

Rio tejípio: Flood Elevation in Contrast with Residences in High-Risk Areas

Daniel Pereira da Silva Filho¹, João Lucas Marques Presbítero² Joélia Natália Bezerra da Silva³

Graduado em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil, daniel.pereiraf@ufpe.br¹,
graduando em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil, Joao.presbitero@ufpe.br²

Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil,
joelia.silva@ufpe.br³

Received 25; November 2023, accepted 27 November 2023

Abstract

According to the IPCC, global warming exacerbated by anthropogenic activity is one factor contributing to extreme events that are expected to worsen in the coming years. Among the ecosystems most vulnerable to the impacts of climate variations are areas adjacent to watercourses and bodies of water. This fact is particularly concerning as these regions, on a global scale, tend to be densely populated and highly susceptible to meteorological phenomena. Therefore, the present study aimed to conduct flood simulations using the HEC-HMS 5.0.7 (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System) model in the Tejiptio River Basin located in the municipalities of Recife and Jaboatão. The results of the hydrological analysis reveal a scenario of significant importance regarding the floodplain of the Tejiptio River. According to the data, in a 200-year return period, the floodplain covers approximately 912 hectares, affecting approximately 2,600 residences.

Keywords: Simulation, HEC-RAS, Floods, Hydrography

Rio Tejiptio: Cota de Inundação em contraste com as residências em áreas de risco

Resumo

Segundo o IPCC, o aquecimento global agravado pela atividade antrópica é um dos fatores que contribuem para a ocorrência dos eventos extremos que tendem a piorar pelos próximos anos. Entre os ecossistemas mais propensos aos impactos das variações climáticas encontram-se as zonas adjuntas a cursos d'água e corpos hídricos. Tal fato se torna particularmente preocupante, uma vez que essas regiões, em âmbito global, tendem a ser densamente habitadas e excessivamente sensíveis a fenômenos meteorológicos. Desde modo, o presente trabalho buscou fazer simulações de inundação usando o modelo HEC-RAS 5.0.7 (Hydrologic Engineering Center - RiverAnalysis System) na Bacia do Rio Tejiptio situado nos municípios de Recife e Jaboatão. Os resultados da análise hidrológica revelaram um cenário de grande importância em relação à área de inundação do Rio Tejiptio, conforme os dados, em um período de retorno de 200 anos, a área de inundação abrange aproximadamente 912 hectares, afetando cerca de 2.600 residências. Diante do contexto previamente apresentado, emerge claramente a imprescindibilidade de um planejamento urbano estrategicamente orientado para enfrentar os desafios das alterações climáticas.

Palavra-chave: Simulação, HEC-RAS, enchentes, Hidrografia.

1. Introdução

As inundações urbanas são uma ocorrência comum em grandes centros urbanos, e na ausência de ações preventivas, a tendência é que esses eventos se tornem mais frequentes e intensos (Mendes et al., (2022). Pesquisas indicam que cerca de 9,5 milhões de brasileiros residem em áreas de risco sujeitas a deslizamentos de terra, enchentes e outros desastres climáticos, com 75% das famílias nessas regiões vivendo em áreas sujeitas a deslizamentos de terra e 25% em locais propensos a inundações, enxurradas e outros fenômenos. Além disso, 17,8% das pessoas que habitam áreas de risco no Brasil são idosos, crianças e grupos etários mais vulneráveis (Cemadem, 2022).

A preocupação com as mudanças climáticas é uma temática persistente na sociedade contemporânea. Faz-se de suma importância compreender as fragilidades de diversas localidades como um antecedente apropriado para potenciais danos futuros (Ramos, 2016). De acordo com o relatório mais recente divulgando pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas da ONU (IPCC), de 2023, os desastres naturais relacionados ao clima estão afetando especialmente as populações mais vulneráveis e os ecossistemas mais frágeis, ainda segundo o relatório os cenários de aquecimento de 1,5°C, 2°C e 3°C na temperatura média do planeta devem intensificar os extremos climáticos pelas próximas décadas.

