

MODELAGEM DE SUSCETIBILIDADE A ALAGAMENTOS E A INUNDAÇÕES NA CIDADE DO RECIFE, PERNAMBUCO, INTEGRADA A UM APLICATIVO DE ALERTA MÓVEL

FLOOD SUSCEPTIBILITY MODELING IN THE CITY OF RECIFE, PERNAMBUCO, INTEGRATED WITH A MOBILE ALERT APPLICATION

Maria Luiza da Silva Nascimento

mllsn4@discente.ifpe.edu.br

Prof. DSc. Hernande Pereira da Silva

hernandesilva@recife.ifpe.edu.br

RESUMO

A expansão urbana e o avanço das mudanças climáticas antrópicas têm intensificado a ocorrência de eventos hidrológicos no Recife. Nos últimos anos, a capital pernambucana tem enfrentado impactos severos decorrente de chuvas intensas, resultando em danos à saúde, ao meio ambiente e à economia, evidenciando a vulnerabilidade da cidade até mesmo diante de volumes de precipitação relativamente baixos. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo mapear a suscetibilidade a alagamentos e a inundações na Cidade do Recife, integrando os resultados a um aplicativo de alerta móvel, o AlertaPE. A modelagem espacial foi desenvolvida a partir de dados geoespaciais obtidos do Sistema de Informação Geográfica *SIGExtrem*, da análise multicritério com base no método do Processo Analítico Hierárquico, proposto por Saaty, e da aplicação da álgebra de mapas realizada no *software* ArcGIS Pro. Para isso, foram selecionados os parâmetros: precipitação, uso e ocupação do solo, densidade urbana, proximidade a corpos hídricos, declividade, hipsometria e pedologia. A álgebra de mapas desses dados permitiu classificar o território em cinco níveis de suscetibilidade: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. Os resultados indicaram que 51% da área mapeada do Recife encontra-se entre as classes alta e muito alta suscetibilidade a alagamentos e inundações. O modelo foi validado por meio da análise comparativa, e integrado ao aplicativo AlertaPE, como uma medida acessível e tecnológica para informar a população sobre os riscos dos eventos hidrológicos, além de contribuir como suporte técnico para gestores públicos na tomada de decisões voltadas à prevenção e mitigação dos eventos extremos.

Palavras-chave: análise multicritério; eventos hidrológicos; geoprocessamento; mapeamento; método AHP.

ABSTRACT

Urban sprawl and the advance of anthropogenic climate change have intensified the occurrence of hydrological events in Recife. In recent years, the capital of Pernambuco has faced severe impacts from intense rainfall, resulting in damage to health, the environment and the economy, highlighting the city's vulnerability even in the face of relatively low rainfall volumes. In this context, this study aimed to map the susceptibility to flooding in the city of Recife, integrating the results into a mobile alert application, AlertaPE. Spatial modeling was developed using geospatial data obtained from the SIGExtrem Geographic Information System, multi-criteria analysis based on the Hierarchical Analytical Process method proposed by Saaty, and the application of map algebra in ArcGIS Pro software. To do this, the following parameters were selected: rainfall, land use and occupation, urban density, proximity to water bodies, slope, hypsometry and pedology. Map algebra of this data enabled the territory to be classified into five levels of susceptibility: very low, low, medium, high and very high. The results indicated that 51% of the mapped area of Recife is between the high and very high susceptibility classes to flooding. The model was validated through comparative analysis, and integrated into the AlertaPE application, as an accessible and technological measure to inform the population about the risks of hydrological events, as well as contributing as technical support for public managers in making decisions aimed at preventing and mitigating extreme events.

Keywords: multicriteria analysis; hydrological events; geoprocessing; mapping; AHP method.

1 INTRODUÇÃO

As alterações no uso da terra, o consumo excessivo dos recursos naturais e, principalmente, a emissão de gases do efeito estufa (GEE) contribuíram para o aumento de 1,1 °C na temperatura média global. A influência antrópica sobre o clima tem intensificado a ocorrência de eventos extremos, como ondas de calor, secas e chuvas intensas, resultando em prejuízos à saúde humana, ao meio ambiente e à economia global (IPCC, 2023). Esses eventos podem ocorrer em diferentes escalas temporais, sendo os de curto e médio prazos, ligados ao clima e à meteorologia, os mais propensos a causar impactos severos (Marengo, 2009).

Nesse cenário, observa-se um aumento na frequência e intensidade de eventos extremos, impulsionado pelas mudanças climáticas antrópicas. Essas alterações têm contribuído para o derretimento de geleiras, a elevação do nível médio do mar e a precipitação pluviométrica extremas (Meyer *et al.*, 2022; Field *et al.*, 2014). A intensificação das chuvas agrava os riscos de inundações, alagamentos e deslizamentos de encostas, sobretudo em áreas urbanas (Souza; Azevedo; Araújo, 2012).

O avanço desordenado da urbanização tem acentuado esses impactos. A impermeabilização do solo, decorrente da expansão urbana sem planejamento, reduz a capacidade de infiltração da água da chuva e intensifica o escoamento superficial, favorecendo a ocorrência de alagamentos e inundações (Silva Junior *et al.*, 2020). As inundações ocorrem quando corpos hídricos ultrapassam seus limites naturais,

atingindo planícies de inundação e leitos maiores (França *et al.*, 2016), enquanto os alagamentos resultam do acúmulo de água pela da insuficiência de sistemas de drenagem (Farias; Mendonça, 2022).

Áreas urbanas localizadas em regiões costeiras, como a Cidade do Recife, em Pernambuco, são especialmente vulneráveis aos riscos climáticos. A elevação do nível do mar, combinada com chuvas intensas, pode causar alagamentos em áreas historicamente não alagáveis (Silva Junior *et al.*, 2020). Situada a apenas 4 metros acima do nível do mar, Recife é considerada a 16ª cidade mais vulnerável às mudanças climáticas (PBMC, 2016).

Em 2022, o Recife enfrentou fortes chuvas que desencadearam inundações e deslizamentos de terra, resultando na morte de 120 pessoas (Brasil, 2023) e prejuízos socioeconômicos, evidenciando sua fragilidade a eventos extremos (Marengo *et al.*, 2023). Diante da necessidade de planejamento urbano integrado a ações de adaptação climática (Melo *et al.*, 2022), o uso de ferramentas de geoprocessamento mostra-se essencial para a gestão territorial, contribuindo com a formulação de estratégias da prevenção e mitigação dos impactos de eventos extremos (Cury *et al.*, 2021).

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo desenvolver uma modelagem espacial das áreas suscetíveis a alagamentos e a inundações na Cidade do Recife, por meio de técnicas de geoprocessamento e análise multicritério, além de criar um aplicativo de alerta móvel para sistemas operacionais Android, integrando ao mapeamento, com o propósito de compartilhar informações com a população e fortalecer a gestão preventiva a eventos hidrológicos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica deste estudo estrutura-se em dois eixos centrais. O primeiro aborda os eventos extremos, suas causas e os impactos nas áreas urbanas, com ênfase na Cidade do Recife. O segundo trata da aplicação de geoprocessamento e sensoriamento remoto na análise e no monitoramento de áreas suscetíveis, destacando sua relevância na modelagem de alagamentos e inundações.

2.1 Desastres naturais e eventos extremos

A ocorrência de um evento natural não configura, por si só, a ocorrência de um desastre. Desastres naturais são caracterizados pelo impacto direto desses eventos sobre as atividades humanas. Sendo assim, quando ocorrem em áreas desocupadas ou sem infraestrutura, são considerados apenas eventos naturais (Strieder, *et al.*, 2010; Amaral; Gutjahr, 2015).

A Classificação Brasileira de Desastres (COBRADE), instituída pela Instrução Normativa nº 01, de 24 de agosto de 2012, categoriza o desastre quanto à origem, em natural ou tecnológico, este último associado a atividades humanas. Os desastres naturais são divididos em cinco categorias: geológicos, hidrológicos, meteorológicos, climatológicos e biológicos (Quadro 1). Essa classificação padroniza o registro das ocorrências no país e facilita a análise para o planejamento de medidas preventivas (Brasil, 2012).

Quadro 1 – Classificação geral de desastres naturais adotada pela COBRADE

Grupo	Definição	Principais tipos de desastres
Geológico	Desastres causados por eventos de origem geológica	Terremotos, erupções vulcânicas, movimentos de massa e erosão marinha ou continental.
Hidrológico	Desastres causado por alterações no ciclo normal da água ou por transbordamento dos corpos hídricos	Inundações, enxurradas e alagamentos.
Meteorológico	Desastres causados por eventos atmosféricos de curta duração	Ciclones, tempestades e temperaturas extremas (ondas de calor ou frio).
Climatológico	Desastres causados por eventos de variabilidade climática de longa duração	Seca, estiagem e incêndios florestais
Biológico	Desastres causados por exposição a organismos vivos e substâncias tóxicas	Epidemias e infestações/pragas

Fonte: Adaptado de Brasil (2012)

A crescente frequência e intensidade dos desastres naturais reforçam sua caracterização como eventos extremos. Eventos climáticos e meteorológicos são considerados extremos quando geram condições fora do comum para uma determinada localidade, como temperaturas elevadas ou escassez de chuvas (IPCC, 2023). O Brasil apresenta vulnerabilidade a esses eventos, especialmente diante de chuvas intensas, que frequentemente resultam em inundações e deslizamentos, sobretudo em áreas urbanas (Strieder, *et al.*, 2010).

2.1.1 Eventos hidrológicos

Os eventos hidrológicos são classificados em três tipos principais: inundações, enxurradas e alagamentos (Figura 1). As enxurradas correspondem ao volume de água que escoar rapidamente pela superfície do terreno, provocado por chuvas intensas (Gomes, 2022). Já as inundações ocorrem em áreas de planície após chuvas prolongadas (Brasil, 2012), quando os corpos hídricos transbordam, cobrindo as regiões próximas e ultrapassando os limites normais do corpo hídrico (Brasil, 2013).

Figura 1 – Diferença entre, enchente, inundação e alagamento



Fonte: Cemaden (2023)

Embora frequentemente sejam utilizados como sinônimo, inundações e enchentes apresentam distinções. As enchentes referem-se à elevação do nível de água de um rio até os limites de suas margens, sem que transborde para áreas vizinhas ao leito do rio (Goerl; Kobiyama, 2005). Esses eventos resultam de chuvas intensas, de rápida ou longa duração, que aumentam o volume dos rios. Em contextos urbanos, o termo “alagamento” caracteriza o acúmulo de água decorrente da impermeabilização do solo ou pela ausência de um sistema de drenagem eficiente (Amaral; Ribeiro, 2015).

As falhas nesses sistemas estão associadas ao mau dimensionamento, a falta de manutenção e as obstruções causadas pelo acúmulo de resíduos sólidos. Assim, o excesso de precipitações pluviométricas, o solo impermeabilizado, especialmente em regiões de cotas mais baixas, contribui para o alagamento de vias, calçadas e demais infraestruturas, impactando diretamente a população (Cemaden, 2023; Brasil, 2013).

A ocorrência de inundações e alagamentos é condicionada pela interação entre fatores naturais, como relevo, chuvas, vegetação e drenagem de bacias hidrográficas, e elementos antrópicos, sobretudo o uso e ocupação irregular do solo e dos corpos d'água (Amaral; Ribeiro, 2015).

