



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
CURSO TECNOLOGIA EM GEOPROCESSAMENTO

MARCO AURÉLIO DA SILVA LIRA FILHO

GOOGLE EARTH ENGINE APLICADO AO MAPEAMENTO DA PLUVIOSIDADE
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTI - PIAUÍ / BRASIL

TERESINA

2024

MARCO AURÉLIO DA SILVA LIRA FILHO

GOOGLE EARTH ENGINE APLICADO AO MAPEAMENTO DA PLUVIOSIDADE NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTI - PIAUÍ / BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo científico)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Tecnologia em
Geoprocessamento do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus
Teresina Central.

Orientador: Prof. Me. Antônio Celso de Sousa Leite.

TERESINA

2024

GOOGLE EARTH ENGINE APLICADO AO MAPEAMENTO DA PLUVIOSIDADE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTI - PIAUÍ / BRASIL

Marco Aurélio da Silva Lira Filho¹
Antônio Celso de Sousa Leite²

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo mapear a distribuição da pluviosidade anual por meio de imagens de satélite (CHIRPS), em uma série histórica de 24 anos (2000 a 2023) na bacia hidrográfica do rio Poti, por meio do *Google Earth Engine* (GEE) que é uma ferramenta poderosa de computação em nuvem desenvolvida pela Google para análise geoespacial e processamento de grandes volumes de dados geográficos. Para o alcance do objetivo, elaborou-se um algoritmo em linguagem *JavaScript*, implementado em ambiente de computação em nuvem do *Google Earth Engine* (GEE), que possibilitou a coleta e processamento, junto aos servidores da Google, de 8.918 imagens com informações de pluviosidade acumulada para uma série histórica no intervalo de 01/01/2000 a 31/12/2023. Como principais resultados têm-se: a elaboração de mapeamento temático da distribuição espacial da pluviosidade na bacia hidrográfica do rio Poti, o que possibilitou interpretar e compreender a relação dos totais de precipitação com a atuação de fenômenos climáticos *El Niño*, *La Niña* e *ZCIT* e o desenvolvimento de algoritmo estruturado em linguagem *Javascript* para análise de dados de precipitação obtidos de imagens do satélite CHIRPS. O emprego de programação em nuvem para a análise da pluviosidade na bacia hidrográfica do Rio Poti, mostrou-se eficiente, pois automatizou a análise de uma grande quantidade de dados de imagens meteorológicas, não necessitando de um robusto sistema de computação local para acessar, processar e manipular os dados.

Palavras-chave: programação; sensoriamento remoto; pluviosidade; chirps.

ABSTRACT

This research aims to map the distribution of annual rainfall using satellite images (CHIRPS) over a 24-year historical series (2000 to 2023) in the Poti River basin, through Google Earth Engine (GEE), a powerful cloud computing tool developed by Alphabet for geospatial analysis and processing of large volumes of geographic data. To achieve this objective, an algorithm was developed in JavaScript and implemented in the Google Earth Engine (GEE) cloud computing environment, enabling the collection and processing, alongside Alphabet's servers, of 8,674 images with accumulated rainfall information for a historical series from 01/01/2000 to 12/31/2023. The main results include: the development of spatial distribution mapping of rainfall in the Poti River basin, which allowed for the interpretation and understanding of the relationship between total precipitation and the influence of climatic phenomena such as El Niño, La Niña, and the ITCZ; and the development of a structured algorithm in JavaScript implemented in the GEE development environment for analyzing precipitation data obtained

¹ Graduando em Tecnologia em Geoprocessamento. IFPI. marcolira.geotec@gmail.com

² Professor do curso de Tecnologia em Geoprocessamento. IFPI. antonio.celso@ifpi.edu.br

from CHIRPS images. The use of cloud programming for rainfall analysis in the Poti River basin proved to be efficient, as it automated the analysis of a large amount of meteorological image data, eliminating the need for a robust local computing system to access, process, and manipulate the data.

Keywords: programming; remote sensing; rainfall; chirps.

Data de aprovação: 22/11/2024

1 INTRODUÇÃO

No presente momento, a sociedade discute os efeitos da mudança do clima e experimentam catástrofes climáticas com efeitos nocivos ao meio ambiente e às populações, sobretudo as que residem em áreas vulneráveis. Este cenário tem levado a um aumento significativo na conscientização global sobre a urgência de medidas efetivas para mitigar os impactos ambientais. Governos, organizações não governamentais, cientistas e sociedade civil, em todo o mundo implementam esforços para desenvolver soluções que possam reduzir os efeitos negativos da mudança climática e com isso proteger a biodiversidade e o meio ambiente.

Dentre os esforços governamentais destaca-se a Conferência das Partes – COP, reúne os principais líderes mundiais, cientistas, representantes da sociedade civil e organizações não governamentais, para firmar acordos e estratégias com a finalidade de construir ações e medidas que possibilitem conter o avanço das mudanças climáticas e mitigar os seus efeitos nocivos para o meio ambiente global.

O Brasil é um ator importante nas negociações climáticas, pois além da sua grande biodiversidade, com vasta cobertura florestal, o que é crucial para a regulação climática, possui uma das matrizes energéticas mais limpas. Portanto, é líder mundial nas discussões sobre as mudanças climáticas, sendo que em novembro de 2025 a cidade de Belém no Pará, sediará a COP 30.