Contudo, no que se refere ao desenvolvimento sustentável estabelecido pela Organização das Nações Unidas (ONU) por meio dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), observa-se que Recife ainda se encontra distante de alcançar as metas estabelecidas. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) constituem uma iniciativa global da Organização das Nações Unidas com o propósito de abordar uma variedade de desafios socioambientais até o ano de 2030. Eles englobam metas relacionadas à erradicação da pobreza, igualdade de gênero, saúde, educação, sustentabilidade ambiental e diversos outros aspectos fundamentais do desenvolvimento sustentável. No contexto deste trabalho, destacam-se as metas do ODS 11, que visam tornar as cidades mais inclusivas, seguras, sustentáveis e resilientes a desastres ou eventos incomuns. (NAÇÕES UNIDAS, 2015).

Segundo o relatório do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), as cidades costeiras brasileiras demandam um planejamento estratégico voltado para priorizar investimentos e medidas de adaptação

frente às mudanças climáticas. As inundações são um problema persistente em várias cidades brasileiras, especialmente em áreas densamente povoadas, causando danos consideráveis e, em muitos casos, resultando na perda de vidas humanas (Cabral et al., 2016).

Na Região Metropolitana do Recife (RMR), destaca-se a bacia hidrográfica do Rio Tejipió, que demarca as fronteiras entre os municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes (ANA, 2013). Jaboatão dos Guararapes ocupa a segunda posição em termos de contingente populacional em áreas de risco no estado (188.046 habitantes ou 29% da população total do município) (IBGE, 2018). Historicamente, as inundações são os desastres naturais que mais causaram perdas humanas no Brasil (Kobiyama et al., 2006).

Entre as áreas mais suscetíveis aos impactos das variações climáticas encontram-se as áreas próximas a cursos d'água e corpos hídricos (Silva, 2016). Isso se torna especialmente preocupante, uma vez que essas regiões, em escala global, tendem a ser densamente povoadas e excessivamente sensíveis a fenômenos meteorológicos.

Dada a exposição apresentada, este artigo visa realizar simulações de inundação usando sensoriamento remoto na Bacia do Rio Tejipió, contribuindo para a formulação de um planejamento urbano estrategicamente orientado para enfrentar os desafios das mudanças climáticas.

2. Material e métodos

De acordo com a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) A bacia hidrográfica do Rio Tejipió integra o conjunto conhecido como "Grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos 2 – GL2" ou "Unidade de Planejamento Hídrico 15 – UP15", está situada na região costeira do estado pernambucano, compreendida entre as coordenadas geográficas 08° 02' 4,7652" e 08° 09' 26,5608" de latitude sul e 34° 52' 26,5608" e 35° 02' 47,49" de longitude oeste (Silva et al., 2017, Moura et al., 2022) O Rio Tejipió tem sua nascente no município de São Lourenço da Mata, seguindo uma trajetória de oeste para leste, demarcando as fronteiras entre Jaboatão dos Guararapes e Recife, até desaguar na bacia do Pina, situada no município de Recife. A margem direita do Rio Tejipió é alimentada por afluentes como os Riachos Cova da Onça e Combi, os córregos Central da Mangueira e Mauricéia, além do Rio da Prata. Na margem esquerda, encontram-se os Canais da Estância e do Iraque, bem como o Rio Jiquiá (ANA, 2013).



Figura 1: Localização do Rio Tejupió - Recife/PE

Para conduzir uma investigação hidrológica precisa na região em análise, adotou-se uma abordagem metodológica fundamentada na análise de registros pluviométricos provenientes das normais climatológicas fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no período de 1991 a 2020 (INMET, 2023). Essa escolha metodológica não é arbitrária, mas sim altamente justificada pela extrema importância de compreender o comportamento das chuvas na bacia do rio Tejupió.

A análise das chuvas é um pilar central em qualquer estudo hidrológico abrangente, uma vez que as precipitações pluviométricas são o principal motor dos processos hidrológicos em uma determinada área geográfica. Ao utilizar dados pluviométricos de longo prazo fornecidos pelo INMET, ganhamos uma perspectiva temporal significativa que nos permite não apenas entender os padrões climáticos sazonais, mas também avaliar tendências de longo prazo e anomalias que podem afetar diretamente o comportamento hidrológico da bacia.