2.1.2 Alagamentos e inundações na Cidade do Recife

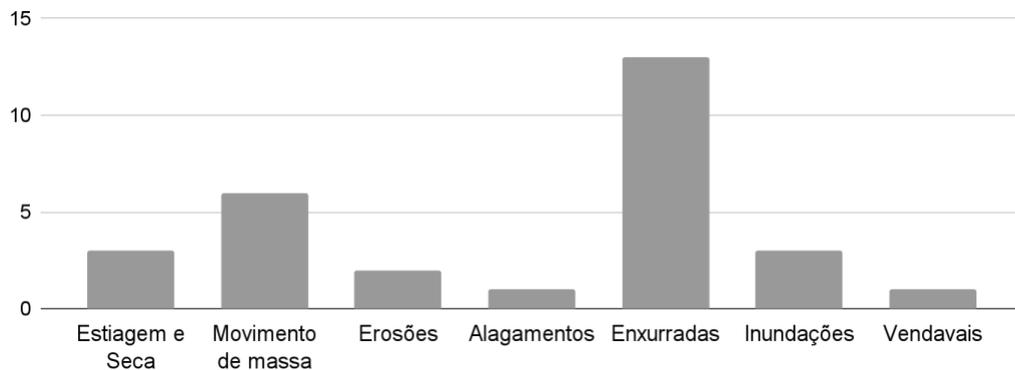
As transformações nos ecossistemas, frequentemente impulsionadas pela degradação ambiental associadas ao desenvolvimento econômico e à expansão urbana desordenada, têm implicações diretas sobre a infraestrutura das cidades (Stanganini; de Lollo, 2018). A ausência de um planejamento urbano eficiente não apenas altera a paisagem, como também compromete a drenagem de águas pluviais, expondo a vulnerabilidade das cidades diante de uma infraestrutura inadequada (Silva; Silva; Cabral, 2017).

As alterações no uso e ocupação do solo em centros urbanos, como a Cidade do Recife, contribuem para a intensificação dos impactos provocados pelas chuvas, resultando em alagamentos e inundações. Registros históricos indicam maior suscetibilidade em regiões próximas a rios e em áreas de encosta, frequentemente impactados por chuvas extremas (Anjos *et al.*, 2024).

Desenvolvida sobre uma área plana e de baixa altitude e sem o planejamento urbano adequado, o Recife se expandiu rapidamente para áreas vulneráveis, modificando a dinâmica natural da paisagem e tornando áreas próximas a rios, que inundam e alagam com facilidade, ainda mais vulneráveis a desastres durante chuvas intensas (Santos *et al.*, 2020).

Na análise dos desastres naturais que atingiram o estado de Pernambuco durante entre 1991 a 2012, a Cidade do Recife se destaca como o município com maior número de registros, totalizando 29 ocorrências (Gráfico 1). Durante esse período foram contabilizadas mais de 10 mil pessoas afetadas por alagamentos e mais de 100 mil pessoas afetadas por inundações (CEPED, 2013).

Gráfico 1 – Registros de desastres naturais por evento, na Cidade do Recife, período de 1991 a 2012



Fonte: Adaptado de CEPED (2013)

Eventos de chuvas extremas têm acontecido mesmo fora do período esperado. No primeiro semestre de 2016, o mês de maio registrou os maiores volumes de chuva no Recife. Esse episódio demonstrou que a cidade não suporta volumes superiores a 50 mm em poucas horas sem comprometer a infraestrutura urbana com alagamentos, quedas de árvores e postes, e em casos mais graves, mortes (Santos *et al.*, 2020).

Em 2022, as precipitações excederam o volume esperado para o período do mês de maio, levando os municípios da Região Metropolitana do Recife (RMR) a declararem estado de emergência. No Recife, cerca de 1,54 milhão de pessoas foram atingidas pelos efeitos das chuvas. O cenário evidenciou mais uma vez que a cidade não consegue lidar com picos de precipitação sem resultar em danos materiais e perdas humanas. (Marengo *et al.*, 2023; Brasil, 2023).

2.2 Geoprocessamento

Historicamente, a sociedade tem registrado a distribuição geográfica dos territórios e representando seus recursos naturais, prioridades e atividades por meio de documentos e mapas em papel. Com o avanço da tecnologia, tornou-se possível armazenar essas informações em ambientes computacionais, o que facilitou a análise integrada de dados, impulsionando o desenvolvimento de técnicas de geoprocessamento (Câmara; Davis, 2001).

O geoprocessamento é um conjunto de tecnologias utilizadas para coletar, tratar e analisar informações espaciais com o intuito de realizar estudos sobre uma determinada área. Essas atividades são executadas a partir de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que integram diferentes tipos de dados, como imagens de satélites, informações cartográficas e dados topográficos, possibilitando a produção de mapas temáticos e realização de análises espaciais de diversos cenários (INPE, s.d)

As ferramentas de geoprocessamento, os SIG e o sensoriamento remoto são amplamente aplicados na análise ambiental, e, portanto, essenciais para os estudos de gestão ambiental por facilitar o diagnóstico e o manejo dos recursos naturais de

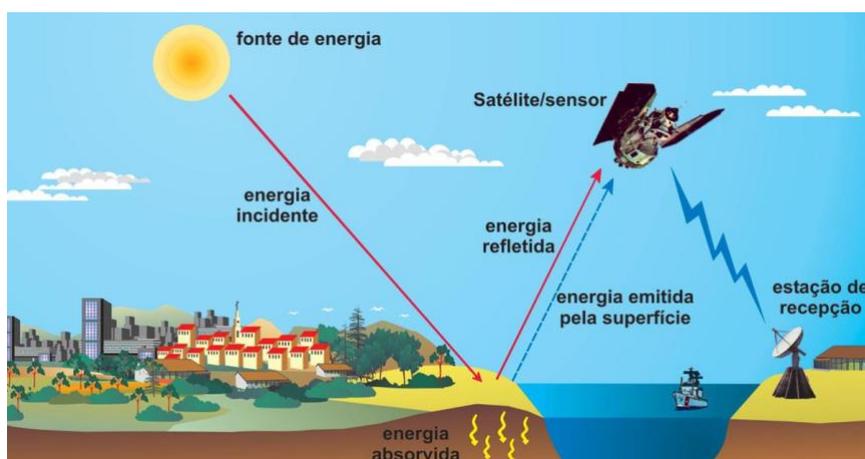
maneira eficiente. Com base em dados geoespaciais, é possível compreender o meio ambiente e suas interações com as atividades antrópicas (Falcão, 2013).

2.2.1 Sensoriamento remoto

O termo “sensoriamento” refere-se à obtenção de dados através de sensores presentes em plataformas terrestres, aéreas ou orbitais, enquanto a expressão “remoto” indica algo que está distante. Assim, o sensoriamento remoto é uma tecnologia que permite adquirir informações sobre áreas ou fenômenos sem o contato direto com os objetos na superfície terrestre, gerando dados passíveis de processamento, análise e interpretação (Florenzano, 2011).

A radiação eletromagnética é a principal fonte de energia utilizada no sensoriamento remoto. Essa energia, propagada em ondas eletromagnéticas na velocidade da luz, é captada por sensores a bordo de satélites de observação da Terra, os quais detectam a energia solar refletida ou emitida pelos alvos na superfície, conforme ilustrado na Figura 2. A resposta espectral captada varia conforme as características dos objetos observados, fundamental na interpretação das imagens para a utilização em estudos (Antunes, 2000).

Figura 2 – Captura de imagens por sensoriamento remoto



Fonte: Florenzano (2011)

Os dados obtidos por sensoriamento remoto, quando processados em *softwares* especializados, proporcionam diagnósticos úteis para pesquisas. Uma de suas principais vantagens é a capacidade de monitorar continuamente a superfície terrestre, fornecendo informações atualizadas sobre a superfície terrestre a partir da captura de imagens em diferentes momentos, escalas e faixas do espectro eletromagnético (Sausen, 2010).

2.2.2 Mapeamento de eventos extremos

A maioria dos desastres naturais apresenta elevada complexidade, e o uso de geotecnologias têm sido amplamente aplicados no mapeamento de áreas suscetíveis a riscos decorrentes de eventos extremos (Marcelino, 2003). Nesse contexto, a

modelagem é utilizada como um recurso para criar modelos representativos da realidade e assim, compreender suas dinâmicas (Kobiyama *et al.*, 2006).

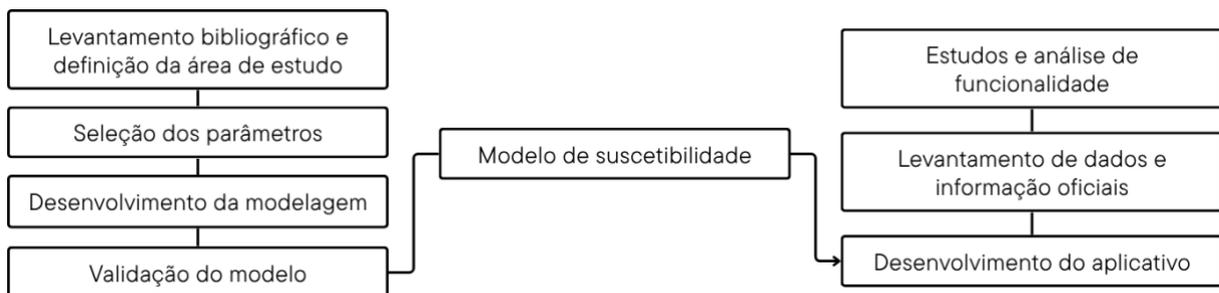
Uma das abordagens para analisar as características geoambientais na identificação da suscetibilidade a eventos extremos é por meio da álgebra de mapas, também conhecida como modelagem cartográfica (French; Li, 2010). Esse processo utiliza operações matemáticas de média ponderada, em que cada parâmetro recebe um peso conforme seu nível de influência (Câmara *et al.*, 2001).

Dessa forma, a combinação de dados obtidos por sensoriamento remoto, um ambiente SIG, do Processo Analítico Hierárquico e da álgebra de mapas (Ferreira; Silva, 2020) auxilia no mapeamento de áreas suscetíveis a desastres, em especial os de origem hidrológica, como alagamentos e inundações (Pessoa Neto; Silva; Barbosa, 2022; Freiman; Carvalho, 2020).

3 METODOLOGIA

Com o intuito de alcançar os objetivos propostos, este estudo foi estruturado em duas etapas principais: o desenvolvimento do modelo e a criação do aplicativo, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Etapas sintetizadas da metodologia



Fonte: Autora (2025)

Para a modelagem espacial foram realizados o levantamento bibliográfico e a definição da área de estudo e definida a área de estudo. Na sequência, foi feita a seleção dos parâmetros físicos e ambientais que influenciam na ocorrência de alagamentos e inundações, seguidos pelo desenvolvimento do modelo por meio da análise multicritério e álgebra de mapas. Posteriormente, realizou-se a validação da modelagem a partir da comparação com dados históricos.

Na criação do aplicativo conduziu-se a análises de funcionalidade e design, a coleta de dados e o desenvolvimento da ferramenta em colaboração com uma equipe de desenvolvedores de *software*. Por fim, após a validação espacial, integrou-se o modelo com o aplicativo.