Neste contexto as Geotecnologias, notadamente as do Sensoriamento Remoto, são essenciais para o monitoramento ambiental e a mitigação dos efeitos de eventos extremos. Elas possibilitam o monitoramento contínuo e em tempo real, o que é crucial para detectar mudanças ambientais e assim analisar tendências e padrões. Essas tecnologias são fundamentais para a prevenção e planejamento, permitindo a obtenção de diversos dados e *insights* para uma resposta rápida a desastres, auxiliando na avaliação de danos e coordenação de operações de socorro às populações atingidas.

Sendo uma tecnologia de Sensoriamento Remoto, os satélites meteorológicos cumprem uma função essencial no monitoramento de padrões climáticos, pois preenchem as lacunas das estações meteorológicas terrestres, haja vista que estas fornecem registros pontuais, que podem apresentar falhas e que somados à distribuição irregular e a baixa densidade no espaço, trazem dificuldades para uma análise meteorológica e climática mais assertiva (Rampazo, et al. 2019).

Para fomentar a análise e monitoramento climático, existem vários sistemas sensores com as mais diversas especificidades e com uma grande base de dados históricos e em constante crescimento.

Essa enorme quantidade de dados climatológicos, configura-se em um *Big Data*, que é um termo que descreve uma grande quantidade de dados complexos, requerendo ferramentas robustas de alto poder de processamento computacional, possibilitando analisar, monitorar e identificar padrões (Norato, 2024).

Buscando contribuir com os estudos climatológicos no Estado do Piauí, o objetivo deste trabalho é mapear a distribuição da pluviosidade anual por meio de imagens de satélite (CHIRPS), em uma série histórica de 24 anos (2000 a 2023) na bacia hidrográfica do rio Poti, por meio do Google Earth Engine (GEE) que é uma poderosa ferramenta de computação em nuvem desenvolvida pela Google para análise geoespacial e processamento de grandes volumes de dados geográficos.

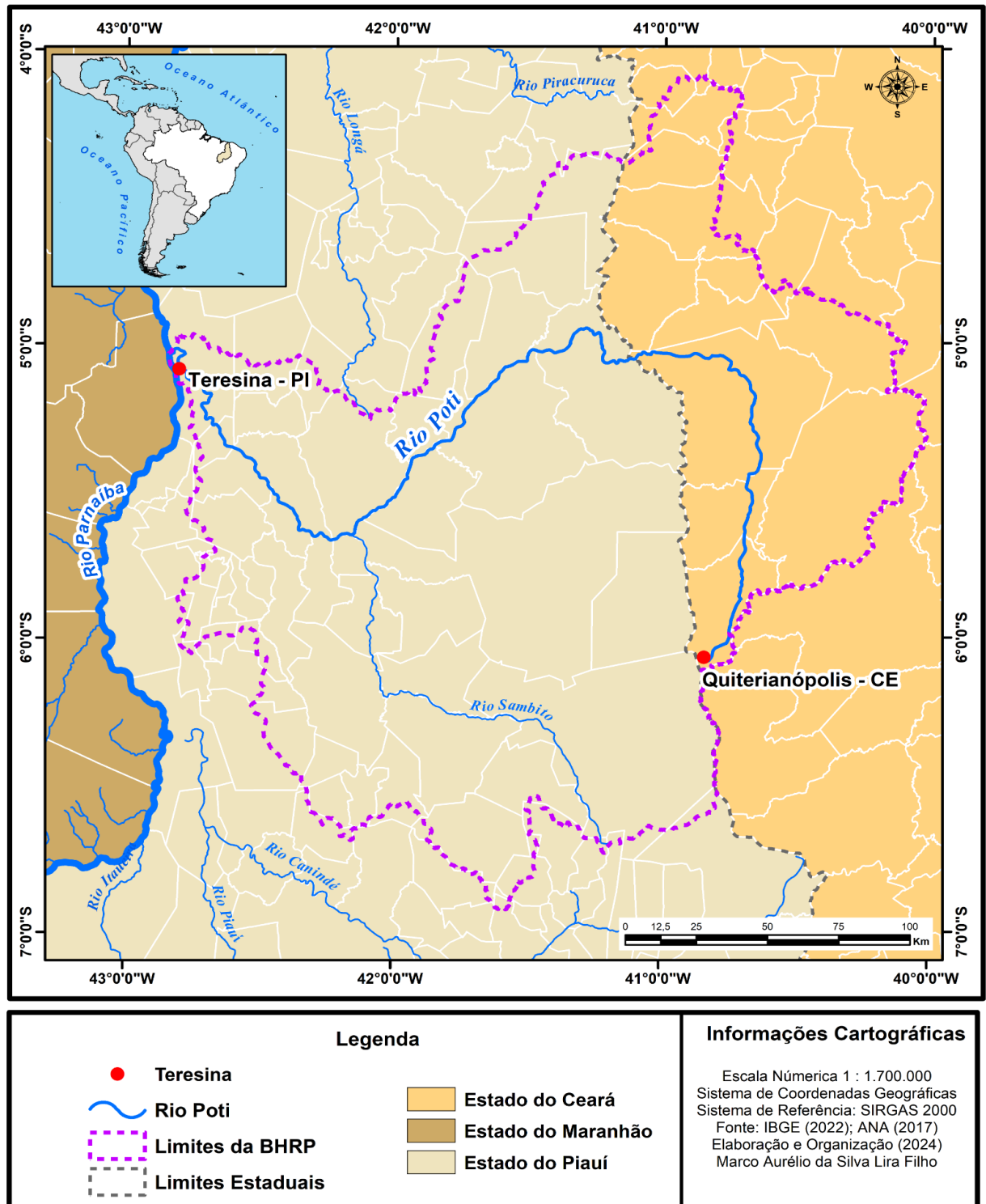
A escolha da bacia hidrográfica do rio Poti, como objeto de estudo deve-se, portanto, ao fato da mesma apresentar contrastes climáticos que influenciam na fisionomia e funcionalidade dos elementos componentes da paisagem, sendo que estes têm reflexos diretos e indiretos nos padrões de uso e cobertura da terra e entender o comportamento climático é importante para fomentar uma gestão do espaço mais eficiente.

2 METODOLOGIA

2.1 OBJETO DE ESTUDO

O recorte espacial para o mapeamento da distribuição da pluviosidade é a Bacia Hidrográfica do rio Poti - BHRP (Figura 01), com uma área de 51.812 km² abrangendo o estado do Ceará e em sua maior extensão o estado do Piauí. O curso d'água que nomeia a bacia hidrográfica, tem suas nascentes na zona rural do município de Quiterianópolis (CE) e seu exultório na zona urbana da cidade de Teresina (PI) (Ribeiro; Albuquerque, 2023).

Figura 01 – Localização da Área de Estudo



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

2.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Acerca dos procedimentos metodológicos, esta pesquisa está estruturada em quatro etapas, descritas a seguir:

A **primeira etapa** correspondeu em uma pesquisa bibliográfica em livros, artigos científicos e outras fontes adquiridas em websites e grupos de pesquisas, referentes à programação em linguagem Javascript para o Google Earth Engine e análise climatológica.

A **segunda etapa** consistiu na confecção do mapeamento cartográfico temático, acerca da localização geográfica e do mapa da normal climatológica na bacia hidrográfica do rio Poti. Sendo esse mapeamento desenvolvido através da aplicação de técnicas de geoprocessamento, por meio das ferramentas de SIG, que corresponde ao *software* Arcgis Pro, licenciado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí.

A **terceira etapa** correspondeu à elaboração do algoritmo em linguagem Javascript por meio do ambiente de desenvolvimento do Google Earth Engine, para obtenção das imagens e dados climatológicos acerca da precipitação anual na bacia hidrográfica do rio Poti.

Para os dados climáticos, fez-se uso de imagens do satélite do CHIRPS – *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data*, correspondendo a um sistema com mais de 35 anos de dados de precipitação que combinam imagens de satélite e dados de estações meteorológicas superficiais ao redor do planeta (Funk et al. 2015).

Nesta etapa foram coletadas e processadas 8.918 imagens com informações de pluviosidade acumulada anual, para uma série histórica no intervalo de 01/01/2000 a 31/12/2023.

A **quarta etapa** diz respeito à análise e interpretação dos dados obtidos após a execução do algoritmo, identificando padrões e correlacionando com a ocorrência de fenômenos climáticos. Nesta etapa ocorreu a elaboração da representação cartográfica da distribuição da pluviosidade anual (mm), utilizando o Sistema de Informação Geográfica – SIG.

2.3 ALGORITMO PARA ANÁLISE E OBTENÇÃO DE DADOS CLIMATOLÓGICOS DO SATÉLITE CHIRPS

O Algoritmo em linguagem Javascript foi elaborado no code editor que é o ambiente de desenvolvimento do Google Earth Engine, sendo composto por 100 linhas de código, contemplando os comentários. O Algoritmo está estruturado em duas partes, descritas a seguir:

2.3.1 Primeira Parte (Obtenção das Imagens CHIRPS)

- 1º Etapa - Atribuição da área de análise
Nesta etapa é criada a FeatureCollection, que representa a geometria da Bacia Hidrográfica do Rio Poti, representada por meio de arquivo vetorial shapefile e também é definido o estilo, com hachura vazia para os limites da bacia.
- 2º Etapa - Seleção da coleção de dados CHIRPS
Ocorre a definição da coleção de imagens no formato ***geotif**, correspondente aos dados diários do satélite CHIRPS ("UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY"), aplica-se a essa coleção de imagens os filtros de data, de pesquisa pela área de estudo e o filtro de seleção da banda de "Precipitation".
- 3º Etapa - Aplicação dos redutores estatísticos de soma (*sum()) e *clip
Nesta etapa é obtida uma única imagem de satélite, a partir das 365 imagens diárias, onde na imagem final cada pixel representa a precipitação anual acumulada para o ano.
- 4º Etapa - Apresentação no MAP da imagem CHIRPS anual
É plotado no ambiente MAP do GEE, a imagem de satélite CHIRPS referente à distribuição da precipitação acumulada anual em milímetros (mm).

2.2.2 Segunda Parte (Obtenção Do Gráfico Da Precipitação)

- 1º Etapa - Definição do intervalo de tempo da série histórica
Define-se o ano inicial e ano final da série histórica para obtenção dos valores de precipitação (mm), por meio de imagens CHIRPS.

