

CORRELAÇÃO ENTRE CRESCIMENTO URBANO E ÁREAS SUJEITAS A INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA-PB

Amanda Alves Queiroga

Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, João Pessoa, PB, Brasil
amandaaqueiroga@gmail.com

Hamilcar José Almeida Filgueira

Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, João Pessoa, PB, Brasil
hfilgueira@gmail.com

Camila Cunico

Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Departamento de Geociências, João Pessoa, PB, Brasil
camilacunico@yahoo.com.br

RESUMO

A urbanização e as inundações desempenham um papel cíclico na construção do risco a desastres, por isso o objetivo dessa pesquisa foi identificar as áreas propensas a risco de desastre por inundação e sua inter-relação com o processo de evolução da mancha urbana no município de João Pessoa, Paraíba. A metodologia se dividiu em: classificação das áreas suscetíveis a inundação, utilizando diferentes resoluções e recortes espaciais; e análise da expansão urbana no município entre 1990 e 2018. Os melhores resultados apareceram ao utilizar resolução espacial de 5 m x 5 m e uma abordagem espacial voltada para as bacias hidrográficas. As bacias hidrográficas dos rios Marés-Sanhauá, Jaguaribe e Gramame foram aquelas com maiores porcentagens de áreas com “muito alta” ordem de priorização de ações de redução do risco à inundação. Durante 1990 e 2018, a bacia hidrográfica do rio Cuiá apresentou maior expansão urbana; já em 2018, foram Jaguaribe, Marés-Sanhauá e Cuiá. As bacias hidrográficas Jaguaribe e Marés-Sanhauá são aquelas com maior sobreposição de áreas urbanizadas e áreas com muito alto grau de prioridade de ações de redução do risco à inundação. Diante disso, recomendam-se ações preventivas e adaptativas nas áreas mais prioritárias das bacias de Jaguaribe, Marés-Sanhauá e Cuiá.

Palavras-chave: Vulnerabilidade social. Desenvolvimento sustentável. Desastres. Gestão territorial. Suscetibilidade.

CORRELATION BETWEEN URBAN GROWTH AND FLOOD-PRONE AREAS IN THE MUNICIPALITY OF JOÃO PESSOA-PB

ABSTRACT

Urbanization and flooding play a cyclical role in the construction of disaster risk, so this research aimed to identify the areas prone to flood disaster risk and its interrelation with the process of urban sprawl evolution in the municipality of João Pessoa, Paraíba. The methodology was divided into classifying areas susceptible to flooding, using different spatial resolutions and clippings, and analyzing urban expansion in the municipality between 1990 and 2018. The best results appeared when using 5 m x 5 m spatial resolution and a spatial approach focused on watersheds. The watersheds of the rivers Marés-Sanhauá, Jaguaribe, and Gramame had the highest percentages of areas with "very high" order of prioritization of flood risk reduction actions. During 1990 and 2018, the Cuiá River watershed showed the most urban expansion; in 2018, it was Jaguaribe, Marés-Sanhauá, and Cuiá. The Jaguaribe and Marés-Sanhauá watersheds have the greatest overlap of urbanized areas and areas with a high degree of priority for flood risk reduction actions. Given this, preventive and adaptive actions are recommended in the highest priority areas of the Jaguaribe, Marés-Sanhauá, and Cuiá watersheds.

Keywords: Social vulnerability. Sustainable development. Disasters. Territorial management. Susceptibility.

INTRODUÇÃO

Os desastres relacionados com fenômenos naturais vêm se intensificando em decorrência das mudanças climáticas e causando perdas, sejam elas humanas, econômicas e ambientais. A “AON Benfield”, uma empresa do ramo de atividade de seguros, em seu relatório intitulado *Weather, Climate & Catastrophe Insight: 2023 Annual Report*, identificou que os prejuízos econômicos provenientes de desastres em 2022 foram de aproximadamente 313 bilhões de dólares. No mesmo ano, em relação às mortes, cerca de 31.300 pessoas morreram diante de catástrofes relacionadas com o clima (AON, 2023).

Os impactos transversais causados pelos desastres fizeram o tema ser o foco de conferências que resultaram em documentos vigentes importantes como o “Marco de Sendai para a Redução de Riscos de Desastres 2015-2030” (UNISDR, 2015). A Redução de Risco de Desastres (RRD) também está presente nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), elaborados pela Organização das Nações Unidas (ONU) (UNITED NATIONS, 2019), e em relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, da sigla em inglês), como o “Relatório Aquecimento Global 1,5 °C” (IPCC, 2018).

As cidades desempenham um importante papel na agenda mundial ante às mudanças climáticas e, conseqüentemente, na RRD. As mudanças no uso e cobertura da terra ocasionadas pela urbanização nas cidades, quando ocorrem em dissonância com as regulamentações, não respeitando os limites e diretrizes públicas, acabam provocando um grande impacto no ciclo hidrológico. A urbanização também trouxe consigo o aumento da vulnerabilidade socioeconômica que, associada ao planejamento deficiente e ao descumprimento da legislação ambiental, propiciou a habitação de áreas suscetíveis aos desastres, colocando a população em situação de risco. Essa interação entre inundações e expansão urbana tem sido alvo de diversos estudos com foco nas cidades (NOBRE, 2011; MENEZES FILHO; MUIS et al., 2015; MENGUE et al., 2017).

No estudo *Latin America and the Caribbean: Natural Disasters 2000-2019*, desenvolvido pelo escritório da ONU para os assuntos humanitários (OCHA), o Brasil ficou entre os 15 países no mundo com a maior população exposta a inundações. O documento informa que no período avaliado, o Brasil foi o país da América Latina mais afetado por inundações, sendo contabilizados 70 eventos afetando mais de 70 milhões de pessoas (OCHA, 2020). As inundações, segundo o relatório *Weather Climate Catastrophe Insight – 2023*, ocasionaram perdas econômicas de 1,3 bilhões de dólares para o Brasil (AON, 2023), apontando para a necessidade de pensar estratégias para a redução do risco.

Moura et al. (2016) fizeram um levantamento dos reconhecimentos de Situação de Emergência (SE) e Estado de Calamidade Pública (ECP) na região Nordeste do Brasil e verificaram que foram registrados, no período de 2003 a 2015, 14.817 desastres relacionados com fenômenos naturais. Desses os desastres hidrometeorológicos do tipo inundação brusca ou enxurrada foram os mais frequentes na região.

De acordo com a UFSC (2016), durante o período de 1995 a 2014, com relação à desastres hidrológicos, constatou-se 268 registros e um prejuízo de R\$ 989 milhões causados ao estado da Paraíba. Silva (2014) observou, a partir de uma análise de eventos pluviométricos em João Pessoa/PB, que o número de eventos extremos aumentou conforme o crescimento populacional e expansão urbana na cidade.

Diante disso, medidas estruturais e não-estruturais podem ser aplicadas visando a RRD no que se refere a prevenção e adaptação frente aos desastres. Como exemplos de medidas estruturais tem-se obras de contenção, proteção de superfície, obras de drenagem urbana, entre outros. Como medida não-estrutural, tem-se o mapeamento de áreas suscetíveis à inundação, que se apresenta como uma ação capaz de auxiliar comunidades para o desenvolvimento de sistemas de alerta eficientes e de resposta eficazes, servindo de base também para a elaboração de planos de contingência de emergências. Ainda, podem auxiliar na redução das vulnerabilidades e no aumento da resiliência, buscando a redução dos danos e perdas.

Modelos computacionais hidrodinâmicos têm-se destacado na elaboração de mapas de áreas suscetíveis à inundação. No entanto, necessitam de um grande volume de dados de entrada que nem sempre são encontrados com facilidade em determinadas regiões. Outras dificuldades encontradas no uso de modelos são a falta de dados históricos de inundação e, em muitos casos, a dependência por calibração. Como alternativa, os modelos descritores de terreno vêm se destacando, uma vez que demandam poucos dados e se apresentam com maior praticidade. O modelo *Height Above the Nearest Drainage* (HAND) é um descritor de terreno desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que tem como uma das aplicações a identificação de áreas propensas à inundação. O modelo foi inicialmente proposto por Rennó et al. (2008) e já alcançou visibilidade internacional (MÁNFREDA, DI LEO e SOLE, 2014; LIU et al., 2016; MCGRATH et al., 2018; RAHMATI et al., 2018; ARISTIZABAL, et al., 2020; CARVALHO et al., 2020; IWAHASHI et al., 2021; KOMOLAFE, et al., 2021; LI et al., 2022).

Diante do aumento dos eventos relacionados à inundação nas áreas urbanas e da possibilidade do uso de geotecnologias para mapeamento das áreas suscetíveis à desastres, o objetivo geral trabalho consistiu em identificar as áreas propensas a risco de desastre por inundação e sua inter-relação com o processo de evolução da mancha urbana no município de João Pessoa, Paraíba.

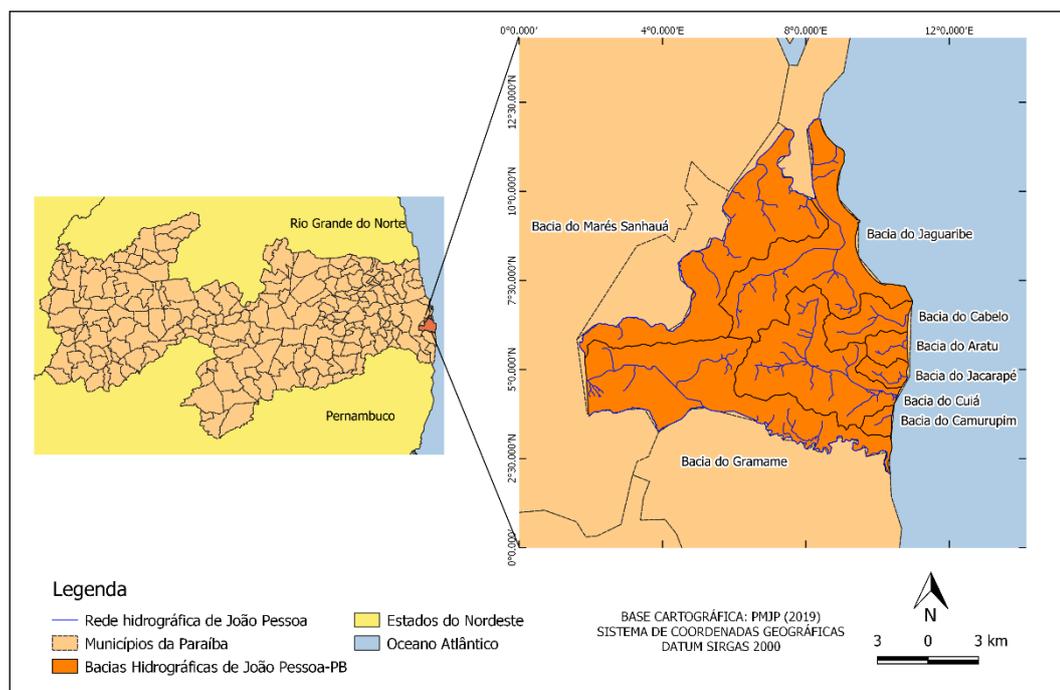
METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo consiste na totalidade da área territorial do município de João Pessoa, capital do estado da Paraíba. Esta área está localizada entre as coordenadas geográficas 7°02'30" a 07°19'00" de latitude Sul e 34°48'00" a 34°59'00" de longitude Oeste. O município está localizado na Região Geográfica Intermediária de João Pessoa, abrange uma área de 210,044 km² e conta com uma população estimada em 809.015 habitantes (IBGE, 2017; 2019). Limita-se ao Norte com os municípios de Santa Rita e Cabedelo; ao Sul, com o Conde e Santa Rita; a Leste, com o Oceano Atlântico; e a Oeste com Santa Rita e Bayeux.

O município conta com sete bacias hidrográficas: Aratu, Cabelo, Camurupim, Cuiá, Jaguaribe, Marés-Sanhauá, Gramame e Jacarapé (Figura 1). Os rios mais presentes são: Paraíba, Sanhauá, Cuiá, Paratibe, Gramame, Camurupim, Timbó, Tambiá, São Bento, Mandacaru, Laranjeiras, Bomba, Cabelo, Mussuré, Jacarapé, Mumbaba, Aratu e Jaguaribe.

Figura 1 - Localização das Bacias Hidrográficas de João Pessoa-PB, 2023.



Fonte - Prefeitura Municipal de João Pessoa (PMJP, 2020). Elaboração: os autores, 2020.

Grande parte dos rios que cruzam o perímetro urbano de João Pessoa são afetados por impactos provocados por ações antrópicas. É importante destacar que a bacia hidrográfica do rio Gramame (BHRG) é a principal responsável pelo abastecimento de água da capital, cujo sistema de represamento Gramame-Mamuaba tem capacidade de 56.937.000 m³. Essa bacia hidrográfica promove o abastecimento de, aproximadamente, 70% da população da grande João Pessoa (PARAÍBA, 2015).

Procedimentos do modelo *Height Above the Nearest Drainage* (HAND)

O modelo HAND é um descritor de terreno cuja aplicação permite a identificação de áreas suscetíveis a inundação. O único dado de entrada necessário para gerar o modelo HAND é o Modelo Digital de Elevação (MDE), que é uma matriz onde cada pixel corresponde a valores altimétricos, sendo, portanto, uma representação tridimensional do relevo (VALERIANO, 2008). Esse tipo de dado tem sido utilizado para

análises ambientais devido a presença de informações relacionadas ao terreno que podem auxiliar no planejamento, como: drenagens, curvas de nível, direção e acumulação de fluxo, declividade, entre outros.

O único dado de saída gerado pelo HAND é um MDE normalizado em relação à drenagem – enquanto o MDE inicial toma como referência absoluta o nível do mar, o produto do HAND tem como referência o canal de drenagem mais próximo ao pixel avaliado. A classificação distribuída da área acontece da seguinte forma: menores valores de distância vertical indicam maior suscetibilidade à inundação, enquanto maiores valores significam menor suscetibilidade (NOBRE et al., 2011; LEAL, 2018). Por exemplo, se um ponto está a 1 metro HAND em relação ao rio, o mesmo possuirá maiores chances de ser atingido por uma inundação do que outro ponto que está a 3 metros HAND referente ao mesmo rio.

O HAND é gerado em cinco etapas: identificação da direção do fluxo, correção da topografia, cálculo da drenagem, associação dos pontos e definição dos potenciais de drenagem. As etapas até gerar a matriz HAND foram realizadas no *software* livre TerraViewHidro 0.4.4., desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por meio do *plugin* TerraHidro. Para gerar o modelo, os procedimentos são realizados na ferramenta *Hydrological Tools*.

A imagem gerada foi dividida em cinco classes, com base no grau de suscetibilidade a inundação. Sabe-se que comumente os recursos são escassos, sendo necessário priorizar algumas áreas em detrimento de outras. Por isso, visando auxiliar na tomada de decisão, foi estipulada uma ordem de prioridade para ações de redução do risco: muito baixa (5 metros), baixa (4 metros), média (3 metros), alta (2 metros) e muito alta (1 metro). Para elaboração do mapa HAND, a imagem foi importada do *software* TerraViewHidro para o *software* livre Qgis 3.10.5.

Conforme trabalho realizado por Goerl et al. (2017), o modelo foi validado mediante comparação com os pontos de alagamento e inundação apresentados no “Plano Municipal de Saneamento Básico de João Pessoa (PMSB-JP)” (PARAÍBA, 2015). O Plano possui o mapeamento de pontos de alagamento e inundação no município, sendo 98 de alagamento e 15 de inundação. Ainda, foram feitas visitas em campo com a presença de um agente da COMPDEC-JP (Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de João Pessoa) em pontos com histórico recorrente de inundação.

Processamento das imagens

Três MDEs, apresentando resoluções espaciais e fontes distintas, foram analisados a fim de comparação. O de 90 m x 90 m foi adquirido no *site* da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA); o de 30 m x 30 m no *site* do projeto TOPODATA (Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil), do INPE, a partir de dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM); e o de 5 m x 5 m foi cedido pela Diretoria de Geoprocessamento e Cadastro (DIGEOC), da Prefeitura Municipal de João Pessoa (PMJP). Também se optou por comparar diferentes recortes espaciais, a fim de observar qual unidade de análise seria mais adequada.

A primeira análise foi feita usando o MDE de 30 m x 30 m de resolução espacial, adquirido no *site* do projeto TOPODATA, e com o recorte do município de João Pessoa. Posteriormente, portando do mesmo MDE, foi realizada a análise com o recorte com todas as bacias hidrográficas do município, visando observar qual recorte seria utilizado.

Depois, foram utilizados MDE com resoluções espaciais distintas (90 x 90 m, 30 x 30 m e 5 x 5 m) para comparar a similaridade das redes de drenagem geradas na etapa de construção da rede de drenagem do HAND e as drenagens reais, disponibilizadas pela DIGEOC, PMJP.

A terceira etapa foi focada em realizar a análise multitemporal da mancha urbana a partir da seleção e classificação das imagens de satélite. Obtiveram-se as imagens de satélites da série *Land Remote Sensing Satellite* (Landsat) no *site* da *United States Geological Survey* (USGS), disponíveis gratuitamente.

Foram escolhidas duas imagens: uma do dia 27 de junho de 1990 (Landsat 5) e outra do dia 28 de setembro de 2018 (Landsat 8). A escolha seguiu o critério de encontrar imagens com pouca cobertura nebulosa.

A classificação foi feita mediante interpretação visual diretamente em tela. Criou-se um *layer* para a mancha urbana de 1990 e outro para a de 2018. Posteriormente, formaram-se polígonos por meio de recursos de edição, em uma escala de trabalho de 1:125.000 em tela, agrupando-os em camadas do tipo *shapfile*. Após identificadas e quantificadas, as manchas foram sobrepostas a fim de verificar os locais de expansão. Em seguida, foi feita uma nova sobreposição das manchas da imagem mais recente (2018) com as áreas com “muito alta ordem de priorização de ações de redução de risco”, mapeadas pelo HAND.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

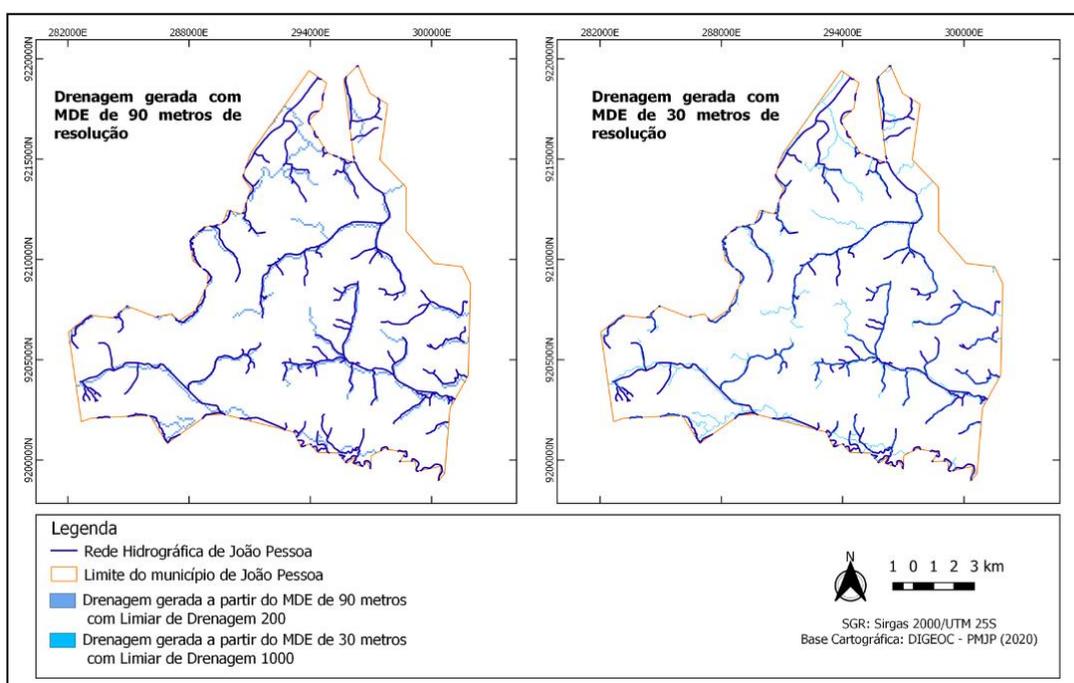
Primeira aplicação do modelo HAND

O primeiro teste de aplicação do modelo HAND foi feito comparando os MDEs com resoluções espaciais de 90 m x 90 m e 30 m x 30 m, tomando o município de João Pessoa como análise (Figuras 2 e 3). O limiar

de drenagem adotado para o MDE de 30 m x 30 m foi de 1.000 *pixels* e para o de 90 m x 90 m o limiar adotado foi de 200 *pixels*. O ajuste do limiar de drenagem considerou como referência a rede hidrográfica real do município, disponibilizada pela DIGEOC da PMJP. Os valores foram ajustados até que a drenagem se aproximasse visualmente ao máximo da rede oficial. O mapa HAND foi gerado considerando cinco classes, variando à altura de 1 metro a 5 metros acima da drenagem mais próxima.

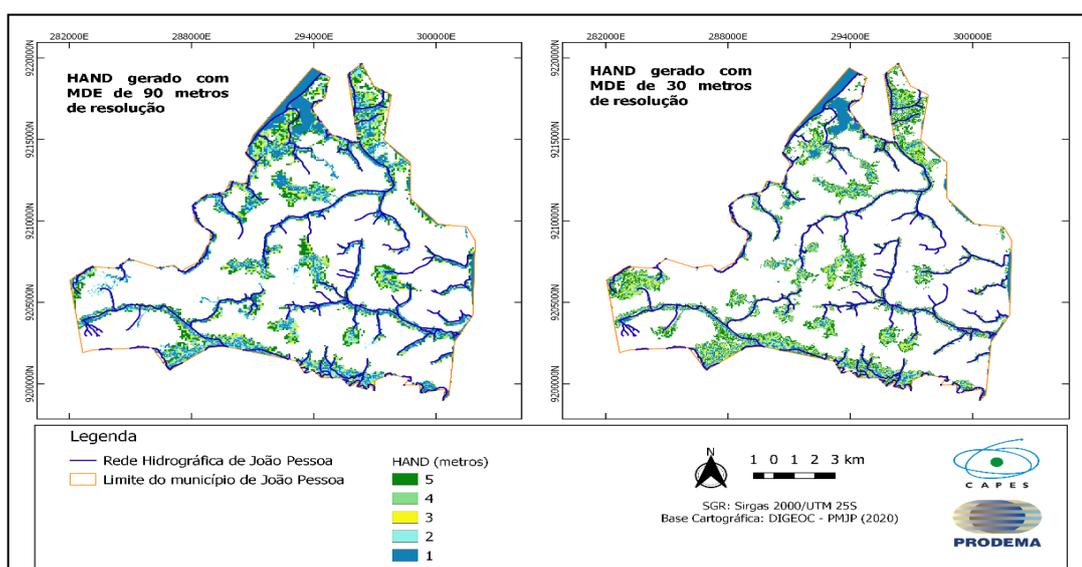
A diferença dos resultados existiu em função da diferença de resoluções espaciais dos MDE e, conseqüentemente, do limiar de drenagem escolhido para cada um deles. No mapa gerado a partir do MDE de resolução espacial de 90 m x 90 m, nota-se a generalização de algumas informações, distorcendo a drenagem gerada pelo modelo e a rede hidrográfica real, o que influencia diretamente nos resultados do mapa HAND.

Figura 2 - Drenagens geradas com MDEs com diferentes resoluções espaciais.



Fonte - Prefeitura Municipal de João Pessoa (PMJP, 2020). Elaboração: os autores, 2020.

Figura 3 - Mapa HAND gerado com MDEs com diferentes resoluções espaciais.



Fonte - Prefeitura Municipal de João Pessoa (PMJP, 2020). Elaboração: os autores, 2020.

Quando utilizados *pixels* de 30 m x 30 m (Figura 4), há um aumento de 3,18% na porcentagem de áreas da classe 5 metros HAND e uma redução de 4,14% nas da classe 1 metro HAND quando comparado ao de 90 m x 90 m.

Figura 4 - Comparação das porcentagens das áreas mapeadas com MDEs com resoluções espaciais de 30 m x 30 m e de 90 m x 90 m.



Elaboração - os autores, 2020.

Diante desses primeiros resultados, vislumbrou-se que ao considerar todo o município na análise ocorre a sub e superestimação de algumas informações. Isso se dá porque, como o limiar de drenagem é o único parâmetro ajustável do modelo, é necessário que se estabeleça um valor para todo o município, forçando uma generalização da drenagem e, conseqüentemente, do HAND. Por isso, a segunda etapa foi avaliar as diferenças apresentadas ao levar em conta o recorte por bacias hidrográficas.

Segunda aplicação do modelo HAND

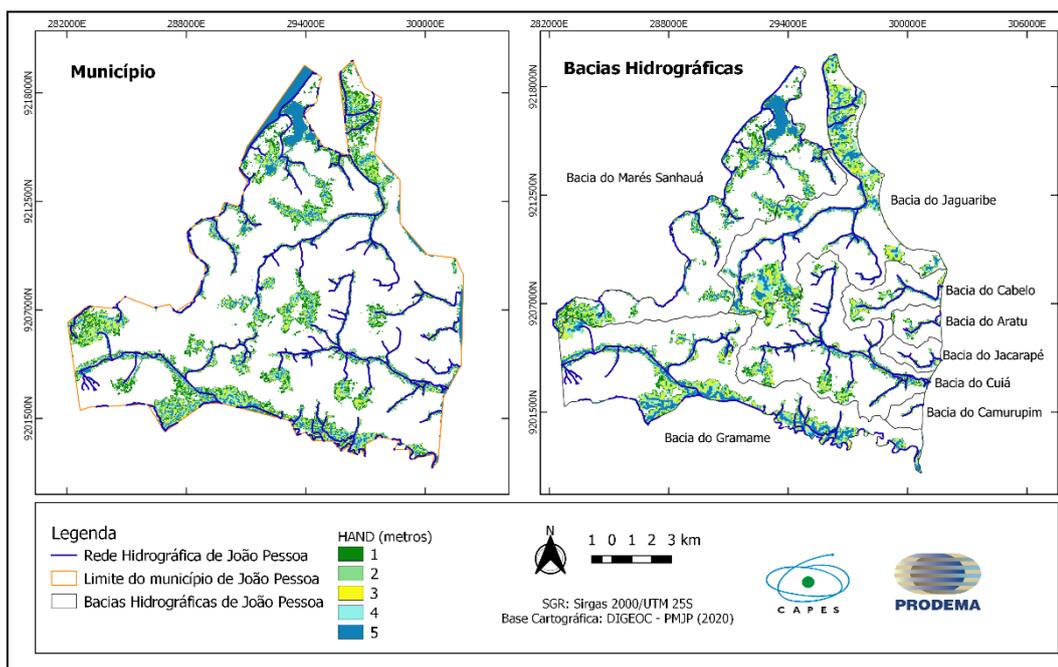
Levando em conta que o MDE com resolução espacial de 30 m x 30 m apresentou resultados mais satisfatórios, este foi escolhido para que se pudesse realizar a segunda aplicação do modelo, utilizando agora diferentes abordagens espaciais (Figura 5). Na primeira abordagem, o HAND foi aplicado considerando todo o município de João Pessoa; na segunda, o HAND foi aplicado a cada bacia hidrográfica (Aratu, Cabelo, Camurupim, Cuiá, Jaguaribe, Marés-Sanhauá, Gramame e Jacarapé) isoladamente. Ao final, foi elaborado um mosaico, juntando todas as informações. Os limiares de drenagem adotados para cada bacia hidrográfica foram distintos, como mostrado na Tabela 1. Os valores foram ajustados para cada bacia hidrográfica, separadamente, até que a drenagem gerada pelo modelo se assemelhasse ao máximo da drenagem real.

Tabela 1 - Limiares de drenagem adotados para cada bacia hidrográfica e suas respectivas áreas mínimas de contribuição.

Bacia hidrográfica	Limiar de drenagem (pixel)	Área mínima de contribuição (km ²)
Aratu	400	0,36
Cabelo	1.000	0,90
Camurupim	800	0,72
Cuiá	900	0,81
Gramame	1.000	0,90
Jacarapé	400	0,36
Jaguaribe	600	0,54
Marés-Sanhauá	800	0,72

Fonte - os autores, 2020.

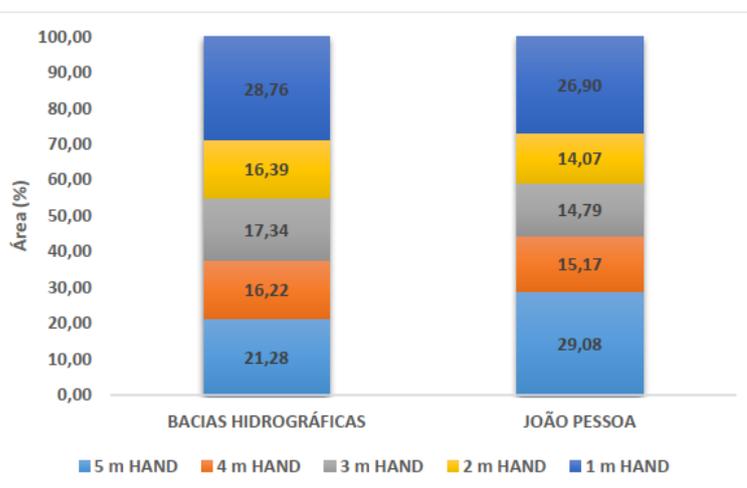
Figura 5 - Comparação do HAND obtido por meio da análise do município e das bacias hidrográficas.



Fonte - Prefeitura Municipal de João Pessoa (PMJP, 2020). Elaboração: os autores, 2020.

Ao comparar as duas abordagens, utilizando uma resolução espacial de 30 m x 30 m, houve um aumento da porcentagem das classes de 4 metros HAND, 3 metros HAND, 2 metros HAND e 1 metro HAND ao realizar a análise por bacia hidrográfica (Figura 6). Observou-se ainda uma maior continuidade nas informações, com uma separação mais visível das classes.

Figura 6 - Comparação das classes ante às diferentes abordagens espaciais.

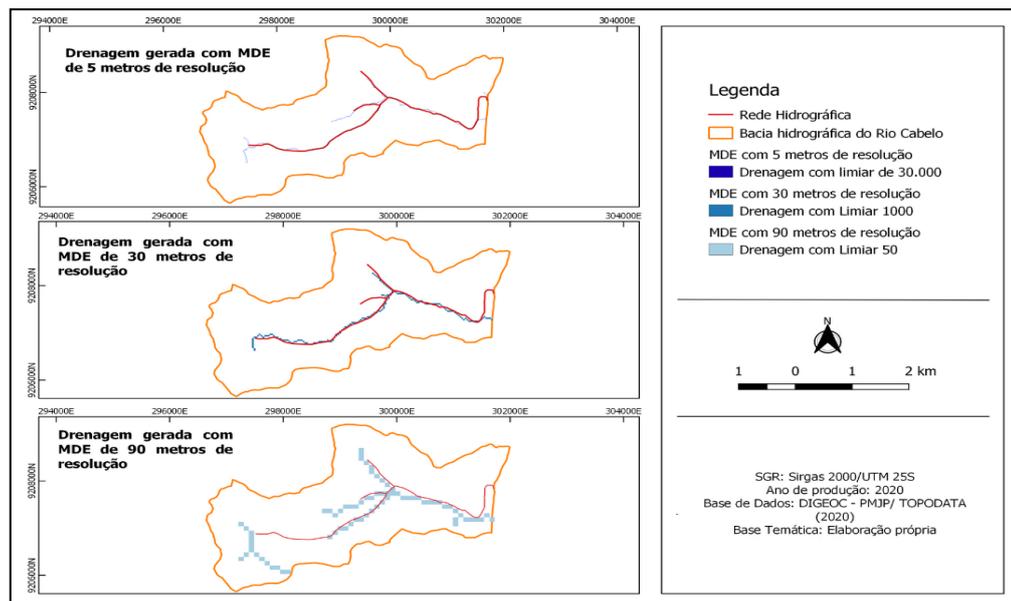


Elaboração - os autores, 2020.

Terceira aplicação do HAND

Para a terceira aplicação do modelo HAND, utilizou-se o recorte espacial das bacias hidrográficas, variando a resolução espacial. No decorrer da pesquisa, foi obtido um MDE de resolução espacial de 5 m x 5 m, assim, buscou-se comparar os resultados obtidos a partir dele com os resultados anteriores. Foi realizada inicialmente uma comparação entre as drenagens obtidas com os três MDE (5 m x 5 m, 30 m x 30 m e 90 m x 90 m), utilizando como exemplo a bacia hidrográfica do rio Cabelo, como apresentado na Figura 7.

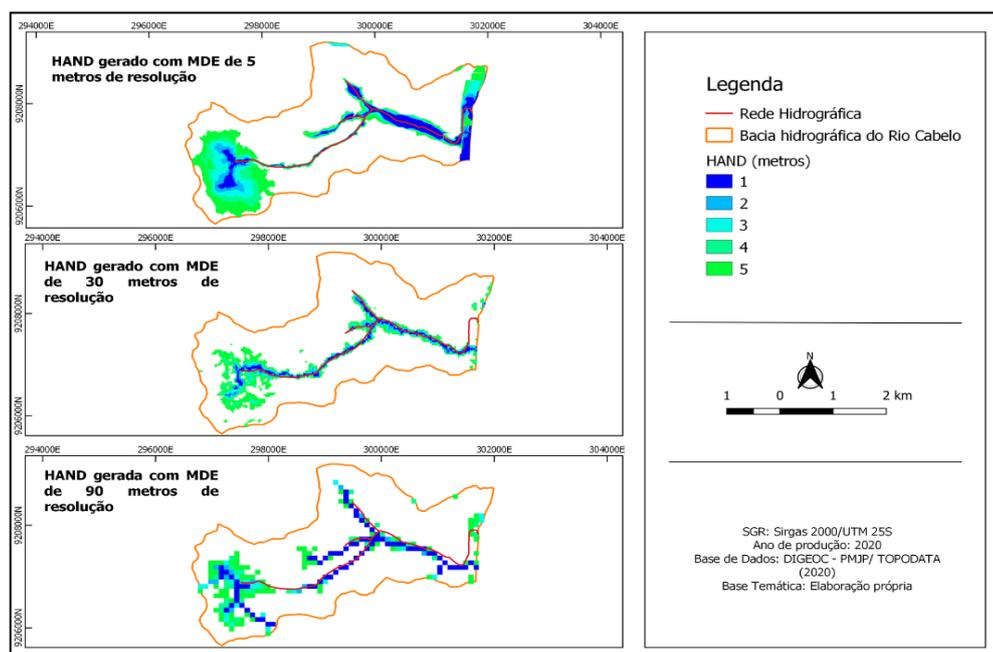
Figura 7 - Comparação das drenagens geradas a partir de diferentes resoluções espaciais (5 m x 5 m, 30 m x 30 m e 90 m x 90 m).



Fonte - Prefeitura Municipal de João Pessoa (PMJP), 2020; TOPODATA, 2020. Elaboração: os autores, 2020.

Na Figura 7 é possível verificar uma melhor definição na drenagem quando utilizado o MDE de 5 m x 5 m de resolução espacial, dado que a mesma se apresenta de maneira mais uniforme, aproximando-se mais da drenagem real. A Figura 8 trata da comparação do modelo HAND na bacia hidrográfica do rio Cabelo, diante das diferentes resoluções espaciais. Ao utilizar um MDE de melhor resolução espacial, a mancha de inundação aparece mais uniforme, acompanhando a rede hidrográfica real. Quando considerado o MDE de 90 m x 90 m, percebe-se uma mancha com *pixels* mais marcados, generalizando as informações. A mancha de inundação gerada a partir do MDE de 5 m x 5 m mostra uma maior suavização e melhor definição das classes.

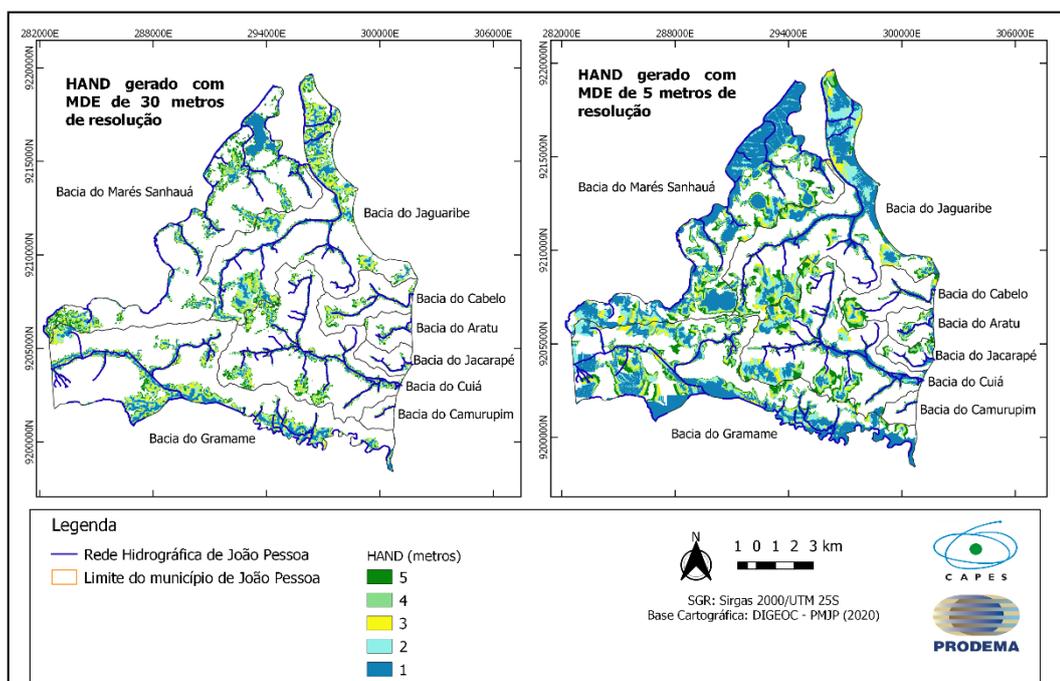
Figura 8 - Comparação do HAND gerado a partir de diferentes resoluções espaciais (5 m x 5 m, 30 m x 30 m e 90 m x 90 m), aplicado a bacia hidrográfica do rio Cabelo.



Fonte - Prefeitura Municipal de João Pessoa (PMJP), 2020. Elaboração: os autores, 2020.

Na Figura 9 é apresentada a comparação do HAND obtido utilizando o MDEs de 5 m x 5 m e de 30 m x 30 m, agora abrangendo todas as bacias hidrográficas. É importante enfatizar que o tempo de processamento para cada bacia hidrográfica com o MDE de 5 m x 5 m foi extenso, muitas vezes durando mais de 8 horas, o que não aconteceu ao utilizar MDEs de 30 m x 30 m e de 90 m x 90 m.

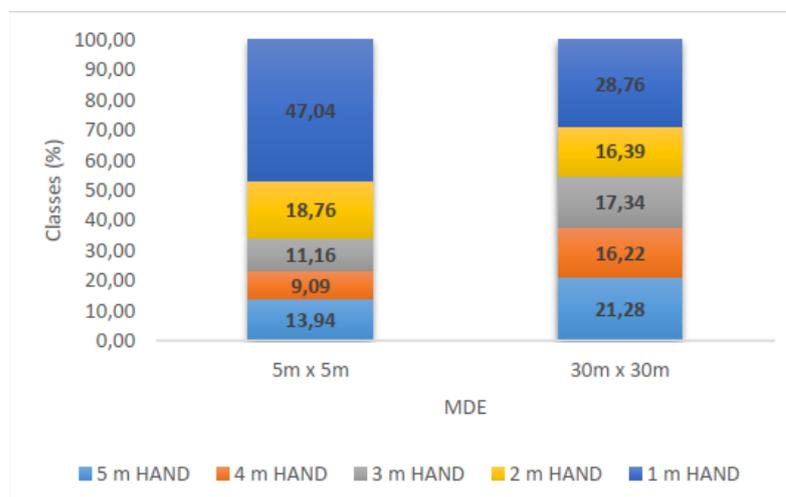
Figura 9 - Comparação do HAND gerado a partir de MDEs com resoluções espaciais de 5 m x 5 m e de 30 m x 30 m aplicado nas bacias hidrográficas de João Pessoa-PB.



Fonte - Prefeitura Municipal de João Pessoa (PMJP), 2020. Elaboração: os autores, 2020.

A Figura 10 apresenta a quantificação das classes e a comparação quanto ao uso de diferentes resoluções espaciais. Nota-se um aumento de 18,28% na classe de 1 metro HAND, sendo essa classe composta por áreas mais suscetíveis a inundação, enquanto ocorre uma redução de 7,33% na classe de 5 metros HAND, formada pelas áreas menos suscetíveis, quando utilizado o MDE de 5 m x 5 m.

Figura 10 - Comparação das classes ao utilizar MDEs de resoluções espaciais de 5 m x 5 m e de 30 m x 30 m.



Elaboração - os autores, 2020.

A diferença nos resultados diante do uso de diferentes resoluções espaciais foi alvo de estudo feito por Rodrigues et al. (2011) ao comparar o HAND elaborado com MDEs de 30 m x 30 m e 90 m x 90 m. Os autores perceberam que o dado SRTM de 30 m x 30 m possuía melhor detalhamento das feições em contraste ao MDE de 90 m x 90 m, de modo que a escolha desse é preferível ao se realizar estudos locais. O uso de resoluções que oferecem um menor detalhamento pode prejudicar a implementação de ações de RRD e, ainda, a alternância abrupta de classes pode causar problemas quando se trata do zoneamento, desvalorizando imóveis ou propiciando uma falsa sensação de segurança aos moradores daquele local.

É comum que os recursos disponibilizados para as ações de RRD sejam muito limitados, o que necessita uma priorização de áreas que apresentam maior grau de risco. Diante disso, foi estabelecida uma classificação baseada na ordem de prioridade das ações de redução do risco de inundação a partir dos resultados obtidos ao tomar como referência as bacias hidrográficas. Cinco classes foram determinadas, variando de “muito baixa prioridade” a “muito alta prioridade” de ações de redução do risco, conforme a Tabela 2.

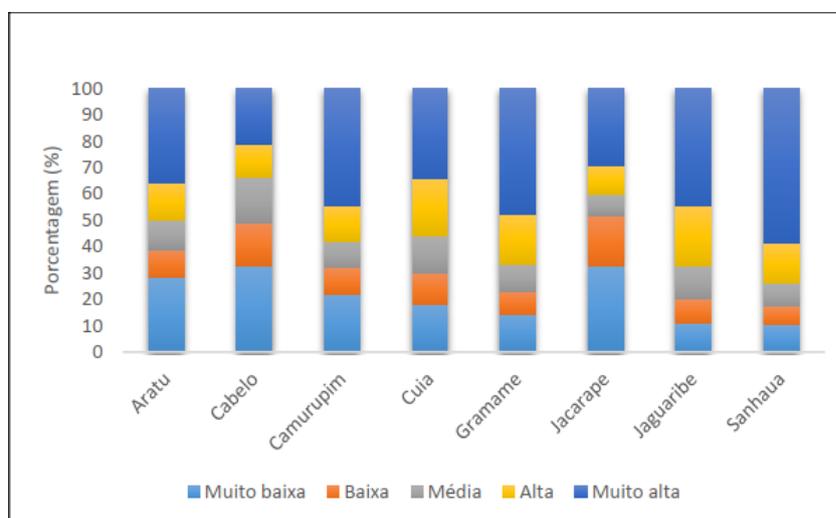
Tabela 2 - Classificação da suscetibilidade a inundação.

Ordem de prioridade de redução do risco a inundação	HAND (m)
Muito Baixa	5
Baixa	4
Média	3
Alta	2
Muito Alta	1

Fonte - os autores, 2020.

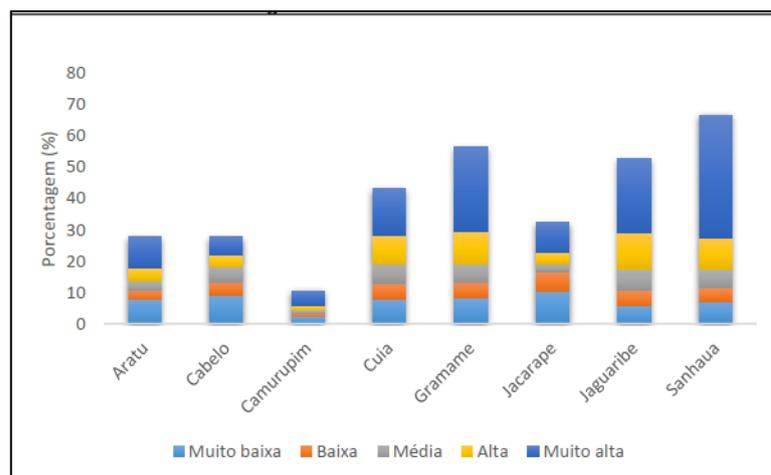
A quantificação das áreas suscetíveis à inundação mapeada pelo HAND pode ser vista na Figura 11, onde se faz a divisão por bacias hidrográficas, e com a proporção de cada classe no mapeamento total. Observou-se que as bacias hidrográficas Marés-Sanhauá, Gramame, Camurupim e Jaguaribe foram as que manifestaram uma maior porcentagem de áreas que demandam uma maior priorização de ações de redução de risco a inundação, classificadas como “muito alta”. Na Figura 12, mostra-se a porcentagem das áreas totais das bacias hidrográficas mapeadas pelo HAND, ou seja, que estão suscetíveis a inundações.

Figura 11 - Porcentagem da distribuição das classes mapeadas pelo HAND em cada bacia hidrográfica do município de João Pessoa – PB.



Elaboração - os autores, 2020.

Figura 12 - Porcentagem das áreas suscetíveis a inundações nas bacias hidrográficas de João Pessoa – PB.



Elaboração - os autores, 2020.

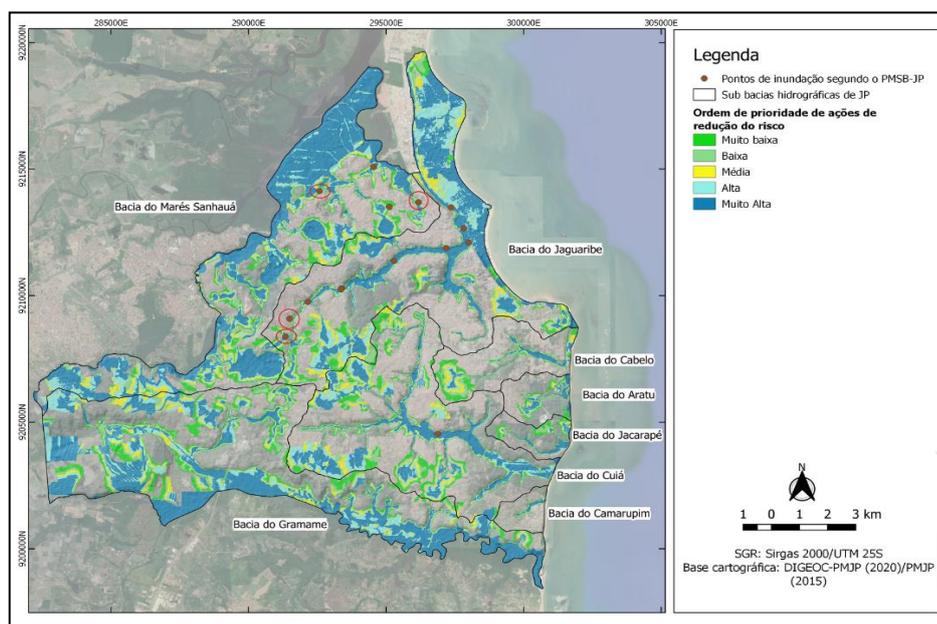
Quando considerada a área total de cada bacia hidrográfica, as bacias hidrográficas dos rios Marés-Sanhauá, Jaguaribe e Gramame são as que possuem uma maior porcentagem de áreas com “muito alta” ordem de priorização de ações de redução do risco a inundação.

Validação do modelo

Para validação do modelo, utilizaram-se os dados do PMSB-JP. O plano contém, em linhas gerais, a definição dos objetivos e das metas imediatas, de curto, médio e longo prazo para a universalização do acesso da população aos serviços de saneamento, bem como os programas, projetos e ações necessárias, nos termos da Lei Federal N° 11.445/2007 – Lei do Saneamento Básico

De acordo com o diagnóstico proposto pelo PMSB-JP (PARAÍBA, 2015), os problemas ligados à inundação se concentram em sua maioria na parte oeste do município, destacando-se a Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe (BHRJ) como a mais afetada. De todos os pontos circulosados de vermelho na Figura 13, apenas quatro não estão dentro da mancha de inundação gerada pelo HAND.

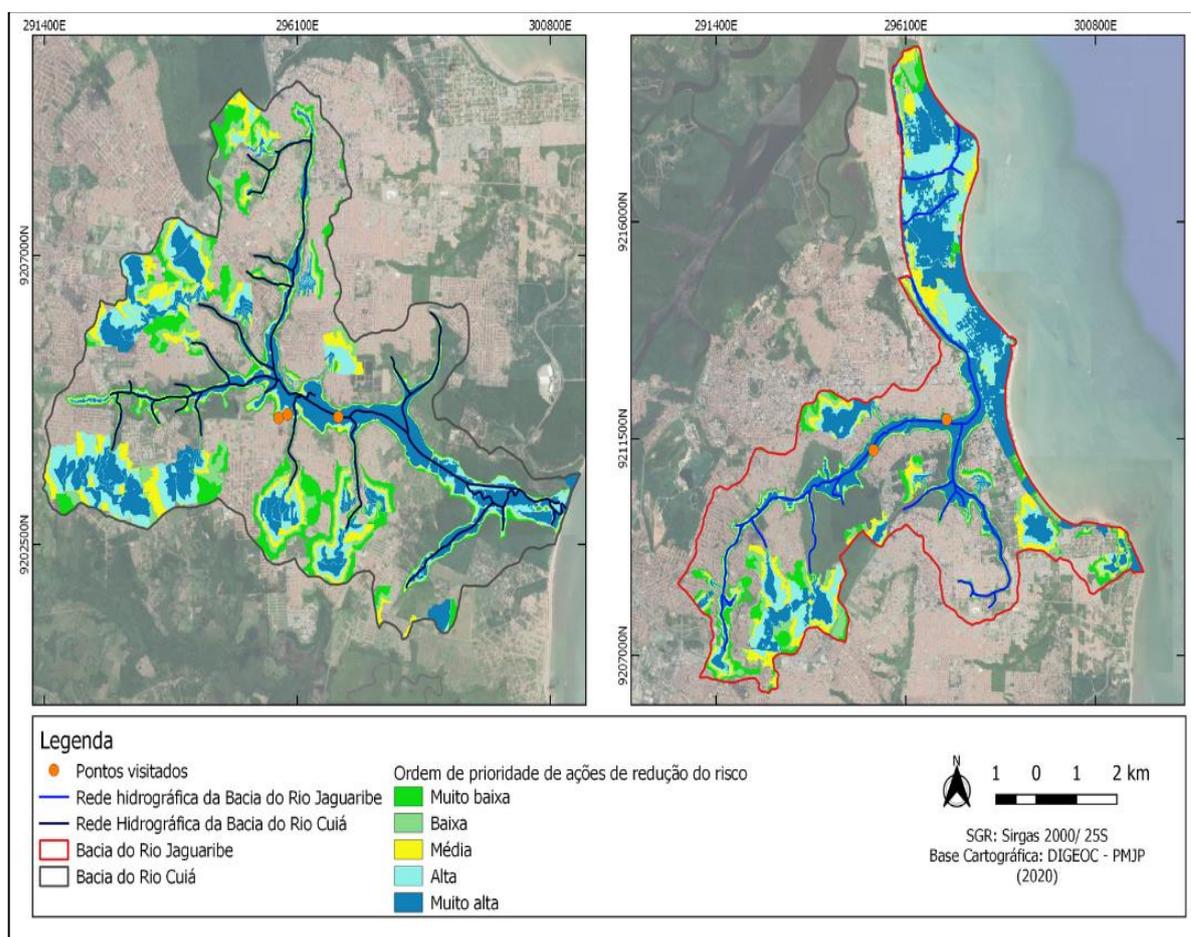
Figura 13 - Pontos de inundação segundo Paraíba (2015).



Fonte - Prefeitura Municipal de João Pessoa (PMJP), 2020. Elaboração: os autores, 2020.

Para validar os resultados obtidos a partir do modelo HAND, foram realizadas visitas a campo com um agente da COMPDEC-JP. Inicialmente, duas visitas foram planejadas, mas devido a pandemia provocada pelo COVID-19, apenas uma visita foi realizada, no dia 23 de junho de 2020, seguindo todas as recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS) para evitar o contágio pelo vírus. Os pontos escolhidos foram em locais na bacia hidrográfica do Rio Cuiá e na bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe. A escolha desses locais foi norteada pelas informações da COMPDEC-JP, tomando como referência as notificações recorrentes de inundações. Ao chegar em cada ponto (Figura 14), as coordenadas dos locais foram coletadas por meio do aplicativo “*Mobile Topographer*”, instalado em um *smartphone* de sistema operacional *Android*.

Figura 14 - Pontos que foram visitados, em destaque na cor laranja, em conjunto com a COMPDEC-JP.



Fonte - Prefeitura Municipal de João Pessoa (PMJP), 2020. Elaboração: os autores, 2020.

Em pontos visitados nas comunidades São Rafael e Tito Silva foram observados registros de marcas d'água de inundações anteriores nas paredes das residências feitos pelos moradores e mudanças nas estruturas das casas como medidas de adaptação às inundações frequentes (Figura 15).

Todos os pontos visitados (Figura 14) se apresentaram dentro das áreas mapeadas pelo HAND como suscetíveis à inundação. Locais com grande recorrência de inundações, sempre presentes nas notícias veiculadas em caso de eventos de chuvas intensas e/ou de longa duração no município de João Pessoa, como a comunidade São Rafael e a comunidade Tito Silva, localizaram-se nas classes 4 e 5 (“alta” e “muito alta” ordem de priorização de ações de redução de risco à inundação), mostrando o bom desempenho do modelo usado neste trabalho.

Figura 15 - Consequências das inundações frequentes em João Pessoa – PB: (A) adaptações e contenções feitas na comunidade São Rafael; (B) marca da altura da água na parede da residência, decorrente de inundações na comunidade Tito Silva.



Fonte - os autores, 2020.

A expansão urbana e a suscetibilidade às inundações

A análise da expansão urbana foi realizada considerando os anos de 1990 e 2018, usando como principal critério para a escolha dessas imagens a pouca incidência de nuvens.

Para o ano de 2018, calculam-se as seguintes porcentagens de área urbana, levando em conta a área de cada bacia hidrográfica. A partir disso, percebe-se então que as bacias hidrográficas com mais manchas urbanas segundo essa análise são Jaguaribe, Marés-Sanhauá e Cuiá, marcadas na Tabela 3 em vermelho.

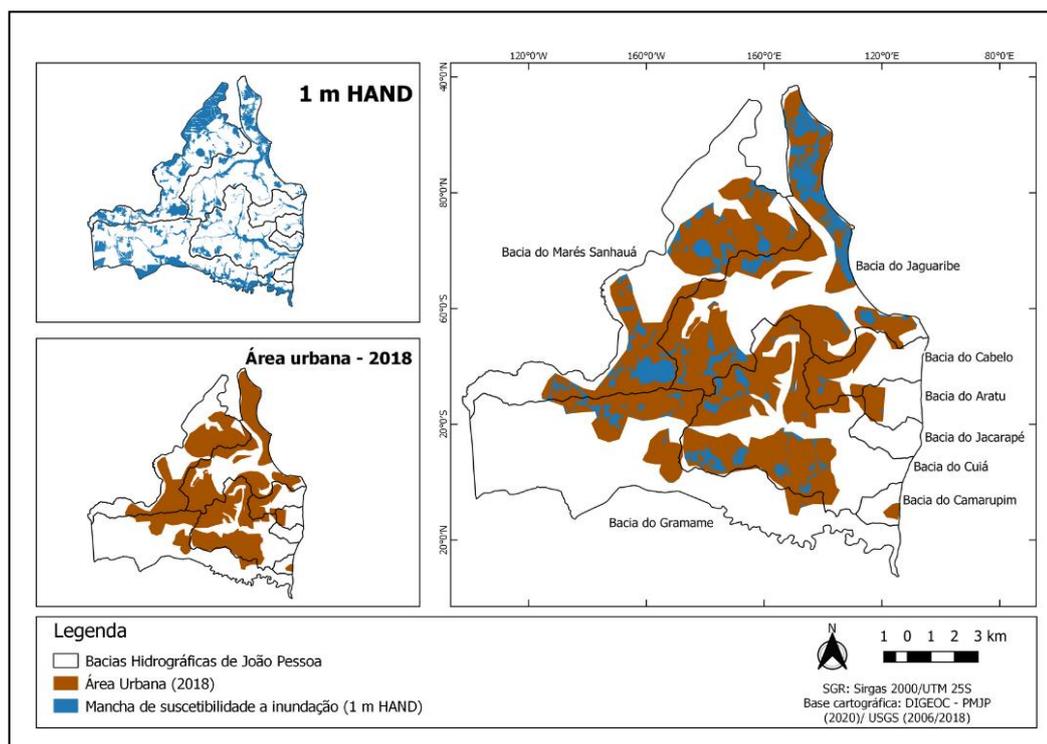
Tabela 3 - Área urbana em cada bacia hidrográfica em 2018.

Bacia hidrográfica	Área total (km²)	Área urbana 2018	%
Jaguaribe	46,09	30,22	65,57
Marés-Sanhauá	47,42	24,57	51,82
Cuiá	40,34	25,10	62,24
Aratu	4,27	1,21	28,37
Cabelo	9,79	4,51	46,08
Gramame	53,69	10,61	19,77
Jacarapé	3,63	0,02	0,71
Camurupim	2,43	0,35	14,44

Fonte - os autores, 2020.

Quando analisado de forma integrada com as áreas com maior suscetibilidade a inundação (1 metro HAND) (Figura 16), as bacias hidrográficas que apresentam maior sobreposição de áreas urbanizadas e de áreas com muito alto grau de prioridade de ações de redução de risco são as bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe (32,91% do total sobreposto) e do Marés-Sanhauá (48,04% do total sobreposto).

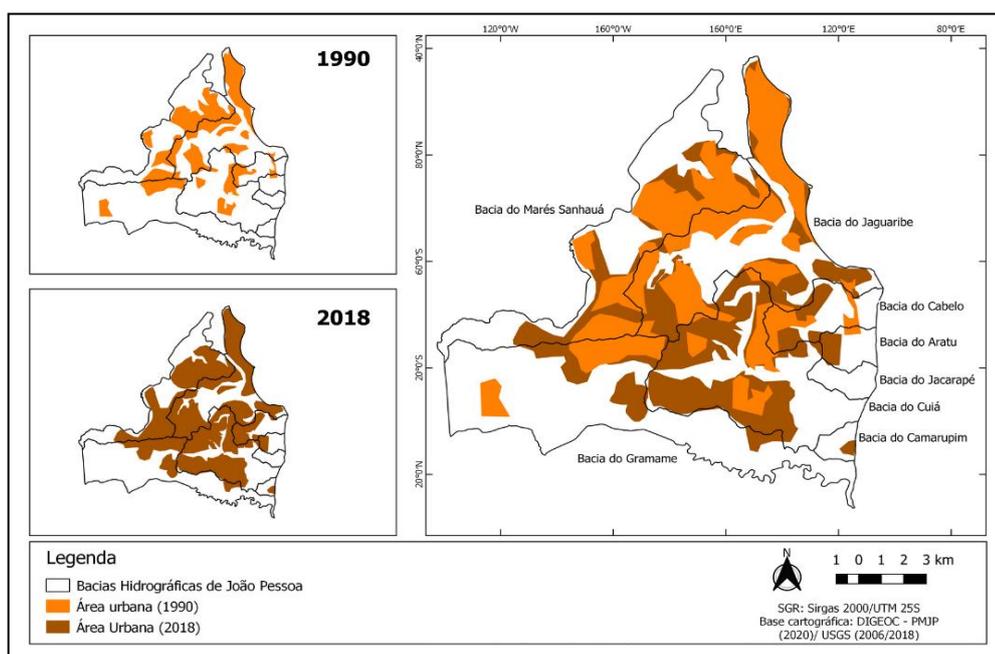
Figura 16 - Sobreposição da área com 1 m HAND e área urbana de João Pessoa em 2018.



Fonte - Prefeitura Municipal de João Pessoa (PMJP), 2020. Elaboração: os autores, 2020.

A partir da comparação de 2018 com o ano de 1990 (Figura 17), observou-se que a bacia hidrográfica que apresentou maior crescimento da mancha urbana foi a do rio Cuiá (48,27%), marcada em vermelho na Tabela 4, seguido pelas bacias hidrográficas dos rios Aratu (22,33%), Cabelo (18,89%) e Jaguaribe (16,70%). Já Camarupim e Jacarapé, que em 1990 não apresentavam áreas construídas, apresentaram em 2018.

Figura 17 - Expansão da área urbana em João Pessoa entre 1990 e 2018.



Fonte - Prefeitura Municipal de João Pessoa (PMJP), 2020. Elaboração: os autores, 2020.

Tabela 4 - Porcentagem da expansão urbana em João Pessoa de 1990 a 2018, 2020.

Bacia hidrográfica	Área Urbana				Expansão (2018-1990)
	1990		2018		
	Km ²	%	Km ²	%	%
Jaguaribe	22,52	48,86	30,22	65,57	16,71
Marés Sanhauá	17,02	35,89	24,58	51,82	15,93
Cuiá	5,63	13,96	25,11	62,24	48,28
Aratu	0,26	6,04	1,21	28,37	22,33
Cabelo	2,66	27,19	4,51	46,08	18,89
Gramame	4,62	8,60	10,62	19,77	11,17
Jacarapé	0,00	0,00	0,03	0,71	0,71
Camurupim	0,00	0,00	0,35	14,44	14,44

Fonte - os autores, 2020.

Em 2018 as bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe e Cuiá foram as que apresentaram as maiores porcentagens de áreas como sendo urbanas. Já na Tabela 4, Cuiá se destacou com o maior crescimento quando comparado com o ano de 1990.

Um estudo realizado por Anjos et al. (2017), onde foi mapeada a expansão urbana da bacia hidrográfica entre 1970 e 2013, apontou o quanto isso influenciou na supressão de áreas verdes e na poluição dos rios. Os autores, ao observarem o raio de proteção estabelecido pelo Código Florestal (Lei n.º 12.651/2012) na nascente do Rio Cuiá, detectaram descaracterização da vegetação nativa, presença de vegetação exótica, construção de edificações, utilização da área como pastagem e descarte inadequado de resíduos sólidos. Além disso, diversos impactos ambientais como desmatamento de APP, despejo de efluentes, construção de barragens, intensificação de processos erosivos e compactação do solo.

Outra pesquisa, realizada por Reis et al. (2017), avaliou o desempenho dos indicadores de Sustentabilidade nas bacias hidrográficas dos rios Cuiá, Cabelo e Jaguaribe. Na análise da BHRJ, destacaram-se alterações na qualidade da água, reforçando a relação entre as modificações urbanísticas e a degradação ambiental. Um dos fatores apontados para justificar essas alterações foi o lançamento pela população de esgotos domésticos por meio de ligações clandestinas e até mesmo o esgoto bruto pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), quando as Estações Elevatórias não suportam a vazão do esgoto que deveria ser direcionado para a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE).

Problemas observados nessa bacia hidrográfica, decorrentes do processo de urbanização, que podem ser citados são: enchentes e inundações, processos erosivos acentuados e poluição dos corpos hídricos. No que se refere as inundações, o estudo de Santos et al. (2016) comprova o que foi atestado na presente pesquisa, onde a BHRJ está entre as três bacias hidrográficas com maior porcentagem de áreas suscetíveis a inundações.

A bacia hidrográfica dos rios Marés-Sanhauá (BHRMS), apesar de não ter apresentado um crescimento expressivo entre 1990 e 2018 quando comparada com Jaguaribe e Cuiá, teve ainda assim 15,93% de crescimento nesse período. Soma-se a isso o fato de que é uma das duas bacias hidrográficas com maior porcentagem de áreas urbanas sobrepostas com manchas de inundação de 1 metro HAND, compondo 48,04% da área total. Essa bacia hidrográfica é a que contém mais bairros inseridos nas duas classes mais altas de população vulnerável a inundações de acordo com a área.

Apesar da bacia hidrográfica do rio Gramame (BHRG) ter apresentado apenas 11% de crescimento entre 1990 e 2018, ela apresentou 26,88% da sua área contida na classe de “muito alta ordem de prioridade de ações de redução de risco”. Nos bairros de Muçumagro e Gramame a implantação de novos conjuntos habitacionais e a presença de terrenos vazios são dois fatores que indicam que as ocupações urbanas estão se aproximando das áreas de proteção ambiental, podendo gerar conflitos de uso e ocupação da terra. Sousa (2017) verificou que de 1991 a 2016 houve uma remoção da área vegetada, sendo uma tendência sua substituição por área edificada na bacia hidrográfica.

A falha no planejamento urbano proporciona diversos problemas de cunho socioambiental, como um aprofundamento da desigualdade e a ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis. A ausência de uma fiscalização dessas áreas somada a uma deficiência de planejamento que direcione o crescimento da cidade faz com que cada vez mais pessoas fiquem expostas aos desastres relacionados com fenômenos naturais e agrava a degradação ambiental nesses locais.

Além disso, ainda há uma dificuldade por parte da gestão pública de inserir a RRD nas estratégias de enfrentamento, pois medidas preventivas e de adaptação poderiam reduzir o risco em lugares onde comunidades não podem ser realocadas de imediato, aumentando a resiliência e diminuindo a vulnerabilidade. Diante disso, as próprias comunidades adotam medidas estruturais para a contenção de inundações, como foi observado nas casas das comunidades em que ocorreram as visitas feitas durante essa pesquisa.

As BHRJ e BHRMS merecem atenção por parte da gestão municipal. São bacias hidrográficas urbanizadas com histórico de rios já degradados pela pressão antrópica gerada pela urbanização das áreas próximas a esses corpos hídricos. Além disso, são bacias hidrográficas que contém as maiores porcentagens da sua área com manchas de inundação mapeadas pelo HAND e de área urbanizada (Tabela 5).

Tabela 5 - Áreas mapeadas pelo HAND e áreas urbanizadas por bacia hidrográfica, 2020.

Bacia hidrográfica	Área mapeada pelo HAND (todas as classes) (%)	Área urbanizadas em 2018 (%)	Expansão urbana (1990-2018) (%)
Jagaribe	52,63	65,57	16,71
Marés-Sanhauá	66,54	51,82	15,93
Cuiá	43,10	62,24	48,28
Aratu	27,60	28,37	22,33
Cabelo	27,63	46,08	18,89
Gramame	56,49	19,77	11,16
Jacarapé	32,20	0,71	0,71
Camurupim	10,54	14,44	14,44

Fonte - os autores, 2020.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dessa pesquisa foi possível avaliar o desempenho do modelo HAND utilizando diferentes resoluções espaciais e escalas de análise territorial. Foi constatado que, ao utilizar o MDE de 5 m x 5 m de resolução espacial, a drenagem identificada pelo modelo foi mais fidedigna à drenagem real, interferindo positivamente no mapeamento HAND. Ainda, foi observado que a abordagem por bacias hidrográficas apresentou resultados mais satisfatórios, quando comparada à municipal. Todos os pontos visitados se apresentaram dentro das áreas mapeadas pelo HAND como suscetíveis à inundação, validando o modelo para essa abordagem local.

Nas visitas realizadas com o agente da COMPDEC-JP, medidas estruturais implementadas pela população foram construídas com o intuito de conter os impactos causados pelas inundações ao longo dos anos. As adaptações feitas pela comunidade mostram um esforço em se preparar e aumentar sua resiliência para lidar com a vulnerabilidade.

A análise de expansão da mancha urbana mostrou que as bacias hidrográficas dos rios Cuiá, Aratu e Cabelo apresentaram os maiores resultados durante o período de 1990 a 2018. Para o ano de 2018, ao cruzar a área urbanizada com o mapeamento HAND de classe “mais alta prioridade de ações de redução de risco”, identificou-se que as bacias hidrográficas do rio Jaguaribe e do Marés-Sanhauá foram as que apresentaram maior sobreposição. Assim, sugere-se em futuras pesquisas, uma análise mais direcionada para as bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe, Marés-Sanhauá e Cuiá, levando em conta aspectos socioeconômicos, visto que a vulnerabilidade social exerce muita influência na capacidade de resposta, adaptação e resiliência.

Estudos em escalas mais detalhadas proporcionam a identificação de comunidades que estão mais expostas, assim, nas áreas em que houver maior suscetibilidade a risco de desastres por inundação, deve-se incluir essas comunidades em uma ordem de prioridade de remoção e instalá-las em locais que proporcionem infraestrutura e qualidade de vida.

Com relação ao poder público, ações podem ser executadas a curto prazo visando à preparação para resposta às inundações nas áreas mais suscetíveis, como: instalação de sistemas de alerta; definição de áreas seguras para a remoção temporária da população em uma emergência; promoção de palestras e treinamentos para capacitar a população com temas sobre preparação, resposta e mitigação ante a inundações; desenvolvimento e distribuição, de preferência de forma participativa, de manuais didáticos que auxiliem a população em casos de ocorrência de inundações, oferecendo informações para prevenção e medidas de segurança; e armazenamento de materiais para emergências (alimentos, medicamentos, materiais para abrigo temporário).

O mapeamento das áreas propensas à inundação pode contribuir para um zoneamento capaz de identificar detalhadamente o grau de risco em cada zona e planejar a ocupação dessa área. Em zonas com alto risco, deve ser proibida a ocupação e a população deverá ser remanejada de acordo com uma ordem de prioridade, respeitando o grau de vulnerabilidade. Planos de Contingência também devem ser elaborados e divulgados para a população, contendo a área de abrangência, as ações previstas em cada fase.

Geotecnologias podem ser muito úteis associadas a uma gestão de uso e ocupação da terra para a RRD, ajudando na formulação de uma agenda regulatória direcionada para a prevenção, adaptação e redução dos desastres.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão de bolsa de estudo; à Universidade Federal da Paraíba pela infraestrutura de ensino e pesquisa; à Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de João Pessoa pelo acompanhamento na visita de campo; e a Diretoria de Geoprocessamento e Cadastro da Prefeitura Municipal de João Pessoa pelos dados fornecidos.

REFERÊNCIAS

- ANJOS et al. Urbanização dispersa e a transformação da paisagem natural: estudo de caso sobre a dispersão urbana na bacia do rio Cuiá, na cidade de João Pessoa – PB, Brasil. **Geoambiente On-line**, n. 28, p. 127-141, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i28.45185>.
- ARISTIZABAL, F.; JUDGE, J.; HUERTERO, A. M. High-resolution inundation mapping for heterogeneous land covers with synthetic aperture radar and terrain data. **Remote Sensing**, v. 12, n. 6, p. 900, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12060900>.
- AON. **Weather, Climate & Catastrophe Insight – 2023 Anual Report**. 115 p., 2023.
- CARVALHO, A. C. P.; PEJON, O. J.; COLLARES, E. G. Integration of morphometric attributes and the HAND model for the identification of Flood-Prone Area. **Environmental Earth Sciences**. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09058-4>.
- GOERL, R. F.; MICHEL, G. P.; KOBAYAMA, M. Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação com o modelo HAND e a análise do seu desempenho em diferentes resoluções espaciais. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 69, v. 1, p. 61-69, 2017.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. João Pessoa – PB. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/joao-pessoa/panorama>>. Acesso em: Jul. 2020.
- IWAHASHI, J.; YAMAZAKI, D.; NAKANO, T.; ENDO, R. Classification of topography for ground vulnerability assessment of alluvial plains and mountains of Japan using 30 m DEM. **Progress in Earth and Planetary Science**, v. 8, p. 1-23, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00398-0>.
- KOMOLAFE, A. A. Integrated methodology for urban flood inundation modeling: a case study of Ichinomiya River Basin, Japan. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 8, n. 2, p. 2001-2010. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40808-021-01204-6>.

KOMOLAFE, A. A.; OLORUNFEMI, I. E.; AKINLUYI, F. O.; ADEYEMI, M. A.; AJAYI, J. A. Enhanced flood hazard modelling using hydraulic, analytical hierarchical process and height above nearest drainage models in Ogunpa river basin, Ibadan, Southwestern Nigeria. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 7, p. 967-981, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40808-020-01037-9>.

LEAL, T. S. **Análise da suscetibilidade à inundação na bacia hidrográfica do rio João Mendes, Niterói- RJ: planejamento e gestão das águas em áreas urbanas**. 2018. 140f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

LI, Z.; MOUNT, J.; DEMIR, I. Accounting for uncertainty in real-time flood inundation mapping using HAND model: Iowa case study. **Natural Hazards**, v. 112, n. 1, p. 977-1004, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05215-z>.

MANFREDA, S.; DI LEO, M.; SOLE, A. Detection of flood-prone areas using digital elevation models. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 16, p. 781-790, 2011. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000367](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000367)

McGRATH et al. A comparison of simplified conceptual models for rapid web-based flood inundation mapping. **Nat Hazards**, v. 93, p. 905-920, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3331-y>.

MENGUE et al. Análise da expansão urbana em áreas suscetíveis à inundação utilizando o modelo HAND: o caso da Região Metropolitana de Porto Alegre, Brasil. **Geografia e Ordenamento do Território**, v. 12, p. 231-253, 2017. DOI: [dx.doi.org/10.17127/got/2017.12.010](https://doi.org/10.17127/got/2017.12.010).

MOURA et al. Desastres hidrometeorológicos na região Nordeste do Brasil: distribuição espaço-temporal dos reconhecimentos de Estado de Calamidade Pública. **Caderno de Geografia**, v. 26, n. 2, p. 259-271, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2016v26nesp2p259>.

MUIS et al. Flood risk and adaptation strategies under climate change and urban expansion: A probabilistic analysis using global data. **Science of the Total Environment**, v. 538, p. 445-457, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.068>.

NOBRE, C. A. **Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: região metropolitana de São Paulo: relatório final** / Carlos A. Nobre, coordenador. – São José dos Campos, SP: INPE, 2011.

OCHA - UNITED NATIONS OFFICE FOR THE COORDINATION OF HUMANITARIAN AFFAIRS. **Latin America and the Caribbean: Natural Disasters 2000-2019**. OCHA Report. 2020.

PARAÍBA. Prefeitura Municipal de João Pessoa. Plano Municipal de Saneamento Básico de João Pessoa – PMSB-JP. **Semanário Oficial**. Nº 1509 (Especial). João Pessoa, 2015.

QGIS. **QGIS Geographic Information System**. Versão 3.4.10 Disponível em <<http://qgis.osgeo.org>>. Acesso em: Jul. 2020.

RAHMATI et al. Development of an automated GIS tool for reproducing the HAND terrain model. **Environmental Modelling & Software**, v. 102, p. 1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.01.004>.

REIS et al. Avaliação do desempenho do Índice de Sustentabilidade pelo Dashboard Sustainability nas Bacias Hidrográficas dos rios Jaguaribe, Cabelo e Cuiá na cidade de João Pessoa (PB). **Gaia Scientia**, v. 11, n. 2, p. 177-202, 2017. DOI: [10.21707/gsv11.n02a013](https://doi.org/10.21707/gsv11.n02a013).

RENNÓ, C. D et al. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: mapping terra firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 9, p. 3469-3481, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.03.018>.

SILVA, A. L. et al. Avaliação da precipitação do município de João Pessoa-PB. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 7, p. 123-136, 2017.

SOUSA, C. A. F. **Impactos ambientais negativos provenientes do Urban Sprawl sobre a bacia hidrográfica do rio Gramame, no município de João Pessoa, PB, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

TECHNUM CONSULTORIA SS - **Relatório do Diagnóstico Consolidado dos Assentamentos Urbanos Irregulares localizados em João Pessoa e definidos como ZEIS no Plano Diretor do Município, de 1992**. João Pessoa – PB, 2007

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TerraViewHidro 0.4.4**. São José dos Campos: INPE, 2013. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/terraview>>. Acesso em: Jul. 2020.

IPCC - The Intergovernmental Panel on Climate Change. **Global warming of 1.5 °C**. Geneva, Switzerland: IPCC, 2018. Disponível em, <https://www.ipcc.ch/sr15/>. Acesso em, Jun. 2023.

UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Paraíba**. Florianópolis: UFSC/CEPED, 2011.

UNISDR - The United Nations Office for Disaster Risk Reduction. **Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 - 2030**. 1st ed. Genebra: United Nations, 2015.

UNITED NATIONS. **The Sustainable Development Goals report 2019**. New York, 2019. e-ISBN: 978-92-1-047887-8.

Recebido em: 10/07/2023

Aceito para publicação em: 23/10/2023