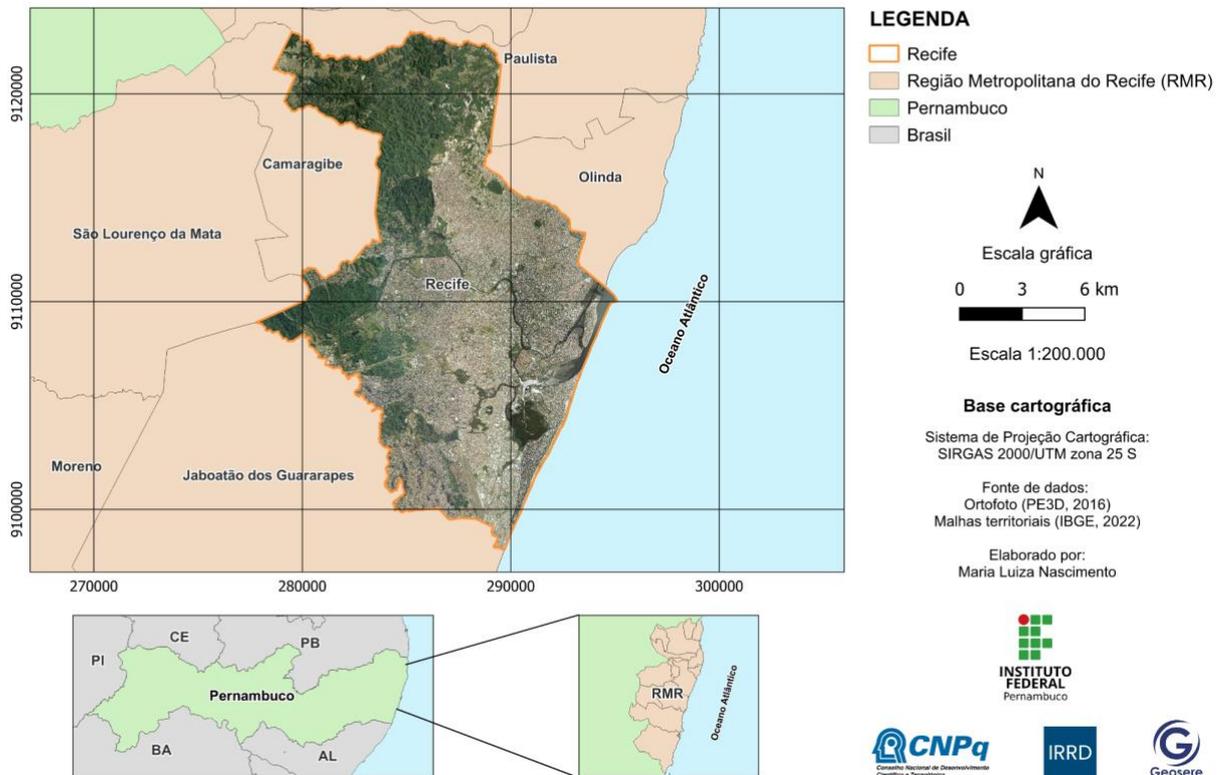
3.1 Localização da área de estudo

A área de estudo deste trabalho é a Cidade do Recife, capital do estado de Pernambuco, que compõe a Região Metropolitana de Recife (RMR) juntamente com outros 14 municípios. Está localizada entre as coordenadas UTM 9090000 m e

9130000 m Norte, e 270000 m e 300000 m Leste. Limita-se ao norte com os municípios de Olinda e Paulista, ao sul com Jaboatão dos Guararapes, a leste com o oceano Atlântico e a oeste com São Lourenço da Mata e Camaragibe (Mapa 1).

Mapa 1 – Localização da Cidade do Recife

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DO RECIFE



Fonte: Autora (2025)

Recife possui uma extensão territorial de 218,843 km² (IBGE, 2024), composta por áreas urbanas, morros, planícies e corpos hídricos. A cidade é dividida em 94 bairros e organizada em 6 Regiões Político-Administrativas (RPAs). Com uma alta densidade populacional (Recife, s.d), estima-se que a cidade tenha 1.448.920 habitantes, resultado em uma densidade demográfica de 6.803,60 hab/km² (IBGE, 2023).

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, a cidade apresenta o Clima Tropical de Monção (AMA), caracterizado por precipitação média superior a 1500 mm e temperatura média do mês mais quente acima de 22 °C. Com base nos registros climatológicos, a precipitação média anual do Recife é de 2.457 mm (APAC, s.d.), temperatura mínima média anual de 22,3 °C e máxima média anual de 29, 7 °C, observadas entre 1991 e 2020 (APAC, 2023).

A Cidade do Recife está entre as mais vulneráveis ao aumento do nível médio do mar e aos efeitos das mudanças climáticas (P BMC, 2016). Suas características ambientais, somadas ao elevado índice de urbanização, que corresponde a 65,34% da área total do território (IBGE, 2022), motivaram a escolha da capital pernambucana

como objeto de estudo, uma vez que esses aspectos combinados aumentam a propensão à ocorrência de alagamentos e inundações.

3.2 Desenvolvimento do modelo

O método adotado neste estudo foi o Processo Analítico Hierárquico, em inglês *Analytic Hierarchy Process* (AHP), proposto por Thomas L. Saaty na década de 70. O AHP permite hierarquizar informações quantitativas e qualitativas, atribuindo pesos conforme a importância relativa dos parâmetros analisados para a tomada de decisões mais consistentes. Por ser uma abordagem multidisciplinar, ao unir a análise multicritério e o geoprocessamento para a construção de cenários espacializados (Freiman; Carvalho, 2020), mostra-se eficaz na identificação de áreas suscetíveis a eventos extremos (Fernandes, 2016).

Dessa forma, o AHP e a álgebra de mapas foram aplicados para a modelagem da suscetibilidade a alagamentos e inundações na Cidade do Recife, utilizando o *software* ArcGIS Pro 3.4, licenciado para o Instituto para Redução de Risco e Desastres (IRR/UFPE), e a base de dados do *SIGExtrem*.

Com a definição do método, a etapa seguinte constituiu na seleção dos parâmetros físicos e ambientais. Para isso, considerou-se diversos estudos, como a avaliação do risco a inundação do Rio Cubatão do Norte (Campioli; Vieira, 2019), em Guaçuí (Magalhães *et al.*, 2012), o mapeamento a inundação e alagamento em Jaboatão dos Guararapes (Pessoa Neto; Silva; Barbosa, 2022), e na área urbana de Paracatu (Rezende; Marques; Oliveira, 2017), que identificam os principais fatores que influenciam na ocorrência dos eventos hidrológicos.

Destaca-se, portanto, a interação entre condicionantes naturais, como altitude, hidrografia, precipitação pluviométrica, tipos de solo e declividade, e fatores antrópicos, como o uso e ocupação do solo, densidade populacional e drenagem urbana, na suscetibilidade de alagamentos e inundações (Caprario *et al.*, 2017).

3.2.1 Identificação dos parâmetros e tratamento dos dados

Os parâmetros utilizados neste estudo foram obtidos através do *SIGExtrem*, um Sistema de Informação Geográfica (SIG) desenvolvido com ferramentas de geoprocessamento e o *software* ArcGIS. No ambiente *SIGExtrem*, foi realizada a análise dos dados geoespaciais na correção de inconsistências e padronização das informações para o uso em modelagens. A qualidade desses dados é fundamental para a eficácia, uma vez que, modelos baseados em informações limitadas podem gerar resultados imprecisos em relação à realidade (Kobiyama *et al.*, 2006).

Os dados do *SIGExtrem* passaram por reclassificação e normalização para a projeção cartográfica UTM zona 25S e *datum* SIRGAS 2000. Na modelagem aplicou-se os parâmetros de precipitação média diária, uso e ocupação do solo, densidade urbana, proximidade a corpos hídricos, declividade, hipsometria e pedologia.

3.2.2 Aplicação do método AHP

Para a aplicação do AHP foi construída uma Matriz de Comparação Pareada (Quadro 2) no *software* Google Planilhas, com o objetivo de organizar os parâmetros analisados segundo uma escala de relevância baseada nos pesos atribuídos. Esses

parâmetros foram hierarquizados conforme seu grau de influência na ocorrência de alagamentos e inundações na Cidade do Recife.

Quadro 2 – Estrutura da Matriz de Comparação Pareada

Elemento	A	B	C
A	1		
B		1	
C			1

Fonte: Adaptado de Saaty (1997)

Cada parâmetro foi comparado dois a dois, seguindo a Escala Fundamental proposta por Saaty (Quadro 3), que varia de 1 (igual importância) a 9 (importância absoluta), assim, quando um parâmetro é considerado menos relevante que o outro atribui-se o peso inverso.

Quadro 3 – Escala de importância para aplicação do método AHP

Importância	Explicação	Peso	Peso inverso
Igual	Dois critérios contribuem igualmente para o objetivo.	1	1/1
Moderada	A experiência e o julgamento favorecem ligeiramente um critério ao outro.	3	1/3
Forte	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um critério ao outro.	5	1/5
Muito forte	Um critério é fortemente favorecido e o seu domínio é demonstrado na prática.	7	1/4
Absoluta	A evidência que favorece um critério em relação ao outro é da mais alta ordem possível de afirmação.	9	1/9
Valores intermediários	Quando é necessário um compromisso entre dois julgamentos.	2, 4, 6, 8	1/2, 1/4, 1/6, 1/8

Fonte: Adaptado de Saaty (1997)

As comparações par a par foram realizadas com base em estudos da literatura, a fim de fundamentar a atribuição dos pesos relativos na matriz. A definição desses pesos considerou a contribuição de cada parâmetro para a suscetibilidade a eventos hidrológicos, conforme evidenciado em pesquisas anteriores. Wanderley *et al.* (2018) destacam a precipitação pluviométrica como fator essencial em estudos de suscetibilidade climática. Anjos *et al.* (2024) demonstram que as alterações no uso e ocupação do solo influenciam nos impactos causados pelas chuvas, como alagamentos e inundações no Recife.

Salgueiro *et al.* (2024) associam a densidade urbana à impermeabilização do solo, intensificando o escoamento superficial, contribuindo para alagamentos. Köene (2014) aponta que a proximidade a corpos hídricos representa o fator elevado para

ocorrência de inundações, sobretudo em planícies, onde a ocupação humana está exposta ao transbordamento de rios.

Santos *et al.* (2020) destacam que áreas planas e inclinadas são vulneráveis a diferentes tipos de desastres, especialmente quando submetidas a processos de urbanização desordenada. A influência da altitude e da declividade do terreno sobre o acúmulo de água é destacada por Magalhães *et al.* (2011) e por Campioli e Vieira (2019). Nunes e Rocha (2020) ressaltam que a pedologia, sobretudo em áreas com a remoção da cobertura vegetal para a construção de edificações e pavimentação, influencia na capacidade de infiltração do solo, ampliando a suscetibilidade a alagamentos e inundações.

Esses estudos forneceram base para a hierarquização dos parâmetros e o resultado das comparações permitiu transformar os julgamentos qualitativos em dados quantitativos, viabilizando a modelagem espacial. Após o preenchimento da matriz, foi calculado o autovetor de prioridades por meio da normalização da soma das linhas.

Cada soma de linha foi dividida pela soma total de todas as linhas da matriz, resultando nos pesos relativos de cada parâmetro dentro do conjunto analisado. Em seguida, realizou-se o produto vetorial entre cada linha da matriz de comparação e o autovetor obtido. Esse processo gerou novos valores, resultantes da multiplicação de cada linha da matriz pelos respectivos pesos dos parâmetros (autovetor).

