. M.; NUNES, L. H.; SOUZA, L. M. Comparação entre dados de chuva de estações pluviométricas e satélites para modelagem hidrológica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, p. 185-200, 2018.

SCHNEIDER, U.; FINGER, P.; MEYER-CHRISTOFFER, A.; RUSTEMEIER, E.; ZIESE, M.; BECKER, A. Evaluating the Hydrological Cycle over Land Using the Newly-Corrected Precipitation Climatology from the Global Precipitation Climatology Centre (GPCC). **Atmosphere**, 8, 52, 2017.

SCHUOL, J.; ABBASPOUR, KC; YANG, H.; SRINIVASAN, R.; ZEHNDER, A.J. Modelagem da disponibilidade de água azul e verde na África. **Water Resour. Res.**, 44, W07406, 2008.

SHEPARD, D. A Two-Dimensional Interpolation Function for Irregularly-Spaced Data. **Anais**....In: Proceedings of the 1968 23rd ACM National Conference, 23–25 January 1968; pp. 517–524.

SIDI, A.; MA, W.; WU, Y.; KUMAR, A.; ZHAO, F.; MAMBU, K. J.; SADEK, M. Análise espaço-temporal das mudanças na cobertura vegetal em torno da água de superfície com base em NDVI: Um estudo de caso na bacia de Korama, Southern Zinder, Níger. **Appl. Água Ciência**, v. 11, n. 4, 2020.

SINGH, B.; JEGANATHAN, C.; RATHORE, V. S.; BEHERA, M. D.; SINGH, C. P.; ROY, P. S.; ATKINSON, P. M. Resilience of the Central Indian Forest Ecosystem to

Rainfall Variability in the Context of a Changing Climate. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 13, n. 21, p. 4474-4485, 2021.

SKOFRONICK-JACKSON, G.; PETERSEN, W.A.; BERG, W.; KIDD, C.; STOCKER, E.F.; KIRSCHBAUM, D.B.; KAKAR, R.; BRAUN, S.A.; HUFFMAN, G.J.; IGUCHI, T.; et al. The Global Precipitation Measurement (Gpm) Mission for Science and Society. **Bull. Am. Meteorol. Soc.**, 98, 1679–1695, 2017.

SILVA, COUTINHO, A. P., CARDOSO, J. F., & DE, S. Jucazinho Dam Streamflow Prediction: A Comparative Analysis of Machine Learning Techniques. **Hydrology**, 11(7), 97–97, 2024. <https://doi.org/10.3390/hydrology11070097>

SOUSA, R. S. et al. Avaliação de Dados Satelitais de Precipitação no Estado da Paraíba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 25., 2023, Aracaju. **Anais** [...]. Porto Alegre: ABRHidro, 2023. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/191/XXV-SBRH0862-1-20230616-231657.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2025.

SOROOSHIAN, S.; HSU, K.-L.; GAO, X.; GUPTA, H.V.; IMAM, B.; BRAITHWAITE, D. Evaluation of PERSIANN System Satellite–Based Estimates of Tropical Rainfall. **Bull. Am. Meteorol. Soc.**, 81, 2035–2046, 2000.

SUN, M.; LIU, A.; ZHAO, L.; WANG, C.; YANG, Y. Evaluation of Multi-Source Precipitation Products in the Hinterland of the Tibetan Plateau. **Atmosphere**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 138, 22 jan. 2024. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos15010138>.

TRAORE, V. B.; SAMBOU, S.; TAMBA, S.; FALL, S.; DIAW, A. T.; CISSE, M. T. Calibrating the Rainfall-Runoff Model GR4J and GR2M on the Koulountou River Basin, a Tributary of the Gambia River. **American Journal of Environmental Protection**, v. 3, n. 1, 20, p. 36-44, 2014.

UKASHA, M.; RAMIREZ, J.A.; NIEMANN, J.D. Temporal Variations of NDVI and LAI and Interactions with Hydroclimatic Variables in a Large and Agro-Ecologically Diverse Region. **J. Geophys. Res. Biogeosci.**, 127, e2021JG006395, 2022.

UZANNE, O. **The end of books**. Adelaide: University of Adelaide, 2014. Disponível em: <https://ebooks.adelaide.edu.au/u/uzanne/octave/end/>. Acesso em: 20 abr. 2019.

VAN WART, J.; GRASSINI, P.; YANG, H.; CLAESSENS, L.; JARVIS, A.; CASSMAN, K.G. Creating Long-Term Weather Data from Thin Air for Crop Simulation Modeling. **Agric. For. Meteorol.** 2015, 209–210, 49–58.

VERHOEVE, S. L.; KEIJZER, T.; KAITILA, R.; WICKAMA, J.; STERK, G. Vegetation Resilience under Increasing Drought Conditions in Northern Tanzania. **Remote Sensing**, v. 13, n. 22, p. 4592-5051, 2021.

WART, J.; GRASSINI, P.; CASSMAN, K. G. Impact of Derived Global Weather Data on Simulated Crop Yields. **Global Change Biology**, v. 19, p. 3822–3834, 2013. DOI: 10.1111/gcb.12307.

WEI, Z.; WAN, X. Spatial and Temporal Characteristics of NDVI in the Weihe River Basin and Its Correlation with Terrestrial Water Storage. **Remote Sensing**, v. 14, n. 21, p. 5532-5630, 2022.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644–2659, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.4518>.

XAVIER, A. C. F.; RUDKE, A. P.; SERRÃO, E. A. de O.; TERASSI, P. M. de B.; PONTES, P. R. M. Evaluation of Satellite-Derived Products for the Daily Average and Extreme Rainfall in the Mearim River Drainage Basin (Maranhão, Brazil). **Remote Sensing**, [S.L.], v. 13, n. 21, p. 4393, 31 out. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs13214393>

XAVIER, A.C.; SCANLON, B.R.; KING, C.W.; ALVES, A.I. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). **Int. J. Climatol.**, 42, 8390–8404, 2022.

XIE, P.; CHEN, M.; SHI, W. CPC morphing technique (CMORPH) bias-corrected precipitation estimates in near real time. **Journal of Hydrometeorology**, 18(6), 1617–1637, 2017. DOI: 10.1175/JHM-D-16-0202.1.

XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016. DOI: 10.1002/joc.4518.

XIE, P.; CHEN, M.; SHI, W. CPC morphing technique (CMORPH) bias-corrected precipitation estimates. **Journal of Hydrometeorology**, v. 18, n. 6, p. 1617-1637, 2017. DOI: 10.1175/JHM-D-16-0202.1.

APÊNDICE A – CÓDIGO GEE PARA DOWNLOAD DOS DADOS BR-DWGD

A seguir é apresentado o código utilizado para *download* dos dados BR – DWGD de forma pontual:

```
// Adds two charts next to the map to interactively display a
// time-series of NDVI and reflectance for each click on the map.

// Filter collection to dates of interest.
var PR = ee.ImageCollection("projects/sat-io/open-datasets/BR-DWGD/PR")
    .filterDate('2011-01-01', '2023-12-31');

// Definir fator de escala

var offset = 225
var scale = 0.006866665

// Função para aplicar o fator de escala na banda específica
var scaleBand = function(image) {
    var scaledImage = image.select("b1").rename(['PR']).multiply(scale).add(offset);
    return scaledImage.copyProperties(image, image.propertyNames());
};

var PR = PR.map(scaleBand);

//Map.addLayer(PR);
Map.setCenter(-36, -8, 6);
Map.addLayer(table)

// Create a panel to hold our widgets.
var panel = ui.Panel();
```

```

panel.style().set('width', '300px');

// Create an intro panel with labels.
var intro = ui.Panel([
  ui.Label({
    value: 'Two Chart Inspector',
    style: {fontSize: '20px', fontWeight: 'bold'}
  }),
  ui.Label('Click a point on the map to inspect.')
]);
panel.add(intro);

// Create panels to hold lon/lat values.
var lon = ui.Label();
var lat = ui.Label();
panel.add(ui.Panel([lon, lat], ui.Panel.Layout.flow('horizontal')));

// Register a callback on the default map to be invoked when the map is clicked.
Map.onClick(function(coords) {
  // Update the lon/lat panel with values from the click event.
  lon.setValue('lon: ' + coords.lon.toFixed(2)),
  lat.setValue('lat: ' + coords.lat.toFixed(2));

  // Add a red dot for the point clicked on.
  var point = ee.Geometry.Point(coords.lon, coords.lat);
  var dot = ui.Map.Layer(point, {color: 'FF0000'});
  Map.layers().set(1, dot);

  // Create an NDVI chart.
  var ndviChart = ui.Chart.image.series(PR, point, ee.Reducer.mean(), 500);
  ndviChart.setOptions({
    title: 'Prec Over Time',
    vAxis: {title: 'Precipitação'},
    hAxis: {title: 'date', format: 'MM-yy', gridlines: {count: 7}},
  });

```

```
});  
panel.widgets().set(2, ndviChart);  
  
});  
  
Map.style().set('cursor', 'crosshair');  
  
// Add the panel to the ui.root.  
ui.root.insert(0, panel);
```

APÊNDICE B – CÓDIGO GEE PARA DOWNLOAD DOS DADOS PERSIANN-CDR: Precipitation Estimation From Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks-Climate Data Record

Os dados PERSIANN -CDR podem ser acessados por meio da plataforma digital do GEE, no link, a seguir.

https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NOAA_PERSIANN-CDR?hl=pt-br

A seguir é apresentado o código utilizado para *download* dos dados:

```
var dataset = ee.ImageCollection('NOAA/PERSIANN-CDR')
    .filter(ee.Filter.date('2017-05-01', '2017-05-02'));
var precipitation = dataset.select('precipitation');
var precipitationVis = {
  min: 0.0,
  max: 50.0,
  palette: ['3907ff', '03fff3', '28ff25', 'fbff09', 'ff1105'],
};
Map.setCenter(113.03, 3.34, 3);
Map.addLayer(precipitation, precipitationVis, 'Precipitation');
```

APÊNDICE C – CÓDIGO GEE PARA DOWNLOAD DOS DADOS CHIRPS

Os dados CHIRPS podem ser acessados por meio da plataforma digital do GEE, no link, a seguir.

<https://chc.ucsb.edu/data/chirps>

A seguir é apresentado o código utilizado para *download* dos dados:

```
var dataset=ee.ImageCollection('NASA/FLDAS/NOAH01/C/GL/M/V001')
    .filter(ee.Filter.date('2018-11-01', '2018-12-01'));
var layer = dataset.select('Evap_tavg');

var band_viz = {
  min: 0.0,
  max: 0.00005,
  opacity: 1.0,
  palette: ['black', 'blue', 'purple', 'cyan', 'green', 'yellow', 'red']
};

Map.setCenter(30.0, 30.0, 2);
Map.addLayer(layer, band_viz, 'Average Evapotranspiration');
```