

# **MAPEAMENTO DA SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE JABOATÃO DOS GUARARAPES (PE) A PARTIR DO MODELO HAND E MDT DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL**

## **Mapping of flood susceptibility in Jaboatão dos Guararapes (Pernambuco), with the HAND model and high-resolution DEM**

Lucas de Siqueira Santos  
Universidade Federal de Pernambuco

### **RESUMO**

Os estudos de mapeamento de suscetibilidade representam uma ferramenta valiosa na prevenção e mitigação de desastres naturais. As inundações são o tipo de desastre mais comum da América Latina, e o município de Jaboatão dos Guararapes (JG), em Pernambuco, tendo uma configuração geográfica propícia à ocorrência desses desastres, ocupa o sexto lugar no ranking dos municípios brasileiros com maior parcela da população vivendo em áreas de risco, segundo o IBGE. Diante do exposto, o presente artigo apresenta um mapeamento da suscetibilidade à inundação no município de JG a partir da construção do modelo Height Above the Nearest Drainage (HAND), utilizando como entrada um modelo digital de terreno (MDT) com resolução espacial de 1 metro, obtido através do programa Pernambuco Tridimensional (PE3D), que utiliza sensores LIDAR (Light Detection and Ranging) para extrair dados topográficos do estado com alto detalhe. Para reclassificar os valores do modelo HAND de acordo com os níveis de suscetibilidade, foram utilizados dados históricos de ocorrência de alagamento registrados pela Defesa Civil de JG entre 2005 e 2020. Para validar o modelo, foram usados registros de alagamento referentes às chuvas de maio e junho de 2022, contabilizando os pontos que ocorreram em cada nível de suscetibilidade. Dos 6001 pontos de alagamento registrados no período mais recente, o modelo contabilizou 436 alagamentos nas áreas indicadas como baixa suscetibilidade, 1.194 nas áreas de média, e 3.888 nas áreas altamente suscetíveis. 483 pontos tiveram valores nulos, pois ficaram fora da área calculada pelo modelo. Com base nos dados históricos e recentes, foram indicados os bairros de Muribeca e Cajueiro Seco como os mais afetados do município. Os resultados mostram que o modelo HAND pode indicar bem as áreas mais suscetíveis a inundação.

**Palavras-chave:** desastres naturais; inundações; suscetibilidade; modelo HAND

### **ABSTRACT**

The studies on susceptibility mapping are a valuable tool in the prevention and mitigation of natural disasters. Floods are the most common type of natural disasters in Latin America and the city of Jaboatão dos Guararapes (JG), in Pernambuco, having a geographic setting prone to the occurrence of these disasters, ranks sixth in the cities that have the largest share of its population living in risk areas, according to IBGE. In view of the above, the present paper presents a mapping of the susceptibility to floods in JG based on the Height Above the Nearest Drainage (HAND) model, using as input a digital elevation model (DEM) with spatial resolution of 1 meter, obtained from the Pernambuco Tridimensional (PE3D) program, which

uses LIDAR sensors (Light Detection and Ranging) to extract the state's topographic data with high detail. In order to reclassify the values of the HAND model according to the levels of susceptibility, historical data were used regarding the occurrence of floods recorded by the municipality's Civil Defense between 2005 and 2020. To validate the model, flood records were used in relation to the rains of May and June 2022, counting the points that occurred in each level of susceptibility. From the 6,001 points recorded in the recent period, the model counted 436 floods in the areas indicated by the model as less susceptible, 1,194 in areas of medium susceptibility, and 3,888 in highly susceptible areas. 483 points had null values because they were out of the area calculated by the model. Based on the historical and recent data, the neighborhoods of Muribeca and Cajueiro Seco were indicated as the most affected in the municipality. The results show that the HAND model is able to identify well the areas that are most susceptible to floods

**Keywords:** natural disasters; floods; susceptibility; HAND model

## 1 INTRODUÇÃO

As inundações representam grande ameaça às populações que residem em áreas caracteristicamente urbanas e próximas à rede de drenagem. Sua relevância é maior em regiões como a América Latina, onde os padrões climáticos favorecem a ocorrência de desastres hidrometeorológicos, e as inundações representam 45,5% dos desastres naturais ocorridos nos últimos 22 anos (EM-DAT, 2022). Apesar de serem um fenômeno natural, as inundações podem ser consideradas como desastres quando interagem com condições de vulnerabilidade, e provocam séria interrupção no funcionamento de uma comunidade (UNDRR, 2022). A ocorrência de inundações nos últimos anos e as previsões futuras para a intensificação de sua frequência devido às mudanças climáticas levou a Organização das Nações Unidas (ONU) a destacar, na Agenda 2030, a redução do número de pessoas afetadas por desastres relacionados à água como uma das metas para a construção de cidades mais resilientes, um dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2015).

Para que os efeitos adversos provocados pelas inundações nas comunidades sejam reduzidos, o poder público pode lançar mão de medidas estruturais e não-estruturais. As estruturais dizem respeito às ações que alteram a estrutura do sistema fluvial, como obras de canalização e/ou construção de reservatórios a fim de controlar a vazão do canal. Já as medidas não-estruturais envolvem uma série de ações que visam à prevenção de efeitos adversos por meio da atuação dos poderes executivo e legislativo nas comunidades. Entre as medidas não-estruturais, cita-se o mapeamento da suscetibilidade, ou seja, o reconhecimento das áreas mais propícias à ocorrência do fenômeno a fim de estabelecer quais as melhores medidas cabíveis para evitar a ocorrência do desastre ou mitigar seus efeitos.