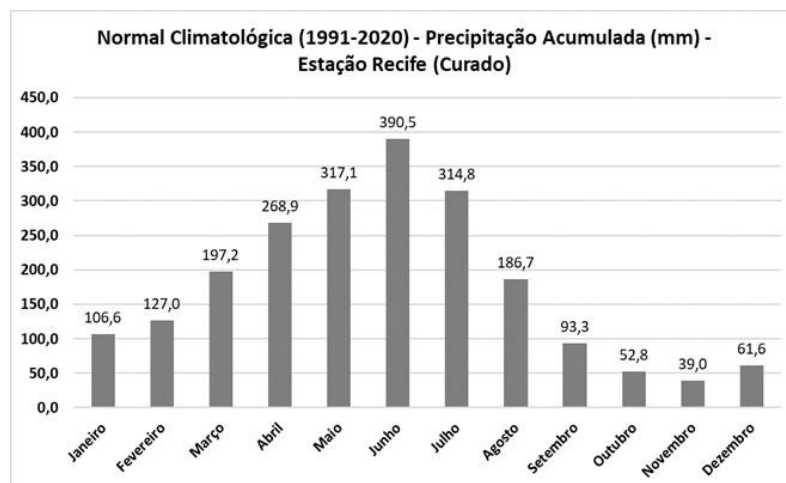


Figura 2: Normal climatológicas e precipitação acumulada estação Recife - Curado
Fonte: Normas climatológicas, INMET 1991 – 2020. Calango Meio ambiente e Tecnologia 2023.

Os principais sistemas formadores de chuva são a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); Frentes Frias; e Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), além da presença de Linhas de Instabilidade (LI) e os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM). Sendo que a ZCIT e as Frentes Frias são os sistemas de maior colaboração para o volume de chuva da Região Metropolitana do Recife (RMR), o que pode ser visto pela presença dos maiores eventos de precipitação

concentrados no compreendido entre os meses de maio a julho onde as frentes frias têm maior expressão, e apresenta uma média de precipitação equivalente à 2.155,5 mm para o período da normal climatológica. (Ribeiro; Aragão; Correia, 2013). Além disso, foram geradas as curvas IDF e para isso foram utilizados os parâmetros indicados no Atlas Pluviométrico do Brasil para o município de Recife.

Tabela1: Intensidade, duração e frequência das chuvas intensas para pluviométrico do aeroporto de Recife –PE

Duração da chuva (minutos)	Tempo de Retorno, Tr (anos)				
	5 Anos (mm)	10 Anos (mm)	50 Anos (mm)	100 Anos (mm)	200 Anos (mm)
5	137,9(mm)	149,1	178,6	193,1	208,8
10	120,4	130,1	155,9	168,6	182,2
15	107,3	116,0	138,9	150,2	162,4
20	97,0	104,9	125,7	135,9	146,9
25	88,8	96,0	115,0	124,3	134,4
30	82,0	88,6	106,2	114,8	124,1
60	57,3	62,0	74,3	80,3	86,8
120	37,4	40,4	48,4	52,3	56,6
240	23,2	25,1	30,1	32,5	35,2
360	17,4	18,8	22,5	24,3	26,3
720	10,4	11,2	13,4	14,5	15,7
1440	6,1	6,6	8,0	8,6	9,3

Este estudo utilizou dados do posto pluviométrico localizado no Aeroporto do Recife, para o período compreendido entre os anos de 1968 a 2007, e foi aplicada a lógica de distribuição de frequência ajustada de Gumbel, a qual deu origem à Tabela 1, que detalha a intensidade da precipitação para os intervalos de 5, 10, 50, 20, 25, 30, 60, 120, 240, 360, 720 e 1440 minutos, para os anos de retorno de 5, 10, 50, 100, e 200 anos, atendendo às diretrizes exigidas pela Caixa Econômica Federal. Os dados indicam que as maiores intensidades são para as precipitações no posto de Recife, atingindo valores próximos à 200mm/hora para as precipitações intensas com duração de 5 minutos e tempo de recorrência de 100 a 200 anos, bem como para precipitações intensas de 10 minutos e tempo de recorrência nestes mesmos tempos de recorrência. Com base nas curvas IDF, que apresentou um valor máximo de precipitação de 208,8 mm de chuva para o tempo de retorno de 200 anos, e considerando características específicas da bacia hidrográfica do rio Tejiptó, deu-se a construção do hidrograma unitário a partir do método SCS (Soil Conservation Service), onde se obteve uma precipitação efetiva (Peft) de 115,26mm e um pico de vazão estimado de 504,96m³/s.