A partir disso, foi calculado os valores de lambda (λ) para cada linha, dividindo-se o resultado do produto vetorial pelo correspondente no autovetor. Com os valores de λ , calculou-se o autovalor máximo ($\lambda_{máx}$) da matriz, por meio da média aritmética, com o objetivo de verificar a consistência dos julgamentos realizados.

Dessa forma, a validade da matriz foi verificada através do cálculo do Índice de Consistência (IC) e da Razão de Consistência (RC). O IC, conforme a Equação 1, possibilita avaliar a coerência dos julgamentos, ao indicar se o autovalor máximo está compatível com a quantidade de parâmetros comparados.

$$IC = \frac{\lambda_{máx} - n}{n - 1} \quad (1)$$

Onde $\lambda_{máx}$ é o autovalor máximo e n é o número de critérios utilizados na matriz. Para calcular a Razão de Consistência utilizou-se a Equação 2.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (2)$$

Onde IC é o Índice de Consistência e o IR é o Índice Randômico. O valor do IR foi definido de acordo com a quantidade de critérios comparados na matriz (Tabela 1). Para garantir a consistência dos julgamentos, o resultado de RC deve ser inferior a 0,1. Com a consistência assegurada, os pesos derivados do autovetor normalizado foram aplicados na álgebra de mapas para a modelagem espacial.

Tabela 1 – Índices Randômicos (IR)

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,79

Fonte: Adaptado de Saaty e Vargas (2012)

Após a validação dos pesos, aplicou-se a ferramenta *Calculadora Raster* do ArcGIS para combinar os mapas dos parâmetros adquiridos do *SIGExtrem*. Por meio da álgebra de mapas, cada parâmetro, em formato *raster*, foi inserido na calculadora, multiplicado pelo respectivo peso e somado aos demais fatores, conforme apresentado na Equação 3. O resultado da operação gerou um novo dado *raster*, o qual foi classificado no modo quartil e categorizado em cinco níveis de suscetibilidade: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto.

$$\begin{aligned}
 & \text{Precipitação} * \text{peso} + \text{Declividade} * \text{peso} + \text{Uso e Ocupação do solo} * \text{peso} + \\
 & \text{Proximidade a corpos hídricos} * \text{peso} + \text{Hipsometria} * \text{peso} \\
 & + \text{Densidade urbana} * \text{peso} + \text{Pedologia} * \text{peso} = \text{Modelo}
 \end{aligned} \quad (3)$$

3.2.3 Validação do modelo

Para avaliar a eficácia do modelo, foi realizada uma comparação entre o mapeamento gerado e os registros reais de alagamentos e inundações ocorridos no Recife entre os anos de 2013 a 2024. As informações foram obtidas em portais de notícias, redes sociais e no monitoramento da Companhia de Trânsito e Transporte Urbano (CTTU), por meio da busca dos termos “alagamento”, “inundação”, “Recife”, dentro do período estabelecido.

Os dados foram analisados e georreferenciados para o sistema de projeção cartográfica UTM zona 25S e datum SIRGAS 2000. Para detalhar a análise, selecionou-se três regiões para a identificação ampliada dos pontos: a Avenida Governador Agamenon Magalhães (Jornal do Comercio, 2015), a Avenida Marechal Mascarenhas de Moraes (Diário de Pernambuco, 2022) e a Avenida Engenheiro Abdias de Carvalho (CBN Recife, 2023).

Dessa forma, foi possível verificar a correspondência entre os locais de ocorrência dos eventos registrados e as áreas classificadas como alta e muito alta suscetibilidade no modelo, contribuindo para validar a precisão do resultado gerado com a álgebra de mapas.

3.3 Desenvolvimento do aplicativo

Além da modelagem espacial de suscetibilidade a eventos hidrológicos, este estudo teve como objetivo o desenvolvimento de um aplicativo para dispositivos móveis com sistema operacional Android, projetado para integrar a modelagem a um ambiente digital. Diante disso, foram analisadas empiricamente as funcionalidades e do design de 7 aplicativos (Quadro 4) disponíveis na Google Play Store.

Quadro 4 – Aplicativos analisados

Aplicativos	Desenvolvido por
Conecta Recife	EMPREL – Prefeitura do Recife
Google Maps	Google LLC
Monitor das Secas do Brasil	FUNCEME
Rio Doce Alerta	Prefeitura Municipal de Governador Valadares
SIGFIS	Lourivaldo Vasconcelos
Survey123 for ArcGIS	Esri
C7 GPS Dados	UFSM - Laboratório de Geomática

Fonte: Autora (2025)

A avaliação desses aplicativos, que utilizam de geoprocessamento ou estão relacionados a eventos extremos, serviu como referência para o desenvolvimento do AlertaPE. Com isso, listou-se todas as funcionalidades desejáveis, como a visualização do mapa das áreas suscetíveis a alagamentos e inundações, alertas personalizados e informações úteis sobre contatos e abrigos de emergência. Em seguida, realizou-se a pesquisa de dados e informações oficiais da Defesa Civil de Pernambuco e da Prefeitura da Cidade do Recife para compor a interface.

Foi feito o levantamento das listas de abrigos, canais oficiais de emergência e a criação de um banco de dados para armazenar as últimas notícias referentes a eventos extremos em Pernambuco. Os locais de abrigos emergências foram geoespacializados para o sistema de projeção cartográfica UTM zona 25S e datum SIRGAS 2000, a fim de gerar uma nova camada de pontos. Com essa informação, foi elaborado um mapa dos abrigos emergenciais da Região Metropolitana do Recife (RMR), incorporado como uma das funcionalidades do aplicativo.

Para alcançar os objetivos, foi projetado o design visual do AlertaPE, com sua estrutura e fluxo de navegação, na plataforma Figma. Com o protótipo do projeto AlertaPE concluído, contou-se com o apoio de uma equipe de desenvolvedores de *software* para avaliar a viabilidade do projeto e continuar sua criação. Em conjunto, foram definidas as tecnologias adequadas, como a linguagem de programação, a arquitetura para o compartilhamento dos mapas, além de ajustes no design para melhor Experiência do Usuário (UX) e a Interface do Usuário (UI).

A primeira etapa de desenvolvimento com a equipe envolveu o refinamento dos elementos visuais e da experiência de navegação dentro da plataforma, com a plataforma Figma para aprimorar o protótipo, aplicando técnicas de design de UI/UX, incluindo layout, tipografia e disposição de elementos gráficos para uma interface intuitiva e acessível. Após a aprovação do novo design, o Android Studio foi configurado como ambiente de desenvolvimento, utilizando a linguagem de programação Kotlin e o *framework* Jetpack Compose para a construção da interface. No gerenciamento do código-fonte e colaboração entre a equipe, foi utilizada a plataforma GitHub.

Por fim, foi gerado um *Android Package Kit* (APK) da versão inicial do AlertaPE no Android Studio, permitindo que a equipe e usuários selecionados instalassem e

testassem o aplicativo. Com base nas avaliações, foram feitas correções e alterações do código, e assim, validando na prática, a versão demonstrativa apresentada neste estudo.

4 RESULTADOS E ANÁLISE

A partir da identificação dos parâmetros de precipitação média diária, uso e ocupação do solo, densidade urbana, a proximidade a corpos hídricos, declividade, hipsometria na suscetibilidade a alagamentos e inundações em áreas urbanizadas, aplicou-se a análise multicritério. Os elementos foram distribuídos em linhas e colunas para formar a Matriz de Comparação Pareada (Quadro 5), conforme o método AHP proposto por Saaty.

Os parâmetros foram comparados par a par, resultando em valores entre 1, igual importância, e 5, que indica importância forte. Sendo assim, quanto maior foi o peso atribuído, maior a relevância de um elemento em relação ao outro. As comparações entre parâmetros de mesma importância, ou de um elemento comparado com ele mesmo, receberam peso 1.

Quadro 5 – Matriz de Comparação Pareada

Parâmetros	PMD	UOS	DU	PCH	D	H	P
PMD	1	2	3	2	5	5	5
UOS	0,5	1	1	2	3	3	4
DU	0,33	1	1	0,5	3	3	4
PCH	0,5	0,5	2	1	3	3	3
D	0,2	0,33	0,33	0,33	1	1	2
H	0,2	0,33	0,33	0,33	1	1	2
P	0,2	0,25	0,25	0,33	0,5	0,5	1

Fonte: Autora (2025)

Onde: PMD = precipitação média diária; UOS = uso e ocupação do solo; DU = densidade urbana; PCH = proximidade a corpos hídricos; D = declividade; H = hipsometria; P = pedologia.

Os valores da matriz refletiram a importância relativa entre os parâmetros considerados neste estudo, indicando quais fatores têm maior influência na suscetibilidade a alagamentos e inundações em áreas urbanas. Nesse cenário, o parâmetro precipitação foi avaliado como fortemente relevante em comparação aos demais, considerando que a análise se baseia em eventos hidrológicos desencadeados por volumes intensos de chuva.

A interação entre eventos de precipitação extrema e fatores urbanos pode resultar em diversos impactos no Recife. Dependendo das variações climáticas, decorrentes dos fenômenos El Niño e La Niña e, principalmente das mudanças climáticas antrópicas (Faranda *et al.*, 2024), as chuvas observadas na cidade podem ultrapassar em até 50% a média histórica, resultando impactos distintos na paisagem, alagamentos e inundações em áreas planas e deslizamentos de terra nas encostas (Corrêa, 2009).

Em áreas próximas a corpos hídricos, o risco de inundação se intensifica, uma vez que o aumento no nível da água, devido às chuvas, leva ao transbordamento do corpo hídrico (Pessoa Neto; Silva; Barbosa, 2022). Assim, a proximidade a corpos hídricos foi avaliada como importância moderada frente a declividade, hipsometria e pedologia.

A combinação entre relevo e altitude contribui para o risco de eventos extremos, e, portanto, avaliados de igual importância na comparação entre eles. No entanto, considerando que a maior parte da densidade populacional do Recife está situada em uma planície costeira urbanizada (Silva Junior *et al.*, 2020), os fatores precipitação, uso e ocupação do solo, densidade urbana e proximidade a corpos hídricos foram julgados com maior importância em relação aos critérios declividade e hipsometria.

Embora relevante, a pedologia foi classificada como menor importância quando comparada aos demais parâmetros, uma vez que mais da metade do território do Recife é urbanizado, resultando na impermeabilização do solo. Por esse motivo, os fatores de uso e ocupação do solo e densidade urbana tiveram importância moderada, devido a influência desses elementos sobre os processos de infiltração e escoamento superficial, elevando a suscetibilidade a alagamentos e inundações (Rezende; Marques; Oliveira, 2017).

Mediante a análise multicritério, realizou-se a soma dos valores de cada linha da matriz, dividida pela soma total das linhas, para obtenção do autovetor. O resultado da normalização correspondeu ao peso relativo dos parâmetros analisados neste estudo (Quadro 6), utilizados na álgebra de mapas. Na obtenção dos pesos, destaca-se a precipitação com o maior peso de influência para alagamentos e inundações e a pedologia com o menor, na comparação entre os parâmetros.

