UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS

DANILO MARCELO BARROS DA SILVA

ANÁLISE COMPARATIVA DOS EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS DE 2011 E 2022 EM PALMARES-PE: Avaliação da Eficácia da Barragem de Serro Azul na Contenção de Ondas de Cheia no Rio Una.

RECIFE

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS

LICENCIATURA EM GEOGRAFIA

DANILO MARCELO BARROS DA SILVA

ANÁLISE COMPARATIVA DOS EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS DE 2011 E 2022 EM PALMARES-PE: Avaliação da Eficácia da Barragem de Serro Azul na Contenção de Ondas de Cheia no Rio Una.

TCC apresentado ao Curso de Licenciatura em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, como requisito para a obtenção do título de Licenciado em Geografia.

Orientador(a): Josicleda Dominicano Galvíncio.
Coorientador(a): Kássio Kramer Moraes Pinto.

RECIFE

2025

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

Silva, Danilo Marcelo Barros da.
Análise comparativa dos eventos hidrometeorológicos de 2011 e 2022 em Palmares-PE: avaliação da eficácia da barragem de Serro Azul na contenção de ondas de cheia no Rio Una / Danilo Marcelo Barros da Silva. - Recife, 2025.
49 p. : il.

Orientador(a): Josicleda Dominicano Galvíncio
Cooorientador(a): Kássio Kramer Moraes Pinto
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Geografia - Licenciatura, 2025.
Inclui referências, apêndices.

1. Eventos hidrometeorológicos. 2. Inundações. 3. Barragem de Serro Azul. I. Galvíncio, Josicleda Dominicano. (Orientação). II. Pinto, Kássio Kramer Moraes. (Coorientação). IV. Título.

550 CDD (22.ed.)

DANILO MARCELO BARROS DA SILVA

ANÁLISE COMPARATIVA DOS EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS DE 2011 E 2022 EM PALMARES-PE: Avaliação da Eficácia da Barragem de Serro Azul na Contenção de Ondas de Cheia no Rio Una.

TCC apresentado ao Curso de Licenciatura em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, como requisito para a obtenção do título de Licenciado em Geografia.

Aprovado em: 15/04/2025.

BANCA EXAMINADORA

gov.br Documento assinado digitalmente
JOSICLEDA DOMICIANO GALVINCIO
Data: 24/07/2025 16:16:58-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____
Profº. Dra. Josicleda Dominicano Galvíncio
(Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Profº. Dra. Talitha Lucena de Vasconcelos
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Dra. Zilurdes Fonseca Lopes
Agência Pernambucana de Água e Clima

Essa conquista é dedicada à minha
avó Esmeralda (in memoriam), que, sem dúvidas,
está muito orgulhosa de mim, tocando seu melê
onde quer que ela esteja.

AGRADECIMENTOS

Aos que vieram antes, que trilharam os caminhos da ciência e nos concederam o direito ao pensamento crítico, possibilitando reflexões para tornar nosso ambiente mais acolhedor e digno de se viver.

À minha família, por todo apoio e incentivo ao longo da vida. Venho de um lugar onde o acesso ao ensino superior não é uma realidade comum, o destino mais frequente é o chão das fábricas ou a prestação de serviços à burguesia. Com mais esse passo, sigo contrariando as estatísticas.

À minha companheira, Olga, por sua atenção, dedicação e amor. Pelas valiosas contribuições a este trabalho, pela paciência e pelo apoio incansável, especialmente nos últimos momentos desta graduação.

À Olivia, por me lembrar da alegria de ser criança, pelas brincadeiras, pelos passeios de bicicleta e pelas incontáveis aventuras já vividas — e pelas tantas outras que ainda virão.

Aos camaradas do Grupo de Capoeira Chão Pernambucano, pelas pernadas, vivências, ensinamentos e aprendizados ao longo de todos esses anos. “Muito obrigado pela Capoeira eu poder jogar”.

Aos amigos e amigas ao longo desta década que sempre me apoiaram nesta jornada educacional, foi difícil, mas estou finalizando mais um ciclo.

À APAC, instituição que segue me formando profissionalmente e que foi essencial para a elaboração desta pesquisa.

À professora Josicleda e a Kássio, pela valiosa orientação, pela leitura atenta e pelas sugestões generosas durante a realização deste trabalho.

À banca avaliadora, pela leitura atenta e possíveis contribuições valiosas à esta pesquisa.

“Quando chove, o barraco fica cheio d'água. Eu peço a Deus para que a chuva não seja forte, porque o barraco pode desabar e a gente pode morrer afogado."

Quarto de Despejo: Diário de uma Favelada (Carolina Maria de Jesus, 1960).

RESUMO

Os eventos hidrometeorológicos extremos representam uma ameaça recorrente para a cidade de Palmares, localizada na Zona da Mata Sul de Pernambuco, historicamente afetada por inundações severas. Diante desse cenário, este estudo realiza uma análise comparativa entre os eventos de cheia ocorridos nos anos de 2011 e 2022, investigando os impactos socioeconômicos e ambientais causados pelas precipitações extremas e a eficácia da Barragem de Serro Azul na contenção das ondas de cheia do rio Una. A metodologia empregada inclui a análise de dados pluviométricos, hidrológicos e geoespaciais fornecidos por instituições como a APAC, CPRM e IBGE, além da revisão bibliográfica sobre gestão de riscos hídricos e mudanças climáticas. Os resultados indicam que, enquanto o evento de 2011 resultou em uma inundação catastrófica, com impactos devastadores na infraestrutura e na população, o evento de 2022, embora marcado por acumulados significativos de chuva, teve seus efeitos mitigados pelo amortecimento proporcionado pelo reservatório de Serro Azul. Dessa forma, o estudo evidencia a importância das obras de contenção de cheias como estratégia eficaz para a redução de danos em áreas vulneráveis, ao mesmo tempo em que ressalta a necessidade de aprimoramento contínuo das políticas públicas voltadas à gestão integrada dos recursos hídricos e à ocupação ordenada do solo.

Palavras-chave: Eventos hidrometeorológicos, inundações, barragem de Serro Azul

ABSTRACT

Extreme hydrometeorological events represent a recurring threat to the city of Palmares, located in the Zona da Mata Sul region of Pernambuco, historically affected by severe flooding. Given this scenario, this study conducts a comparative analysis between the flood events that occurred in the years 2011 and 2022, investigating the socioeconomic and environmental impacts caused by extreme precipitation and the effectiveness of the Serro Azul Dam in containing the flood waves of the Una River. The methodology employed includes the analysis of rainfall, hydrological and geospatial data provided by institutions such as APAC, CPRM and IBGE, in addition to the literature review on water risk management and climate change. The results indicate that, while the 2011 event resulted in a catastrophic flood, with devastating impacts on infrastructure and the population, the 2022 event, although marked by significant rainfall accumulations, had its effects mitigated by the buffering provided by the Serro Azul reservoir. Thus, the study highlights the importance of flood containment works as an effective strategy for reducing damage in vulnerable areas, while also highlighting the need for continuous improvement of public policies aimed at integrated water resource management and orderly land use.

Keywords: Hydrometeorological events, floods, Serro Azul dam

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da cidade de Palmares - PE. 15

Figura 2 – Normal climatológica da precipitação mensal na cidade de Palmares – PE 1991-2020. 16

Figura 3 – Localização do município de Palmares inserido na bacia hidrográfica do rio Una e representação da hipsometria da bacia. 17

Figura 4 – Mapa da rede hidrográfica, PCD Hidrológica, pluviômetro convencional, Barragem de Serro Azul e núcleo urbano da cidade de Palmares - PE. 19

Figura 5 – Climatologia mensal do estado de Pernambuco 1991-2020 25

Figura 6 – Climatologia abril a agosto do estado de Pernambuco 1991-2020 26

Figura 7 – Pluviômetro convencional em Palmares - PE. 27

Figura 8 – Plataforma de Coleta de Dados (PCD) Hidrológica de Palmares - PE. 28

Figura 9 – Seção de réguas limnimétricas da Barragem de Serro Azul em Palmares - PE. 30

Figura 10 – Imagem capturada em 03/05/2011 às 00:00h pelo satélite GOES-12 em canal infravermelho realçado. 32

Figura 11 – Sequência de Imagens capturadas em 01/07/2022 das 13:00h às 19:00h pelo satélite GOES-16 em canal infravermelho realçado. 33

Figura 12 – Chuva registrada no ano de 2011 X Climatologia da Cidade de Palmares – PE. 34

Figura 13 – Chuva registrada no ano de 2022 X Climatologia da Cidade de Palmares – PE. 35

Figura 14 – Valores diários de precipitação registrados ao longo do mês de maio de 2011. 36

Figura 15 – Valores diários de precipitação registrados ao longo do mês de julho de 2022. 37

Figura 16 – Relação nível X vazão na estação hidrológica de Palmares (39560000) no rio Una em maio de 2011 38

Figura 17 – Imagens dos estragos ocasionados pelas inundações em Palmares no mês de maio de 2011. 39

Figura 18– Relação cota X vazão na estação hidrológica de Palmares (39560000) no rio Una em julho de 2022. 40

Figura 19 – Imagem dos estragos ocasionados pelas inundações em Palmares no mês de julho de 2022. 41

Figura 20 – Histórico de acumulação de água entre os meses de março a agosto de 2022 da barragem de contenção de cheias de Serro Azul, Palmares - PE. 42

Figura 21 – Imagem da barragem de contenção de cheias de Serro Azul em Palmares no mês de julho de 2022. 43

LISTA DE ABREVIAÇÕES

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima

CEMADEN - Centro de Monitoramento e Desastres Naturais

CIGB - Comissão Internacional sobre Grandes Barragens

COMPESA - Companhia Pernambucana de Saneamento

CMB - Comissão Mundial de Barragens

DOL - Distúrbio ondulatório de Leste

DPA - Dano Potencial Associado

ENOS - El Niño Oscilação Sul

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

PCD - Plataforma de Coleta de Dados

SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SGB/CPRM - Serviço Geológico do Brasil / Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

SRHS(PE) - Secretaria de Recursos Hídricos e Saneamento de Pernambuco

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA 15

3 REVISÃO DE LITERATURA 20

4 OBJETIVOS 24

4.1 Objetivo Geral 24

4.2 Objetivos Específicos 24

5 METODOLOGIA 25

5.1 Identificação de sistemas meteorológicos no evento 26

5.2 Identificação dos dados pluviométricos 26

5.3 Identificação dos dados hidrológicos 28

5.4 Verificar a eficácia da barragem de Serro Azul como estratégia de controle e prevenção de desastres 29

6 RESULTADOS 31

6.1 Eventos extremos ocorridos 31

6.2 Índices pluviométricos registrados 34

6.3 Elevação do nível do rio una 37

6.4 Impactos positivos decorrentes da operação da barragem de serro azul 41

7 CONCLUSÃO 44

REFERÊNCIAS 46

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de eventos hidrometeorológicos extremos tem se tornado uma preocupação crescente em regiões vulneráveis, especialmente em locais com histórico de enchentes e alagamentos (TUCCI, 1993). A cidade de Palmares, localizada na Zona da Mata Sul do estado de Pernambuco, destaca-se como um exemplo emblemático desse fenômeno, tendo sido severamente afetada por inundações ao longo dos anos (NETO, 2015). Essas ocorrências evidenciam a necessidade de estudos aprofundados sobre os fatores determinantes desses eventos, bem como as medidas de prevenção e mitigação implementadas na região (REIS NETO, 2018).

A construção do reservatório de Serro Azul, inaugurado em 2017, representou um marco na política de gestão de riscos e desastres em Pernambuco (APAC, 2022). Essa estrutura foi concebida como uma resposta direta às enchentes devastadoras que assolaram a região em 2010 e 2011, com o objetivo de controlar os volumes hídricos e minimizar os impactos socioeconômicos decorrentes de eventos extremos (NETO, 2015). Nesse contexto, este trabalho busca realizar uma comparação entre os eventos de 2011 e 2022 na cidade de Palmares, analisando a eficácia do reservatório de Serro Azul na redução dos danos.

A relevância deste estudo se sustenta na necessidade de compreender a dinâmica dos eventos hidrometeorológicos em uma região propensa a desastres naturais e avaliar a eficácia de grandes obras de infraestrutura hídrica como estratégia de mitigação (TUCCI, 1993). Além disso, a pesquisa buscou contribuir com subsídios para a formulação de políticas públicas voltadas à gestão integrada de riscos e às práticas sustentáveis de ocupação do solo (BRASIL, 2012).