Tais eventos causam transtornos e danos generalizados nas cidades da Região Metropolitana do Recife, devido a magnitude do evento e a complexidade da drenagem urbana da área, influenciada diretamente pelo comportamento das marés, onde durante as marés cheias há uma lentidão forçada no escoamento das águas de chuva. A simulação de enchente para o rio Tejiptó foi desempenhada no modelo HEC-RAS 5.0.7 (*Hydrologic Engineering Center - RiverAnalysis System*), que é um software de domínio público, e foi desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos, que tem como finalidade realizar cálculos hidráulicos unidimensionais e bidimensionais para rede de rios e canais naturais e artificiais (USACE, 2016).

Para realização da modelagem, foram utilizados dados de altimetria do modelo PE3D, que é um produto de perfilamento a laser na escala 1:1000 do programa, levantado no ano de 2014. Posteriormente, foram vetorizadas as geometrias referentes ao rio Tejiptó, assim como suas margens, delimitação de área de inundação de interesse, além de perfis transversais que orientam e contribuem com a delimitação da morfologia da calha e fundo do rio.

Para calibração da modelagem, foi utilizado uma extrapolação do nível crítico do rio, essa constante calculada pelo próprio software e o dado de inclinação obtido através da definição da um talvegue na área em estudo e sua variação de cotas de início ao fim, após introdução desses dados foi realizada uma simulação da mancha de inundação na cidade do Recife.

A área de estudo modelada, compreende toda a Microbacia hidrográfica do rio Tejiptó até a sua foz na bacia do Pina, no bairro do Pina em Recife, cobre uma área de 87,09 km². O coeficiente de Manning utilizado para esse estudo foi de 0,07, o próprio software fornece uma tabela para escolha/definição dessa constante, para o Rio Tejiptó, foi escolhido esse valor por considerar que por grande parte de sua extensão, o mesmo apresenta, ainda, características naturais de um rio. A vazão considerada na simulação foi a obtida através do método SCS considerando um evento máximo de precipitação num período de retorno de 200 anos para o município de Recife, considerando que estas chuvas são representativas também para os municípios vizinhos à capital Pernambucana.

Ao se considerar toda a bacia Microbacia hidrográfica do rio Tejiptó foi possível determinar todas as possíveis áreas com alagamento, desde o ponto onde se encontra a sua nascente até a foz do rio como pode ser observado.