Quadro 6 – Pesos obtidos para parâmetros

Parâmetros	Pesos
PMD	0,30
UOS	0,19
DU	0,17
PCH	0,17
D	0,07
H	0,07
P	0,04

Fonte: Autora (2025)

Em seguida, foi avaliado a coerência dos pesos por meio do cálculo do Índice de Consistência (IC), utilizando a Equação 1, e do valor do Índice Randômico (IR), conforme os valores apresentados na Tabela 1. Com base nesses resultados, foi calculada a Razão de Consistência (RC), conforme a Equação 4. Para garantir a validade dos resultados, o valor de RC deve ser inferior a 0,1.

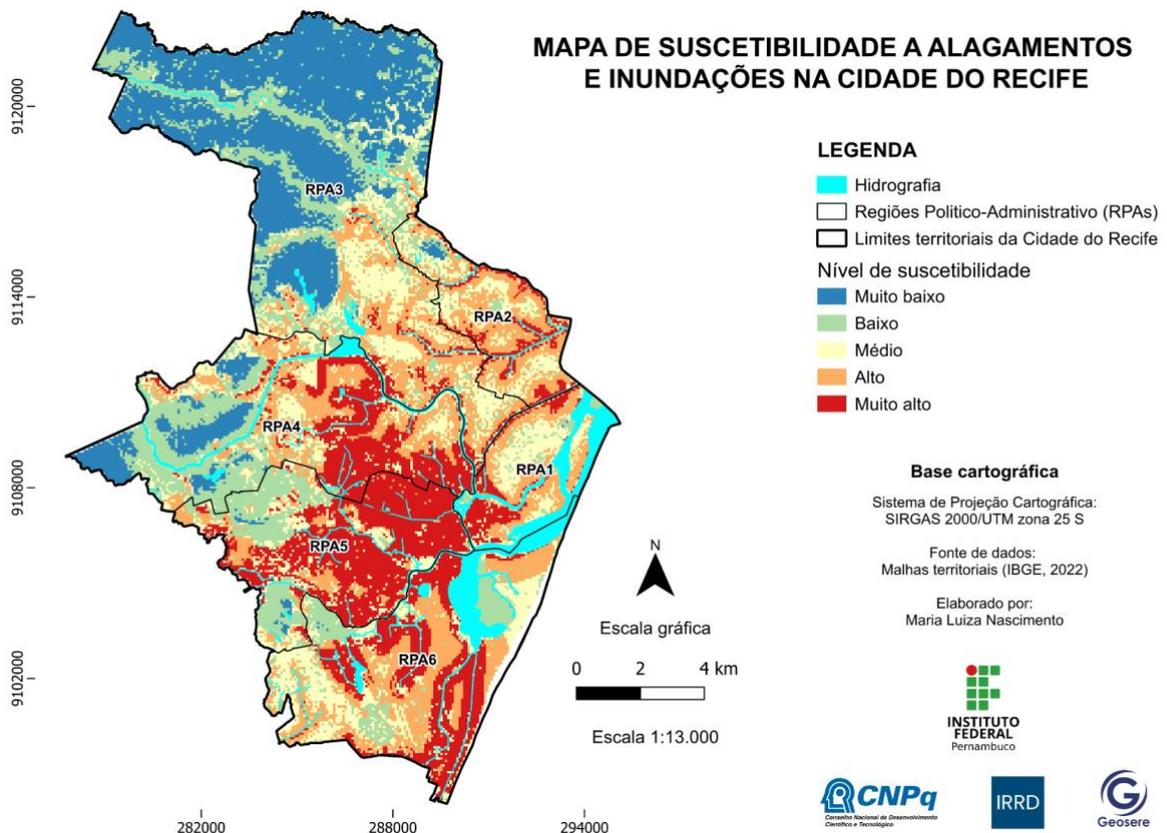
$$\frac{0,04}{1,32} = 0,03 \quad (4)$$

O IC calculado foi de 0,04, enquanto o valor do IR foi 1,32, devido ao número de parâmetros comparados. O RC resultou em 0,03, validando a análise multicritério e os pesos atribuídos para cada fator. Com a consistência confirmada, procedeu-se a operação de álgebra de mapas com a ferramenta *Calculadora Raster*, no software ArcGIS, em que cada fator foi ponderado com seus respectivos pesos (Equação 5).

$$(PMD * 0,30) + (UOS * 0,19) + (DU * 0,17) + (PCH * 0,17) + (D * 0,07) + (H * 0,07) + (P * 0,04) = Modelo \quad (5)$$

A partir da álgebra de mapas, foi gerado o modelo espacial das áreas suscetíveis a alagamentos e inundações na Cidade do Recife (Mapa 2) classificado em cinco classes de suscetibilidade: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto, e dividido dentro das Regiões Político-Administrativas (RPA) do Recife.

Mapa 2 – Suscetibilidade a alagamentos e inundações na Cidade do Recife



Fonte: Autora (2025)

Na análise dos resultados, constatou-se que as RPAs 5, 6 e parte da RPA 4 representam as áreas do Recife com maior potencial de ocorrência dos eventos hidrológicos. Em contraste, a parte noroeste da RPA 3, que abriga o maior fragmento de vegetação da cidade, demonstrou menor suscetibilidade aos eventos.

As mudanças no uso e ocupação do solo, como a construção de edificações, pavimentação e a retirada da cobertura vegetal, reduzem a capacidade de infiltração da água no solo. Como consequência, parte da água que anteriormente seria absorvida pela vegetação passa a escoar superficialmente, aumentando o risco de ocorrência de alagamentos e inundações (Costa; Costa; Poletto, 2012; Salgueiro *et al.*, 2024).

Com o auxílio do geoprocessamento, foi identificado, em quilômetros quadrados e em termos percentuais, os valores das áreas da Cidade do Recife de acordo com os níveis de suscetibilidade a alagamentos e inundações, conforme apresentado na Tabela 2. Foi mapeado aproximadamente 215 km² do território do Recife, dos quais 14% correspondem ao nível médio de suscetibilidade.

Tabela 2 – Participação percentual dos níveis de suscetibilidade a alagamentos e inundações na Cidade do Recife

Nível de suscetibilidade	Área (km²)	Percentual ocupado (%)
Muito Baixo	37,602	17,47
Baixo	36,204	16,82
Médio	30,557	14,20
Alto	64,483	29,97
Muito Alto	46,337	21,53
Total mapeado	215,184	100

Fonte: Autora (2025)

A análise também revelou que 51% da área mapeada apresenta níveis alto e muito alto de suscetibilidade. Essas regiões são caracterizadas pela densa urbanização, proximidade a corpos hídricos, como os rios e canais que cruzam o território, baixa altitude e relevo predominantemente plano, o que é justificado por Recife estar localizada em uma região costeira. A combinação desses parâmetros, associados à frequência e à intensidade das chuvas, contribui para o aumento das áreas suscetíveis a alagamentos e a inundação.

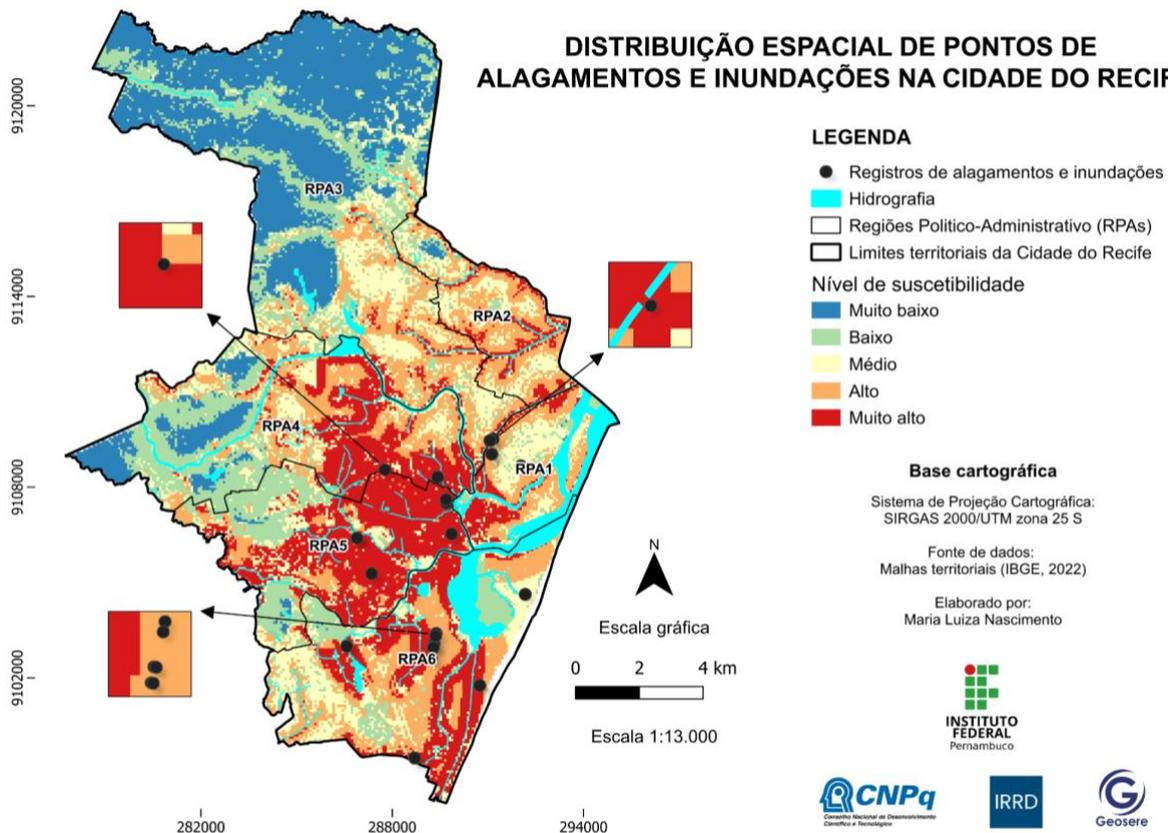
Em contrapartida, o noroeste da cidade concentrou os níveis de suscetibilidade baixo e muito baixo, correspondendo a 34% do território. Essa região se sobressai pela maior altitude e relevo elevado, onde observa-se também menor densidade urbana. Ademais, é uma área de extensa formação vegetacional, contrastando com a porção sudeste do Recife.

A participação percentual dos níveis de suscetibilidade possibilitou a avaliação detalhada da vulnerabilidade do território do Recife. A aplicação do modelo identificou as áreas mais expostas a alagamentos e inundações, assim como as zonas menos afetadas. Dessa forma, os resultados podem fornecer apoio técnico para a gestão

urbana, ao indicar quais regiões devem ser priorizadas nas medidas de mitigação e adaptação.

A validação do modelo realizou-se a partir de uma análise espacial comparativa, baseada na sobreposição dos pontos de ocorrência registrados com o mapeamento das áreas suscetíveis (Mapa 3), com o objetivo de verificar a confiabilidade dos resultados obtidos pela análise multicritério e pela álgebra de mapas. Cada registro foi analisado quanto à correspondência com as informações apresentadas no modelo.

Mapa 3 – Distribuição de pontos de alagamentos e inundações na Cidade do Recife



Fonte: Autora (2025)

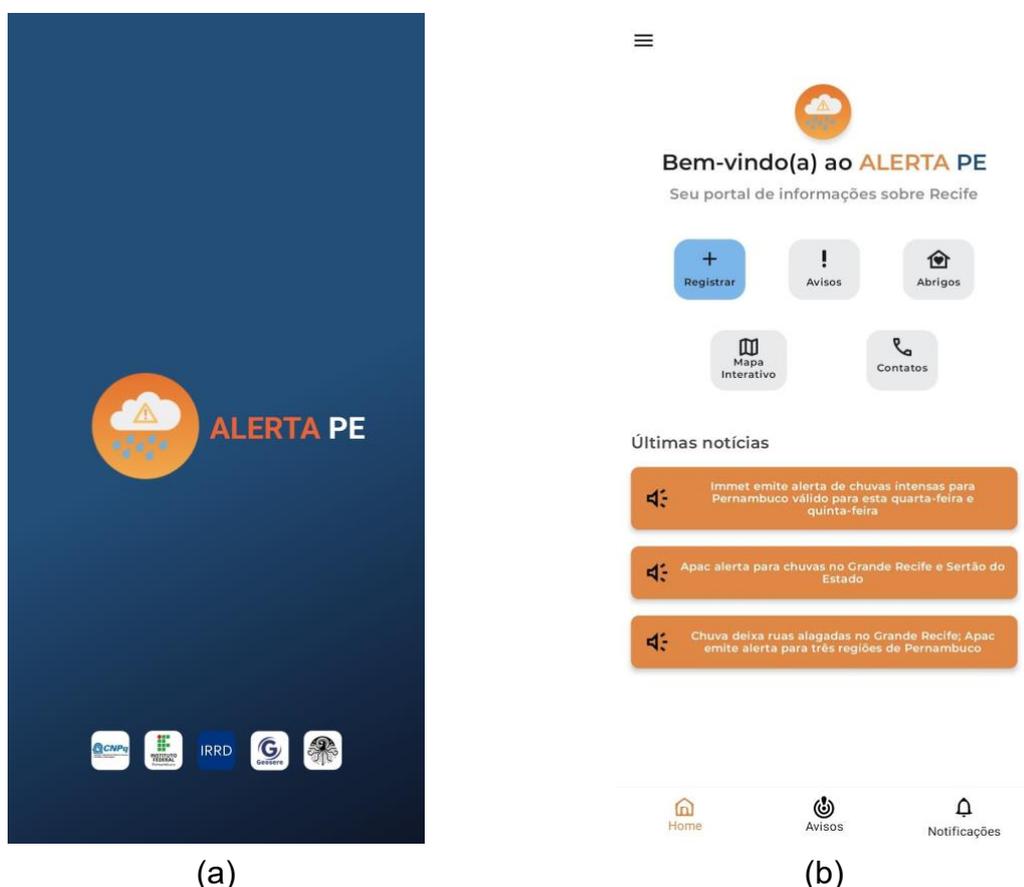
A sobreposição de dados revelou que os pontos de alagamentos e inundações se concentram nas regiões classificadas como de alta e muito alta suscetibilidade. Além disso, o Mapa 3 destaca três áreas do mapeamento: as avenidas Engenheiro Abdias de Carvalho, Governador Agamenon Magalhães e Marechal Mascarenhas de Moraes. Nessas localidades foi possível confirmar a precisão do modelo na delimitação das zonas de risco. Essas correspondências reforçam a confiabilidade da modelagem espacial na identificação de áreas vulneráveis, evidenciando seu potencial como um instrumento de apoio ao planejamento urbano e a gestão de riscos hidrológicos.

Com base na validação do modelo, foi projetado um aplicativo móvel com o objetivo de divulgar os resultados obtidos. A versão demonstrativa do AlertaPE (Figura 4a) integra o mapeamento de suscetibilidade a alagamentos e inundações na Cidade

do Recife para que o usuário consulte os níveis de risco associados à sua localidade, e assim, facilitar o acesso à informação.

O menu inicial do aplicativo, apresentado na Figura 4b, foi desenvolvido com foco na usabilidade, de forma intuitiva e acessível. Desse modo, o usuário pode navegar rapidamente entre as funcionalidades de avisos, a localização de abrigos emergenciais, contatos úteis para emergências, o mapa interativo com o modelo de suscetibilidade, e a função Registrar, que possibilita ao usuário o compartilhamento de ocorrência de eventos extremos, contribuindo para a atualização contínua da base de dados do *SIGExtrem*. Além disso, o aplicativo oferece as últimas notícias relacionadas a desastres naturais em Pernambuco, mantendo o usuário informado em tempo real.

Figura 4 – Versão demonstrativa da tela de carregamento (a) e tela inicial (b) do aplicativo AlertaPE



Fonte: Autora (2025)

A tela de avisos (Figura 5a) apresenta os níveis que serão emitidos pelo sistema de alerta em caso de ocorrência de eventos extremos. Cada nível é representado por uma cor distinta, facilitando na identificação visual e a rápida compreensão da gravidade da situação. Os avisos incluem descrições breves com recomendações de segurança, visando informar ao usuário sobre os riscos potenciais e as medidas preventivas, buscando uma resposta eficaz diante dos impactos dos eventos.

A partir do levantamento das informações sobre os abrigos emergenciais em Pernambuco, foi possível organizar uma lista e geoespacializar os dados para exibição no aplicativo AlertaPE. Ao acessar a função de abrigos emergenciais (Figura 5b), o usuário visualiza no mapa a localização dos abrigos disponíveis na Região Metropolitana de Recife (RMR), acompanhada de uma recomendação orientando a busca por locais seguros em caso de risco e o contato com a Defesa Civil.

Figura 5 – Versão demonstrativa da tela de avisos (a) e tela dos abrigos emergenciais (b) do aplicativo AlertaPE



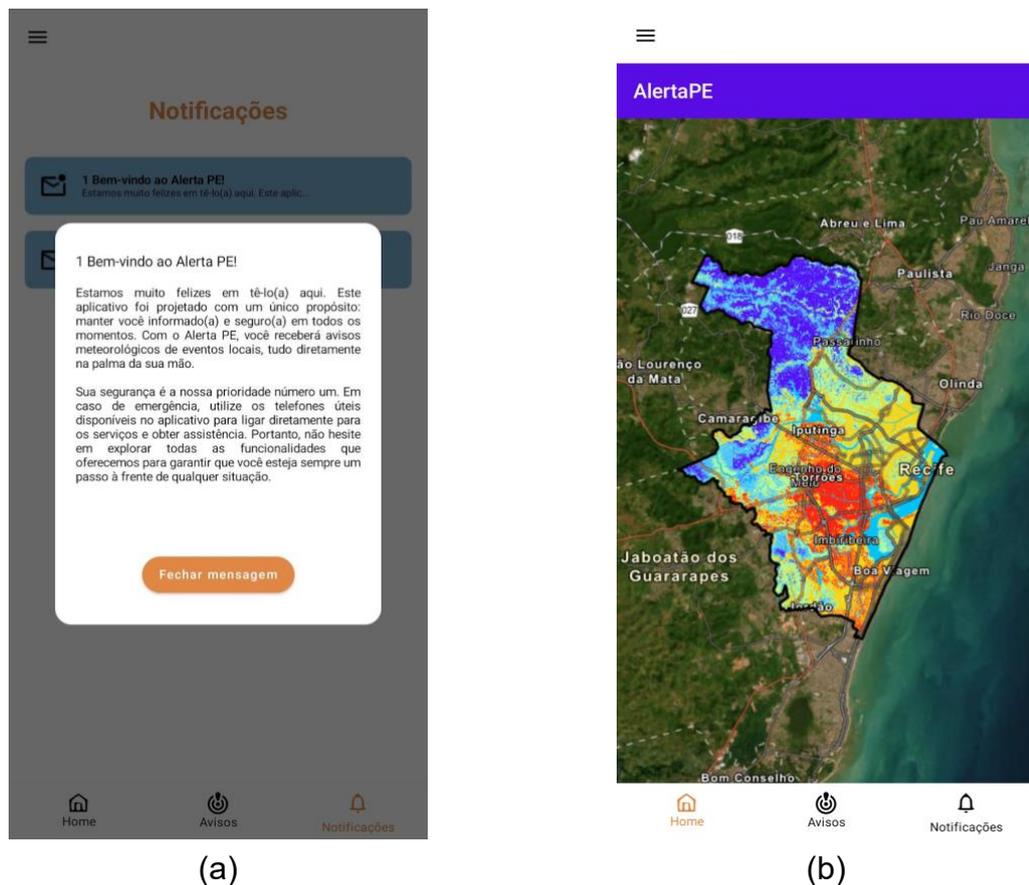
Fonte: Autora (2025)

A tela de Notificações, demonstrada na Figura 6a, exibe as mensagens recebidas pelo usuário após a instalação do aplicativo AlertaPE. Essas notificações abrangem alertas relacionados aos níveis de avisos e atualizações relevantes sobre os eventos extremos em Pernambuco. Enquanto a tela do mapa interativo (Figura 6b), exibe a visualização detalhada das áreas suscetíveis à ocorrência de alagamentos e inundações na Cidade do Recife, possibilitando que o usuário consulte se a sua localidade está inserida em alguma das faixas de suscetibilidade, que varia, de muito baixa a muito alta.

O aplicativo também dispõe de uma seção de contatos úteis, reunindo informações como os números do Corpo de Bombeiros e da Defesa Civil de

Pernambuco e de cada município, facilitando o acesso a serviços essenciais durante situações de emergência. Dessa forma, a ferramenta amplia o acesso à informação e fortalece as ações de prevenção e respostas a eventos extremos.

Figura 6 – Versão demonstrativa da tela de notificações (a) e tela do modelo (b) do Aplicativo AlertaPE



Fonte: Autora (2025)

Sendo assim, é essencial a criação de medidas para informar e orientar a população em situações de emergência (Luz; Figueira, 2018). Além disso, o desenvolvimento de um aplicativo móvel tem se mostrado uma tecnologia eficaz na implementação de sistemas de alerta voltados à redução dos riscos de eventos extremos (Ali; Jacksi, 2021).

Nesse contexto, a integração entre a modelagem e o AlertaPE representou um sistema de alerta visual para o apoio à gestão de riscos. A versão demonstrativa possibilitou a validação prática das funcionalidades implementadas e, por se tratar de uma versão inicial, suas ferramentas abrangem apenas a Cidade do Recife. A versão final do aplicativo incluirá a integração de um sistema de alerta em tempo real, a ampliação do escopo para os demais municípios de Pernambuco e o desenvolvimento para o sistema operacional IOS.

A gestão dos riscos hidrológicos requer planejamento territorial, políticas públicas e responsabilidade compartilhada entre governo e sociedade para lidar com problemas geoambientais, como a ocorrência de alagamentos e inundações (Amaral; Ribeiro, 2015). Desse modo, os resultados obtidos neste estudo, fundamentais na identificação das áreas mais suscetíveis, podem ser utilizados como instrumentos estratégicos para o planejamento da gestão territorial, auxiliando gestores públicos na adoção de medidas preventivas e na redução de impactos em áreas prioritárias, a fim de evitar danos humanos e ambientais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo mapear as áreas suscetíveis a alagamentos e a inundações na Cidade do Recife, integrando o modelo gerado a um aplicativo de alerta móvel. Para isso, utilizou-se uma abordagem baseada na combinação entre o método de Análise Hierárquica de Processos e um Sistema de Informação Geográfica, o *SIGExtrem*, considerando os seguintes parâmetros: precipitação média diária, uso e ocupação do solo, densidade urbana, proximidade a corpos hídricos, declividade, hipsometria e pedologia.