Palmares está situada na região da Zona da Mata Sul de Pernambuco, fazendo fronteira com os municípios de Catende, Joaquim Nabuco, Xexéu e Ribeirão (IBGE, 2022). A região possui uma hidrografia marcada pelo rio Una, que atravessa o município e desempenha um papel central na dinâmica hidrográfica local. Seus principais afluentes na região incluem os rios Pirangi, Panelas e Jacuípe, os quais

contribuem para o volume de água e influenciam diretamente na ocorrência de enchentes (NETO, 2015).

Geomorfologicamente, a área é caracterizada por uma topografia ondulada, com vales encaixados e solos argilosos e sedimentares, que favorecem o escoamento superficial rápido durante períodos de chuvas intensas (REIS NETO, 2018). Essa combinação de fatores geomorfológicos e hidrológicos torna a região especialmente suscetível a inundações e deslizamentos (TUCCI, 1993).

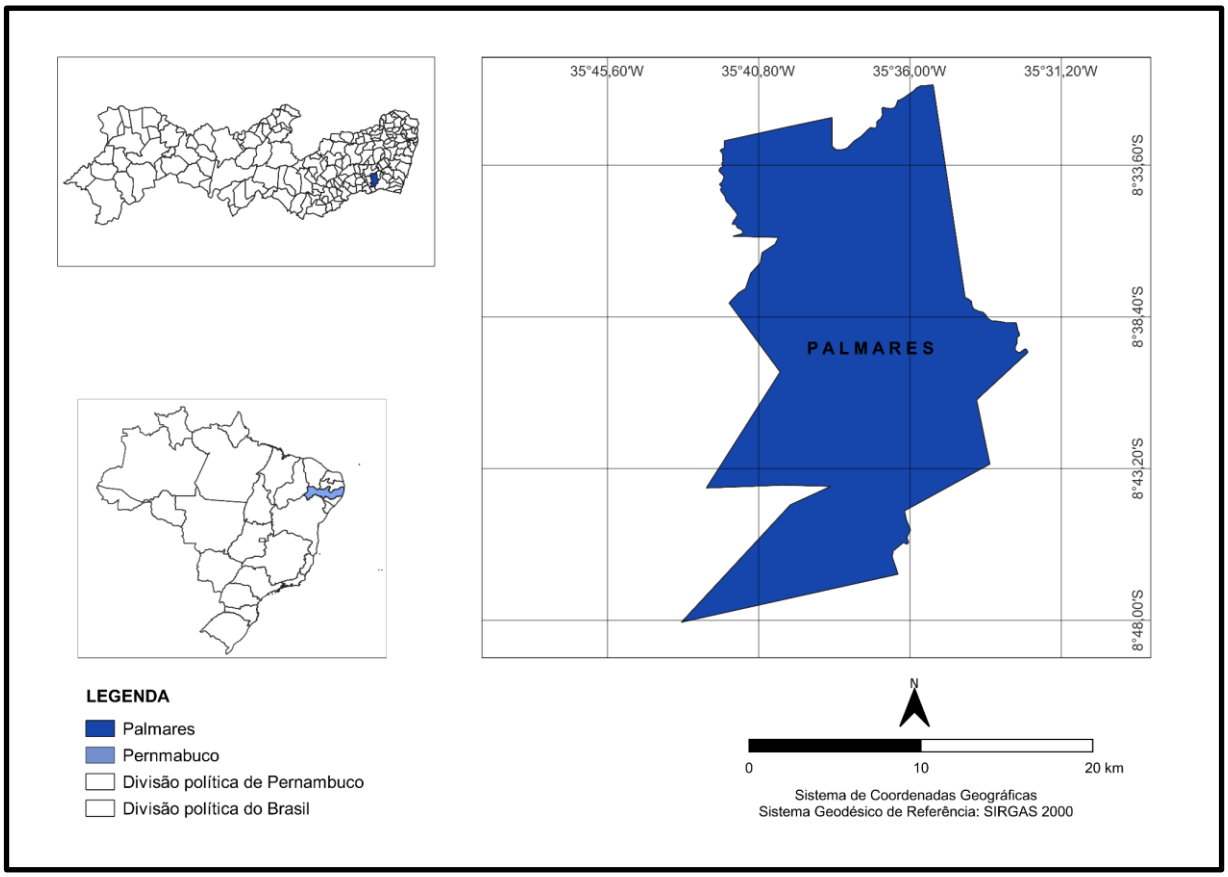
A região possui um clima tropical chuvoso, classificado como As pela classificação de Köppen-Geiger, caracterizado por temperaturas elevadas ao longo do ano e uma média anual de 24°C. A pluviometria anual é de aproximadamente 1.800 mm, com os meses mais chuvosos concentrados entre abril e julho (APAC, 2022). Essa sazonalidade contribui para o aumento dos volumes hídricos no rio Una e seus afluentes durante o período chuvoso (REIS NETO, 2018).

A população de Palmares, conforme o Censo Demográfico de 2022, é estimada em aproximadamente 63 mil habitantes (IBGE, 2022). Sua economia está fundamentada na agroindústria, especialmente na cultura da cana-de-açúcar, e no comércio local. Contudo, o histórico de inundações na região, acarreta significativos prejuízos para seu desenvolvimento socioeconômico, tornando essencial os estudos que versem sobre mecanismos de combate à essas inundações e políticas públicas que atuem na prevenção dos impactos decorrentes de eventos extremos.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O estudo foi realizado no município de Palmares, localizado na região da Mata Sul do estado de Pernambuco (Figura 1), a aproximadamente 128 km da capital, Recife. A cidade está situada na latitude 08º41’00” S e longitude 35º35'30" O. O clima predominante é tropical úmido, caracterizado por períodos de escassez hídrica durante o verão e excedente de água no inverno. A topografia da região é majoritariamente ondulada, composta por um conjunto de morros e colinas com altitudes inferiores a 120 metros, além de pediplanos resultantes do alargamento do vale do rio Una e de seus afluentes (REIS NETO, 2016).

Figura 1 – Mapa de localização da cidade de Palmares - PE.

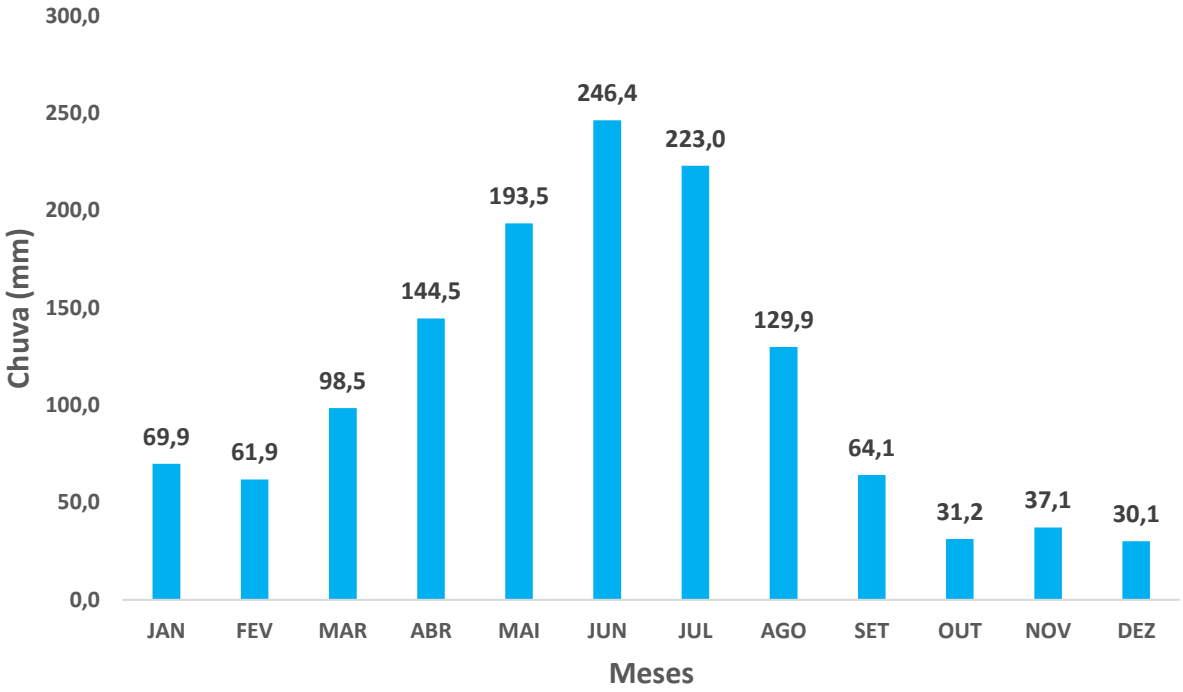


Fonte: IBGE
Nota: Mapa elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos na pesquisa.

A figura 2 exibe a normal climatológica da precipitação mensal na cidade de Palmares - PE, evidenciando uma tendência característica do clima tropical úmido da região. De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, Palmares se enquadra no

tipo climático As (tropical com estação seca no verão), caracterizado por um período chuvoso bem definido entre os meses de março e agosto, e um período seco entre setembro e fevereiro (ALVARES et al., 2013).

Figura 2 – Normal climatológica da precipitação mensal na cidade de Palmares – PE de 1991-2020.



Fonte: APAC
Nota: Gráfico elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos na pesquisa.

A precipitação média anual na região é concentrada principalmente no outono e inverno, como observado no gráfico. Os meses de maio, junho e julho apresentam os maiores índices pluviométricos, com acumulados de 212 mm, 249 mm e 228 mm, respectivamente. O pico de chuvas em junho está alinhado com os padrões climatológicos da Zona da Mata Pernambucana, onde os sistemas meteorológicos, como Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) e frentes frias, contribuem para a intensificação das chuvas na região (MOLION; BERNARDO, 2002).

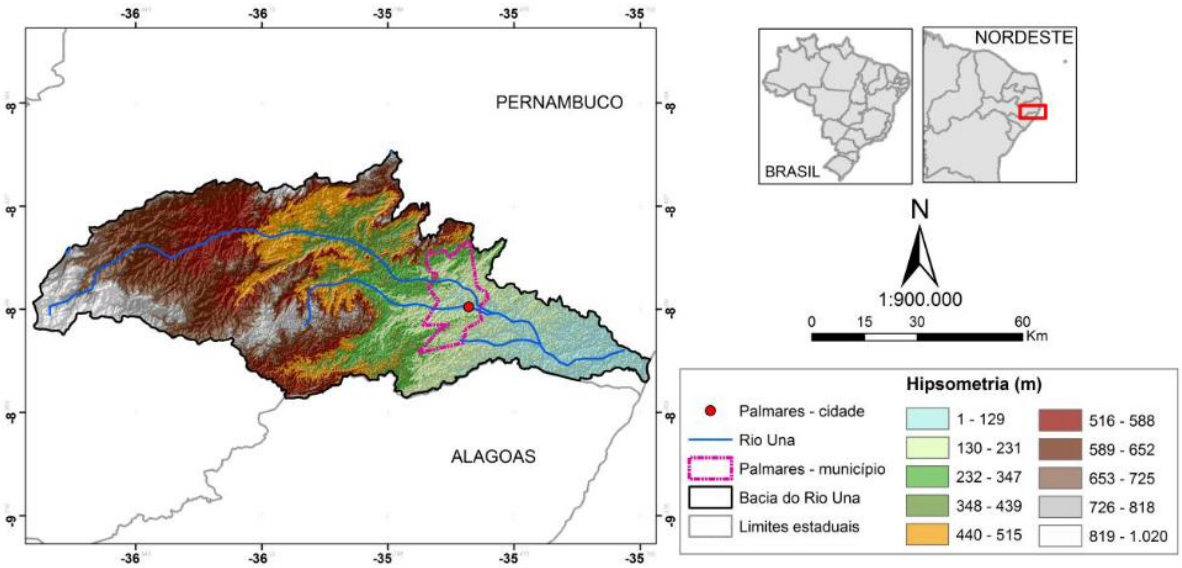
Já entre os meses de setembro e fevereiro, a precipitação diminui significativamente, com valores abaixo de 100 mm mensais, sendo outubro e novembro os meses mais secos, registrando apenas 31 mm. Esse padrão ocorre devido à influência do sistema de alta pressão do Atlântico Sul, que reduz a formação de nuvens de chuva e mantém o tempo predominantemente seco (NOVAIS, 2023).

O padrão sazonal de chuvas influencia diretamente a hidrologia da bacia do rio Una, responsável por eventos de inundação na cidade de Palmares. Durante o período chuvoso, os altos volumes de precipitação podem causar o transbordamento do rio, resultando em inundações e deslizamentos de terra, especialmente em áreas vulneráveis. Em contrapartida, durante a estação seca, os níveis dos rios diminuem, impactando o abastecimento hídrico e a agricultura regional.

Dessa forma, a análise do regime pluviométrico de Palmares - PE é fundamental para o planejamento urbano, a gestão de recursos hídricos e a mitigação de desastres naturais, especialmente considerando os eventos extremos registrados na região nos últimos anos.

Na análise da figura 3 observa-se a localização do município de Palmares dentro da bacia hidrográfica do rio Una, destacando aspectos relevantes da hipsometria da região. O mapa evidencia a divisão estadual entre Pernambuco e Alagoas, bem como os limites da bacia hidrográfica e as áreas sujeitas à influência do rio Una. Estudos sobre a dinâmica hidrológica das bacias reforçam que a topografia é um fator determinante para o comportamento do escoamento superficial e, consequentemente, para os riscos de inundação (TUCCI, 2007).

Figura 3 – Localização do município de Palmares inserido na bacia hidrográfica do rio Una e representação da hipsometria da bacia.



Fonte: MACHADO (2012)

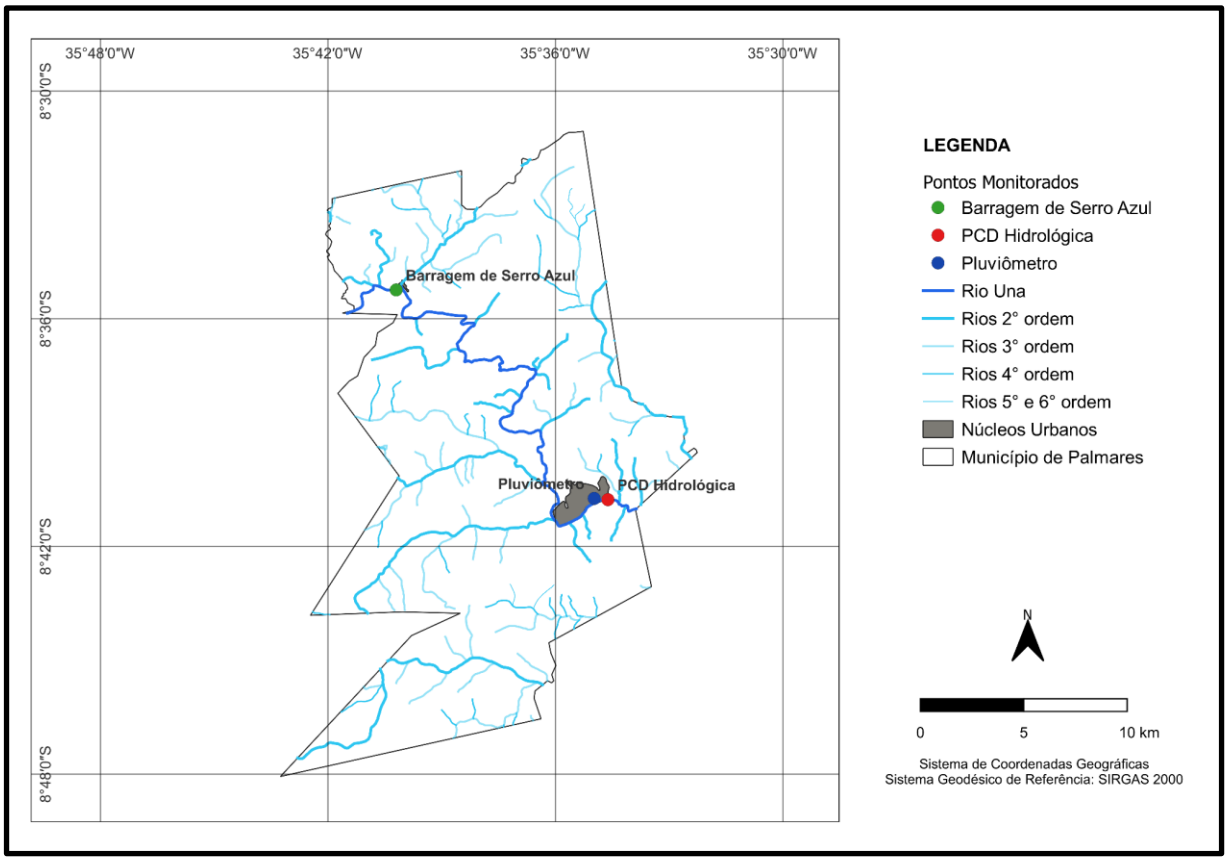
A representação hipsométrica indica variações de altitude dentro da bacia, com elevações que variam entre 1 e 1.020 metros acima do nível do mar. Conforme destacado por Souza (2004), as áreas de maior altitude, representadas pelos tons de marrom e vermelho, localizam-se predominantemente na parte oeste da bacia, enquanto as áreas de menor altitude, indicadas pelos tons de verde e azul claro, situam-se próximas ao leito do rio Una e ao município de Palmares. Essa influência topográfica aumenta diretamente o risco de inundações, uma vez que as águas pluviais escoam das áreas mais elevadas para as áreas mais baixas, elevando significativamente o volume do rio durante eventos hidrometeorológicos extremos.

O município de Palmares, identificado no mapa por um ponto vermelho, está inserido em uma área de baixa altitude, o que o torna altamente vulnerável a eventos de cheia. Segundo Tucci (2007), cidades localizadas em barreiras fluviais são naturalmente mais suscetíveis a inundações devido ao acúmulo de águas provenientes do escoamento superficial. O rio Una, que atravessa o município, potencializa essa vulnerabilidade, já que seu transbordamento pode comprometer a infraestrutura urbana e afetar diretamente a população ribeirinha.

A análise hipsométrica evidencia que a configuração do relevo da bacia favorece um escoamento superficial intenso, especialmente durante períodos elevados de precipitação. Segundo estudos de Souza (2004), a combinação entre ocupação desordenada do solo, solos de baixa infiltração e chuvas extremas contribui para o aumento da frequência e da magnitude das inundações. Dessa forma, medidas estruturais, como a construção de barragens e sistemas de drenagem eficientes, e medidas não estruturais, como o monitoramento hidrológico e a gestão de riscos, são essenciais para mitigar os impactos dos eventos extremos na bacia do rio Una.

Na figura 4 podemos observar a localização detalhada dos pontos de monitoramento hidrometeorológicos utilizados nesta pesquisa (PCD Hidrológica, pluviômetro convencional, Barragem de Serro Azul e núcleo urbano da cidade de Palmares - PE).

Figura 4 – Mapa da rede hidrográfica, PCD Hidrológica, pluviômetro convencional, Barragem de Serro Azul e núcleo urbano da cidade de Palmares - PE



Fonte: APAC/IBGE
Nota: Mapa elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos na pesquisa.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A literatura científica destaca a relevância da gestão integrada de recursos hídricos e a implementação de obras estruturais como estratégias eficazes para a mitigação de desastres naturais. Segundo Tucci (2007), a gestão integrada envolve ações preventivas e corretivas, além de instrumentos de planejamento e controle, fundamentais para reduzir os impactos socioeconômicos das enchentes. Esse tipo de abordagem é essencial para garantir maior resiliência às populações vulneráveis, mitigando os danos decorrentes dos eventos hidrometeorológicos extremos.

Ab'Saber (2012) enfatiza a importância de compreender a geomorfologia das bacias hidrográficas na formulação de estratégias de controle de enchentes. Em áreas com solos argilosos e declividades acentuadas, como é o caso de Palmares, os processos de escoamento superficial tendem a ser intensificados, aumentando os riscos de inundações. Isso se deve ao fato de que o relevo e a composição do solo influenciam diretamente na velocidade com que a água escoa para os rios e córregos, tornando-se fatores essenciais a serem considerados no planejamento territorial e na gestão de risco.

Estudos realizados por Neto (2015) apontam para a necessidade de mapeamento das áreas de risco e implementação de políticas públicas eficazes. O mapeamento detalhado das áreas suscetíveis a desastres naturais permite o desenvolvimento de planos de contingência mais eficientes, além de auxiliar no planejamento urbano e na tomada de decisões relacionadas à ocupação do solo. Ações como essas são fundamentais para minimizar os impactos de eventos climáticos severos e reduzir a vulnerabilidade da população.

No que diz respeito ao papel das barragens como infraestrutura de controle hídrico, Villela (1975) discute a importância dessas estruturas na redução do volume de escoamento e na contenção de enchentes. A barragem de Serro Azul se encaixa nesse contexto como uma solução estrutural projetada para minimizar os danos causados por eventos extremos, armazenando grandes volumes de água e liberando-os gradualmente de maneira controlada. Isso evita que fluxos abruptos atinjam os centros urbanos e causem inundações catastróficas.

Para reforçar a discussão sobre eventos hidrometeorológicos, Marengo (2007) aborda a variabilidade climática e os desafios impostos pelas mudanças climáticas, destacando a necessidade de investimentos em infraestrutura resiliente. Eles ressaltam que a adaptação a eventos extremos requer não apenas obras físicas, mas também políticas públicas eficazes e educação ambiental. A conscientização da população sobre os riscos e as medidas preventivas desempenha um papel crucial na minimização de desastres.

Ao longo da história da humanidade, observa-se que as barragens desempenham um papel crucial como estruturas de grande relevância para as atividades humanas. Essas construções são mencionadas desde os tempos dos impérios babilônico, egípcio, persa, indiano e romano, onde os reservatórios de água eram essenciais tanto para a prática da agricultura quanto para o controle do fluxo de rios e outros corpos d'água (MOURA; VIEIRA; BOHN, 2015). Esse fato demonstra que, ao longo dos séculos, o homem sempre buscou alternativas para gerenciar os recursos hídricos de forma eficiente e segura.

A frequência de desastres na bacia hidrográfica do rio Una, especialmente na cidade de Palmares, em Pernambuco, resultou em graves prejuízos econômicos e sociais. Esses eventos ocasionaram perdas de vidas, destruição de residências, danos a equipamentos públicos, infraestrutura urbana e áreas agrícolas, impactando significativamente a economia dos municípios atingidos pelas enchentes. Segundo Cirilo (2011), a região da Mata Sul pernambucana é particularmente vulnerável devido à ocorrência de chuvas intensas. Alagamentos e inundações são comuns quando o volume de precipitação ultrapassa os níveis esperados para o período habitual de chuvas. Como resposta a esse fenômeno, foi implementado o Sistema de Controle de Cheias da Mata Sul, que incluiu a construção de cinco barragens, entre elas a de Serro Azul, localizada em Palmares, objeto desta pesquisa.

Conforme o relatório da Comissão Mundial de Barragens (CMB, 2000), no mundo foram construídas pelo menos 45.000 grandes barragens para atender às necessidades de água e energia, devido principalmente, ao crescimento das economias e da população. Segundo a Comissão Internacional sobre Grandes Barragens (CIGB, 2008) uma barragem é classificada como grande quando possui entre 5 e 15 metros de altura a partir de sua base e apresenta um reservatório com

capacidade de armazenamento superior a 3 milhões de m³. Esses dados evidenciam a importância da infraestrutura hídrica para a gestão dos recursos hídricos e para a mitigação dos efeitos de eventos climáticos extremos.

As barragens podem ser categorizadas com base no Dano Potencial Associado (DPA). O DPA refere-se aos prejuízos que podem surgir em decorrência de um rompimento, infiltração no solo ou falha no funcionamento de uma barragem, independentemente da probabilidade de tais eventos ocorrerem. Essa classificação é determinada considerando as possíveis perdas de vidas humanas e os impactos sociais, econômicos e ambientais envolvidos (PETRY, LAUS, ANDERÁOS, BONFIM, 2018).

No Brasil, as inundações, mais conhecidas popularmente como enchentes, representam a terceira categoria de desastres naturais com maior número de fatalidades. Do ponto de vista científico, os termos "inundação" e "enchente" possuem significados distintos e devem ser empregados em contextos diferentes. A inundação ocorre quando as águas de um rio transbordam e atingem as áreas próximas, denominadas planícies de inundação. Por outro lado, a enchente se refere a um aumento no volume de água do rio sem que ocorra transbordamento (SOUZA, 2004).

As precipitações intensas que ocorrem nas bacias hidrográficas litorâneas de Pernambuco, incluindo a bacia do rio Una, estão diretamente relacionadas ao fenômeno atmosférico-oceânico conhecido como El Niño Oscilação Sul (ENOS), que acontece no oceano Pacífico Equatorial. Quando o Pacífico Equatorial apresenta temperaturas mais elevadas que a média histórica, o fenômeno é chamado de El Niño; já quando as temperaturas estão abaixo dessas médias, denomina-se La Niña. (RODRIGUES, 2017). Além disso, sistemas meteorológicos como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e o Distúrbio Ondulatório de Leste (DOL) desempenham papeis relevantes nas chuvas que atingem a região litorânea de Pernambuco. Esses sistemas podem atuar de forma independente ou em conjunto com o ENOS (MACHADO, 2012). O DOL, um fenômeno típico da região tropical, origina-se na costa oeste da África e se desloca em direção à costa leste do Nordeste brasileiro, impulsionado pelos ventos alísios. Muitas vezes, o DOL se dissipa no oceano, não alcança o continente ou provoca chuvas apenas em áreas costeiras. No entanto, em condições específicas, esses sistemas podem avançar dezenas de

quilômetros terra adentro, resultando em precipitações intensas que afetam amplamente algumas bacias hidrográficas, como a do rio Una (NETO, 2015).

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Analisar os impactos hidrometeorológicos ocorridos na cidade de Palmares nos anos de 2011 e 2022, destacando a influência da barragem de Serro Azul na mitigação dos danos.

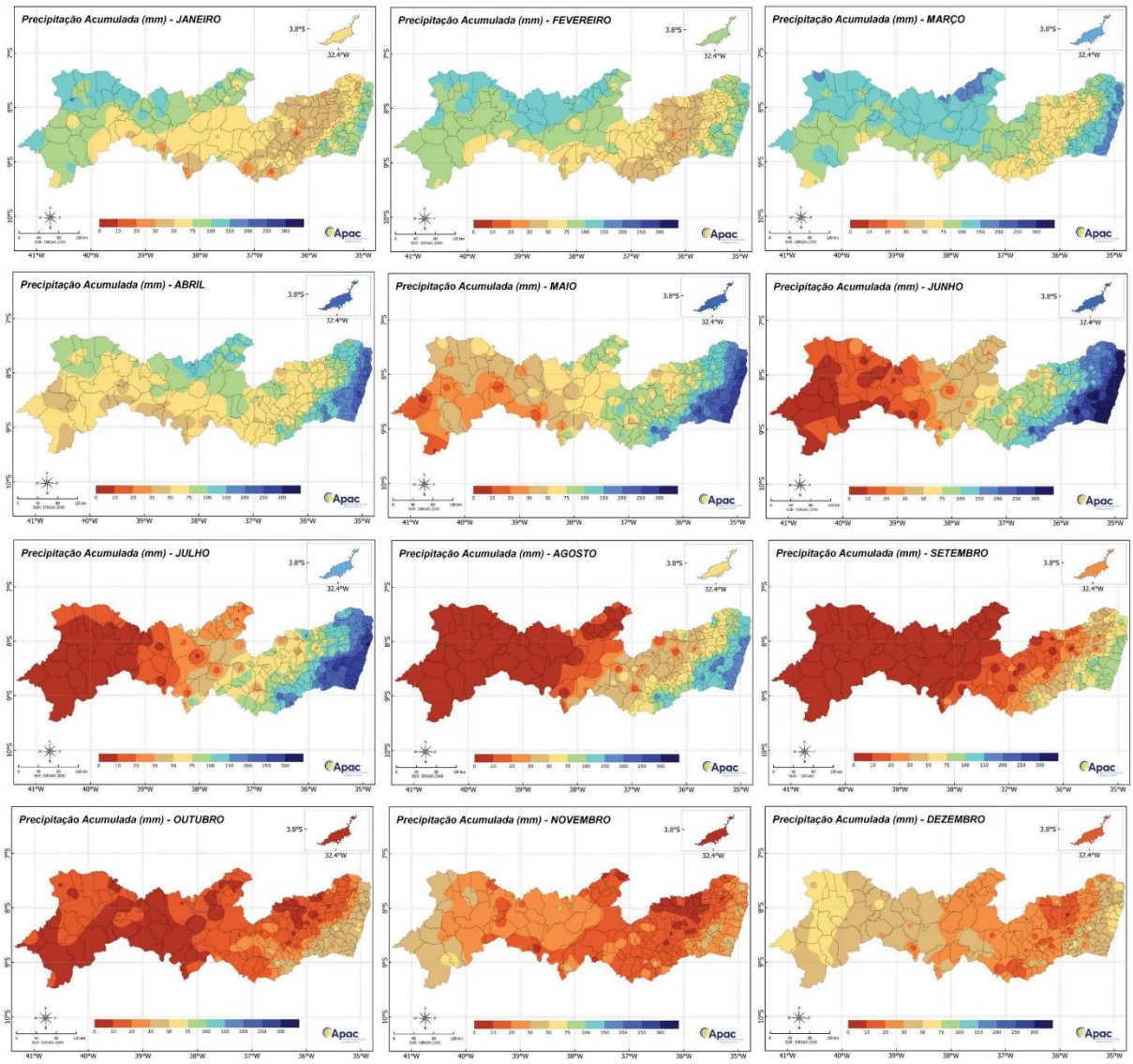
4.2 Objetivos Específicos

- Identificar os sistemas meteorológicos que contribuíram para os eventos extremos em ambos os períodos;
- Identificar os indicies pluviométricos que contribuíram para os eventos extremos em ambos os períodos;
- Identificar os fatores hidrológicos que contribuíram para os eventos extremos em ambos os períodos;
- Verificar a eficácia da barragem de Serro Azul como estratégia de controle e prevenção de desastres naturais.

5 METODOLOGIA

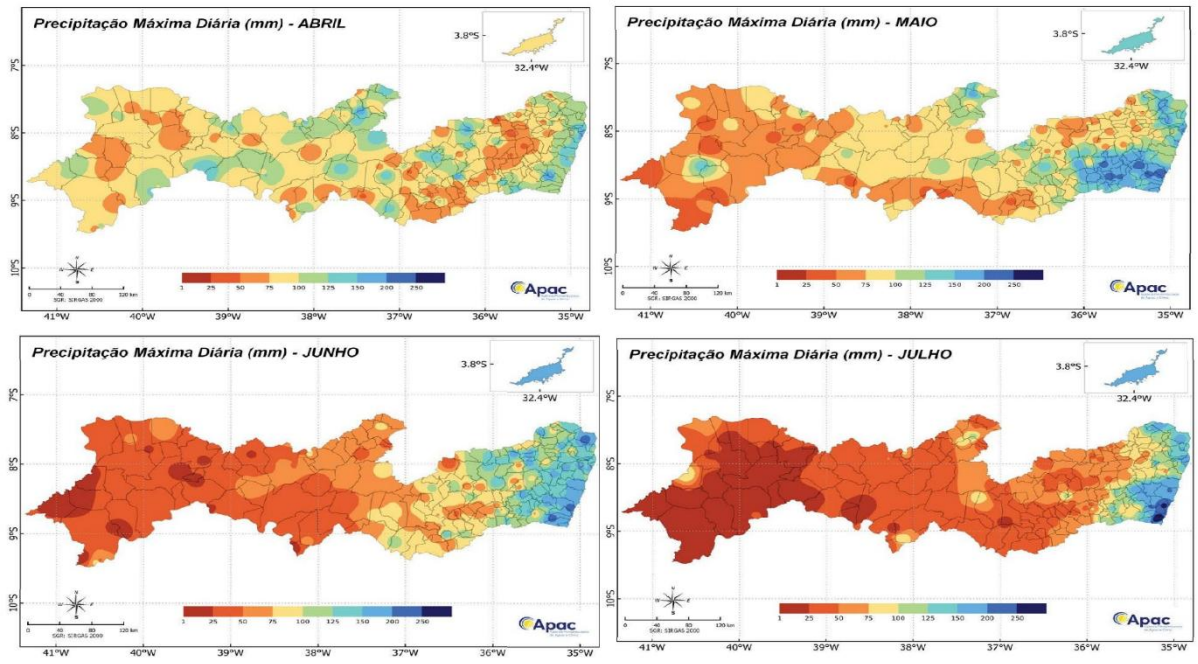
A pesquisa será conduzida com foco no período chuvoso dos anos de 2011 e 2022 para o leste do Estado de Pernambuco, que se estende de abril a julho (APAC, 2022). Esse intervalo, conhecido como quadra chuvosa, corresponde à época do ano em que a precipitação é mais intensa nas regiões Metropolitana do Recife, Zona da Mata e Agreste, como pode-se observar nas figuras 5 e 6.

Figura 5 – Climatologia mensal do estado de Pernambuco 1991-2020.



Fonte: APAC

Figura 6 – Climatologia abril a julho do estado de Pernambuco 1991-2020.



Fonte: APAC

Para o período foram avaliados os sistemas meteorológicos, dados pluviométricos e hidrológicos e a influência da barragem de Serro Azul. Dessa forma, a integração dos diferentes conjuntos de dados coletados ao longo desta pesquisa possibilitará a análise comparativa entre os eventos de cheia do rio Una, na cidade de Palmares - PE, nos anos de 2011 e 2022.

5.1 Identificação de sistemas meteorológicos no evento.

A análise dos sistemas convectivos como os DOLs serão realizadas utilizando imagens do canal infravermelho do satélite GOES-12 (Lançado em 2001 e operacional até 2013) e imagens do canal infravermelho do satélite GOES-16 (Lançado em 2016 e em operação até 2025). As imagens estão disponíveis online pelo site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

5.2 Identificação dos dados pluviométricos.

A precipitação foi adquirida consultando os dados do pluviômetro convencional da cidade de Palmares nos anos de 2011 e 2022. Os dados estão disponíveis no site da Agencia Pernambucana de Águas e Clima (APAC).

O pluviômetro é um objeto constituído por um recipiente metálico dotado de funil com anel receptor (Figura 7), geralmente com uma proveta graduada para leitura direta da lâmina de água precipitada.

Figura 7 – Pluviômetro convencional em Palmares - PE.

Fonte: APAC (2024).

Esse instrumento armazena a água da chuva e, fazendo-se a leitura da proveta, tem-se o volume precipitado. Normalmente, a leitura é feita diariamente, às 9h da manhã, por uma pessoa encarregada (operador ou operadora) – geralmente, alguém da região, cujo acesso diário ao equipamento seja fácil, e que é orientado pelo órgão ou empresa responsável pelo monitoramento meteorológico. Assim, o pluviômetro indica a precipitação ocorrida nas últimas 24 horas, desde a última leitura, que é anotada pelo operador em uma caderneta diariamente e posteriormente enviada ao órgão responsável pelo monitoramento pluviométrico.

Os dados pluviométricos dos anos de 2011 e 2022 serão compilados e apresentados em formato de figuras com comparativos em relação a normal climatológica. Também serão identificados os períodos que houveram precipitações intensas e apresentado a figura do gráfico mensal com a distribuição diária da precipitação registrada.

5.3 Identificação dos dados hidrológicos.

Os dados hidrológicos serão obtidos a partir da Plataforma de Coleta de Dados (PCD) hidrológica localizada na cidade de Palmares - PE (Figura 8), que estão disponíveis no Sistema Hidrotelemetria da Agência Nacional de Águas e Saneamento. Essa estação de monitoramento faz parte da rede de alerta de cheias do Estado de Pernambuco, sendo mantida e operada de forma integrada entre a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e o Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM).

Figura 8 – Plataforma de Coleta de Dados (PCD) Hidrológica de Palmares - PE.

Fonte: Autor (2025).

A plataforma de Coleta de Dados (PCD) é um sistema automatizado projetado para o monitoramento contínuo de variáveis hidrológicas e ambientais, sendo essencial para a gestão de recursos hídricos, acompanhamento de eventos extremos e mitigação de desastres naturais. Essas plataformas desempenham um papel fundamental na geração de dados em tempo real, permitindo que se realize uma análise e modelagem hidrometeorológica com maior precisão. As PCDs possuem sensores específicos capazes de medir parâmetros ambientais, tais como nível dos cursos d'água, vazões, umidade relativa do ar, velocidade e direção dos ventos, temperatura do ar e da água, pressão atmosférica e radiação solar. As informações coletadas são transmitidas automaticamente para centrais de monitoramento por meio de sistemas de telecomunicações, como redes de satélite, rádio e telefonia móvel (GSM/3G/4G). A disponibilidade de dados em tempo real permite a identificação de padrões climáticos críticos, possibilitando a emissão de alertas antecipados para eventos como enchentes e inundações. Esses dados são essenciais para estudos climáticos e simulações hidrológicas, contribuindo para a compreensão de processos atmosféricos e hidrológicos em diferentes escalas temporais e espaciais.

Os dados hidrológicos dos anos de 2011 e 2022 serão compilados e apresentados em formato de figura. As figuras mostrarão os períodos mais críticos onde o rio Una ultrapassa as cotas de segurança pré estabelecidas pelas equipes de monitoramento e segurança pública.

5.4 Verificar a eficácia da barragem de Serro Azul como estratégia de controle e prevenção de desastres.

A verificação da eficácia da barragem de Serro Azul será realizada utilizando os dados do nível do reservatório. A obtenção desses dados ocorre, em grande parte, por meio da leitura diária de réguas limnimétricas instaladas estrategicamente nos reservatórios. Estas réguas são projetadas para indicar a cota do nível da água, possibilitando calcular através de uma tabela Cota × Área × Volume, a estimativa do volume armazenado pelo reservatório. A Figura 9 apresenta as réguas instaladas no manancial.

Figura 9 – Seção de réguas limnimétricas da Barragem de Serro Azul em Palmares - PE.

Fonte: APAC (2017).

A operação desse reservatório é gerida de maneira conjunta pela APAC, pela Secretaria de Recursos Hídricos e Saneamento de Pernambuco (SRHS - PE) e pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). O monitoramento do reservatório permite compreender sua eficiência na contenção de volumes excessivos de águas precipitadas à montante da cidade de Palmares, além da redução dos impactos das cheias no município de Palmares e em outras áreas da Zona da Mata Sul de Pernambuco.

Os dados da barragem de Serro Azul no ano de 2022 serão apresentados em formato de figura, para auxiliar na identificação de seu comportamento diante do evento extremo registrado para o período da pesquisa.

6 RESULTADOS

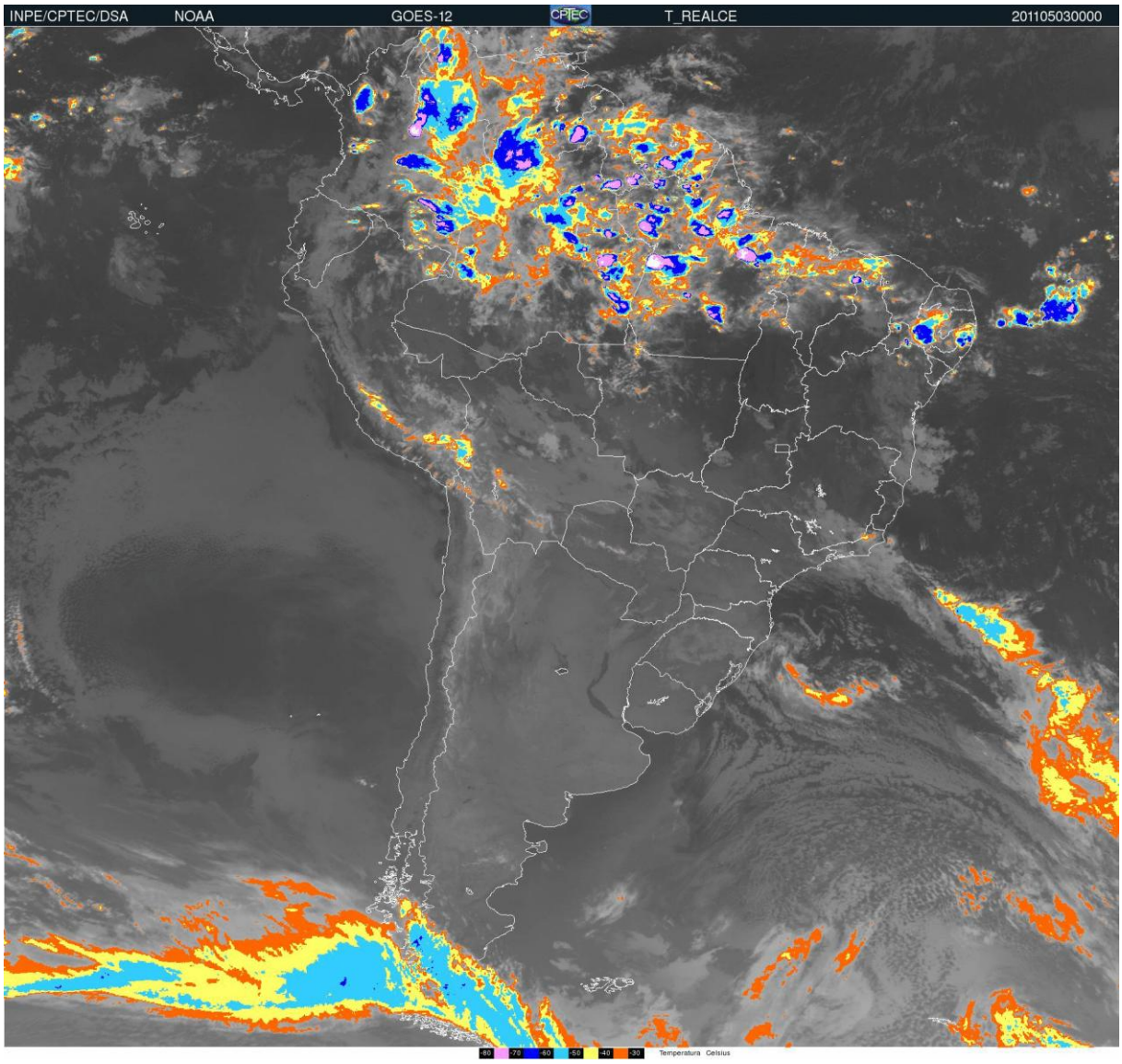
Este capítulo apresenta a relação entre os eventos extremos ocorridos, os índices pluviométricos registrados e a elevação do nível do rio Una e sua respectiva vazão dentro do período delimitado por esta pesquisa. Além disso, analisa os eventos de inundação e os impactos positivos decorrentes da operação da barragem de Serro Azul na contenção de desastres causados pelo transbordamento do rio, especialmente na mitigação dos danos à população ribeirinha no núcleo urbano da cidade de Palmares.

6.1 Eventos extremos ocorridos

As imagens obtidas foram capturadas em 03/05/2011 e 01/07/2022 no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Foram utilizadas imagens de canais diferentes, pois para o período não há imagens disponíveis de um mesmo canal. Porém esse fato não comprometeu a analise desta pesquisa, uma vez que a principal vantagem do GOES-16 sobre o GOES-12 é a alta resolução e maior frequência de imagens, permitindo previsões mais precisas e detalhadas. Com essa melhoria, o monitoramento de eventos hidrometeorológicos extremos se tornou mais eficiente, auxiliando na previsão e mitigação de desastres naturais.

Na figura 10, observa-se a imagem capturada em 03/05/2011 às 00:00h pelo satélite GOES-12 em canal infravermelho realçado mostrando a distribuição da nebulosidade e a temperatura do topo das nuvens, com isso pode-se verificar a presença de sistemas meteorológicos de grandes proporções que estavam atuando no período. Concentrando-se apenas na nossa área da pesquisa, observamos a incidência de pequenas áreas convectivas dispersas sobre a região Nordeste do Brasil que estão associadas a perturbações nos ventos alísios, conhecidas como Distúrbios Ondulatórios de Leste (MOLION, 2022). Esses sistemas podem causar chuvas intensas e localizadas, frequentemente associadas a enchentes e deslizamentos de terra.

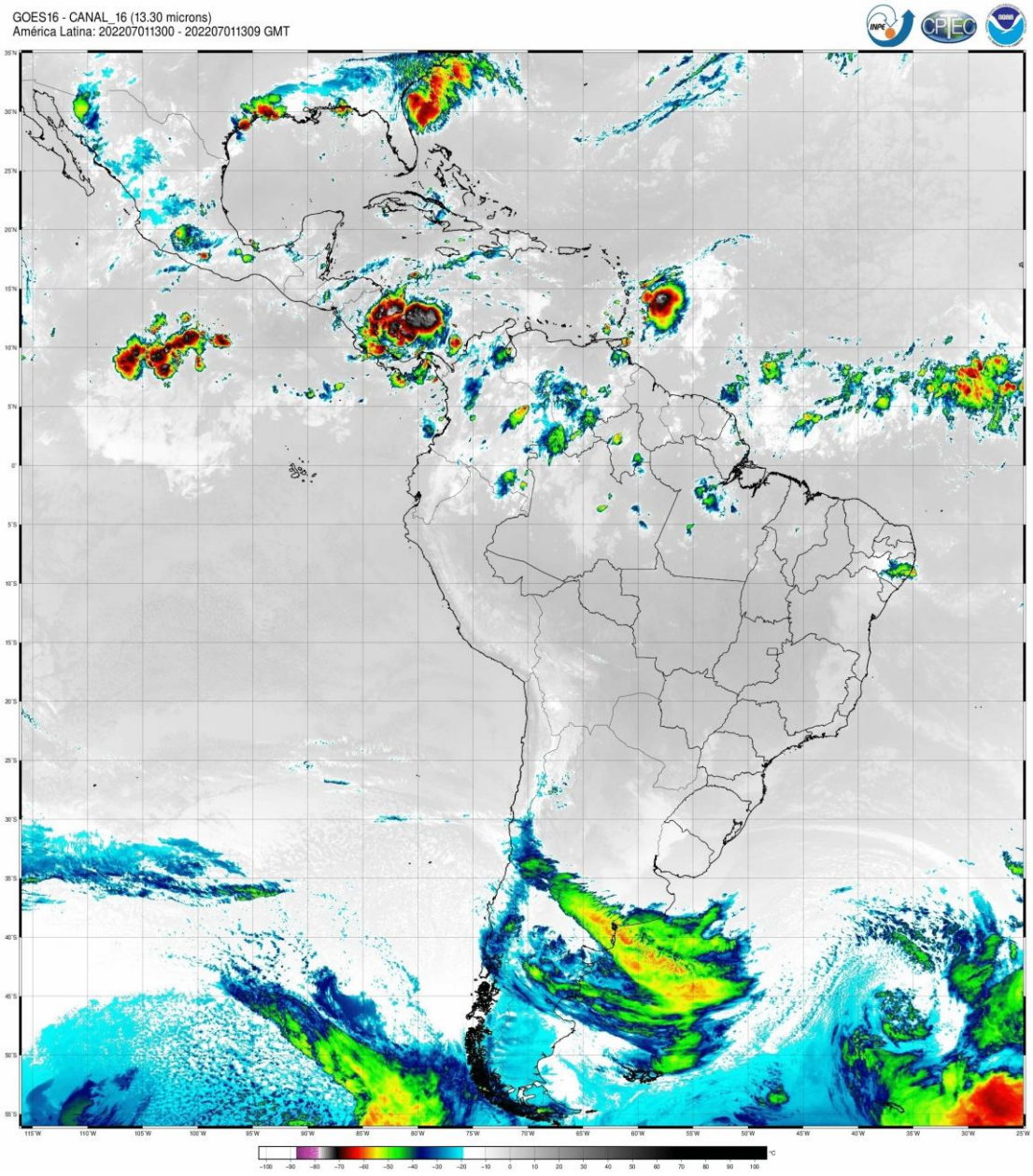
Figura 10 – Imagem capturada em 03/05/2011 às 00:00h local pelo satélite GOES-12 em canal infravermelho realçado



Fonte: INPE (2011).

Na figura 11 podemos observar a imagem do satélite GOES-16 capturada em 01/07/2022 das 13:00h em canal infravermelho realçado, ela nos permite identificar diversos sistemas meteorológicos atuantes na América Latina e adjacências. No contexto do estado de Pernambuco, observa-se a presença de um Distúrbio Ondulatório de Leste (DOL), caracterizado pela formação de áreas convectivas intensas, com núcleos de nuvens profundas e de grande desenvolvimento vertical, indicadas pelas tonalidades em vermelho e laranja na imagem.

Figura 11 – Sequência de Imagens capturadas em 01/07/2022 das 13:00h local pelo satélite GOES-16 em canal infravermelho realçado



Fonte: INPE (2022).

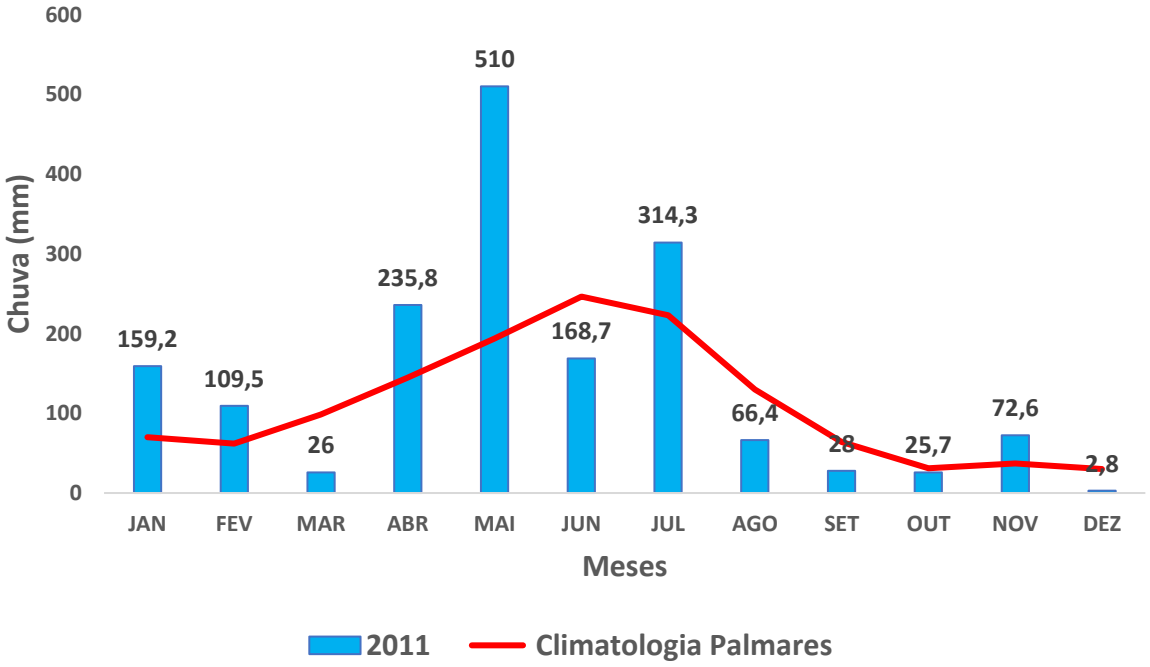
A comparação das imagens nos confirma que em ambos períodos a cidade de Palmares foi acometida por DOLs e que estes sistemas podem causar chuvas de grandes intensidades corroborando com estudos anteriores realizados por Silva et. al. (2023).

6.2 Índices pluviométricos registrados

Esta comparação permitiu o monitoramento das precipitações ocorridas na região, possibilitando a análise da relação entre os eventos de chuva intensa e a resposta hidrológica da bacia hidrográfica do rio Una. Possibilita também entender melhor como as mudanças climáticas e os eventos extremos podem causar danos ambientais severos. (REIS NETO, 2018).

No Figura 12, é possível observar a distribuição da precipitação mensal registrada ao longo do ano de 2011 em comparação com a normal climatológica para a cidade de Palmares - PE. A normal climatológica, representada pela linha vermelha, reflete a média histórica da precipitação em cada mês, enquanto as barras azuis indicam os valores registrados em 2011.

Figura 12 – Chuva registrada no ano de 2011 X Climatologia da Cidade de Palmares - PE



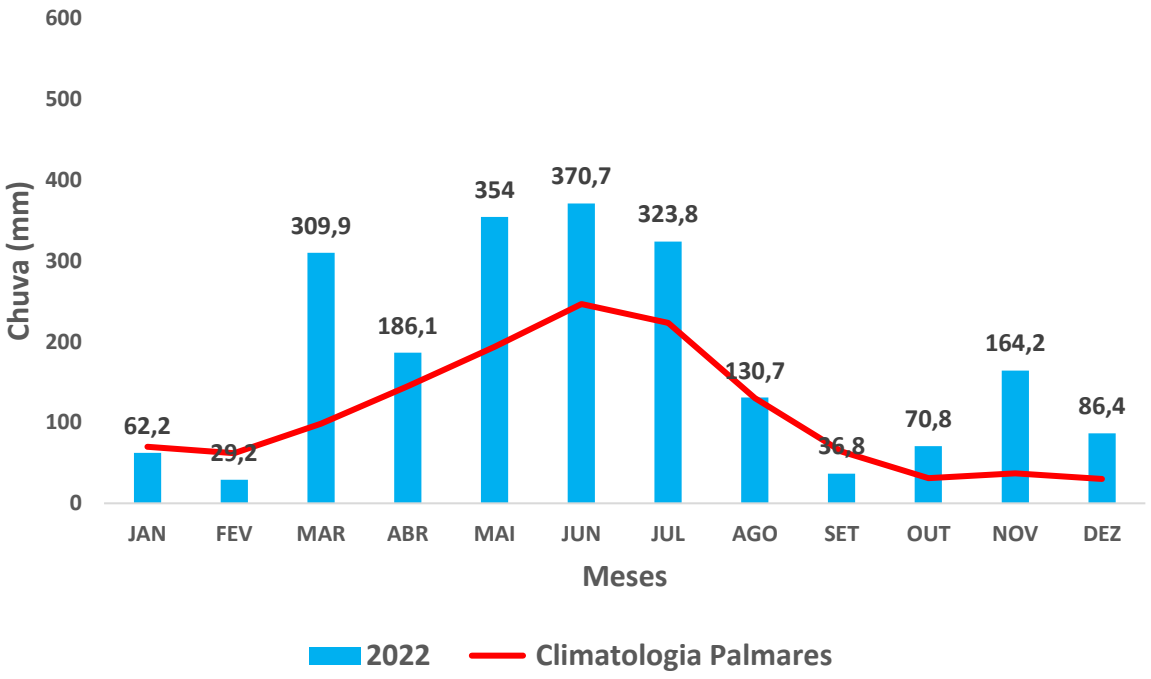
Fonte: APAC
Nota: Gráfico elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos na pesquisa.

A análise dos dados revela um índice pluviométrico excepcionalmente elevado no mês de maio, coincidindo com o período representado na Figura 10. Durante esse mês, a precipitação ultrapassou em 264% da média climatológica esperada,

evidenciando um evento extremo de alta intensidade. Esse fenômeno meteorológico teve um potencial significativo para desencadear impactos socioeconômicos severos, incluindo inundações, deslizamentos de terra e prejuízos estruturais, afetando diretamente a população local. (Silva et. al., 2023).

Já no Figura 13 apresenta-se a distribuição mensal da precipitação (chuva) na cidade de Palmares - PE durante o ano de 2022, também comparada à normal climatológica da região. A normal climatológica, representada pela linha vermelha, reflete a média histórica da precipitação em cada mês, enquanto as barras azuis indicam os valores registrados em 2022.

Figura 13 – Chuva registrada no ano de 2022 X Climatologia da Cidade de Palmares - PE



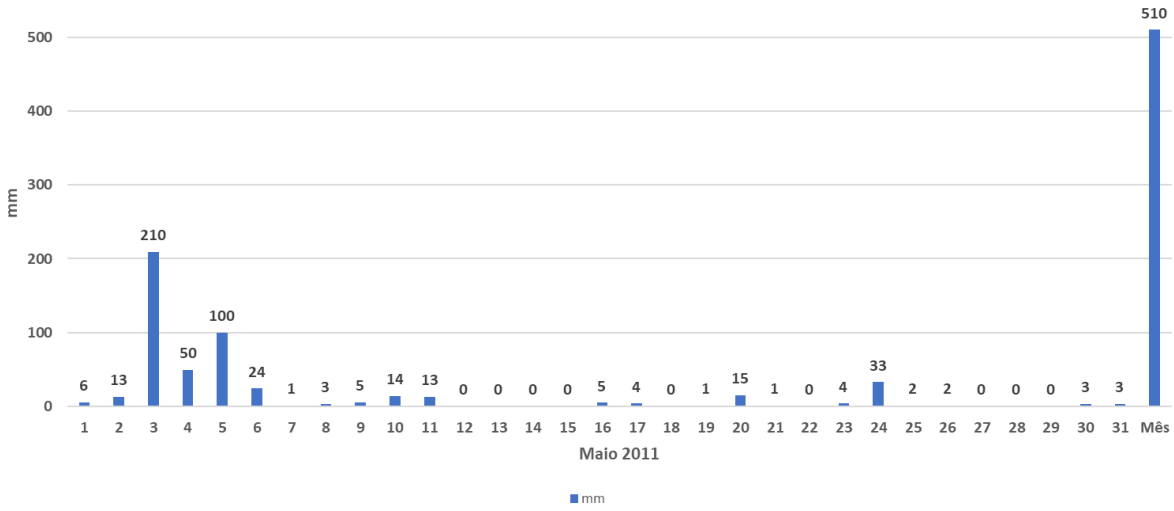
Fonte: APAC
Nota: Gráfico elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos na pesquisa.

Observa-se que, na maior parte do ano, os valores de chuva em 2022 superaram a média histórica, principalmente nos meses de março a julho, quando ocorreram os maiores desvios positivos. Os meses de maio (354 mm), junho (370,7 mm) e julho (323,8 mm) apresentaram os maiores volumes de chuva, estando acima

da climatologia, o que pode indicar um ano atípico em relação à sazonalidade das chuvas.

A Figura 14 apresenta os valores diários de precipitação registrados ao longo do mês de maio de 2011, evidenciando a intensidade do evento extremo ocorrido nesse período. Os dados confirmam que, nos primeiros seis dias do mês, a precipitação acumulada atingiu 401,8 mm, 78,8% do total de 510 mm registrados ao longo do mês de maio. Destaca-se, em particular, o dia 03/05/2011, quando foram contabilizados 209,6 mm de chuva em apenas 24 horas, um volume extremamente elevado que contribuiu significativamente para o transbordamento do rio Una, ocasionando inundações severas na cidade de Palmares - PE.

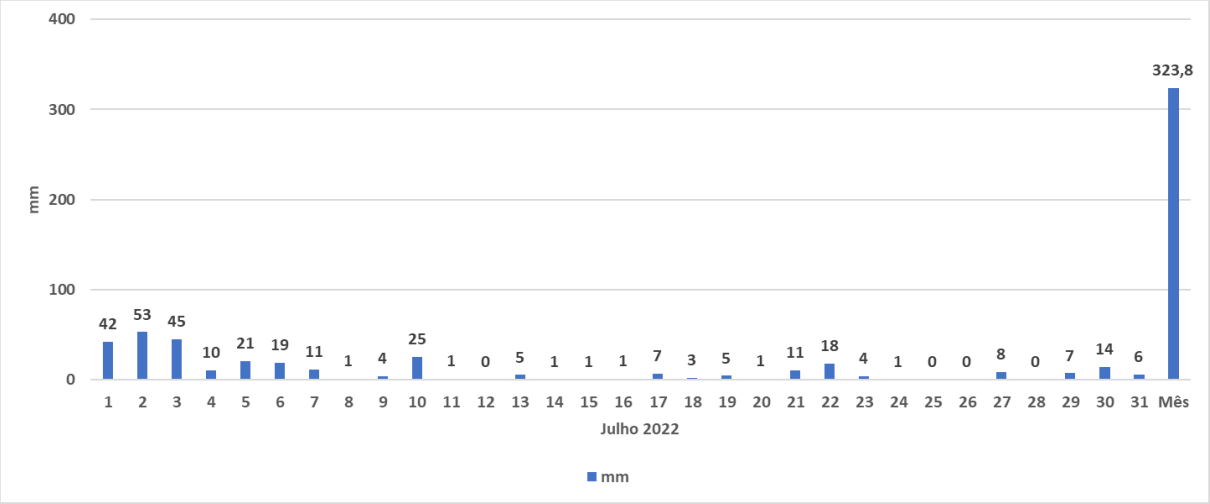
Figura 14 – Valores diários de precipitação registrados ao longo do mês de maio de 2011



Fonte: APAC
Nota: Gráfico elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos na pesquisa.

Já o Figura 15 apresenta a distribuição diária da precipitação ao longo do mês de julho de 2022, destacando a intensidade do evento extremo ocorrido nos primeiros dias do período. Os dados demonstram que, entre os dias 1 e 3 de julho, o acumulado pluviométrico atingiu 140 mm, um volume expressivo que, historicamente, seria suficiente para desencadear inundações severas na região.

Figura 15 – Valores diários de precipitação registrados ao longo do mês de julho de 2022



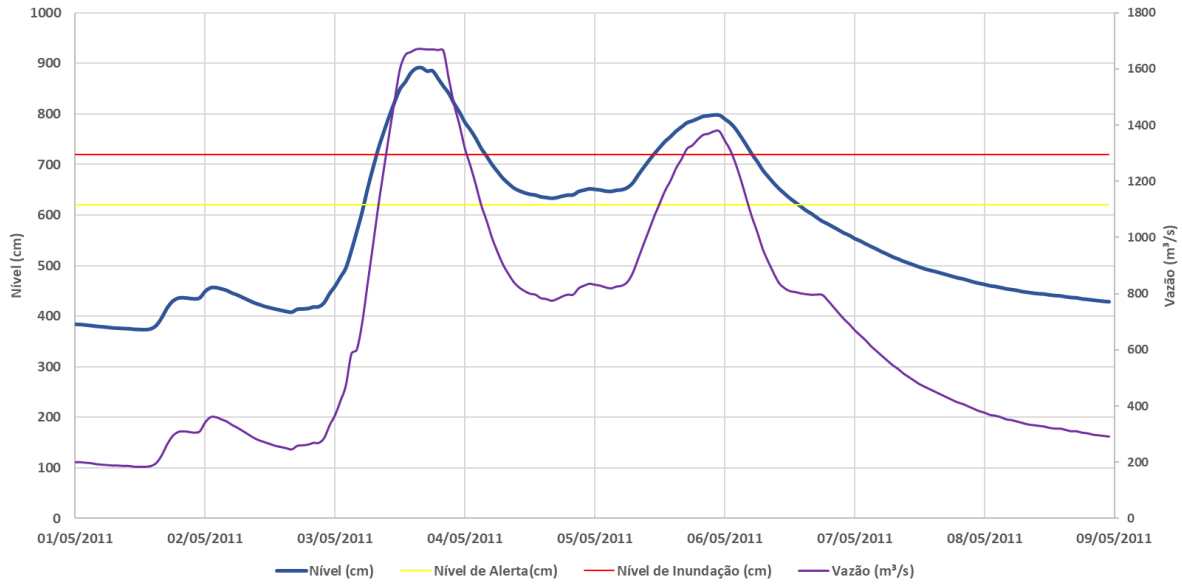
Fonte: APAC
Nota: Gráfico elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos na pesquisa.

Apesar do volume precipitado no ano de 2011 ser superior ao registrado em 2022, em ambos períodos houve o registro de mais de 100 mm de chuva em até 72 horas, esses indicies pluviométricos causados por DOLs, são capazes de causar inundações e gerar prejuízos socioeconômicos, principalmente as populações ribeirinhas.

6.3 Elevação do nível do rio una

A análise do Figura 16 permite compreender a dinâmica do nível do rio Una e sua respectiva vazão na estação hidrológica situada em Palmares durante o período de 01 a 09 de maio de 2011.

Figura 16 – Relação nível X vazão na estação hidrológica de Palmares (39560000) no rio Una em maio de 2011



Fonte: ANA/APAC
Nota: Gráfico elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos na pesquisa.

Observa-se que os níveis críticos de alerta e inundação são previamente estabelecidos com base em estudos hidrológicos e medições realizadas *in loco*, em parceria com a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e as Defesas Civis estadual e municipal. No gráfico, a linha amarela representa o nível de alerta, fixado em 620 cm (6,20 m), enquanto o nível de inundação está estipulado em 720 cm (7,20 m), valores que servem como parâmetros para a gestão de riscos hidrológicos na região. No dia 03 de maio de 2011, a chegada de um Distúrbio Ondulatório de Leste (figura 9) resultou em precipitações intensas, com um acumulado de 210 mm de chuva em apenas 24 horas. Esse volume expressivo impactou diretamente na elevação do nível do rio Una, que atingiu aproximadamente 900 cm (9,00 m), ultrapassando em 180 cm (1,80 m) o limite da cota de inundação e extravasando sua calha natural.

Os impactos dessa inundação foram severos, afetando principalmente populações socialmente vulneráveis, que historicamente ocupam áreas de risco, como margens de rios e encostas sujeitas a deslizamentos.

Na figura 17 pode-se observar os impactos gerados pela inundação registrada na figura 15. A cidade de Palmares foi parcialmente devastada gerando diversos transtornos de cunho social e econômico.

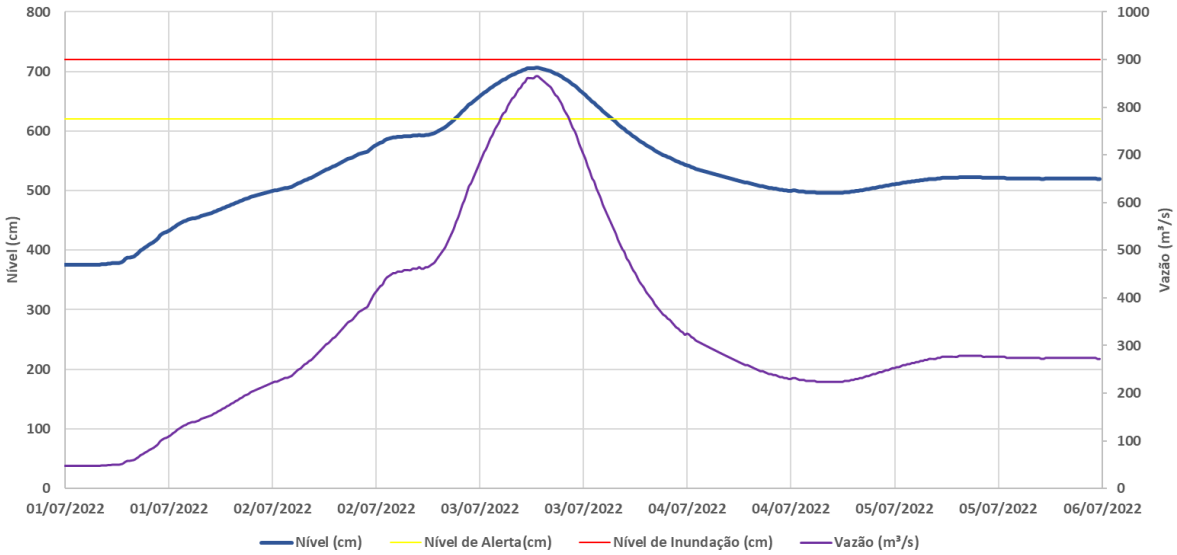
Figura 17 – Imagens dos estragos ocasionados pelas inundações em Palmares no mês de maio de 2011

Fonte: Defesa Civil de Palmares - PE (2011).

Dessa forma, o evento de maio de 2011 em Palmares representa um exemplo emblemático da necessidade de aprimoramento das políticas de prevenção e resposta a desastres naturais, especialmente em cidades vulneráveis do Nordeste brasileiro. O monitoramento hidrológico e meteorológico contínuo, aliado a uma abordagem integrada de gestão de risco, pode minimizar os impactos futuros e proteger vidas e patrimônios.

A interpretação do Figura 18 possibilita uma melhor compreensão sobre a variação do nível do rio Una e sua respectiva vazão na estação hidrológica localizada em Palmares, durante o intervalo de 01 a 06 de julho de 2022.

Figura 18 – Relação cota X vazão na estação hidrológica de Palmares (39560000) no rio Una em julho de 2022



Fonte: ANA/APAC
Nota: Gráfico elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos na pesquisa.

É possível perceber que os limites críticos para alerta e inundação que são previamente definidos com base em estudos hidrológicos e medições realizadas *in loco*, em cooperação com a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e as Defesas Civis estadual e municipal. Na figura 17, a linha amarela indica o nível de alerta, estabelecido em 620 cm (6,20 m), enquanto a linha vermelha marca o nível de inundação, fixado em 720 cm (7,20 m). Esses valores servem como referências fundamentais para a gestão de riscos hidrológicos na região. No dia 01 de julho de 2022, a atuação de um Distúrbio Ondulatório de Leste (Figura 10) provocou chuvas intensas, totalizando 140 mm em um período de 72 horas. Esse acumulado significativo resultou na elevação do nível do rio Una, que alcançou aproximadamente 705 cm (7,05 m), superando a cota de alerta em 85 cm (0,85 m), mas sem ultrapassar o nível de inundação, mantendo-se dentro do leito natural do rio.

Entretanto, a presença da Barragem de Contenção de Cheias de Serro Azul desempenhou um papel fundamental na mitigação dos impactos das chuvas intensas. Esse reservatório atuou no amortecimento do escoamento superficial, regulando a vazão a jusante e reduzindo o risco de extravasamento do rio Una no núcleo urbano da cidade de Palmares.

Na figura 19 podemos observar os impactos gerados pela inundação registrada na figura 18. A cidade de Palmares foi parcialmente devastada gerando diversos transtornos de cunho social e econômico, porem com a influência da operação da barragem de Serro Azul, os danos foram mitigados.

Figura 19 – Imagem dos estragos ocasionados pelas inundações em Palmares no mês de julho de 2022

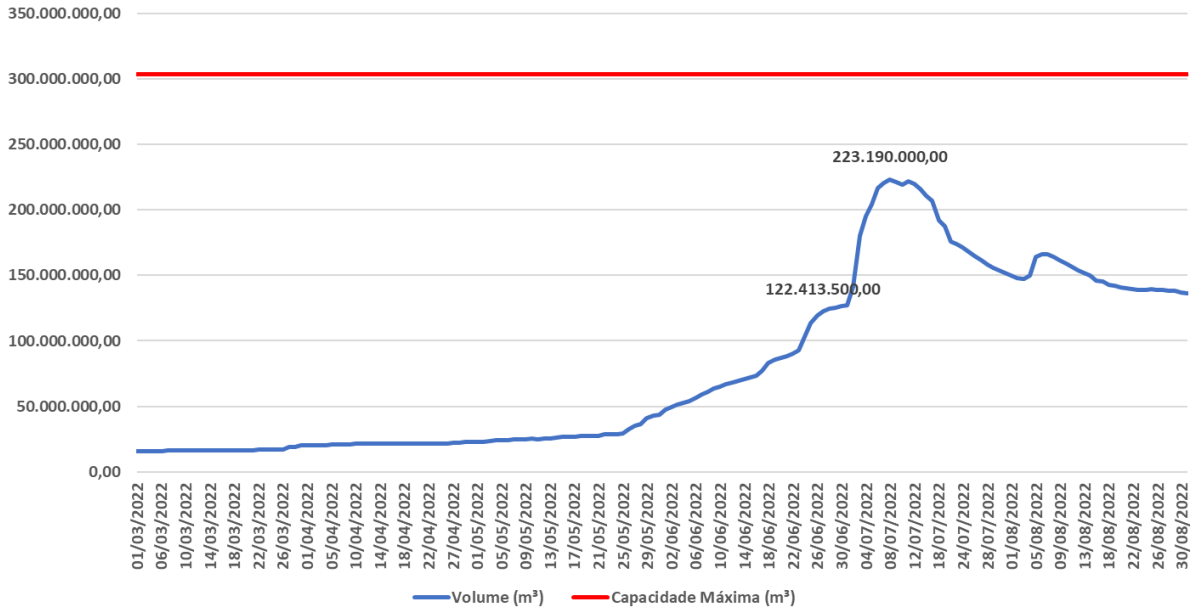
Fonte: Defesa Civil de Palmares - PE (2022).

Concordando com (SILVA, L. L.; LISTO, F. L. R, 2019) a cidade de Palmares está sujeita enfrentar inundações severas devido às fortes chuvas, como as registradas em 2010, 2011, 2017 e 2022.

6.4 Impactos positivos decorrentes da operação da barragem de serro azul

O Figura 20 apresenta a evolução do volume acumulado na Barragem de Serro Azul, em metros cúbicos (m³), ao longo do período de março a agosto de 2022, evidenciando o comportamento do reservatório diante das condições hidrológicas registradas.

Figura 20 – Histórico de acumulação de água entre os meses de março a agosto de 2022 da barragem de contenção de cheias de Serro Azul, Palmares - PE



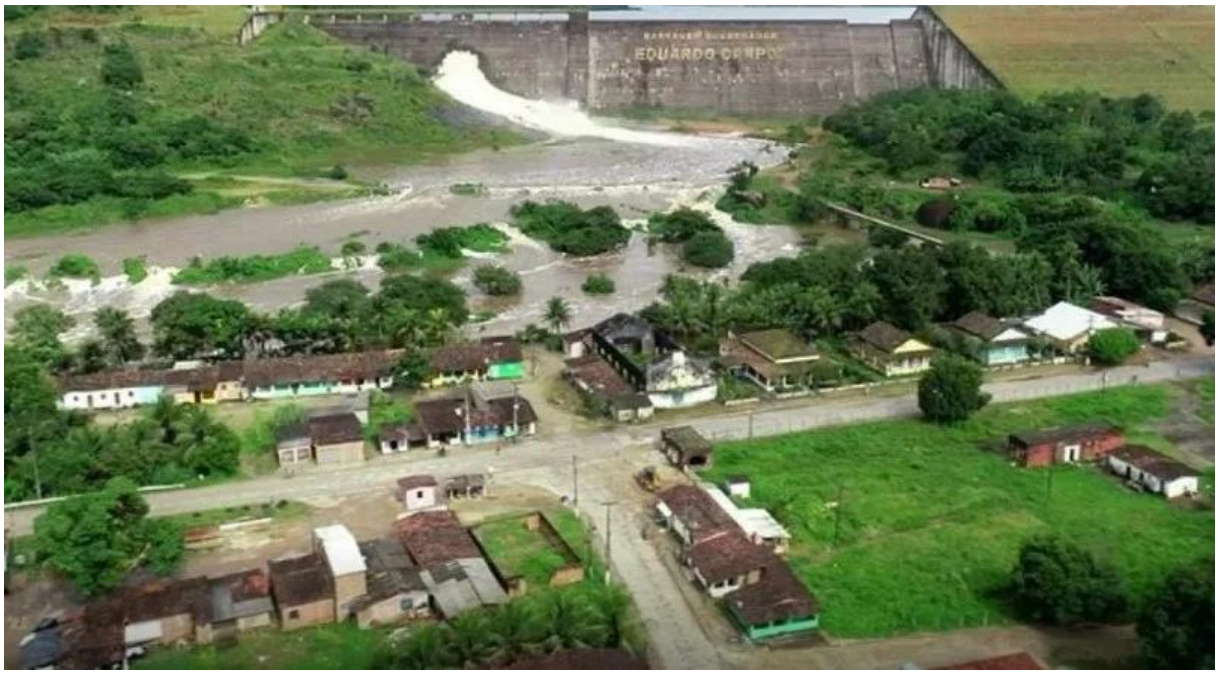
Fonte: APAC
Nota: Gráfico elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos na pesquisa.

Destaca-se o intervalo entre os dias 30 de junho e 3 de julho de 2022, quando, em função das intensas precipitações associadas à atuação de um Distúrbio Ondulatório de Leste (DOL), houve um aumento significativo no armazenamento hídrico, totalizando mais de 100 milhões de metros cúbicos em apenas três dias.

Esse aporte expressivo de volume foi eficazmente amortecido pelo reservatório, desempenhando um papel crucial na contenção da vazão e prevenindo impactos severos a jusante. A ação da barragem contribuiu diretamente para a mitigação da onda de cheia, reduzindo significativamente o risco de inundações, que historicamente afetam a região. Esse efeito ressalta a importância das infra estruturas hidráulicas na gestão de eventos extremos, promovendo maior segurança hídrica e proteção socioambiental para a população local (SOUZA, 2014).

Na Figura 21, observa-se a atuação da barragem de Serro Azul no momento mais crítico da onda de cheia, desempenhando sua principal função de amortecer o impacto das inundações e proteger a população ribeirinha localizada a jusante do barramento.

Figura 21 – Imagem da barragem de contenção de cheias de Serro Azul em Palmares no mês de julho de 2022



Fonte: Jefferson Nascimento/TV Jornal Interior (2022).

Esse evento demonstra a importância das infra estruturas hidráulicas na mitigação de desastres hidrometeorológicos, na regularidade do fluxo hídrico e na minimização dos danos causados pelas enchentes e inundações contribuindo para cidades mais resilientes a estes desastres. (OLIVEIRA, 2015).

Durante os eventos de julho de 2022, a barragem desempenhou um papel fundamental na contenção da onda de cheia do rio Una, reduzindo significativamente os impactos em áreas urbanas vulneráveis, como a cidade de Palmares. A região da Mata Sul pernambucana é historicamente suscetível a enchentes devido à alta complexidade e às características geomorfológicas que favorecem o escoamento superficial acelerado, tornando essencial a existência de reservatórios estratégicos para a gestão de riscos.

Portanto, a análise dos eventos hidrometeorológicos de 2022 evidencia a eficácia da barragem do Serro Azul como medida de controle de cheias, destacando sua importância na mitigação de impactos socioeconômicos em áreas sujeitas a inundações.

7 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos ao longo deste estudo demonstram a importância do monitoramento hidrometeorológico e da infraestrutura hídrica para a mitigação dos impactos de eventos extremos na bacia do rio Una, especialmente na cidade de Palmares – PE.

A análise dos dados evidenciou a influência direta das precipitações intensas registradas nos anos de 2011 e 2022, associadas à atuação de Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs), na elevação do nível do rio Una. Contudo, a capacidade de amortecimento de 100 milhões de metros cúbicos em apenas três dias da Barragem de Serro Azul, no ano de 2022, foi fundamental para a contenção da onda de cheia, evitando inundações severas na região, como registrado em anos anteriores do início da operação da barragem, corroborando com estudos anteriores sobre o papel fundamental dessas estruturas na redução de desastres hidrológicos.

A construção do reservatório garantiu um maior controle da vazão do rio Una, reduzindo a probabilidade de extravasamento da calha do rio e mitigando os impactos negativos das enchentes, conforme demonstrado por estudos hidrológicos prévios.

Além disso, os dados analisados reforçam a necessidade de um planejamento contínuo e aprimorado da gestão de recursos hídricos na região. A integração entre órgãos como a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), a Agência Nacional de Águas (ANA) e as Defesas Civis estadual e municipais desempenham um papel essencial na prevenção e resposta a eventos extremos. Essa cooperação interinstitucional é imprescindível para o desenvolvimento de políticas públicas eficazes na proteção das populações vulneráveis e na manutenção da segurança hídrica regional.

Por fim, este estudo corrobora a relevância das infraestruturas de contenção de cheias e do monitoramento hidrometeorológico como ferramentas fundamentais para a gestão integrada dos recursos hídricos. As informações obtidas podem subsidiar novas pesquisas e aprimorar as estratégias de adaptação às mudanças climáticas, considerando a crescente frequência e intensidade de eventos extremos

na região Nordeste do Brasil. A continuidade dos investimentos em monitoramento, modelagem hidrológica e educação ambiental é essencial para minimizar riscos e garantir a resiliência das comunidades expostas a inundações.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas.** 8 edição. São Paulo: Ateliê Editorial, 2021.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Brasília: ANA, 2019.

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas de Vulnerabilidade a Inundações**. Brasília: ANA, 2014.

APAC - AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Boletim do Clima - Síntese Climática -** Vol. 10, 2022. Disponível em:https:// www.apac .pe.gov.br/uploads/Boletim-climático--julho-2022.pdf. Acesso em: 15 nov. 2024.

APAC, Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Atlas Climatológico do Estado de Pernambuco** - **Normais Climatológicas 1991-2020 (2023)**. Disponível em:https://www.apac.pe.gov.br/images/webAtlas-Climatologico-do-Estado-de-pernambuco-APAC.pdf. Acesso em: 15 nov. 2024.

APAC, Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Atlas Climatológico do Estado de Pernambuco - Climatologia por município.** Disponível em: https:// www.apac.pe. gov.br/193-climatologia/521-climatologia-por-municipio. Acesso em: 15 nov. 2024.

APAC, Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Atlas Climatológico do Estado de Pernambuco - Climatologia por município.** Disponível em: https:// www.apac.pe.gov.br/193-climatologia/519-climatologia. Acesso em: 26 fev. 2025.

BRASIL. Lei n.º 12.608, de 10 de abril de 2012. **Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil.** Brasília, 2012.

CIRILO, J.A.; MONTENEGRO S.M.G.L.; ASFORA, M.C.; FILHO, C. O. T. **Controle e previsão de cheias no estado de Pernambuco, Brasil: aspectos hidrológicos e ações de reconstrução,** 2011. Disponível em: http://www.iwra.org/ congress/ resource/PAP00-5927.pdf, Acesso em: 20 Jan. 2025.

CMB – COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS. **Barragens e Desenvolvimento: Um Novo Modelo para Tomada de Decisões - Um Sumário.** Relatório da Comissão Mundial de Barragens, 2000. Disponível em: https://www2. mppa.mp.br /sistemas/gcsubsites/upload/41/cmb_sumario.pdf. Acesso em: 20 Jan. 2025.

CIGB - COMISSÃO INTERNACIONAL DE GRANDES BARRAGENS. **As barragens e a água do mundo**. Rio de Janeiro: CBDB, 2008. 64p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2022.** Brasília: IBGE, 2022.

INPE; NOAA. **Imagem de satélite GOES-12 – América do Sul – 30/05/2011**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; National Oceanic and Atmospheric Administration, 2011. Disponível em: https://www.cptec.inpe.br. Acesso em: 30 jan. 2025.

INPE; NOAA. **Imagem de satélite GOES-16, canal 16 (13,30 microns), América Latina**. 01 jul. 2022. Disponível em: https://www.cptec.inpe.br. Acesso em: 30 jan. 2025.

MACHADO, C. C. C.; NÓBREGA, R. S.; OLIVEIRA, T. H.; ALVES, K. M. A. S. **Distúrbio Ondulatório de Leste como condicionante a eventos extremos de embarque em Pernambuco.** Revista Brasileira de Climatologia , v. 11, 2012. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/13661/7035. Acesso em: 14 mar. 2025.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade:** caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI – Brasília: MMA, 2007. 2a edição. 212 p.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. **Uma Revisão da Dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

MOURA, M. O.; CUNICO, C.; LUCENA, D. B. **Riscos, vulnerabilidades e desastres socioambientais :** concepções e estudos de caso. João Pessoa : Editora UFPB, P. 210, 2023.

MOURA, J.D.M.; VIEIRA, R.; BOHN, N.; **Barragem de contenção de cheias e políticas públicas: o caso de Ituporanga – Santa Catarina, Brasil**. Sustentabilidade em Debate - Brasília, v. 6, n.3, p.7088, set/dez 2015. Disponível em:<http://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/15687>. Acesso em: 20 Jan. 2025.

NETO, A. R.; CIRILO, J. A.; DANTAS, C. E. O. e SILVA, E. R. **Caracterização da formação de cheias na bacia do rio Una em Pernambuco: simulação hidrológica-hidrodinâmica.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 20 n ° .2 Porto Alegre, abr./jun. 2015 p. 394 - 403.

NOVAIS, G. T. **Climas do Brasil** : classificação climática e aplicações - 1. ed. Porto Alegre, RS : Totalbooks, 2023. p.340

OLIVEIRA, J. P. Q. **Palmares resiliente: a reconstrução do urbano após as enchentes de 2010/11.** Dissertação (Mestrado pelo Programa de Pós-graduação em Administração da Universidade Federal de Pernambuco) 2015. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/16495. Acesso em: 22 mar. 2025.

PETRY, A.; LAUS, F.; ANDERÁOS, A.; BONFIM, M. **Classificação de barragens quanto ao dano potencial associado: a experiência da agência nacional de águas.** 2018. Disponível em: https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/outros /artigo-para-o-dam-world-2018/classificacao-de-barragens-quanto-ao-seu-dano-potencial-associado-2018.docx. Acesso em: 10 Dez. 2024.

REIS NETO, A. F. Et. al. **Mudanças Climáticas, eventos extremos e deslocados ambientais:** caso Palmares - PE. Revista Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais, Recife, V. 7, N. 1, 2018 (210-228)

REIS NETO, A.F, 2016. **Potencialidades e limitações para aplicação da Redução do Desmatamento e da Degradação Florestal (REDD) na mata atlântica pernambucana.** Dissertação (Mestrado pelo Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, p.101

RODRIGUES, L.O., Souza, W.M., Costa, V.S.O., Pereira, M.LT. **Influência dos eventos de El Niño e La Niña no regime de atualização do Agreste de Pernambuco.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 6, pág. 1995-2009, 2017. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/235912/pdf. Acesso em: 14 mar. 2025.

SILVA, L. L.; LISTO, F. L. R. **Inundações severas no município de Palmares - PE: uma análise comparativa preliminar dos eventos de 2010 e 2017.** Revita GeoUECE (Online), v. 08, n. 14, pág. 329-350, jan./jun. 2019. ISSN 2317-028X. . Disponível em: https://revistas.uece.br/index.php/GeoUECE/article/view/1484/5761. Acesso em: 22 mar. 2025.

SILVA, T. L. V., Lopes, Z. FERREIRA, R., GUEDES, R., PEREIRA, R., PRESTRELO, F., FERREIRA, A., GOMES, J., WANDERLEY, C., SANTOS, E., OLIVEIRA, P., GOMES, V., DIAS, H. **Previsão de extremos de chuva em Pernambuco: os eventos de maio de 2022.** Revista Brasileira de Geografia Física v.16, n.01, pág. 646-671. 2023. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/255990/49033. Acesso em: 22 mar. 2025.

SOUZA, C.R.G. **Risco a inundações, enchentes e alagamentos em regiões costeiras.** In: simpósio brasileiro de desastres naturais - SIBRADEN, 1. Florianópolis (SC), GEDN/UFSC. Anais,… p. 231-247, 2004.

SOUZA, M. P. L. **Gestão de risco de desastres naturais no Brasil.** FGV EAESP - GVcelog - Relatórios Técnicos 2014. Disponível em: https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/6ae7249d-4b4e-483d-bf2d-ac7e05e2f23d/content. Acesso em: 10 Dez. 2024.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas.** ABRH/RHAMA, 2007. 393 p.

TUCCI, Carlos E. M. (org). **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Ed. de UFRGS, ABRH, Ed da UP, p. 621. 1993.

VILLELA, S. M; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill, 1975. p. 245.