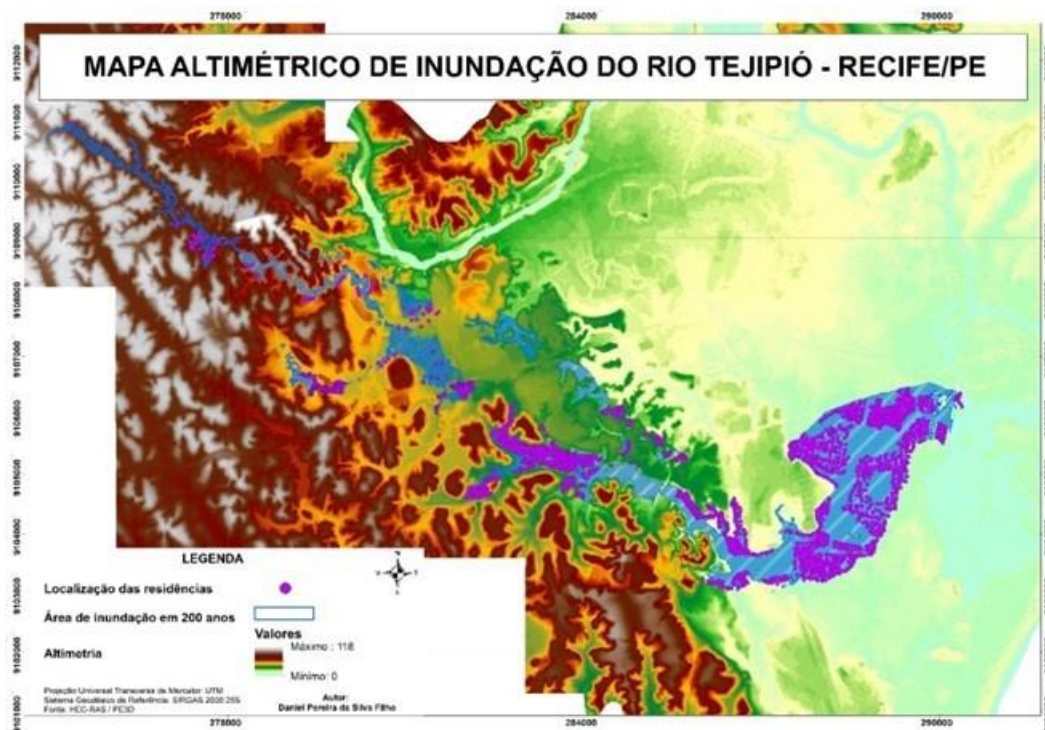


Figura 3: Mapa Altimétrico de inundações do Rio Tejiptó – Recife/PE Fonte: os autores, 2023.

3. Resultados e discussão

Os resultados da modelagem topográfica a partir de dados altimétricos do Rio Tejiptó, em Recife, são apresentados na figura 2. De acordo com mapa altimétrico de inundação, a maior parte das residências na área da bacia está localizada em terrenos com uma inclinação suave, o que as torna mais propensas a inundações. No que diz respeito à descrição do relevo da bacia do rio Tejiptó, as elevações máxima e mínima encontradas foram de 118 metros e 0,00 metros, respectivamente, resultando em uma variação altimétrica de 118 metros. Esse valor, quando relacionado com o comprimento do canal principal, desempenha um papel importante na determinação da declividade desse canal, influenciando fatores como a velocidade do escoamento.

Com base nessa informação, foram conduzidas uma análise temporal e uma simulação hidráulica no software HEC-RAS. Essa abordagem permitiram a avaliação do comportamento das inundações ao longo do tempo e contribui para o planejamento de medidas preventivas e mitigatórias. Os dados confirmam que a topografia da região é caracterizada por altitudes relativamente baixas, com a presença de planícies e colina. Segundo Neto et al., (2022) as medições de declividade do rio principal mostraram valores de 3,68 m/km (S1) e 2,55 m/km (S10-85), que podem ser considerados baixos, o que contribui para a proteção da rede de drenagem. A diferença nos valores de declividade pode ser explicada pela elevação da nascente do rio Tejiptó, que está em 93,41 metros, em contraste com os

49,00 metros, representando 85,00% do comprimento total desse curso.

Após uma análise dos dados de precipitação (Figura 2), elevação topográfica (Figura 3) e períodos de tempo de retorno (Tabela 1), e utilizando o software de modelagem HEC-RAS, foram gerados cinco mapas representativos para diferentes anos. Esses mapas desempenham um papel fundamental na compreensão e na visualização das dinâmicas hidrológicas na bacia do rio Tejiptó ao longo do tempo. Eles fornecem informações valiosas para o estudo e a gestão das condições hidrológicas na região.

A observação das inundações na bacia do Rio Tejiptó revela uma situação preocupante. Inicialmente, a área afetada pelas inundações, identificada como a mancha em azul, abrangia cerca de 727 hectares ao longo de um período de 5 anos (Figura 4).

No entanto, essa situação evoluiu notavelmente, com uma expansão da área inundada, representada pela mancha em vermelho, que agora engloba aproximadamente 912 hectares (Figura 9). As inundações tornaram-se um problema recorrente em Recife, onde as variações climáticas exercem uma influência direta.

A cidade já combina diversos fatores desafiadores, como baixa topografia, intensa urbanização, alta densidade demográfica e histórico de ocupação desordenada. Além disso, a problemática é agravada por questões como o lançamento de esgotos e o descarte irregular de lixo, que frequentemente acabam nos rios e córregos. No estudo realizado por Cabral et al. (2016), ressalta-se que o aumento

da impermeabilização nas áreas entre os rios, causado pelo crescimento urbano, resulta na diminuição da capacidade de infiltração do solo e no aumento do escoamento superficial. Isso, por sua vez, contribui para a intensificação das inundações na região. A pesquisa efetuada, abrangendo a contagem das habitações situadas num raio de até 50 metros de áreas propensas a inundações (Figura 6), trouxe à luz

uma situação alarmante. Cerca de 2.600 residências estão localizadas nesses locais vulneráveis a cheias (Figura 10). Este dado é de extrema importância e sublinha a seriedade do desafio que enfrentamos no que toca à segurança das habitações nestas regiões, tal como salientado no estudo conduzido por Moura et al. (2022).