A suscetibilidade é um dos fatores chave no estudo dos desastres naturais. O uso do termo suscetibilidade é bastante diverso na literatura, com significados diferentes, levando em consideração diversas perspectivas, dependendo da ciência que a estuda (Monte et al. 2020). Pode ser entendida como o conjunto de características físicas que favorecem a ocorrência do desastre. Dessa forma, mapear as áreas cujos atributos físicos podem levar à ocorrência de uma inundação torna-se um trabalho que demanda uma visão integrada do espaço, considerando aspectos naturais e antrópicos.

Existem diversas formas de mapear a suscetibilidade de um terreno à ocorrência de inundações, dependendo de quais parâmetros são analisados. Tucci

(2001) apresenta fatores condicionantes naturais e artificiais que tornam uma determinada área mais propícia à ocorrência do fenômeno. O primeiro tipo é exemplificado pelo relevo, precipitação, cobertura vegetal e capacidade de drenagem; e o segundo, obras hidráulicas, urbanização, desmatamento, reflorestamento e uso agrícola. Na ocorrência de uma inundação, sua interação com quaisquer desses condicionantes pode agravar severamente seus efeitos.

Para dividir uma área em níveis de suscetibilidade, é necessária a modelagem do terreno de acordo com os aspectos que condicionam a ocorrência do desastre. Encontra-se, na literatura, uma série de modelos distintos usados para prever inundações. Nkwunonwo et al. (2020) dividiram esses modelos em categorias que levam em consideração a extensão espacial, a dimensionalidade e a complexidade matemática do processo de modelagem. Tewari et al. (2021) optaram por separar esses modelos entre aqueles que utilizam uma abordagem de aprendizagem de máquina e os que utilizam sistemas de informação geográfica (SIGs). Já Munawar et al. (2022) separaram os modelos de previsão de inundação em 3 domínios principais: modelagem hidrológica, modelagem numérica, e aprendizagem de máquina. Essa diversidade encontrada na segmentação dos tipos de modelagem dialoga com a heterogeneidade da superfície terrestre, mostrando que há diferentes modos de enxergar os processos hidrodinâmicos que levam à ocorrência de uma inundação. Assim sendo, a modelagem de inundações é uma tarefa complexa, apresentando inúmeras incertezas diante da imprevisibilidade do desastre natural (Munawar et al. 2022).

Diante da complexidade e diversidade dos modelos de previsão de inundações, a qualidade dos parâmetros de entrada acaba se tornando um aspecto crucial para determinar a precisão de cada modelo. Como afirmam Muhadi et al. (2020), a informação topográfica detalhada é um parâmetro de entrada crucial para a modelagem e monitoramento de inundações, mas no contexto de países em desenvolvimento, muitas vezes sua disponibilidade é limitada (Nkwunonwo et al. 2020). Entre as formas de obtenção de dados topográficos de alta resolução, destaca-se a tecnologia de detecção de luz e alcance (LiDAR, do inglês *light detection and ranging*), que é conhecida por sua capacidade de gerar modelos digitais de terreno (MDTs) de alta resolução, e assim contribuir para a melhoria dos dados de entrada de modelos de inundação, resultando numa maior acurácia dos resultados obtidos por essas modelagens (Muhadi et al. 2020).

Dentre os modelos de inundação, o modelo *Height Above the Nearest Drainage* (HAND) é conhecido por ter um bom desempenho quando usado em conjunto com um MDT de alta resolução espacial (Momo et al. 2016; Goerl, Michel e Kobiyama, 2017). O seu uso na determinação da suscetibilidade de uma área à ocorrência de inundações é facilmente encontrado na literatura (Momo et al. 2016; Milanesi, Quadros e Lahm, 2017; Goerl, Michel e Kobiyama, 2017; Dantas e Canil, 2017; Martins e Ribas, 2021). Foi apresentado por Rennó et al. (2008) e posteriormente por Nobre et al. (2011), e tem como principal dado de entrada informações topográficas da área de estudo. É um modelo em que cada pixel da matriz representa a distância vertical até o ponto mais próximo da rede de drenagem.

Diante do exposto, esse trabalho consiste na aplicação do modelo HAND, com uso de um MDT de 1 metro de resolução espacial, obtido através do programa Pernambuco Tridimensional (PE3D), do Governo do Estado de Pernambuco, para o município de Jaboatão dos Guararapes (JG). Ressalta-se que o uso de um MDT por si só não descreve a totalidade de um terreno urbanizado, visto que, ao contrário de

um modelo digital de superfície (MDS), o modelo não detecta infraestruturas urbanas. Sendo assim, a reclassificação dos valores do HAND para faixas de suscetibilidade se deu a partir da ocorrência de dados pontuais de alagamentos, registrados pela Defesa Civil do município em áreas urbanas, para que, dessa maneira, fossem tornados presentes, na definição das faixas de suscetibilidade, tanto aspectos naturais (relevo) quanto antrópicos (urbanização).