- 2º Etapa - Cria uma lista sequencial para os anos
Nesta etapa cria-se uma variável que representa uma lista sequencial “vazia” aos quais os campos serão preenchidos com os dados CHIRPS.
- 3º Etapa - Definição de uma data inicial e final para a lista de anos
Nesta etapa cria-se uma variável que representa uma data inicial e uma data final a ser concatenada com a lista de sequencial de anos.
- 4º Etapa - Seleção da coleção de dados CHIRPS
Nesta etapa ocorre a definição da coleção de imagens do catálogo do GEE que corresponde aos dados diários do satélite CHIRPS ("UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY"). Diferentemente do ocorrido da parte 1, aplica-se um filtro de data pelas variáveis “data inicial” e “data final” definidas na etapa anterior.
- 5º Etapa - Função para obter os dados de precipitação na lista sequencial de anos.
A partir da execução de uma função, o algoritmo atribui os valores de precipitação diária para cada ano da lista sequencial de ano, iniciando em 01/01/2000 a 31/12/2023.
- 6º Etapa - Construção e Plotagem do gráfico de barras da precipitação acumulada (mm).

Nesta etapa é construído o gráfico de barras, representando o acumulado médio para cada ano da série histórica de precipitação acumulada.

O Código fonte para obtenção das imagens CHIRPS e do gráfico de precipitação acumulada da série histórica (2000 a 2023) pode ser obtido no link <<https://github.com/marcoareliolira/gee/blob/main/precipitacao>>

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

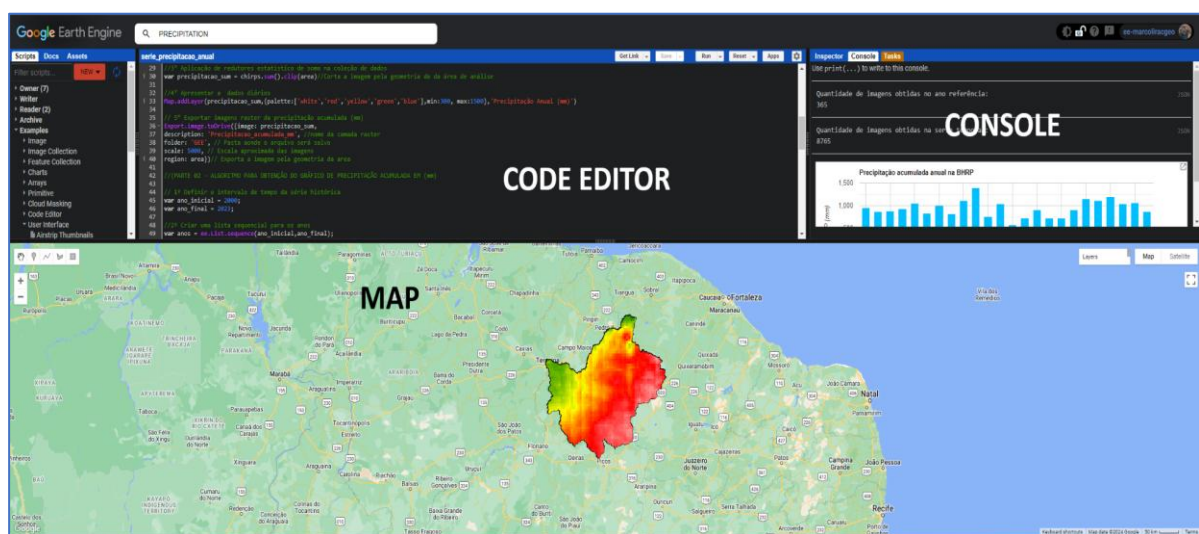
3.1 O GOOGLE EARTH ENGINE COMO IMPORTANTE FERRAMENTA PARA ANÁLISE CLIMATOLÓGICA.

Entender o comportamento climático e seus efeitos para a sociedade é um grande desafio. Assim, faz-se necessário o uso de ferramentas que possibilitem o monitoramento e análise de fenômenos que variam no tempo e no espaço.

O Google Earth Engine (GEE) tem sido uma ferramenta essencial para analisar e monitorar diversos fenômenos atmosféricos em escalas que variam do local ao global. Suas ferramentas de *Clouding computer* permitem o processamento de um gigantesco acervo de imagens de satélite, como os da série Sentinel, Landsat, Goes, Meteosat, MODIS e entre outros, contribuindo, portanto, para tomadas de decisões mais assertivas no âmbito da análise climatológica (Martins, 2024).

Além de ser gratuito e disponibilizar um gigantesco catálogo de dados geoespaciais, da ordem de 90 petabytes, o GEE possui uma interface intuitiva com um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) (Figura 03) para a elaboração de algoritmos utilizando linguagem de programação JavaScript e também possui bibliotecas que operam com as linguagens Python e R, o que amplia as possibilidades de uso e interoperabilidade com Sistemas de Informação Geográfica - SIG (GEE, 2024).

Figura 02 – Ambiente de Desenvolvimento Integrado do GEE



Fonte: Adaptado de GEE (2024)

Sendo uma ferramenta do sensoriamento remoto, o GEE fornece uma visão abrangente e detalhada do planeta, tornando-se um instrumento indispensável para os estudos climáticos, pois a sua capacidade de monitorar continuamente grandes áreas e coletar imagens de vários satélites meteorológicos, possibilita modelagens climáticas eficazes que contribuem para uma melhor compreensão e enfrentamento das mudanças climáticas globais.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO REGIME DE CHUVAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTI

As características climáticas presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Poti, são influenciadas por diversos condicionantes ambientais, podemos citar como elementos definidores das características climáticas os diferentes aspectos do relevo, da cobertura florestal e da distância em relação ao oceano.

Mesmo entendendo que o sistema climático opera de forma integrada com vários elementos e fatores, para esta pesquisa o enfoque se dá na análise da distribuição espacial da precipitação anual, ao passo que tenta correlacionar com os fenômenos climáticos (ZCIT, *El Niño*, *La Niña*), que interferem na dinâmica da circulação geral da atmosfera.

O *El Niño* é um fenômeno climático caracterizado pelo aquecimento anormal das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial, resultando em aumento da temperatura global. Considerando os seus efeitos no regime de chuva no Brasil e em específico no Nordeste, este fenômeno causa queda nos níveis de precipitação na região (Mendonça; Oliveira, 2017).

Em oposição, a *La Niña*, caracteriza-se pelo resfriamento anormal das águas do Oceano Pacífico Equatorial, levando à redução da temperatura global. No Nordeste este fenômeno causa o aumento nos níveis de precipitação na região (Mendonça; Oliveira, 2017).

Já a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é uma faixa de convergência de ventos alísios que ocorre próximo ao equador terrestre. Esta zona é caracterizada pela alta atividade de convecção e pela formação de nuvens *cumulonimbus*, resultando em chuvas frequentes e intensas (Mendonça; Oliveira, 2017).

A posição da ZCIT varia ao longo do ano, movendo-se para o norte e para o sul com as mudanças sazonais na insolação solar. No hemisfério sul, a ZCIT tende a se mover para o norte durante o verão do hemisfério norte e para o sul durante o verão do hemisfério sul. A ZCIT é

um dos principais sistemas meteorológicos que influenciam o regime de chuvas na porção norte e nordeste do Brasil (Mendonça; Oliveira, 2017).

Tendo em foco uma análise individualizada da distribuição da precipitação, sem discorrer sobre outros importantes componentes que influenciam no regime de chuvas, de maneira geral, conforme literatura consultada, o clima predominante da Bacia hidrográfica do rio Poti é do tipo quente, característico de regiões tropicais.

Em relação ao regime de precipitação, no baixo curso, segundo Oliveira (2018) e adotando a classificação de Koppen, predomina o clima do tipo tropical quente e úmido (AW), com chuvas de verão. A autora destaca que dentre os determinantes do regime de precipitação tem-se a atuação da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, que atua de janeiro a maio e de forma mais acentuada durante os meses de março e abril.

Ainda em Oliveira (2018) nos é informado que a precipitação média obtida por estações do Serviço Geológico Brasileiro, no baixo curso, tem valores próximos a 1.250 mm, com máximos de 2.750 mm registrados em 1985, e de mínima de 650 mm registrados em 2015.

No que concerne às condições climáticas no médio curso, segundo Santos e Aquino (2016) citado por Santos (2017), predominam nesta região os tipos climáticos subúmido, subúmido seco e semiárido, onde a precipitação anual oscila de 900 mm a valores próximos a 1.200 mm. Ainda em Santos (2027) é destacado que precipitação é irregularmente distribuída espaço-temporalmente, o que resulta em 5 a 8 meses de estiagem.

Já no alto curso, no território cearense, segundo Sousa (2000) citado por Ribeiro e Albuquerque (2017) o clima predominante é do tipo Tropical Quente Semiárido, com uma pequena faixa do Clima Tropical Quente Semiárido mais Brando, na borda oeste da bacia hidrográfica, pois sofre influência das elevações do Planalto da Ibiapaba.

Por fim, considerando a normal climatológica (1991 - 2020), a distribuição da precipitação anual acumulada (Figura 03) varia entre 800 mm e 1.000 mm na porção sul da bacia hidrográfica, entre 1000 mm e 1.200 mm na porção central e entre 1.200 mm e 1.400 mm na porção norte da Bacia (INMET, 2024).

Figura 03 – Mapa de Normal Climatológica (1991 - 2020)

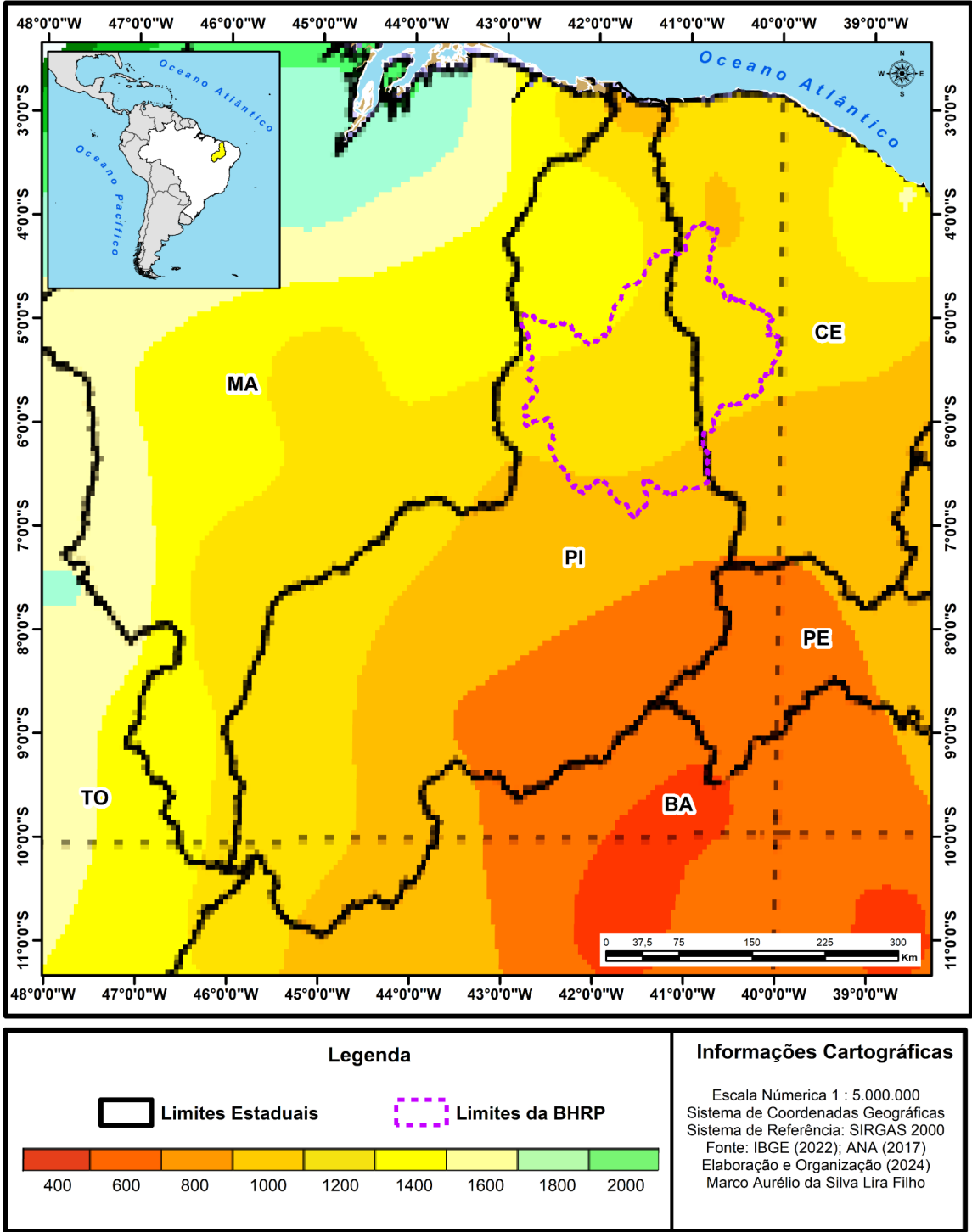


Figura 02 – Adaptado de INMET (2024)

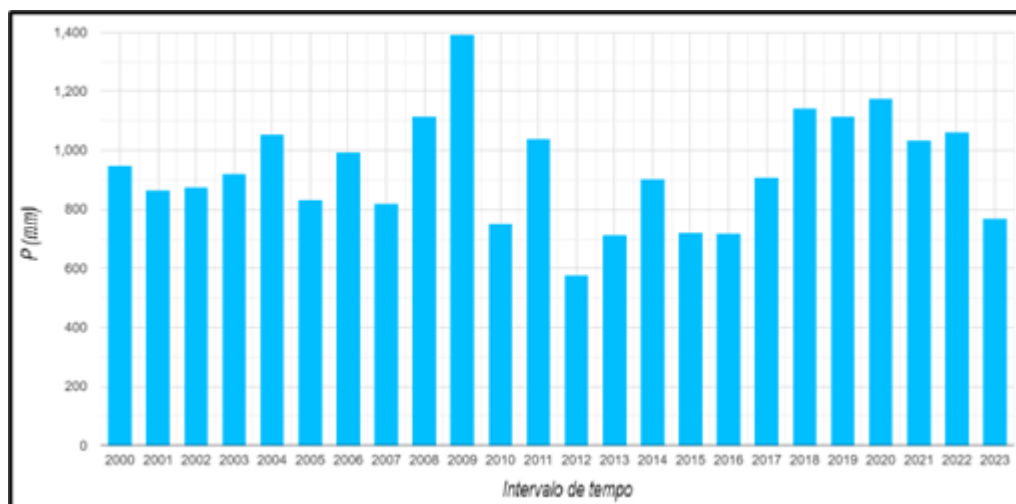
3.2 A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTI.

A execução do algoritmo em linguagem JavaScript no GEE, permitiu obter imagens e dados estatísticos sobre a distribuição da precipitação acumulada das chuvas, possibilitando construir inferências que correlacionam à dinâmica da pluviosidade na BHRP com a influência de fenômenos climáticos.

Como um dos produtos deste trabalho tem-se o Gráfico 01, que representa o quantitativo médio da precipitação anual acumulada (mm) de chuvas para a série histórica de 24 anos na BHRP.

De modo geral os valores encontrados de precipitação anual acumulada (mm) estão em concordância com os valores esperados pela normal climatológica (1991-2020) que segundo o INMET (2024), para a BHRP, os valores estão entre a faixa de 800 mm a 1400 mm por ano. No entanto, verifica-se dois períodos de extremos, que correspondem ao ano de 2009 com máximo de pluviosidade com valores próximos a 1.400 mm e o ano de 2012 com valores em torno de 600 mm, representando o mínimo da série histórica para toda a bacia.

Gráfico 01 – Precipitação Média acumulada por ano (2000 - 2023)



Fonte: CHIRPS (2023)

O ano de 2009 foi bastante influenciado pelos fenômenos climáticos *La Niña*, com importantes impactos negativos à população residente na BHRP. Este período foi marcado pela ocorrência de grandes inundações no Piauí, com registros de rompimento de barragens e inundações nas cidades de Piracuruca, Barras e Luzilândia. Em Teresina, localizada no baixo

curso da bacia hidrográfica, o rio Poti chegou a cotas superiores a 6.8 m, causando inundações na área urbana (ONU, 2008; CPRM, 2024).

Figura 03 - Inundações Históricas



A - Inundação na cidade de Luzilândia

B - Inundação na cidade de Teresina

Fonte: CPRM (2024)

Já no ano de 2012, período de menor acumulado de chuvas ao longo da série histórica, o regime de chuvas foi influenciado pela Zona de Convergência Intertropical – ZCIT, que segundo Marengo et al. (2016) estava deslocada anomalmente para o norte de sua posição normal, reduzindo o índice de precipitação e agravando os efeitos da seca entre os anos de 2012 a 2015. O efeito da redução da precipitação no ano de 2015 é evidenciado em Oliveira (2018) que aponta precipitação acumulada de 650 mm no baixo curso, portanto bem abaixo da média 1400 mm definida na normal climatológica.

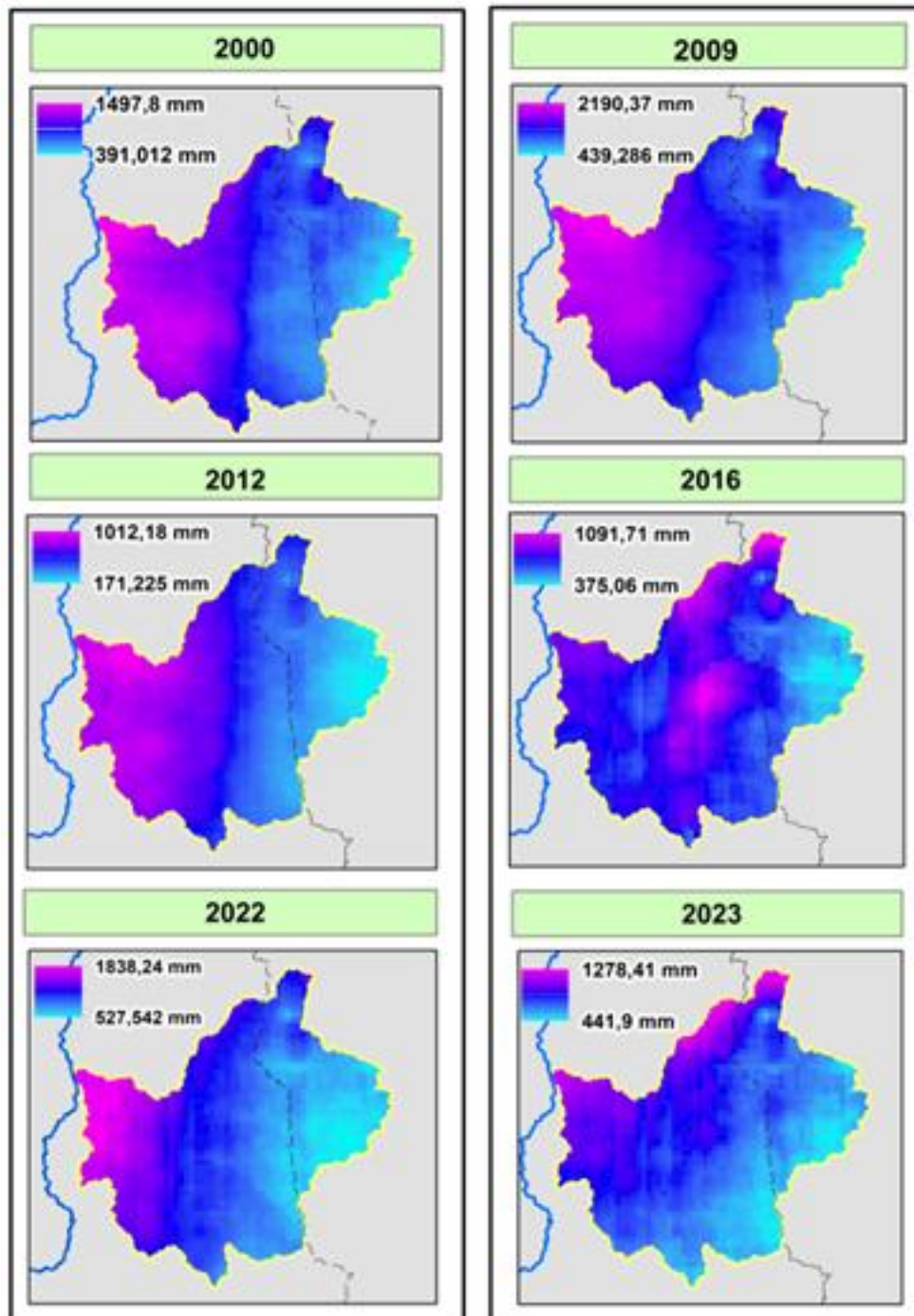
Neste evento de *El Niño*, o Piauí registrou uma forte estiagem, onde mais de 180 municípios entraram em situação de calamidade pública em decorrência dos efeitos da seca (G1 PIAUI, 2012).

No gráfico de precipitação, além dos extremos da série histórica é possível identificar a influência do estabelecimento do *El Niño* nos anos de 2015 e 2016, período em que se verifica a redução dos níveis de precipitação, e do *La Niña* no período de 2020 a 2023, quando ocorre o aumento dos níveis de precipitação. Já em 2023, se estabelece novamente o *El Niño*, e ocorre a diminuição dos níveis de precipitação (CPTEC; INMET, 2024).

A figura 04 representa a distribuição espacial da pluviosidade anual acumulada na BHRP para os anos em destaque nesta pesquisa. Na imagem as áreas em roxo da BHRP são as

regiões em que ocorreram os maiores valores acumulados de precipitação por pixel, tendo uma resolução espacial de 5x5 km.

Figura 02 – Distribuição Espacial da Pluviosidade.



Fonte: Bases IBGE (2022); ANA (2017); CHIRPS (2024)

Observa-se que no oeste da BHRP, sendo o baixo curso, predominam as regiões com maior pluviosidade e no leste, na região de Crato (CE), predominam as regiões com menor pluviosidade (tons em azul claro) o que condiz com o observado no mapa da normal climatológica (1991 - 2020).

Nota-se que em 2016, ano de ocorrência de *El Niño*, a região de maior pluviosidade, migrou para o centro da BHRP. Este padrão não foi verificado em outros recortes temporais da série histórica (2000 a 2024), inclusive em anos que tiveram a ocorrência deste fenômeno. Neste contexto pode ser especular a atuação de um outro fenômeno climático atuando isoladamente ou em conjunto com o *El Niño* como sendo a causa da mudança no padrão de distribuição da precipitação na BHRP. Carece de mais pesquisa para a investigação do fato.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego de programação em nuvem para a análise da pluviosidade na bacia hidrográfica do Rio Poti, mostrou-se eficiente, pois automatizou a análise de uma grande quantidade de imagens de satélite CHIRPS, não necessitando de um robusto sistema de computação local para acessar, processar e manipular os dados.

Os dados pluviométricos da BHRP, obtidos pela execução do algoritmo implementado no Google Earth Engine, se mostram condizentes com a realidade da região, considerando a literatura acadêmica e os padrões da normal climatológica. Portanto, estes dados possibilitam a compreensão da atuação de importantes fenômenos climáticos e seus efeitos no regime de chuvas.

Ressalta-se que o algoritmo implementado no Google Earth Engine e elaborado no âmbito desta pesquisa, pode ser implementado para outros recortes espaciais o que contribui para o avanço nos estudos climatológicos e para gestão ambiental no Estado do Piauí.

REFERÊNCIAS

- CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Histórico de inundações na bacia hidrográfica do rio Parnaíba**. Disponível em < cpm.gov.br/sace/parnaiba_historico.php>. Acesso: 29/06/2024
- CPTEC, Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. **Condições atuais do ENOS: Caracterização do El Niño e La Niña**. Disponível em <<http://enos.cptec.inpe.br/>> Acesso: 01/07/2024
- FUNK, Chris et al. *The climate hazards infrared precipitation with stations-a new environmental record for monitoring extremes*. Scientific Data, n. 66, 21p, 2015
- G1 PIAUÍ, **Piauí enfrenta a pior seca dos últimos 40 anos**. Disponível em <https://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2012/11/piaui-enfrenta-pior-seca-dos-ultimos-40-anos.html> . Acesso em: 02/07/2024
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil 1991 – 2020**. Disponível em < https://clima.inmet.gov.br/NormaisClimatologicas/1961-1990/precipitacao_acumulada_mensal_anual> Acesso: 01/07/2024
- MARENGO, José A.; CUNHA, Ana P.; ALVES, Lincoln M. **A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico**. Revista Climanálise, v. 3, n. 1, p. 49-54, 2016.
- MARTINS, Ruan Almeida. **Análise da correlação entre variáveis climáticas e área queimada utilizando Google Earth Engine para o estado de Rondônia (Monografia)**. Engenharia Ambiental e Sanitária – Universidade Federal de Rondônia, 2024.
- MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. Oficina de textos, 2017.
- MORATO, S. P. **Do SIG ao BIG DATA: Estruturação Dos Dados Espaciais Do Entorno Das Estações Ferroviárias Caieiras e Francisco**. In: 34º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, 2020
- OLIVEIRA, Livânia Norberta de. **Análise da capacidade de resiliência do ambiente na área do baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Poti (Piauí) (Tese de Doutorado)**. Programa de Pós Graduação em Geografia - UFPE, Recife 2018.
- ONU, Organização das Nações Unidas – Brasil. **La niña pode causar fortes cheias em 2008, diz OMM**. Disponível em < <https://news.un.org/pt/story/2008/02/1244621>> Acesso: 29/10/2023
- RAMPAZO, Nuria Aparecida Miatto; PICOLI, Michelle Cristina Araujo; CAVALIERO, Carla Kazue Nakao. Comparação entre dados meteorológicos provenientes de sensoriamento remoto (modelados e de satélites) e de estações de superfície. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 2, p. 412-426, 2019.
- RIBEIRO, Karoline Veloso; ALBUQUERQUE, Emanuel Lindemberg Silva; DE ANDRADE MEIRELES, Antônio Jeovah. Caracterização Do Meio Físico e da Cobertura Da Terra Na

Bacia Hidrográfica Do Rio Poti (Ceará e Piauí). **Revista Equador**, v. 12, n. 1, p. 173-198, 2023.

SANTOS, Francílio de Amorim. Geomorfologia e geodiversidade do médio curso da bacia hidrográfica do rio Poti (Piauí), Nordeste do Brasil. **GEOSABERES: Revista de Estudos Geoeducacionais**, v. 8, n. 16, p. 121-131, 2017.