Figura 4: Mapa da mancha de inundação em 5 anos



Figura 5: Mapa da mancha de inundação em 10 anos



Figura 6: Mapa da mancha de inundação em 50 anos



Figura 7: Mapa da mancha de inundação em 100 anos



Figura 8: Mapa da mancha de inundação em 200 anos



Figura 9: Mapa da mancha de inundação comparativo de 5 a 200 anos

A existência de um elevado contingente de residências suscetíveis a inundações implica em um risco considerável para a segurança e o bem-estar das comunidades afetadas. Torna-se imprescindível a adoção de medidas de adaptação e mitigação para resguardar essas populações e minimizar os efeitos adversos de futuras inundações.

É crucial ressaltar que as áreas mais impactadas por tais eventos climáticos, frequentemente, coincidem com localidades habitadas por pessoas de baixa renda, as quais muitas vezes residem em regiões de risco. Essa parcela da população representa 188.046 habitantes, equivalente a 29% da população total do município (IBGE, 2018).

Esta tendência alarmante realça a urgente necessidade de implementar ações e estratégias visando a atenuação dos impactos das inundações, bem como o desenvolvimento de medidas que protejam e apoiem as comunidades mais vulneráveis de Recife diante dos desafios climáticos. Em 2022, aproximadamente 109 pessoas perderam a vida devido a chuvas intensas causadas por um Distúrbio Ondulatório do Leste (DOL) no Grande Recife, superando o número de vítimas na enchente de 1975, que registrou 107 óbitos (G1, 2022). Esses eventos trágicos servem como lembretes dolorosos da importância contínua da gestão de riscos e da preparação para enfrentar desastres naturais em áreas suscetíveis a inundações.

Pesquisas semelhantes têm sido realizadas em várias partes do mundo. O estudo conduzido por Siddayao et al., (2015) nas Filipinas utilizou com êxito um modelo hidráulico aninhado e um Sistema de Informação Geográfica (SIG) na cidade de Tuguegarao. Os resultados dessa pesquisa destacaram o grande

potencial dessas ferramentas na identificação de áreas suscetíveis a inundações, possibilitando a criação de mapas úteis para órgãos de planejamento e partes interessadas. Essas ferramentas desempenham um papel crucial na redução dos impactos potenciais das inundações e na formulação de planos de uso da terra na região

Pesquisas semelhantes têm sido conduzidas em diversas partes do mundo. Por exemplo, um estudo realizado por Siddayao et al. (2015), nas Filipinas empregou com sucesso um modelo hidráulico aninhado e um Sistema de Informação Geográfica (SIG) na cidade de Tuguegarao. Os resultados desse estudo apontaram para o significativo potencial dessas ferramentas na identificação de áreas suscetíveis a inundações, permitindo a criação de mapas úteis para órgãos de planejamento e partes interessadas. Essas ferramentas desempenham um papel crucial na mitigação dos impactos potenciais das inundações e na elaboração de planos de uso da terra na região.

Em sua revisão literária, Rangel et al. (2021) exploraram a modelagem computacional hidrológica e os conceitos fundamentais relacionados à mitigação de inundações. O estudo destacou a existência de uma lacuna significativa na pesquisa, que é a necessidade de realizar mais estudos nessa área. A maioria dos estudos analisados não resulta na criação de ferramentas computacionais que possam apoiar o processo de tomada de decisão em relação às técnicas a serem empregadas.

Ribeiro e Lima (2011) conduziram um estudo sobre inundações na bacia hidrográfica do córrego Humaitá, onde identificaram as áreas de maior risco utilizando o software HEC-RAS e técnicas de geoprocessamento no sistema de informações geográficas

ArcGIS®. Os resultados revelaram que as áreas mais suscetíveis a inundações eram originalmente pastagens e áreas florestais, no entanto, também foram identificadas zonas de inundação em áreas urbanas densamente povoadas nessa bacia, o que representa um risco para a segurança da população e das infraestruturas urbanas existentes.

4. Conclusões

Diante do contexto previamente apresentado, emerge claramente a imprescindibilidade de um planejamento urbano estrategicamente orientado para enfrentar os desafios das alterações climáticas. Esta necessidade é fundamentada em um sólido conjunto de considerações, que envolvem tanto a vulnerabilidade habitacional quanto a população afetada. É importante considerar dados demográficos detalhados. Supondo uma média conservadora de três habitantes por residência, estamos tratando de cerca de 7.791 indivíduos que vivem sob a ameaça iminente da insegurança habitacional. Esses cidadãos enfrentam não apenas a perda potencial de moradia, mas também a exposição a riscos à saúde, deslocamento forçado e perturbações sociais e econômicas em caso de eventos climáticos extremos. Portanto, ao priorizar um planejamento urbano focado nas alterações climáticas, estamos não apenas protegendo as pessoas e seus lares, mas também construindo comunidades resilientes e sustentáveis que podem prosperar em um mundo em constante transformação. É um desafio complexo, mas é também uma oportunidade para moldar um futuro mais seguro e mais equitativo para todos.

5. Agradecimentos

A Empresa Calango Meio Ambiente E Tecnologia Ltda, a Universidade Federal de Pernambuco – UFPE pela infraestrutura oferecida e ao laboratório de |Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento - SERGEO.

6. Referências

Alves, P. 2022 Mortes por chuvas no Grande Recife chegam a 109 e tragédia ultrapassa total de vítimas da cheia de 1975, g1, 2022. Disponível em <:https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2022/06/01/mortes-por-chuva-no-grande-recife-total-de-vitimas-da-cheia-de-1975.ghtml>. Acesso em: 09 de Setembro de 2023

ANA Agência Nacional de Águas. Sistemas Aquíferos. 2013. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/meta-data.show?id=150&currTab=simple> Acesso em: 25

agosto de 2023.

APAC Agência Pernambucana de Águas e Clima 2022. “Bacias Hidrográficas - GL-2”.Disponível: <http://200.238.107.184/bacias-hidrograficas/40-bacias-hidrograficas/223-gl-2>. Acesso: 10 de Setembro de 2023

Argolo E. D.; Della G., Carlos C. Simulações e Modelagem Hidrológica de Microbacia Urbana para Previsão de Inundações: o caso do rio das antas na cidade de Anápolis-GO. Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science, v. 5, p. 252-270, 2016.

Cabral, et al .2016 Integração do SIG, HEC/HMS e HEC/RAS no mapeamento de área de inundação urbana: aplicação à bacia do rio Granjeiro-CE. *Geosciences= Geociências*, v. 35, p. 90-101.

Carneiro R. L.; Lugon Junior, J.; Rambaldi Telles, W.; Vasconcelos Silva, S.; José DA Silva Neto, A. Levantamento das abordagens de modelagem matemática ou modelagem computacional para o estudo e avaliação de mitigação de inundações em áreas urbanas. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, [S. l.], v. 15, p. 03–18, 2021. DOI: 10.19180/2177-4560.v15n22021p03-18. Disponível em: <https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/boletim/article/view/16316>. Acesso em: 25 set. 2023.

Correia, E. F. G., et al. Modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do rio Bengalas, Nova Friburgo, RJ, utilizando o potencial de geotecnologias na definição de áreas de risco de inundação. 2011.

Da Silva, L. F. et al. Índices de fragilidade ambiental parciais da bacia do rio irazinho. Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade, v. 2, p. 17-32, 2016.

Diário de Pernambuco: Recife/PE – Com prazo até 2030, Recife está longe de cumprir metas de desenvolvimento da ONU. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vida-urbana/2021/06/com-prazo-ate-2030-recife-esta-longo-de-cumprir-metas-de-desenvolvime.html>. Acesso em: 20. set. 2023.

IBGE. Cidades: Recife/PE - Panorama. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama>. Acesso em: [20. set. 2023].

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normais-climatologicas>>. Acesso em: agosto de 2023.

IPCC 2023. Ações urgentes contra mudança climática são necessárias para garantir um futuro habitável, alerta. [S. l.], 20 mar.. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/224004-a%C3%A7%C3%B5es-urgentes-contra>

- mudan%C3%A7a-clim%C3%A1tica-s%C3%A3o-necess%C3%A1rias-para-garantir-um-futuro-habit%C3%A1vel. Acesso em: 1 set. 2023
- Kobiyama, M.; Mendonça, M.; Moreno, D.A.; Marcelino, I.P.V.O.; Marcelino, E.V.; Gonçalves, E.F.; Brazetti, L.L.P.; Goerl, R.F.; Moller, G.S.F.; Rudorff, F, 2006. Prevenção de desastres naturais: Conceitos básicos. Curitiba: Organic Trading, 45p.
- Lira et al. 2010. Estudo de correntes marinhas por meio do lançamento de cartões de deriva no litoral do estado de Pernambuco, Brasil. Labomar, Arquivos de Ciências do Mar. Fortaleza, 43 (1): p. 30-37.
- Moura, Lysanne Souza de, 2022. Modelagem computacional aplicada à revitalização de rios urbanos: estudo de caso em uma sub-bacia hidrográfica do rio Tejipió-Recife/PE. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.
- Nóbrega, Fábio, 2021. Avanço do Mar ameaça o Recife, uma das cidades mais suscetíveis à crise climática no planeta, Folha de Pernambuco. Disponível em:<https://www.folhape.com.br/noticias/avanco-do-mar-ameaca-o-recife-uma-das-cidades-mais-suscetiveis-a/201803/>. Acesso em: 20 de setembro de 2023
- Oliveira, I. G. F, 2022. Proposta de proteção superficial sustentável de encostas e sua aplicação no ensino de Geografia. Trabalho de Conclusão de Curso (Geografia Licenciatura) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 89p.
- Oliveira, L. T. 2003, Aspectos hidrogeológicos da região costeira norte de Pernambuco – Paulista a Goiana. UFPE,. (Dissertação de mestrado).
- PBMC, 2016: 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.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p. ISBN: 978-85-285-0345-6.
- Pessoa Neto, A. G.; Soares, A. E. P.; Silva, S. R.; Montenegro, S. M. G. L. (2021). “Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, em Pernambuco, utilizando Modelos Digitais de Elevação provenientes de sensor LiDAR”. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* (11-4), pp. 242-253.
- Ramos, R. M. M., 2016. Percepção de alunos do Ensino Superior face às Alterações Climáticas. Tese de Doutorado. Instituto Politécnico de Bragança (Portugal).
- Rangel, et al, 2022. Embasamento legal e uso da modelagem computacional para avaliação e mitigação de inundações em áreas urbanas. In: Congresso Fluminense de Pós-Graduação-CONPG.
- Ribeiro, C. B. M. Lima, R. N. S. L., 2011. Simulação de inundações urbanas a partir da integração de técnicas de geoprocessamento à modelagem hidráulica e hidrológica. *Revista de Geografia-PPGEO-UFJF*, v. 1.
- Silva, C. S.; Bispo, C. O.; Santana, G. A. C.; Girão, O. 2017. “Deslizamentos e enchentes na bacia do rio tejipió: percepção e resiliência frente a riscos geomorfológicos”. *Revista OKARA: Geografia em debate* (11-2), pp. 316-337.
- Silva, C. S.; Bispo, C. O.; Silva, S. B.; Girão, O. 2016. “Análise do sistema fluvial frente ao uso e ocupação da terra na bacia do rio Tejipió – Região Metropolitana do Recife”, in *E-book do I Workshop de Geomorfologia e Geoarqueologia do Nordeste*. Org. por Listo, F.L.R.; Mützenber, D.S. e Tavares, B.A.C., ed. GEQUA, Recife – PE, pp. 89 – 100.
- Silva, P. O. 2019. “Modelagem hidrológica do rio Tejipió por ocasião de chuvas intensas levando em conta o efeito de marés”. Tese (Doutorado) - Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Silva, S. R.; Silva Junior, M. A. B.; Oliveira, R. L. M, 2020. Modelagem computacional de reservatório de retenção sob logradouro: uma alternativa para controle de alagamentos em área densamente urbanizada do Recife/PE. *Revista DAE*, v. 68, p.196-212
- Souza, A. I; et al, 2023. Vulnerabilidade Ambiental do Recife. UNICEF. Disponível em: <https://www.unicef.org/brazil/blog/vulnerabilidade-ambiental-do-recife>. Acesso em: 19 de outubro de 2023