A escolha do município se deu pelo fato de ser uma área comumente afetada pela ocorrência de desastres hidrometeorológicos. Em 2018, JG ocupou o sexto lugar no ranking de municípios brasileiros com maior parcela da população vivendo em áreas de risco, com 29,2% (IBGE, 2018), o que justifica a necessidade de pesquisar a suscetibilidade à ocorrência de inundações nessa localidade. As pesquisas que abordam a problemática dos desastres hidrometeorológicos em JG possuem enfoque na perspectiva climática, e não na ocorrência de inundações, sendo estas apenas mencionadas como uma das consequências de eventos extremos. Neto et al. (2021) aplicaram a metodologia AHP (Analytic Hierarchy Process) para o mapeamento de suscetibilidade a inundação na bacia hidrográfica do rio Jaboatão, o que exclui do trabalho as zonas de JG pertencentes a outras bacias, como as de Pirapama e Tejipló. França et al. (2016) analisaram as áreas inundáveis nos bairros de Barra de Jangada, Guararapes e Marcos Freire, a partir de observações em campo, de modo que os outros bairros do município não foram analisados. Uma das vantagens de se utilizar dados extraídos com tecnologias de sensoriamento remoto é a realização do mapeamento para uma extensão maior, sem a necessidade de coleta de dados em campo.

O trabalho mais completo – e usado como referência para comparar os resultados desta pesquisa – foi o da CPRM, 2014. O Serviço Geológico do Brasil criou uma carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação, na escala de 1:25.000, do município de JG. Os autores cruzaram o modelo HAND com índices morfométricos para definirem as áreas de maior suscetibilidade a inundações no município (CPRM, 2014).

Dessa maneira, a presente pesquisa busca fazer uma análise atual da suscetibilidade a inundações em Jaboatão dos Guararapes em toda a totalidade de seu território, e por utilizar um MDT gerado por imagens LiDAR, se espera que o modelo tenha uma boa acurácia.

## **2 METODOLOGIA**

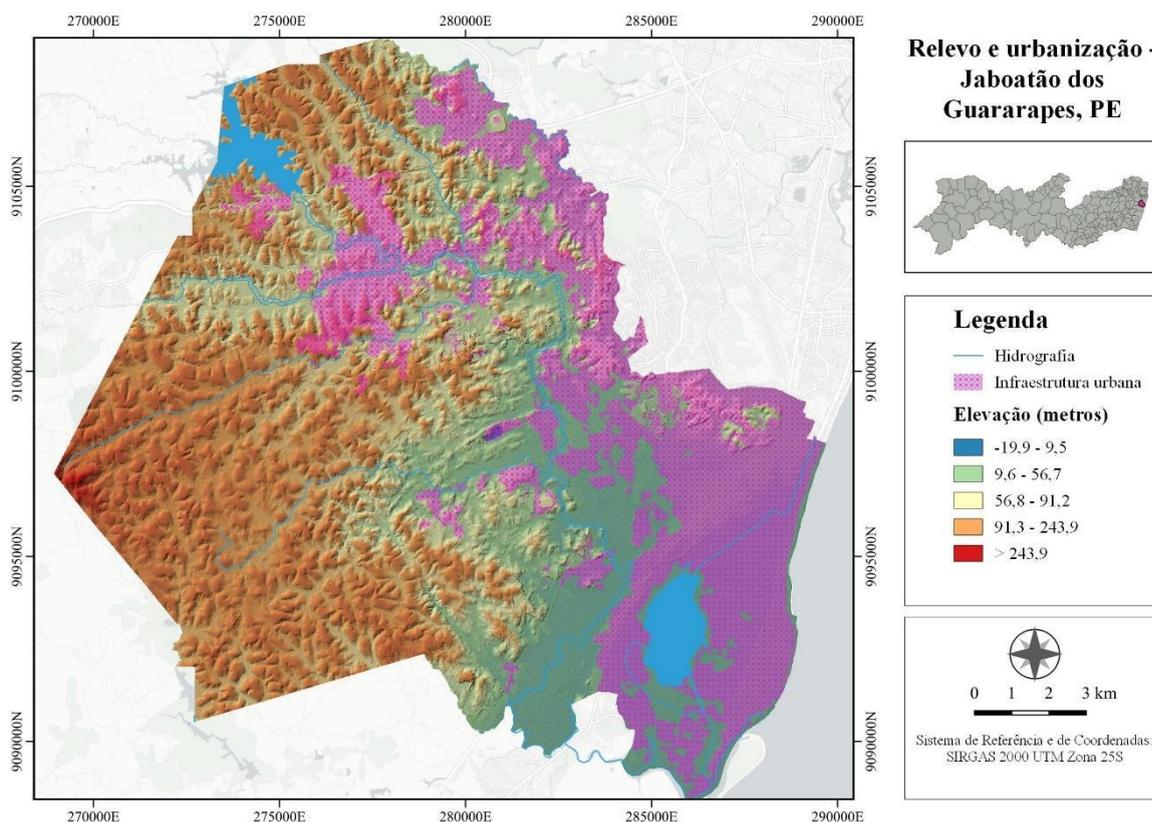
### **2.1 Área de estudo**

A área pesquisada compreende o município de Jaboatão dos Guararapes (JG), localizado na porção centro-leste da RMR. Possui uma extensão territorial de 258.724 km<sup>2</sup>, e na estimativa populacional mais recente (2021) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), possuía 711.330 habitantes. Seu clima segundo a classificação climática de Köppen-Geiger é o Aw, tendo níveis maiores de precipitação entre os meses de abril e julho (Climate Data, 2022).

Em relação à hidrografia, o rio Jaboatão é o principal curso d'água, que tem sua foz no Oceano Atlântico e o rio Duas Unas como principal afluente (CPRM, 1997). A rede de drenagem do município é composta por 3 grandes bacias: a do rio Jaboatão, rio Pirapama e rio Tejipló, sendo as duas últimas mais associadas aos municípios do Cabo de Santo Agostinho e Recife, respectivamente, enquanto a primeira é de maior importância para o abastecimento de água da cidade.

Em relação à ocupação urbana, como demonstra a figura 1, o município possui uma mancha urbana que se estende da região leste, próxima ao litoral – região caracterizada também por uma baixa variação altimétrica – e avança no município no sentido norte-noroeste – com alta variação topográfica e vulnerabilidade socioeconômica.

Figura 1 – Jaboatão dos Guararapes, com destaque ao relevo, infraestrutura urbana e hidrografia.  
Fonte: autor (2022)



Fonte: autor (2022)

## 2.2 Procedimentos metodológicos

### 2.2.1. Dados de entrada

O parâmetro de entrada do modelo HAND é um modelo digital de terreno, cuja resolução espacial é um fator determinante na qualidade do HAND. O MDT utilizado nesse trabalho foi adquirido através do projeto Pernambuco Tridimensional. O PE3D é um projeto do Governo do Estado de Pernambuco, que mapeia o território estadual com emissão de pulsos de luz (LiDAR). O uso de MDTs gerados a partir de imageamento LiDAR para geração de modelos de inundações tem ganhado destaque internacional, e possui a capacidade de melhorar a acurácia dessas modelagens (Muhadi et al. 2020).

Foram adquiridos MDTs correspondentes a toda a Região Metropolitana do Recife. Por meio do software livre QGIS, em sua versão 3.16.10, os MDTs foram unidos por meio de mosaico, e o recorte do município foi feito após sobreposição com base vetorial adquirida através da Defesa Civil de Jaboatão dos Guararapes. Após esse recorte inicial, o MDT gerado, com 1 metro de resolução espacial, foi submetido à geração do modelo HAND.

### 2.2.2. Modelo HAND

O modelo HAND é um arquivo de tipo *raster*, gerado a partir de um MDT, cujo valor de cada pixel é representativo da distância vertical até o ponto mais próximo da rede de drenagem. A sua geração é precedida de 3 etapas, expressas na figura 2: (a) correção da topografia e determinação da direção do fluxo; (b) determinação do fluxo acumulado; (c) extração da rede de drenagem. Os resultados desses processamentos são unidos para gerar o modelo HAND. Todo o procedimento foi realizado através do software livre HAND Model, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

A primeira etapa (a) consiste em corrigir a topografia ao eliminar as depressões do terreno e determinar a direção do fluxo. A importância de eliminar as depressões do MDT reside no fato de que, considerando que o fluxo da água segue sempre em direção à célula vizinha de valor mais baixo, uma depressão representa o interrompimento do fluxo. Essas depressões, na maioria das vezes, são erros originados no processamento da imagem, e não são representativas do terreno real. Para fazer essa correção, foi aplicado o método *fill*, ideal para áreas de maior extensão (Nobre et al. 2019), que consiste em elevar o valor de uma célula baixa que provoca a descontinuidade da drenagem, até um valor que torne possível o prosseguimento do fluxo.

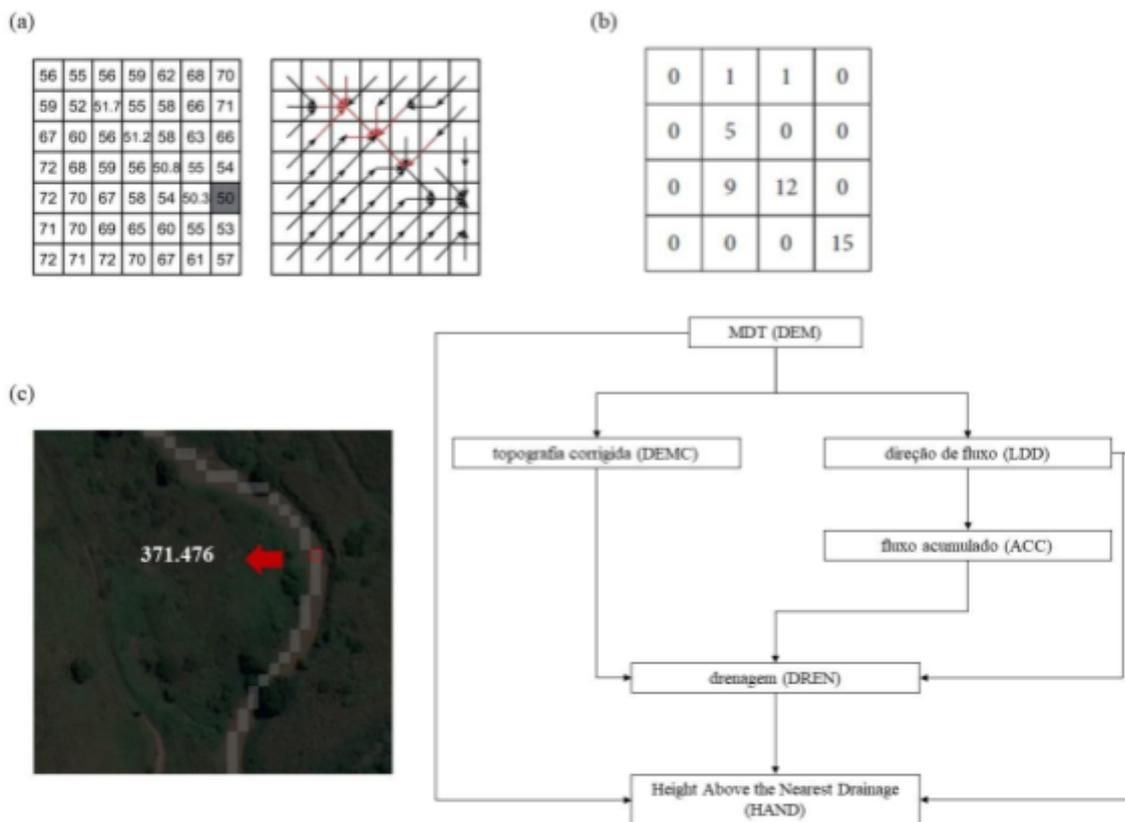
Com a topografia corrigida, é possível atribuir valores únicos para cada direção entre os 8 vizinhos mais próximos de cada célula (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO), possibilitando assim a definição da direção do fluxo. Dessa forma, essa etapa gera dois subprodutos: um MDT sem depressões (DEMC, ou *Digital Elevation Model Correction*), e outro indicativo da direção do fluxo (LDD, ou *Local Drain Direction*).

A segunda etapa (b) tem como entrada o arquivo LDD para calcular o fluxo acumulado (ACC, ou *Accumulated Flow*), onde cada pixel representa o número total de pixels que têm seu fluxo direcionado até ele. Esse dado é crucial para a próxima etapa, de extração de rede de drenagem.

A partir do fluxo acumulado, tem-se início à terceira e última etapa (c) antes da geração do HAND. Ao escolher um limiar mínimo de contribuição, ou seja, um valor em área ou pixels (nesse caso, utilizou-se o número de pixels) para que determinada parte do terreno seja considerada um canal, o software faz a delimitação da rede de drenagem. O valor escolhido nesse trabalho foi de 300.000 pixels. Dessa forma, todos os pixels que, no arquivo de fluxo acumulado, tivessem valor maior que 300.000, foram classificados como canal de drenagem. Wu et al. (2017) afirmam que a escolha do limiar mínimo deve ser feita à base de tentativa e erro, uma vez que a escolha depende fortemente das dimensões da área de estudo e da resolução dos arquivos de entrada. O valor de 300.000 pixels foi escolhido após aplicar transparência, em ambiente SIG, na camada de fluxo acumulado, e sobrepô-la a uma imagem de satélite do Google Earth, observando que o valor mínimo de fluxo acumulado de 300.000 pixels era o suficiente para cobrir a maior parte da drenagem principal do município. A saída desse processamento é o arquivo de rede de drenagem, ou DREN.

Por último, a partir de DEM, LDD e DREN, é calculada, para cada célula, a distância vertical até o ponto mais próximo da rede de drenagem, tendo como resultado o arquivo *Height Above the Nearest Drainage*, ou HAND.

Figura 2 – Processo de geração do modelo HAND



Fonte: adaptado de Nobre et al. (2011) e Wu et al. (2017)

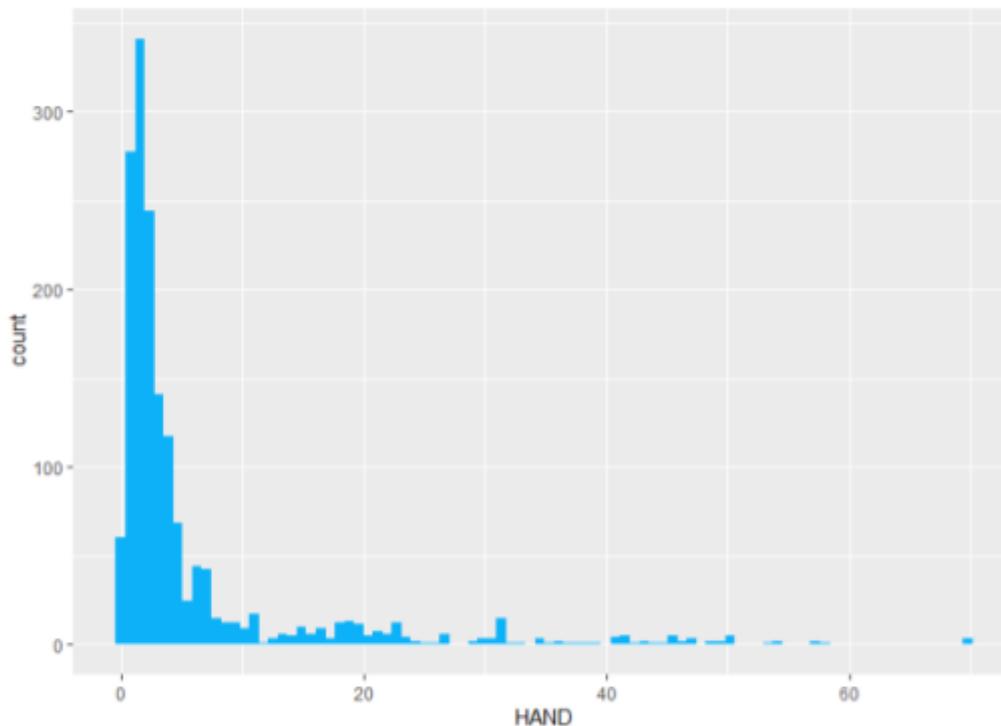
### 2.2.3. Reclassificação e determinação das faixas de suscetibilidade

Uma vez gerado o modelo HAND, o próximo passo foi a reclassificação de seus valores para que fossem representativos do grau de suscetibilidade à ocorrência de inundações. Essa reclassificação foi feita a partir de dados pontuais adquiridos com a Defesa Civil do município de JG, referentes aos registros de alagamento entre os anos de 2005 e 2020. Os dados foram recebidos em formato de planilha Microsoft Excel. Primeiramente, foi feita limpeza dos dados, visto que muitos constavam coordenadas incorretas ou em localidades que não pertenciam ao município de JG, como em Recife e Cabo de Santo Agostinho. Além disso, algumas ocorrências não podiam ser georreferenciadas, pois faltavam informações no campo de endereço.

Uma vez que a limpeza dos dados foi realizada, os pontos restantes foram geocodificados, transformados em arquivo vetorial de pontos e sobrepostos ao modelo HAND. A seguir, foram extraídos os valores HAND correspondentes a cada ponto de ocorrência. A distribuição de frequência dos pontos ao longo dos valores HAND observados é mostrada no gráfico representado na figura 3. Observa-se que a maior concentração de pontos de alagamento encontra-se nos valores mais baixos do modelo. Por conta dessa distribuição, as faixas de suscetibilidade foram determinadas com base no que mostra a tabela 1, com valores HAND mais baixos sendo considerados mais suscetíveis.

A sobreposição de um dado topográfico com dados de alagamento permite incluir tanto aspectos naturais quanto artificiais na determinação de faixas de suscetibilidade.

Figura 3 – Histograma das ocorrências de alagamento por faixa de valor HAND



Fonte: autor (2022)

Tabela 1 – Faixas de suscetibilidade

Valores HAND	Ocorrência (%)	Suscetibilidade
0 – 4	67,3	Alta
4 – 24	23,7	Média
> 24	5,1	Baixa
Nulo	3,8	-

Fonte: autor (2022)

### 2.2.3 Validação do modelo

Para observar o desempenho do modelo, foi realizado o mesmo processo da etapa anterior, porém com banco de dados referentes às chuvas de maio e junho de 2022. Essa base de dados do período mais recente foi limpa, tendo seus endereços geocodificados e transformados em dados pontuais em ambiente SIG. Ao sobrepor a camada de pontos com o modelo HAND reclassificado gerado na etapa anterior, contou-se quantos pontos ocorreram em cada faixa de suscetibilidade.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período histórico (2005 – 2020), o bairro mais afetado pelos alagamentos foi o de Muribeca, agrupando 22,2% das ocorrências. Os anos de 2013 e 2014 concentraram 51% das ocorrências, mostrando uma distribuição desigual dos eventos, o que indica a influência de eventos extremos na ocorrência dos desastres,

justificando assim o grande número de pesquisas sobre a climatologia dos eventos extremos na literatura. Nesse intervalo, foram registrados 1688 pontos de alagamento no município.

Já no período mais recente (maio e junho de 2022), foram registrados 6001 pontos. Considerando que a atividade de registro de alagamentos se manteve constante nos anos analisados, a quantidade desproporcional de alagamentos registrados no período mais recente mostra o quão impactantes foram as chuvas de maio/junho de 2022. A tabela 2 mostra o representativo percentual das ocorrências nos 5 bairros mais afetados para os dois períodos analisados.

Tabela 2 – Representativo percentual das ocorrências de alagamento nos 5 bairros mais afetados por alagamento

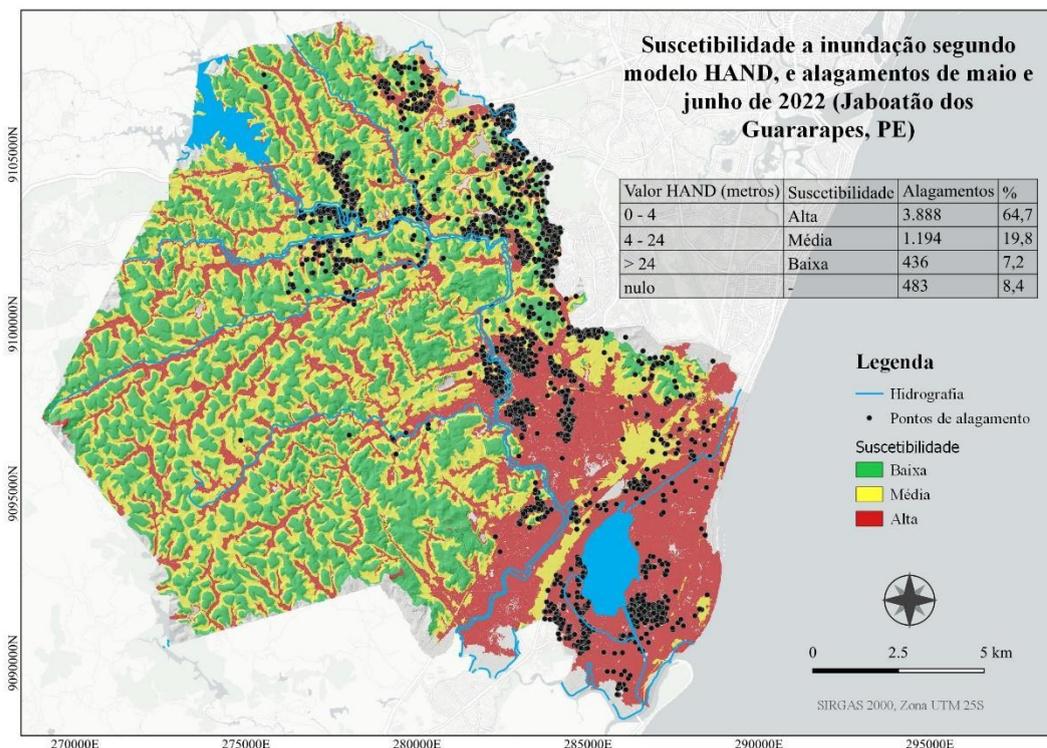
2005 – 2020		maio e junho de 2022	
Bairro	Alagamentos (%)	Bairro	Alagamentos (%)
Muribeca	22,2	Cajueiro Seco	14,8
Zumbi do Pacheco	11	Muribeca	12,9
Barra de Jangada	11	Marcos Freire	10,3
Cajueiro Seco	7,3	Barra de Jangada	10,2
Vila Rica	6,8	Cavaleiro	9,2

Fonte: autores, dados de alagamento da Defesa Civil de Jaboatão dos Guararapes

No período mais recente, as fortes chuvas resultaram numa distribuição de alagamentos mais homogênea ao longo do município, enquanto no período histórico, há uma concentração de alagamentos no bairro de Muribeca, mostrando uma suscetibilidade maior nessa localidade.

No tocante às ocorrências por faixa de suscetibilidade, o modelo apresentou a distribuição expressa na tabela da figura 4.

Figura 4 – Modelo HAND reclassificado e distribuição de ocorrência de alagamentos

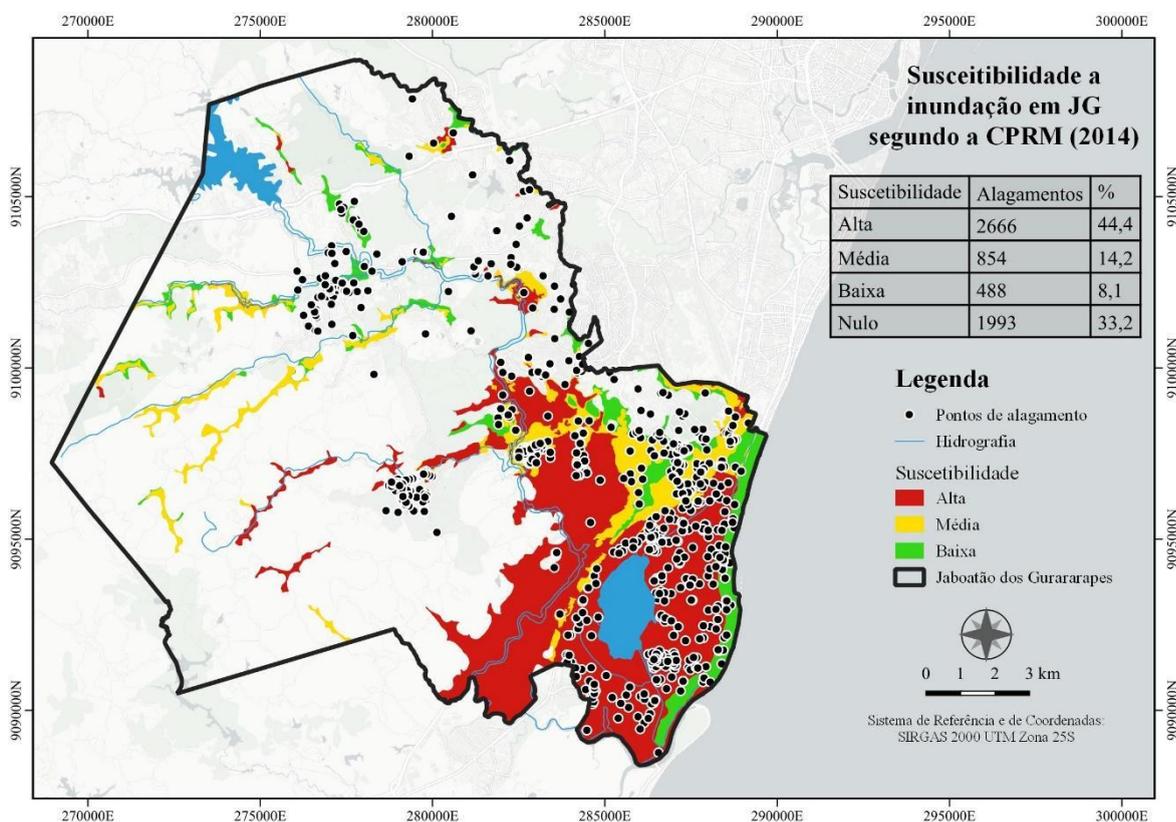


Fonte: autor (2022)

Observa-se que o modelo indicou zonas de alta suscetibilidade na zona rural do município, ainda que não tenham sido registrados alagamentos nestas áreas. Isso se dá porque o modelo não tem como entrada aspectos de infraestrutura urbana. Entretanto, percebe-se que a distribuição dos pontos se deu ao longo da mancha urbana do município. Isso porque os alagamentos são característicos de ambientes urbanos, onde a cobertura vegetal é escassa e o escoamento superficial é elevado, além de serem registros derivados de ligações ou registro de ocorrências dos próprios moradores. A zona de alta suscetibilidade localizada na área rural, porém, indica as áreas em que devem ser evitadas novas ocupações.

Ao comparar os resultados dessa pesquisa com o trabalho realizado pela CPRM em 2014, observa-se que o primeiro apresentou uma maior área de alta suscetibilidade do que o segundo. A classificação da CPRM apresentou uma distribuição desigual de pontos de alagamento registrados pela Defesa Civil de JG, como expresso no mapa da figura 5.

Figura 5 – Modelo HAND reclassificado e distribuição de ocorrência de alagamentos



Fonte: adaptado de CPRM (2014)

A diferença entre os resultados do órgão público com a presente pesquisa pode se dar por uma 3 fatores. Primeiro: a reclassificação dos valores HAND no trabalho da CPRM se deu com base nas diferenciações de feições geomorfológicas, enquanto a reclassificação usada aqui se deu a partir de registros históricos de ocorrência. Segundo: o trabalho da CPRM não leva em conta aspectos de infraestrutura urbana, enquanto neste trabalho, apesar de a infraestrutura urbana não ser um parâmetro de entrada para o modelo HAND, é um aspecto importante na definição de faixas de suscetibilidade (uma vez que só se registra alagamento em áreas urbanas. E terceiro: o mapeamento da CPRM utilizou imagens por detecção de ondas de rádio e alcance, ou RADAR (do inglês *radio detection and ranging*), com

resolução espacial de 2,5 metros, enquanto a resolução espacial da pesquisa aqui apresentada foi de 1 metro. Essa hipótese, entretanto, é menos provável de explicar a maior quantidade de pontos contemplados pelas faixas de suscetibilidade aqui apresentadas, uma vez que, como destacam Goerl, Michel e Kobiyama. (2017), a acurácia do modelo HAND é menos sensível a pequenas diferenças de resolução espacial, e mais sensível à escolha do limiar mínimo utilizado para extrair a rede de drenagem.

O trabalho de Neto, Barbosa e Silva (2021), que mapeou a suscetibilidade a inundação na bacia do rio Jaboatão, definiu que a declividade como parâmetro mais importante dentro de declividade, uso do solo, pedologia e hipsometria, na definição das áreas mais suscetíveis, resultado que levou a região costeira do município como a mais suscetível. A presente pesquisa traz também os bairros costeiros como mais suscetíveis, mas dá mais destaque às áreas com intensa infraestrutura urbana, ainda que no interior do município, longe da zona litorânea. Dessa forma, destaca-se a importância do aspecto antrópico no aumento da suscetibilidade a inundação. Assim, os resultados apresentados na presente pesquisa podem ser utilizados na elaboração ou atualização de planos diretores e em outras políticas públicas de ordenamento territorial, a fim de evitar danos e perdas como as que aconteceram em maio de 2022.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Considerando que os valores apresentados representam dados de um dos períodos mais chuvosos da história da área de estudo, considera-se que o modelo HAND apresentou resultados satisfatórios ao agrupar um número de alagamentos condizente com o nível de suscetibilidade em cada faixa do modelo. A análise dos dados históricos, necessária para reclassificar os valores HAND de acordo com os níveis de suscetibilidade, permitiu observar a alta suscetibilidade das localidades com maior grau de ocupação urbana, como os bairros de Muribeca e Cajueiro Seco. A pesquisa pode ser replicada para outras áreas urbanas do Brasil que possuem disponibilidade de MDT com alta resolução espacial. Sugere-se a adição de etapas de análise sobre o comportamento da suscetibilidade diante da dinâmica urbana, para que o impacto desse condicionante na suscetibilidade ao desastre natural possa ser quantificado e mais bem compreendido. Também se sugere a utilização de manchas de inundação como forma de validar a acurácia do modelo construído.

#### **REFERÊNCIAS**

CHARLTON, Ro. Fundamentals of Fluvial Geomorphology. 1. ed. Oxford-shire, UK: Routledge, 2008. ISBN 0-203-37108-9, p. 30

CLIMATE-DATA. Clima Jaboatão dos Guararapes. 2022. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/pernambuco/jaboatao-dos-guararapes-33800/>. Acesso em: 28 de outubro de 2022

CPRM. Atlas do Meio Físico de Jaboatão dos Guararapes. Governo do Estado de Pernambuco, PE. 1997

CPRM. Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações - 1:25.000, nota técnica explicativa. Governo do Estado de São Paulo, SP. 2014.

DANTAS, C. G.; CANIL, K. Identificação e mapeamento de áreas suscetíveis a inundação na bacia do Aricanduva – SP utilizando o algoritmo descritor de terreno HAND. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada/I Congresso Nacional de Geografia Física, vol. 1, jun./jul. 2017

EM-DAT. Desastres naturais em países latino-americanos (2000-2022). CRED/UCLouvain, Brussels, Belgium. Acesso em: 10 de out. de 2022

FRANÇA, R. S.; GIRÃO, O.; MI-RANDA, M. R. B.; RAFAEL, L. M. Identificação de áreas inundáveis no município de Jaboatão dos Guararapes, Região Metropolitana do Recife, PE. Revista OKARA: Geografia em debate. V. 10, n. p. 3-22, 2016

GOERL, R. F.; MICHEL, G. P.; KO-BIYAMA, M. Mapeamento de áreas susceptíveis a inundação com o modelo HAND e análise do seu desempenho em diferentes resoluções espaciais. Revista Brasileira de Cartografia, [S. I.], v. 69, n. 1, pp. 61-69, abr. 2017

IBGE. População em Áreas de Risco no Brasil. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/apps/populacaoareasderisco/> > Acesso em: 23 abril 2020

IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, p. 31

LITWIN, D. HeightAboveDrainageCalculator: Calculate height above nearest drainage. Landlab. Acesso em: 20 de outubro de 2022. Disponível em: [https://landlab.readthedocs.io/en/master/reference/components/hand\\_calculator.html](https://landlab.readthedocs.io/en/master/reference/components/hand_calculator.html)

MARTINS, M. O.; RIBAS, R. P. Identificação de áreas de suscetibilidade à inundação no sistema hidrográfico do Rio Tavares em Florianópolis – SC. Geosul v. 36 n. 79, ago. 2021

MARTINSEN, K. T. Height above nearest drainage map for Denmark. Detainwater. