

## ANÁLISE ESPACIAL DA VARIABILIDADE DE PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARNAÍBA, NORDESTE DE BRASIL

### Spatial Analysis of Precipitation Variability in Parnaíba River Watershed, Northeast of Brazil

Reurysson Chagas de Sousa Morais<sup>1</sup>, Lizandro Pereira de Abreu<sup>2</sup>

<sup>3</sup> Prof. Dr. do Instituto Federal do Piauí - Campus Teresina Central; [reurysson@ifpi.edu.br](mailto:reurysson@ifpi.edu.br);  
ORCID: 0000-0002-1334-4182

<sup>2</sup> Prof. Me. do Instituto Federal do Piauí - Campus Corrente e Discente do Programa de Pós-graduação em  
Ciências Climáticas da Universidade Federal do Rio Grande do Norte; [lizandro.abreu@ifpi.edu.br](mailto:lizandro.abreu@ifpi.edu.br);  
ORCID: 0000-0001-6427-3356

**RESUMO:** A ocorrência de precipitação no nordeste brasileiro resulta da atuação de sistemas meteorológicos que operam em escalas local, regional e global. Oscilações nos mecanismos físicos que controlam esses sistemas produzem variações na distribuição espacial e temporal das chuvas, resultando em anos com escassez, excesso ou condições normais de precipitação. Compreender a dinâmica das precipitações é de extrema importância para a proposição de estratégias de enfrentamento a eventos extremos como secas e inundações. Diante disso, este trabalho teve como objetivo apresentar uma análise espacializada da variabilidade de precipitação na bacia hidrográfica do rio Parnaíba (BHRP), situada na região nordeste do Brasil. Para tanto, foram utilizados dados de precipitação estimados por múltiplos satélites de monitoramento atmosférico (*TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis - TMPA*), com resolução espacial de 0,25° x 0,25°, para um período de 22 anos (1998-2019). Estatísticas foram calculadas para obtenção das condições extremas, médias e variações das precipitações. Foi utilizada a técnica dos Quantis para identificação dos anos-padrão para cada célula da grade da bacia. A utilização de dados pluviométricos estimados por sensoriamento remoto possibilitou a compreensão da distribuição espacial e variação das precipitações ao longo da BHRP. Períodos de secas extremas foram observados em diferentes regiões nos anos 1998, 2007, 2012, 2015 e 2016, ao passo que os anos 2000, 2008, 2009 e 2011 foram extremamente chuvosos. Nenhum padrão espacial de distribuição da condição de precipitação pode ser identificado ao longo da série histórica, o que reforça a necessidade do estabelecimento de monitoramento contínuo da precipitação da BHRP, visando subsidiar programas de enfrentamento a eventos extremos, e ações de gerenciamento de recursos hídricos.

**Palavras-chave:** Anos-padrão de precipitação. Rio Parnaíba. Sensoriamento Remoto.

**ABSTRACT:** The occurrence of precipitation in northeastern Brazil results from the meteorological action of systems that act at local, regional and global scales. Oscillations in the physical mechanisms that control these systems produce variations in spatial and temporal distribution of rainfall, resulting in years with scarcity, excess or normal rainfall conditions. Understanding the rainfall dynamics is extremely important for proposing strategies to face extreme events such as droughts and floods. Therefore, this work aimed to present a spatial analysis of rainfall variability in the Parnaíba river watershed (BHRP), located in the northeast of Brazil. For this purpose, precipitation data estimated by multiple atmospheric monitoring satellites (*TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis - TMPA*) were used, with 0.25° x 0.25° of spatial resolution, for a period of 22 years (1998-2019). Statistics were calculated to obtain extreme conditions, averages and rainfall variations. The Quantile technique was used to identify the standard years for each cell in watershed grid. The use of rainfall data estimated by remote sensing made it possible to understand the spatial distribution and variation of rainfall along the BHRP. Extreme drought periods were observed in different regions in the years 1998, 2007, 2012, 2015 and 2016, while the years 2000, 2008, 2009 and 2011 were extremely rainy. No spatial pattern of precipitation condition distribution can be identified along the time series, which reinforces the need to establish continuous monitoring of BHRP precipitation, aiming to subsidize programs to face extreme events, and water resources management actions.

**Keywords:** Standard years of precipitation. Parnaíba River. Remote sensing.

## 1 Introdução

A ocorrência de precipitação na região Nordeste do Brasil resulta da atuação de sistemas meteorológicos que operam em escalas espacial e temporal distintas, e são responsáveis por acentuada variabilidade interanual, com alguns anos extremamente secos e outros extremamente chuvosos (MEDEIROS *et al.*, 2018; KAYANO; ANDREOLI, 2009).

Segundo Kayano e Andreoli (2009), as variações interanuais de precipitação na região Nordeste estão associadas tanto aos fenômenos El Niño-Oscilação Sul (ENOS), resultantes das flutuações das temperaturas da superfície do Pacífico, quanto às anomalias da temperatura da superfície do mar do Atlântico Tropical. Assim, o Nordeste tende a registrar maiores volumes de chuva sobre influência da La Niña, em contraste com os períodos mais secos associados ao El Niño.

Essas oscilações na precipitação podem impactar aos indicadores sociais e econômicos, uma vez que a sobrevivência, a permanência da população e o desenvolvimento agrícola dependem essencialmente da oferta de água. Além disso, obras como reservatórios hídricos (especialmente no semiárido) têm sua capacidade intensamente influenciada por estes fenômenos (MEDEIROS *et al.*, 2018).

Já a variabilidade sazonal das precipitações é decorrente a atuação de distintos fatores climáticos como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Sistemas Frontais, Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) (FEDOROVA; LEVIT; CRUZ, 2016; GAN; KOUSKY, 1986; GOMES *et al.*, 2019; KAYANO; ANDREOLI, 2009; MACHADO; ROSSOW, 1993; REBOITA *et al.*, 2015)

Oscilações nos mecanismos físicos que controlam esses sistemas produzem variações na distribuição espacial e temporal das chuvas. O conhecimento dessas variações em determinada região oferece vantagens estratégicas para o gerenciamento dos recursos hídricos, planejamento das atividades produtivas, bem como na implantação de sistemas-resposta a crises decorrentes de eventos extremos como secas (MEDEIROS; OLIVEIRA; TORRES, 2020), além de inundações e deslizamentos de terra (RIBEIRO *et al.*, 2021).

A importância do conhecimento do regime das precipitações levou as instituições governamentais brasileiras a implantar uma rede de monitoramento meteorológico composto de estações convencionais, automáticas e radares de superfície. Apesar disso, essa rede ainda é bastante incipiente, sobretudo nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. Ademais, boa parte dessas estações não dispõem de um histórico de dados que possam ser utilizadas na caracterização climática, quer seja pelo inúmeras falhas de registro ou mesmo por terem sido recém instaladas (MORAIS, 2019).

Uma alternativa para áreas com baixa cobertura da rede monitoramento meteorológica tem sido a utilização de dados de precipitação oriundos programas de monitoramento atmosférico por meio de satélites, a exemplo da *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), e sua sucessora a *Global Precipitation Measurement Mission* (GPM). Juntos esses dois programas fornecem dados de chuvas desde 1998 até o presente, com cobertura quase global (HUFFMAN *et al.*, 2010).

A Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba (BHRP), localizada na região Nordeste do Brasil, possui uma rede de monitoramento meteorológico de baixa densidade. Segundo dados do Sistema Nacional de Informação em Recursos Hídricos (SNIRH) da Agência Nacional de Água, que congrega dados de estações pluviométrica de distintos operadores, a BHRP possui apenas 259 estações em operação (uma densidade 0,7 estação por 1000 km<sup>2</sup>), 63 delas localizadas em território cearense e operadas pela FUCEME. Em decorrência dessa baixíssima densidade, vastas regiões da bacia ficam descobertas, o que dificulta o monitoramento preciso das condições climáticas, o que suscita a adoção de outras bases de dados como aquelas obtidas por meio de sensoriamento remoto.

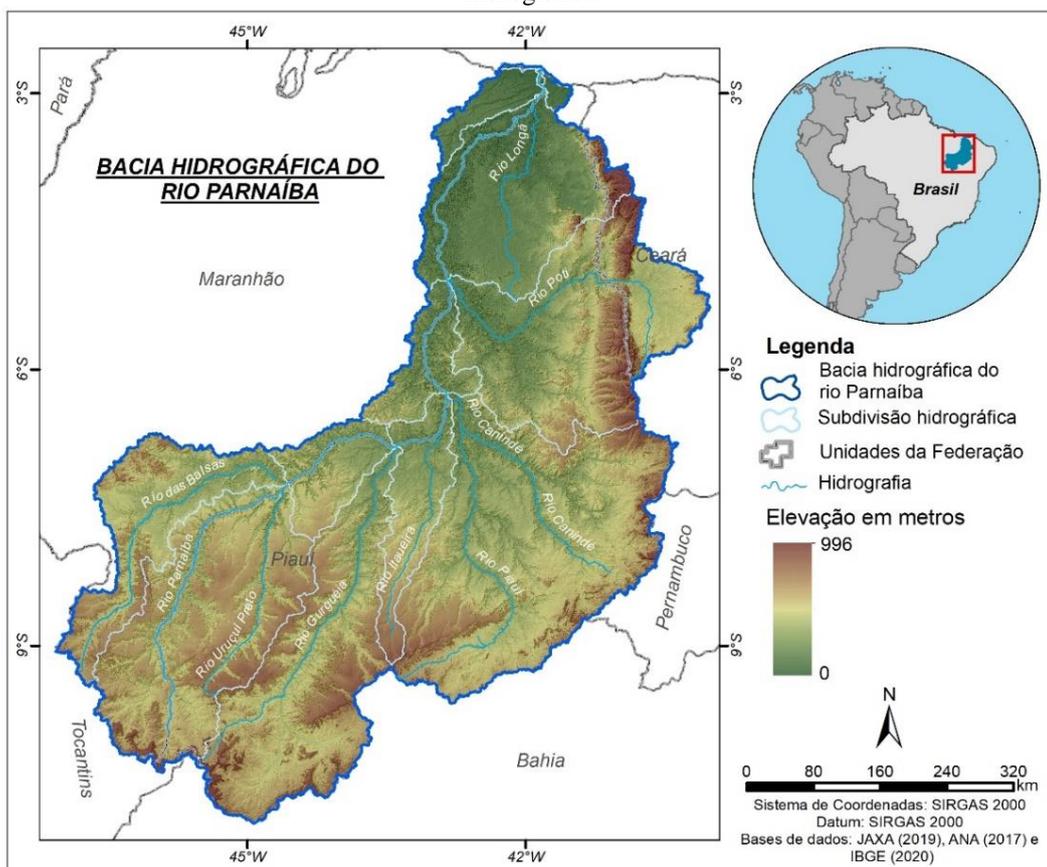
Diante disso, demonstramos, neste trabalho, a variabilidade espacial e temporal da precipitação na bacia hidrográfica do rio Parnaíba (BHRP), e identificamos os anos e regiões que apresentaram condições de excepcionalidade climática. Esses resultados devem auxiliar gestores, pesquisadores e demais interessados no uso de informações climáticas para o estabelecimento de medidas de enfrentamento a situações de crise decorrente de eventos extremos. Oportunamente, demonstramos a capacidade da utilização de dados de precipitação derivados de sensoriamento remoto na caracterização climática da BHRP, ao tempo que estimulamos seu uso em programas de monitoramento ambiental.

## 2 Material e Métodos

### 2.1 Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba (BHRP) é a maior bacia genuinamente nordestina. Localizada entre as coordenadas 2°21'S e 11°06'S de latitude e 47°21'W e 39°44'W de longitude, apresenta 333.920 km<sup>2</sup> distribuídos entre os estados do Piauí, que abrange 75% da sua área total, Maranhão (20%) e Ceará (5%). Tem como principal afluente em terras maranhenses o rio das Balsas, localizado à sudoeste da bacia, enquanto o território cearense é drenado pelos afluentes do alto curso do rio Poti. Além desse, em solo piauiense, merece destaque os rios Gurguéia, Uruçuí Preto, Canindé, Piauí e Longá, conforme pode ser observada na Figura 01.

Figura 01 – Bacia hidrográfica do rio Parnaíba, representada com dados de altimetria, drenagem e subdivisão hidrográfica.



Fonte: elaborado pelos autores.

Do ponto de vista geológico, a BHRP está assentada, em sua maior extensão (cerca de 85% da área), sobre rochas da bacia sedimentar do Parnaíba, uma bacia intracratônica formada a partir do Paleozóico e preenchida por três grandes ciclos sedimentares. Dada sua estrutura concordante subhorizontalizada e monoclinal, apresenta leve inclinação no sentido sudeste-noroeste, responsável pelo surgimento de feições cuestiformes características das Chapadas da Ibiapaba e Serra Grande, bem como feições tubuliformes de chapadas e planaltos. Na região sudeste da BHRP (15% da área) ocorrem estruturas cristalinas pré-cambrianas associadas à depressão sertaneja do São Francisco, marcada pela presença de rochas ígneas e metamórficas (RIVAS, 1996).

Dada as condições impostas pela geologia e climas pretéritos, o relevo da BHRP se apresenta bastante diversificado constituído por planalto e chapadas, concentradas ao sul e sudoeste da bacia, além da Chapada da Ibiapaba à leste, na divisa do Piauí com o Ceará. Ocorrem, ainda, extensas áreas de Superfícies Aplainadas com diferentes graus de degradação que se distribuem desde o extremo sul do Estado até a região do Baixo Parnaíba Piauiense, onde se encontram com os Tabuleiros pré-litorâneas e litorâneos. Na região central da bacia predominam os Baixos Platôs Dissecados, enquanto que à sudeste, associada à depressão sertaneja, ocorrem feições de serras e morros dissecados, dispostas ao longo da fronteira do Piauí com os estados de Pernambuco e Bahia (FERREIRA; DANTAS, 2010).

Na Figura 01 é possível observar a variação altimétrica da BHRP, gerada a partir de dados *ALOS Global Digital Surface Model (AW3D30)*, sobrepostos a um modelo de relevo sombreado. Observa-se que as maiores altitudes da bacia ocorrem à leste, na estreita faixa alongada do Planalto da Ibiapaba. Essa é a principal estrutura de relevo que influencia a circulação de ventos de baixa altitude, oriundo da costa atlântica, sobre o território da bacia. Já as áreas mais rebaixadas se localizam no extremo norte onde o rio Parnaíba ramifica-se, desaguando no oceano em forma de delta.

Devido a sua amplitude latitudinal e posição geográfica, o regime de precipitação na BHRP é bastante diferenciado. Tendo como referência dados de precipitação, Rivas (1996) classificou o clima da BHRP em: semiárido, semiárido a subúmido, subúmido, subúmido a úmido e úmido. Segundo a autora, as áreas submetidas ao clima semiárido ocorrem em uma faixa alongada acompanhando a borda sudeste da bacia, enquanto as áreas de clima úmido restringem-se à porção centro-norte.

# ANÁLISE ESPACIAL DA VARIABILIDADE DE PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARNAÍBA, NORDESTE DE BRASIL

Abreu, Mutti e Lima (2019), ao avaliarem a variabilidade espacial da precipitação na BHRP, identificaram a partir de análise de agrupamento, a ocorrência de quatro áreas com características distintas de precipitação. A primeira delas localizada na porção centro-norte da bacia, onde as precipitações médias anuais ultrapassaram os 1600 mm/ano, configurando-se como região mais úmida. A segunda área coincide parcialmente com a área de clima semiárido delimitada por Rivas (1996), e apresentaram precipitações médias variando entre 600 mm e 1000 mm. O terceiro agrupamento estende-se por toda a região centro-sul com precipitações médias anuais entre 800 mm e 1400 mm. A quarta e última área, localizada a sudoeste da bacia, apresentou precipitações médias anuais entre 1200 mm e 1600 mm.

Sob influência das condições geoambientais descritas, a vegetação da BHRP é representada por espécies da Caatinga, mais restritas às áreas dominadas por clima semiárido; e Cerrado, essas estendendo-se por quase toda a bacia em diferentes níveis de sucessão vegetal. Nas áreas de alta pluviosidade encontram-se espécies de Florestas Ombrófilas Abertas, a exemplo das matas dos cocais na região do Médio Parnaíba (RIVAS, 1996).

## 2.2 Base de dados e Procedimentos de análise

A análise espacial e temporal da variabilidade da precipitação na bacia hidrográfica do rio Parnaíba levou em consideração dois procedimentos específicos. Inicialmente, buscou-se mapear, a partir da série histórica de precipitação, as condições médias e extremas e variabilidade da precipitação. No segundo momento, buscou analisar a variabilidade da condição da precipitação da bacia a partir da identificação dos anos-padrão.

Para tanto, foram utilizados conjunto de dados de precipitação média anual estimada a partir de múltiplos satélites de monitoramento atmosférico, integrado pelo algoritmo *TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis* (TMPA), com resolução espacial de 0,25° x 0,25°, denominado TRMM\_3B43 v7 (TRMM, 2011), correspondente a um período de 22 anos (1998-2019). Estes dados foram disponibilizados para a área da BHRP, em formato GeoTIFF, pelo sistema de dados *online* Giovanni (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov>), desenvolvido e mantido pelo *Goddard Earth Sciences Data And Information Services Center* (GES DISC) da Agência Espacial Americana (ACKER; LEPTOUKH, 2007).

Visando a necessidade de se obter diferentes estatísticas com base nos valores de cada *pixel* do conjunto de dados, optou-se por criar uma grade de polígonos com seus respectivos centróides (pontos), utilizando o ArcGIS, versão 10.8.1 (ferramenta *Create Fishnet*), de modo que cada polígono da grade coincidissem com os limites dos *pixels* dos arquivos *rasters* originais. Posteriormente, os valores dos *pixels* de cada um dos 22 arquivos *raster* foram extraídos para a grade de pontos (*Extract Multi Values to Points*) e a tabela de atributos exportada para o formato Excel (*Table to Excel*).

No *Microsoft Office Excel*, para cada linha contendo os dados de precipitação acumulada anual de um ponto da grade, foram calculadas as estatísticas: valor mínimo, máximo, média, distintos percentis, desvio-padrão e coeficiente de variação (CV), que subsidiaram a etapa posterior de identificação dos anos-padrão.

Para a representação da variabilidade espacial das precipitações máxima, mínima, precipitação média anual e CV, adotou-se o procedimento de unir a tabela contendo as estatísticas calculadas com a tabela de atributos dos *shapefile* de pontos. Feito isso, procedeu-se à interpolação dos dados utilizando o método *Spline*. Este método foi apontado por Lyra *et al.* (2018) com o preciso e exato entre os demais métodos determinísticos utilizados na interpolação de dados mensais de precipitação no Rio de Janeiro.

Na identificação dos anos-padrão foi aplicado a técnica dos Quantis ( $q_p$ ), conforme descrito por Schneider e Silva (2014), também utilizada por (OLIVEIRA; SANTOS E SILVA; LIMA, 2017). Se estabeleceu, portanto, proporções ( $p$ ) dos valores de precipitação histórica, observada em cada ponto da grade, de modo a se obter as classes da condição de precipitação da BHRP. Assim sendo, considerou-se os valores de precipitação acumulada anual inferiores e superiores àqueles definidos pelos percentis  $p_5$  e  $p_{95}$ , como os limites das classes Extremamente seco e Extremamente úmido, respectivamente. a classe Normal ficou delimitada pelos percentis  $p_{25}$  e  $p_{75}$ . As demais classes podem ser consultadas no Quadro 01.

Quadro 01 – Classificação da condição de precipitação da BHRP com base *p-quantil* ( $q_p$ ) da precipitação observada.

Cor	Classe	Intervalos	Código
	Extremamente seco	$q_0 \leq \text{Prec} < q_5$	1
	Seco	$q_5 \leq \text{Prec} < q_{25}$	2
	Normal	$q_{25} \leq \text{Prec} < q_{75}$	3
	Úmido	$q_{75} \leq \text{Prec} < q_{95}$	4
	Extremamente úmido	$q_{95} \leq \text{Prec} \leq q_{100}$	5

Fonte: Schneider e Silva (2014); Zavattini e Boin (2013).

Após a identificação dos valores de precipitação correspondentes aos percentis, procedeu-se a codificação das classes com a substituição dos valores originais pelos seus respectivos códigos (Quadro 1), utilizando uma função condicional no Excel. A tabela codificada foi unida à tabela de atributos da grade de polígonos gerada na etapa anterior. Em seguida, o arquivo vetorial foi rasterizado preservando, assim, a resolução espacial original dos dados ( $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ ). Esse procedimento permitiu espacializar a condição de precipitação da bacia para cada ano da série histórica.

### 3 Resultados e discussão

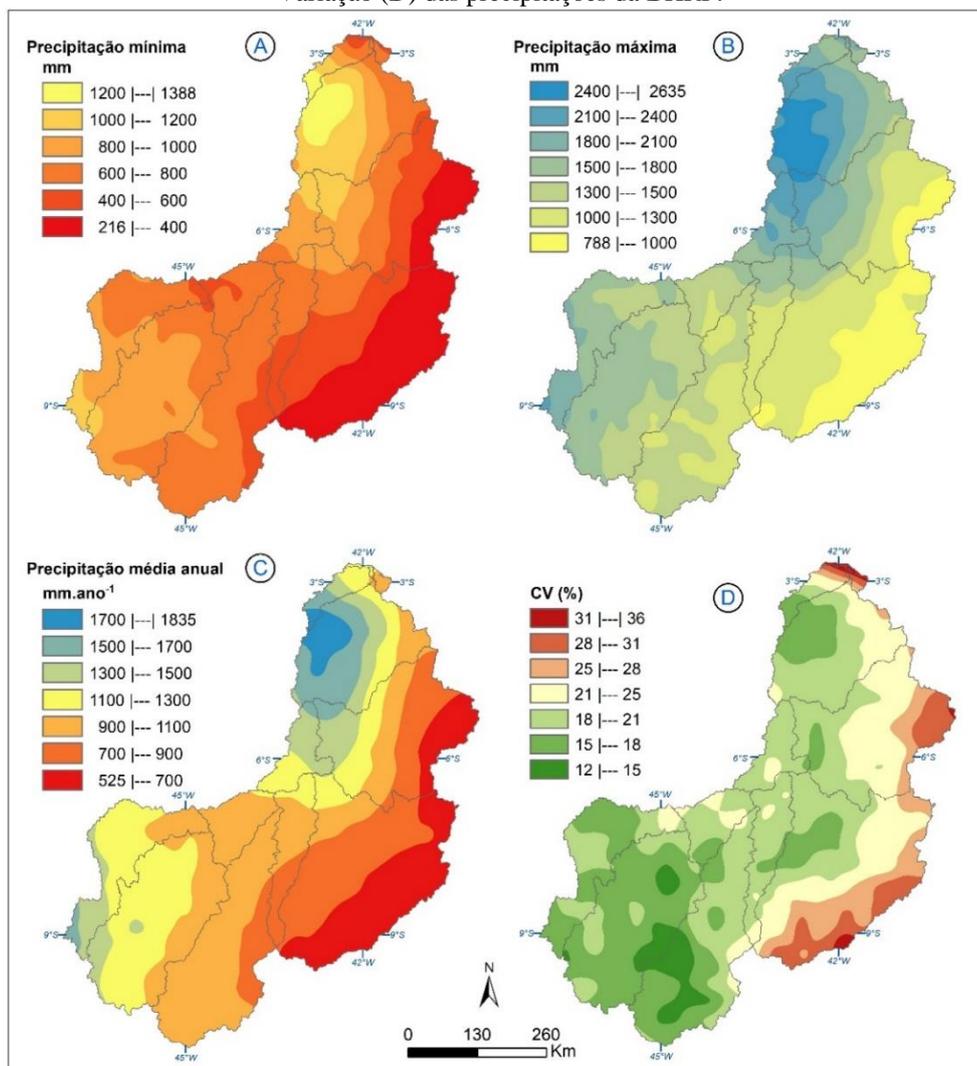
Com base na série histórica de dados de precipitação estimada por satélite obteve-se a variabilidade espacial das precipitações da BHRP. Constatou-se que a bacia apresenta condição de pluviosidade bastante diversificada ao longo de sua extensão, exibindo áreas extremamente secas em contraponto a áreas submetidas a elevada pluviosidade. Os mapas apresentados na Figura 2 mostram essa variabilidade das precipitações que, de modo geral, apresentaram tendência de aumento em duas direções preferenciais, no sentido sudeste-noroeste e leste-sudoeste.

O mapa das precipitações mínimas (Figura 2-A) mostra a distribuição dos menores registros de precipitação extraídos da série histórica. Retrata um cenário crítico em que toda a bacia estaria submetida à condição de seca extrema. Observa-se que, nessas condições, algumas regiões localizadas a sudeste receberiam precipitações inferiores a 400 mm. O mapa mostra ainda que, nesse cenário de precipitações mínimas, importantes áreas da bacia destinada à produção de grãos, notadamente a região sudoeste, experimentariam perdas de produtividade em decorrência das precipitações reduzidas.

Por outro lado, o mapa das precipitações máximas (Figura 2-B) mostra a distribuição dos maiores registros de precipitação extraídos da série histórica. Observa-se que, nesse cenário, as precipitações ficariam superiores a 788 mm na região semiárida, e atingiriam a marca de ~2600 mm na região centro-norte da bacia. Essas condições são potencialmente benéficas às atividades agropecuárias, ao passo que podem representar riscos associados a enchentes e inundações, sobretudo na porção centro-norte da bacia.

O cenário de precipitação média anual é apresentado na Figura 2-C onde fica evidente as regiões da bacia submetidas a distintas condições de precipitação, com destaque para a longa faixa em cor vermelho coincidente com a região semiárida, e as áreas nucleares nas regiões centro-norte e sudoeste, que apresentaram os maiores volumes precipitados.

Figura 2 – Variação espacial das precipitações mínimas (A), máximas (B), média anual (C) e Coeficiente de Variação (D) das precipitações da BHRP.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Esses resultados, obtidos exclusivamente com dados derivados de satélite, apresentaram elevada correspondência com a classificação climática realizada por Rivas (1996), e com a análise espacial e temporal da precipitação da BHRP conduzida por Abreu,

## ANÁLISE ESPACIAL DA VARIABILIDADE DE PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARNAÍBA, NORDESTE DE BRASIL

Mutti, Lima (2019), ambos trabalhos realizados com base em dados oriundos de estações meteorológicas convencionais e automáticas.

Com base no mapa da Figura 2-D foi possível observar a magnitude da variação dos acumulados anuais de precipitação. Constatou-se que toda a faixa submetida ao clima semiárido, não somente apresentou os piores índices pluviométricos, como também foi a região com maior variação anual de precipitação ( $CV > 28\%$ ). Essa característica pode influenciar drasticamente a previsibilidade de chuvas para a região, como impacto na agenda agrícola e na gestão dos recursos hídricos, haja vista a dependência que essa região possui dos reservatórios superficiais de água. Esse resultado é convergente ao apontado por Hastenrath (2012), ao afirmar que a região semiárida do Nordeste com uma curta estação chuvosa (março a abril), com grande variabilidade ano a ano; fato que o fez incluir o semiárido na lista de problemas climáticos que ocorrem no Brasil.

Outra região que se destacou por esse mesmo aspecto foi a faixa litorânea. A elevada variação das precipitações observadas para essa região, impõem a necessidade de monitoramento constante para subsidiar ações de prevenção e resposta a eventos extremos. Essa variabilidade pode estar associada ao principal sistema produtor de precipitação na região, ZCIT, e à sua posição influenciada por mecanismos de teleconexões associados a padrões de Temperatura de Superfície do Mar (TSM) do oceano atlântico e suas oscilações já descritas na literatura, como Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) e Oscilação do Atlântico Norte (OAN) (MEDEIROS *et al.*, 2020; SANTOS; SIQUEIRA; MELO, 2016).

As regiões sul e sudoeste da bacia apresentaram as menores taxas de variação da precipitação, situação que favorece o planejamento de atividades produtivas altamente dependentes das chuvas, como a agricultura comercial e pecuária.

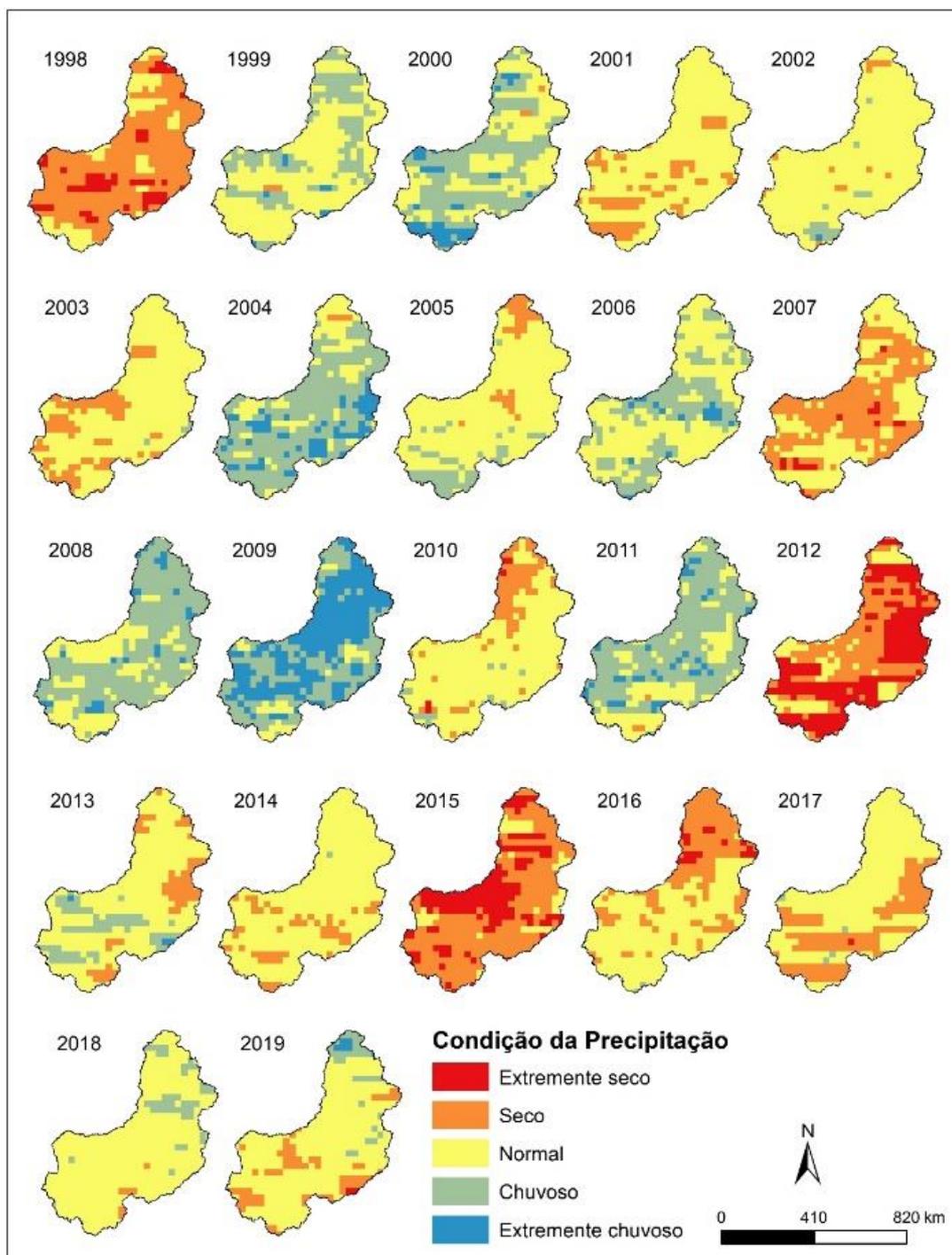
Considerando a variabilidade interanual, observa-se, de modo geral, que nos anos 1998, 2007, 2012, 2015 e 2016 a BHRP apresentou, em sua maior extensão, regiões submetidas a condição de secas e secas extremas, ao passo que o ano de 2009 foi identificado como extremamente chuvoso, seguido pelos anos de 2000, 2004, 2008 e 2011 que também se apresentaram como anos chuvosos. Nos demais anos da série histórica prevaleceu a condição de normalidade, conforme pode ser observado na Figura 03. O evento de seca severa ocorrido entre 2012 e 2016 é meteorologicamente descrito por Medeiros, Oliveira e Torres(2020)

A ocorrência de anos secos e extremamente secos produz impactos severos nos estoques hídricos e na economia dos estados que integram a bacia, especialmente o Piauí. Lima *et al.* (2017) avaliaram que as perdas registradas na produção agrícola, na pecuária e a redução do volume dos reservatórios no estado do Piauí, entre os anos de 2010 e 2016, estavam relacionadas às secas registradas no período.

Analisando a variabilidade espacial intra-anual, observou-se, para cada ano, uma distribuição específica das condições de precipitação. Secas extremas foram observadas em regiões nucleares dispersas na bacia em 1998, enquanto em 2012 essa condição se distribuiu por todas as regiões. Já em 2015 concentrou-se na porção central e norte da bacia. Nos anos 2010 e 2016 apenas a região centro-norte, que é tipicamente mais úmida, apresentou condição de seca e seca extrema, enquanto o restante da bacia apresentava situação de normalidade.

Figura 03 – Variabilidade espacial e temporal das condições de precipitação da BHRP.

# ANÁLISE ESPACIAL DA VARIABILIDADE DE PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARNAÍBA, NORDESTE DE BRASIL



Fonte: elaborado pelos autores.

Situação oposta foi observada no ano 2000, que se mostrou extremamente chuvoso no sul da BHRP, enquanto em 2004 as chuvas excessivas foram observadas na região sudeste. Em 2009 a região central da bacia foi extremamente chuvosa, o que resultou na elevação excessiva das cotas dos rios Parnaíba e Poti ocasionando inundações na cidade de

Teresina. Um histórico da ocorrência de inundações em Teresina e sua associação com o regime de precipitação pode ser obtido em Chaves, Tavares e Andrade (2018).

Para 2019 a condição de chuva extrema foi observada apenas na região litorânea, fato que produziu inundações e alagamentos no município de Parnaíba. Uma análise das causas e consequências desse evento extremo foi apresentada por Costa Sobrinho e Santos (2019).

A análise global dos dados não permitiu identificar um padrão de repetição da variabilidade espacial e temporal das condições de precipitação da bacia. A aparente aleatoriedade reforça a necessidade de um sistema de monitoramento contínuo da precipitação que possa subsidiar programas de enfrentamento a eventos extremos.

Há de se ressaltar, contudo, que o recorte temporal de 22 anos não é suficiente para identificação de padrões climáticos. Contudo, as observações oriundas da constelação de satélites de monitoramento atmosférico preenchem lacunas importantes decorrentes da baixíssima cobertura da rede de monitoramento meteorológico da BHRP.

### **3 Considerações finais**

A utilização de dados pluviométricos estimados por sensoriamento remoto possibilitou a compreensão da distribuição espacial das precipitações extremas, médias e sua variação ao longo da BHRP.

A aplicação da técnica dos Quantis possibilitou a identificação dos anos em que áreas no interior da BHRP foram submetidas a distintas condições de precipitação. Períodos de secas extremas foram observados em diferentes regiões nos anos 1998, 2007, 2012, 2015 e 2016, ao passo que os anos 2000, 2008, 2009 e 2011 foram extremamente chuvosos em algumas regiões da bacia.

Nenhum padrão espacial de distribuição da condição de precipitação pode ser identificado ao longo da série histórica, o que reforça a necessidade do estabelecimento de monitoramento contínuo da precipitação da BHRP, visando subsidiar programas de enfrentamento a eventos extremos, e ações de gerenciamento de recursos hídricos.

A utilização de dados de precipitação oriundos de satélites meteorológicos mostrou-se bastante promissora na análise das condições climáticas da BHRP, que apresenta uma baixíssima rede de monitoramento a partir de estações convencionais e automáticas.

# ANÁLISE ESPACIAL DA VARIABILIDADE DE PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARNAÍBA, NORDESTE DE BRASIL

Proposição de equação de calibração desses dados com base em dados de campo podem oferecer resultados ainda mais satisfatórios.

## Referências bibliográficas

ABREU, L. P.; MUTTI, P. R.; LIMA, K. C. Variabilidade espacial e temporal da precipitação na bacia hidrográfica do Rio Parnaíba, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, [S. l.], v. 7, n. 2, Edição Especial – VI SIMGEAPI, p. 82–97, 2019. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.3524759>. Acesso em: 19 jun. 2020.

ACKER, J. G.; LEPTOUKH, G. Online Analysis Enhances Use of NASA Earth Science Data. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, [S. l.], v. 88, n. 2, p. 14, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2007EO020003>. Acesso em: 1 jun. 2021.

CHAVES, S. C. V. V.; TAVARES, A. C.; ANDRADE, C. S. P. de. Vulnerabilidade às inundações em Teresina, Piauí e ações mitigadoras do poder público. **Sociedade e Território**, Natal, v. 29, n. 2, p. 175, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21680/2177-8396.2017v29n2ID12533>. Acesso em: 12 jun. 2021.

COSTA SOBRINHO, W. F. R.; SANTOS, F. de A. Análise de evento de precipitação extrema ocorrido em Parnaíba-PI, em março e abril de 2019: estudo de caso. In: 2019, Belém. **VIII Simpósio Internacional de Climatologia**. Belém: SBMET/UFPA, 2019. Disponível em: [https://e3sys.com.br/sic2019.com.br/files/ANAIS\\_SIC\\_FINAL.pdf](https://e3sys.com.br/sic2019.com.br/files/ANAIS_SIC_FINAL.pdf). Acesso em: 12 jun. 2021.

FEDOROVA, N.; LEVIT, V.; CRUZ, C. D. On Frontal Zone Analysis in the Tropical Region of the Northeast Brazil. **Pure and Applied Geophysics**, [S. l.], v. 173, n. 4, p. 1403–1421, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00024-015-1166-y>. Acesso em: 14 jun. 2021.

FERREIRA, R. V.; DANTAS, M. E. Relevô. In: PFALTZGRAFF, P. A. dos S.; TORRES, F. de M. T.; BRANDÃO, R. de L. (org.). **Geodiversidade do estado do Piauí**. Recife: CPRM, 2010. p. 45–64. *E-book*. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/16772?show=full>. Acesso em: 9 jun. 2021.

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E. Vórtices Ciclônicos da Alta Troposfera no Oceano Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. l.], v. 1, p. 19–28, 1986.

GOMES, H. B. *et al.* Climatology of easterly wave disturbances over the tropical South Atlantic. **Climate Dynamics**, [S. l.], v. 53, n. 3–4, p. 1393–1411, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04667-7>. Acesso em: 14 jun. 2021.

HASTENRATH, S. Exploring the climate problems of Brazil's Nordeste: a review. **Climatic Change**, [S. l.], v. 112, n. 2, p. 243–251, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0227-1>. Acesso em: 14 jun. 2021.

HUFFMAN, G. J. *et al.* The TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis (TMPA). In: GEBREMICHAEL, M.; HOSSAIN, F. (org.). **Satellite Rainfall Applications for Surface**

**Hydrology**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. p. 3–22. *E-book*. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-90-481-2915-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-90-481-2915-7_1). Acesso em: 13 jun. 2021.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Clima da região nordeste do Brasil. *In*: CAVALCANTI, I. F. A. *et al.* (org.). **Tempo e clima no Brail**. São Paulo: Oficina de Texto, 2009. p. 2013–234. *E-book*.

LIMA, M. G. *et al.* Secas de 2010 a 2016 no Piauí : impactos e respostas do Estado em articulação com os programas nacionais. **Parcerias estratégicas**, Brasília, DF, v. 22, n. 44, p. 155–180, 2017. Disponível em: [http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias\\_estrategicas/article/view/850/778](http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/view/850/778). Acesso em: 13 jun. 2020.

LYRA, G. B. *et al.* Evaluation of methods of spatial interpolation for monthly rainfall data over the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, [S. l.], v. 134, n. 3–4, p. 955–965, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2322-3>. Acesso em: 14 jun. 2021.

MACHADO, L. A. T.; ROSSOW, W. B. Structural characteristics and radiative properties of tropical cloud clusters. **Monthly Weather Review**, [S. l.], v. 121, n. 12, p. 3234–3260, 1993. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1993\)121<3234:SCARPO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1993)121<3234:SCARPO>2.0.CO;2). Acesso em: 14 jun. 2021.

MEDEIROS, F. J. *et al.* Impact of the interannual variability of precipitation on the reservoirs of the Semiarid Northeast Brazil Region. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, [S. l.], v. 41, n. 3, p. 731–741, 2018. Disponível em: [https://doi.org/10.11137/2018\\_3\\_731\\_741](https://doi.org/10.11137/2018_3_731_741). Acesso em: 14 jun. 2021.

MEDEIROS, F. J. *et al.* Numerical simulation of the circulation and tropical teleconnection mechanisms of a severe drought event (2012–2016) in Northeastern Brazil. **Climate Dynamics**, [S. l.], v. 54, n. 9–10, p. 4043–4057, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05213-6>. Acesso em: 14 jun. 2021.

MEDEIROS, F. J.; OLIVEIRA, C. P.; TORRES, R. R. Climatic aspects and vertical structure circulation associated with the severe drought in Northeast Brazil (2012–2016). **Climate Dynamics**, [S. l.], v. 55, n. 9–10, p. 2327–2341, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05385-1>. Acesso em: 14 jun. 2021.

MORAIS, R. C. S. Estruturação de uma base de dados pluviométricos para a bacia hidrográfica do rio Parnaíba a partir de dados de sensoriamento remoto. *In*: 2019, Recife, Brasil. **Anais do SIRGEO - Simpósio Regional de Geoprocessamento**. Recife, Brasil: Even3, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.29327/15210.1-3>. Acesso em: 20 ago. 2019.

OLIVEIRA, P. T.; SANTOS E SILVA, C. M.; LIMA, K. C. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, [S. l.], v. 130, n. 1–2, p. 77–90, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1865-z>. Acesso em: 14 jun. 2021.

REBOITA, M. S. *et al.* Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **Terrae Didactica**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 34, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/td.v8i1.8637425>

# ANÁLISE ESPACIAL DA VARIABILIDADE DE PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARNAÍBA, NORDESTE DE BRASIL

RIBEIRO, M. S. M. *et al.* Environmental disasters in northeast Brazil: hydrometeorological, social and sanitary factors. **Weather, Climate, and Society**, [S. l.], 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-20-0132.1>. Acesso em: 14 jun. 2021.

RIVAS, M. P. **Macrozoneamento geoambiental da bacia hidrográfica do rio Parnaíba** (M. P. Rivas, Org.): Estudos e Pesquisas em Geociências. Rio de Janeiro: IBGE, 1996. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=284769&view=detalhes>. Acesso em: 10 jun. 2021.

SANTOS, N. A.; SIQUEIRA, A. H. B.; MELO, M. L. D. Precipitação sobre a América do Sul e suas relações com a Oscilação Multidecadal do Atlântico e a Oscilação do Atlântico Norte. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 18, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/abclima.v18i0.36302>. Acesso em: 14 jun. 2021.

SCHNEIDER, H.; SILVA, C. A. O uso do modelo Box Plot na identificação de anos-padrão secos, chuvosos e habituais na microrregião de Dourados, Mato Grosso do Sul. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, São Paulo, v. 27, n. 2014, p. 131–146, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rdg.v27i0.495>. Acesso em: 1 jun. 2021.

TROPICAL RAINFALL MEASURING MISSION. **TRMM (TMPA/3B43) Rainfall Estimate L3 1 month 0.25 degree x 0.25 degree V7**. Greenbelt, MD: Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5067/TRMM/TMPA/MONTH/7>. Acesso em: 3 jun. 2021.

ZAVATTINI, J. A.; BOIN, M. N. **Climatologia geográfica: teoria e prática de pesquisa**. 1. ed. Campinas, SP: Editora Alínea, 2013. *E-book*.