O AlertaPE foi desenvolvido com o propósito de oferecer uma solução prática e acessível para a visualização do modelo de suscetibilidade. A versão demonstrativa contém o mapeamento para Recife e funcionalidades voltadas a situações de emergência. Com a integração a um sistema de alerta em tempo real, o aplicativo permitirá o envio de notificações a população alertando a população, facilitando a resposta e a prevenção a iminência de eventos extremos.

Os resultados da modelagem indicaram que cerca de 111 km² do território da Cidade do Recife, correspondente a 50% da área mapeada, apresentam níveis alto e muito alto de suscetibilidade. Essas regiões concentram parâmetros que favorecem a ocorrência a alagamentos e inundações, destacando-se a densa urbanização, proximidade a rios e canais, relevo pouco inclinado, baixa altitude e solo com limitada capacidade de absorção. Os níveis de suscetibilidade muito baixo, baixo e médio, correspondem, respectivamente, a 17,47%, 16,82% e 14,20% da região mapeada, localizando-se, em sua maioria, em áreas com cobertura vegetal.

A aplicação do método AHP, em conjunto com os dados do *SIGExtrem*, demonstrou ser uma abordagem prática e eficiente, especialmente em virtude da utilização de dados previamente tratados, o que aumentou a confiabilidade do modelo. A utilização da matriz de decisão aliada a escala de julgamento, permitiu uma nova perspectiva na hierarquização dos parâmetros que influenciam a ocorrência de alagamentos e inundações, principalmente em contextos densamente urbanizados, como o Recife.

Dessa forma, o AHP se consolida como uma metodologia de ampla aplicabilidade, desde que os resultados obtidos apresentem consistência validada. Nesse sentido, a construção de uma modelagem espacial multicritério configura-se como uma abordagem eficaz para integrar variáveis ambientais e antrópicas por meio de técnicas de geoprocessamento, proporcionando uma representação da suscetibilidade a eventos hidrológicos.

A análise comparativa entre a modelagem e os registros de ocorrência de alagamentos e inundações comprovou a acurácia do modelo. No entanto, para obter

resultados ainda mais precisos, recomenda-se para estudos futuros a inclusão de parâmetros como a drenagem urbana e o nível da tábua de maré, relevante para estudos de suscetibilidade à inundação em regiões costeiras.

Por fim, o modelo e o AlertaPE demonstraram ser instrumentos valiosos para identifica o de áreas suscetíveis   ocorrência de alagamentos e inunda es. A integra o dessas tecnologias pode promover maior segurança e bem-estar da popula o durante eventos de precipita o intensa, ao fornecer informa es sobre os níveis de risco e orientar quanto às medidas de segurança, além de auxiliar na tomada de decisões voltadas   redu o dos impactos de eventos extremos.

REFERÊNCIAS

ALI, H. J. H.; JACKSI, K. An automated early alert system for natural disaster risk reduction: A review. **Qalaai Zanist Journal**, v. 6, n. 1, p. 933–946, mar. 2021. Disponível em: <https://journal.lfu.edu.krd/ojs/index.php/qzj/article/view/604>. Acesso em: 19 nov. 2024.

AMARAL, R.; GUTJAHR, M. R.; **Desastres naturais**. São Paulo: IG/SMA, 2015. 3 ed. Disponível em: <https://educacao.cemaden.gov.br/midioteca/desastres-naturais/>. Acesso em: 12 maio 2025.

AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inunda es e enchentes. *In*: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.). **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2015. cap. 3, p. 39 – 52. Disponível em: <https://educacao.cemaden.gov.br/midioteca/desastres-naturais-conhecer-para-prevenir-2/>. Acesso em: 19 nov. 2024.

ANJOS, L. S. dos; ANJOS, R. S. dos; LUNA, V. F.; WANDERLEY, L. S. de A.; NÓBREGA, R. S. Resgate histórico dos eventos extremos de precipita o e seus impactos no município do Recife-PE. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 34, n. 20, p. 335–359, 2024. DOI: 10.55761/abclima.v34i20.16937. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/16937>. Acesso em: 16 nov. 2024.

ANTUNES, A. F. B. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto em Ambiente de Geoprocessamento**. Apostila. UFPR, 2000. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~felipe/apostilasr.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2024.

APAC – Agência Pernambucana de águas e Clima. **Climatologia: Precipita o média por município**. Recife: APAC, s. d. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/193-climatologia/521-climatologia-por-municipio>. Acesso em: 11 nov. 2024.

APAC – Agência Pernambucana de águas e Clima. Gerência de Meteorologia e Mudanças Climáticas. **Atlas climatológico do Estado de Pernambuco: normais climatológicas 1991-2020**. Recife: APAC, GMMC, 2023. 148 p.

BRASIL. Ministério da Integra o e do Desenvolvimento Regional. Secretaria de Prote o e Defesa Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. **Atlas Digital de Desastres no Brasil**.

Brasília: MIDR, 2023. Disponível em:
<https://atlasdigital.mdr.gov.br/paginas/index.xhtml>. Acesso: 3 dez. 2024.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. **Anuário brasileiro de desastres naturais: 2011**. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Brasília: CENAD, 2012. 80p. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/Anuario-de-Desastres-Naturais-2011.pdf>. Acesso: 3 dez. 2024.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Portaria conjunta nº 148, de 18 de dezembro de 2013. Estabelece o Protocolo de Ação Integrada para os casos de Inundação Gradual. **Diário Oficial [da União]**: seção 1, Brasília, DF, suplemento n. 249, 24 dez. 2013. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=24/12/2013&jornal=1&pagina=58&totalArquivos=168>. Acesso: 3 dez. 2024.

CÂMARA, G.; BARBOSA, C.; CORDEIRO, J. P.; LOPES, E.; FREITAS, U. M. de; LUCENA, I. Álgebra de mapas. *In*: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **INTRODUÇÃO À CIÊNCIA DA GEOINFORMAÇÃO**. São José dos Campos: INPE, 2001. cap. 8, p. 210 – 239. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 14 maio 2025.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. INTRODUÇÃO. *In*: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **INTRODUÇÃO À CIÊNCIA DA GEOINFORMAÇÃO**. São José dos Campos: INPE, 2001. cap. 1, p. 1 – 5. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2024.

CAMPIOLI, P. F.; VIEIRA, C. V. Avaliação do Risco a Inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte, Joinville/SC (Flood Risk Assessment in the Cubatão do Norte River Basin, Joinville/Santa Catarina – Brazil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 124–138, 2019. DOI: 10.26848/rbgf.v12.1.p124-138. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/238091>. Acesso em: 8 nov. 2024.

CAPRARIO, J.; RECH, A. S.; MIRANDA, N. M. G.; FINOTTI, A. R. ANÁLISE DOS FATORES QUE INFLUENCIAM A OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES URBANAS. *In*: **XXII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**. Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=3137>. Acesso em: 9 nov. 2024

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Educação em clima de riscos de desastres**. 2. ed. São José dos Campos, SP: Cemaden, 2023. 96 p. Disponível em: https://educacao.cemaden.gov.br/wp-content/uploads/2022/10/livro-cemaden_web-versao-digital.pdf. Acesso em: 9 dez. 2024.

CEPED – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012**. 2. ed. Florianópolis: CEPED UFSC, volume Pernambuco, 130p. 2013.

CHUVA provoca transtornos no Grande Recife. **Jornal do Commercio**. Recife, 30 de maio de 2015. Disponível em:

<https://jc.uol.com.br/canal/cidades/geral/noticia/2015/05/30/chuva-provoca-transtornos-no-grande-recife-183623.php>. Acesso em: 26 nov. 2024

CONFIRA pontos de alagamento no Recife e na RMR nesta segunda. **CBN RECIFE**. Recife, 06 de fevereiro de 2023. Disponível em:

<https://www.cbnrecife.com/artigo/confira-pontos-de-alagamento-no-recife-e-na-rmr-nesta-segunda>. Acesso em: de nov. 2024.

CORRÊA, A. C. de B. CONTRIBUIÇÃO À ANÁLISE DO RECIFE COMO UM GEOSSISTEMA URBANO. **Revista de Geografia**, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 86–102, 2009. Disponível em:

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/revistageografia/article/view/228672>. Acesso em: 15 maio 2025.

COSTA, J. da; COSTA, A.; POLETO, C. TELHADO VERDE: REDUÇÃO E RETARDO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL. **Revista de Estudos Ambientais**, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 49–55, 2012. DOI: 10.7867/1983-1501.2012v14n2p49-55.

Disponível em: <https://ojsrevista.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/2927>. Acesso em: 15 maio. 2025.

CURY, M. D.; LADWIG, N. I.; MENEGASSO, J. D.; SUTIL, T.; CONTO, D. de. MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO COMO INFORMAÇÃO PARA O PLANEJAMENTO E A GESTÃO TERRITORIAL EM BACIA

HIDROGRÁFICA. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 22, n. 83, p. 160–175, 2021. DOI: 10.14393/RCG228356231. Disponível em:

<https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/56231>. Acesso em: 12 maio. 2025.

FALCÃO, E. C. **ANÁLISE DE RISCOS À DEGRADAÇÃO AMBIENTAL UTILIZANDO AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO ESPACIAL, NO MUNICÍPIO DE BOA VISTA-PB**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de

Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. 2013. Disponível em:

<http://dSPACE.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/28007/1/ERMANO%20CAVALCANTE%20FALC%C3%A3O%20-%20TESE%20PPGEA%20CTR%202013.pdf>.

Acesso em: 13 nov. 2024

FARANDA, D.; MESSORI, G.; CAMARGO, S. J.; VARGAS-HEINZ, LUIZA; COPPOLA, E. **May 2024 South Brazil floods locally exacerbated by both human-driven climate change and natural variability**. *ClimaMeter*, Institut Pierre Simon Laplace, CNRS. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14163506>. Disponível em:

<https://www.climameter.org/20240502-south-brazil-floods>. Acesso em: 12 maio 2025.

FARIAS, A.; MENDONÇA, F. Riscos socioambientais de inundação urbana sob a perspectiva do Sistema Ambiental Urbano. **Sociedade & Natureza**, [S. l.], v. 34, n. 1, 2022. DOI: 10.14393/SN-v34-2022-63717. Disponível em:

<https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/63717>. Acesso em: 11 de maio 2025.

FERNANDES, N. S. **Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação em Santa Maria, RS**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas. 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/9458>. Acesso em: 9 abr. 2025

FERREIRA, P. S.; SILVA, C. A. da. O método AHP e a Álgebra de Mapas para determinar a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Brilhante (Mato Grosso do Sul / Brasil), proposições para a gestão do território, **Confins**, n. 46, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.30897>. Disponível em: <http://journals.openedition.org/confins/30897>. Acesso em: 12 maio. 2025.

FIELD, C. B. *et al.* **Alterações climáticas 2014: impactos, adaptação e vulnerabilidade**: contribuição do grupo de trabalho II para o quinto relatório de avaliação do painel intergovernamental sobre alterações climáticas. Lisboa: IPMA, 2014. Disponível em: <https://bibliotecasemiaridos.ufv.br/jspui/handle/123456789/335>. Acesso em: 15 nov. 2024.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FRANÇA, R. S. de; GIRÃO, O.; MIRANDA, M. R. B.; RAFAEL, L. M. IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS INUNDÁVEIS NO MUNICÍPIO DE JABOATÃO DOS GUARARAPES – REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE/PE. **OKARA: Geografia em debate**, v. 10, n.1, p.3-12, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/okara/article/view/27487>. Acesso em: 10 maio 2025

FREIMAN, F. P.; CARVALHO, C. de O. Modelagem espacial de áreas suscetíveis a inundações baseada em um modelo multicritério híbrido e Sistema de Informação Geográfica: um estudo de caso aplicado a bacia do Rio Bengalas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 13, n. 3, p. 1145–1161, 2020. DOI: 10.26848/rbgf.v13.3.p1145-1161. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/243203>. Acesso em: 9 abr. 2025

FRENCH, K.; LI, X. **Modelagem cartográfica baseada em características**. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 24, n. 1, p. 141–164. DOI: <https://doi.org/10.1080/13658810802492462>. Acesso em: 13 maio 2025.

GOERL, R.F.; KOBAYAMA, M. Considerações sobre as Inundações no Brasil. In: **XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**. João Pessoa, 2005. Disponível em: https://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2005_inundacoes.pdf. Acesso em: 13 maio 2025.

GOMES, R. M. **ANÁLISE DAS OCORRÊNCIAS DE EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS E AÇÕES DE ADAPTAÇÃO NOS MUNICÍPIOS DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE – PERNAMBUCO**. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de

Pernambuco, Coordenação de Pós-Graduação. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifpe.edu.br/xmlui/handle/123456789/742>. Acesso em: 13 maio. 2025

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**: Recife. Área territorial brasileira 2023. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama>. Acesso em: 11 dez. 2024

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**: Recife. Áreas Urbanizadas do Brasil 2019. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama>. Acesso em: 11 dez. 2024

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**: Recife. Censo 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama>. Acesso em: 11 dez. 2024

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Introdução ao Geoprocessamento**. São José dos Campos: INPE, s. d. Disponível em: https://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html. Acesso em: 16 nov. 2024.

IPCC. Sections. *In: Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, 2023. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Longer_Report_2023_Portugues.pdf. Acesso em: 11 maio 2025.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; OLIVEIRA MARCELINO, I. P. V. de; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. de M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Florianópolis: Ed. Organic Trading, 2006. 109 p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/prevencaodedesastresnaturaisconceitosbasicos.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2024.

KÖENE, R. A relação entre as inundações e as características geomorfológicas da cidade de Rio Negro/PR. **Geografia Ensino & Pesquisa**, [S. l.], v. 17, n. 3, p. 175–190, 2014. DOI: 10.5902/223649948210. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/8210>. Acesso em: 15 maio. 2025.

LUZ, M. B. da; FILGUEIRA, H. J. A. SISTEMAS DE ALERTA A DESASTRES RELACIONADOS COM FENÔMENOS NATURAIS: ALGUMAS ALTERNATIVAS NO BRASIL E NO MUNDO. *In: I Encontro Nacional de Desastres*. Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=3744>. Acesso em: 5 jan. 2025.

MAGALHÃES, I. A. L.; AGRIZZI, D. V.; THIAGO, C. R. L.; SANTOS, A. R. **Metodologias Distintas para Mapeamento das Áreas de Risco de Inundação em**

Guaçuí, ES, Utilizando Sistemas de Informações Geográficas. In: Alexandre Rosa dos Santos; João Batista Esteves Peluzio; Telma Machado de Oliveira Peluzio; Gleissy Mary Amaral Dino Alves dos Santos. (Org.). Geotecnologias Aplicadas aos Recursos Florestais. 1 ed. Alegre, ES: CAUFES, 2012, v. 1, p. 114-125. Disponível em: <https://www.mundogeomatica.com/Publicacoes/Capitulo13.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2025

MARCELINO, E. V. **Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamento no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto e SIG.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2003.

MARENGO, J. A.; ALCANTARA, E.; CUNHA, A. P.; SELUCHI, M.; NOBRE, C. A.; DOLIF, G.; GONÇALVES, D.; DIAS, M. A.; CUARTAS, L. A.; BENDER, F.; RAMOS, A. M.; MANTOVANI, J. R.; ALVALÁ, R. C.; MORAES, O. L. Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25–28, 2022: Causes, impacts, and disaster preparedness. **Weather and Climate Extremes**, v. 39, p. 100545, 2023. ISSN 2212-0947. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100545>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212094722001244>. Acesso em: 13 jan. 2025.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. In: **MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EVENTOS EXTREMOS NO BRASIL.** [S.l.]: [s.n.], 2009. p. 4-19. Disponível em: https://www.editoraroncarati.com.br/v2/phocadownload/opiniao_seg/05/fbds_lloyds_11-11.pdf. Acesso em: 08 jan. 2025.

MELO, I. S.; CARVALHO, R. M. C. M. O. de; SOBRAL, M. do C. M.; LYRA, M. R. C. C.; SILVA, H. P. da. Adaptação aos impactos das mudanças climáticas na perspectiva do plano diretor da cidade do Recife. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, [S. l.], v. 23, 2022. DOI: 10.22296/2317-1529.rbeur.202140pt. Disponível em: <https://rbeur.anpur.org.br/rbeur/article/view/6768>. Acesso em: 12 maio. 2025.

MEYER, A.; BRESSON, H.; GORODETSKAYA, I. V.; HARRIS, R. M. B.; PERKINS-KIRKPATRICK, S. E. Extreme climate and weather events in a warmer world. In: **Frontiers for Young Minds.** [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <https://kids.frontiersin.org/articles/10.3389/frym.2022.682759>. Acesso em: 09 de mar. 2024. Acesso em: 15 nov. 2024.

NUNES, E. D.; ROSA, L. E. COMPACTAÇÃO E IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO NOS CANAIS FLUVIAIS URBANOS. **Mercator**, Fortaleza, v. 19, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19023>. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/e19023>. Acesso em: 15 maio. 2025.

PBMC. **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas.** [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. Rio de Janeiro, Brasil: PBMC, COPPE – UFRJ, 2016. Disponível em:

https://ppgoceano.paginas.ufsc.br/files/2017/06/Relatorio_DOIS_v1_04.06.17.pdf. Acesso em: 11 jan. 2025.

PESSOA NETO, A. G.; SILVA, S. R. da; BARBOSA, I. M. B. R. Mapeamento das áreas suscetíveis às inundações e aos alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco. **Boletim de Geografia**, v. 40, p. 277-296, e63948, 17 dez. 2022. DOI: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v40.a2022.e63948> Acesso em: 13 nov. 2024.

PREFEITURA DO RECIFE. **Caracterização do território**. Recife, s. d. Disponível em: <https://www2.recife.pe.gov.br/pagina/caracterizacao-do-territorio#:~:text=Limites%3A%20Limita%2Dse%20ao%20norte,acima%20do%20n%C3%ADvel%20do%20mar>. Acesso em: 11 nov. 2024.

RECIFE amanhece sob chuva nesta sexta-feira e CTTU aponta trechos alagados; confira lista. **Diário de Pernambuco**. Recife, 03 de junho de 2022. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2022/06/recife-amanhece-sob-chuva-nesta-sexta-feira-e-cttu-aponta-trechos-alag.html>. Acesso em: 26 nov. 2024

REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V.; OLIVEIRA, L. A. de. CONSTRUÇÃO DE MODELO NO QGIS E UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO - AHP PARA MAPEAMENTO DE RISCOS À INUNDAÇÃO NA ÁREA URBANA DE PARACATU - MG. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 18, n. 61, p. 01–18, 2017. DOI: 10.14393/RCG186101. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/31408>. Acesso em: 10 abr. 2025.

SAATY, T. H. A scaling method from priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5). Disponível em: https://superdecisions.com/sd_resources/Paper_ScalingMethod.pdf. Acesso em: 17 nov. 2024.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process**. New York: Springer, 2012.

SALGUEIRO, C. O. de B.; JUNIOR RODRIGUES, J. C.; MENEZES, R., B. G. G. de; PAIVA, A. L. R. de; OLIVEIRA, L. M. M. de; SANTOS, S. M. dos. Urbanização e Eventos Pluviométricos: Avaliação Do Impacto Na Ocorrência De Desastres Naturais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 17, n. 6, p. 4029–4043, 2024. DOI: 10.26848/rbgf.v17.6.p4029-4043. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/261285>. Acesso em: 15 maio. 2025.

SANTOS, L. D. J. dos; GONÇALVES, R. B.; CABRAL, C. J.; GIRÃO, O. VULNERABILIDADES A EVENTOS PLUVIAIS DE ALTA MAGNITUDE DA CIDADE DO RECIFE – PERNAMBUCO/BRASIL. **Revista de Geografia**, [S. l.], v. 9, n. 2, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34019/2236-837X.2019.v9.18079>. Disponível em: <https://periodicos.ufff.br/index.php/geografia/article/view/18079>. Acesso em: 13 de abr. de 2025

SAUSEN, T. M. Sensoriamento Remoto e suas Aplicações para Recursos Naturais. Apostila. São José dos Campos: INPE, 2010. Disponível em: <http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm#tania>. Acesso em: 16 fev. 2025.

SILVA JUNIOR, M. A. B. da; CABRAL, J. J. da S. P.; FONSECA NETO, G. C. da; SILVA, P. O. da; GUERRA, C. M. F.; SILVA, S. R. da. Desafios para a adaptação da infraestrutura de drenagem urbana em cenário de mudança do clima no Recife-PE. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, [S. l.], v. 5, n. 3, p. 302–318, 2020. DOI: 10.24221/jeap.5.3.2020.3025.302-318. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/3025>. Acesso em: 8 jan. 2025.

SILVA, M. A. B. da; SILVA, S. R. da; CABRAL, J. J. da S. P. Compensatory alternatives for flooding control in urban areas with tidal influence in Recife - PE. **RBRH**, v. 22, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbrh/a/LnxxsrMwWYrM9YPtNnsCCxf/?lang=en#>. Acesso em: 8 jan. 2025.

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V.; ARAÚJO, L. E. de. Classificação da Precipitação Diária e Impactos Decorrentes dos Desastres Associados às Chuvas na Cidade do Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 250–268, 2012. DOI: 10.26848/rbgf.v5i2.232788. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/232788>. Acesso em: 12 fev. 2025.

STANGANINI, F. N.; DE LOLLO, J. A. O crescimento da área urbana da cidade de São Carlos/SP entre os anos de 2010 e 2015: o avanço da degradação ambiental. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [S. l.], v. 10, 2018. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/Urbe/article/view/23812>. Acesso em: 16 nov. 2024.

STOCKER, T. *et al.* **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013. DOI: 10.1017/CBO9781107415324. Acesso em: 09 de nov. 2024.

STRIEDER, A.; PIRES, C.; DAL'FORNO, G.; BRESSANI, L. Desastres naturais e eventos extremos. **Conselho em Revista**, Brasília, v. 6, n. 68, p. 33, 2010. Disponível em: <https://www.crea-rs.org.br/site/arquivo/revistas/ed68.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2025.

WANDERLEY, L. S. de A.; NÓBREGA, R. S.; MOREIRA, A. B.; ANJOS, R. S. dos; ALMEIDA, C. A. P. de. AS CHUVAS NA CIDADE DO RECIFE: UMA CLIMATOLOGIA DE EXTREMOS. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 22, 2018. DOI: 10.5380/abclima.v22i0.56034. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/56034>. Acesso em: 15 maio 2025.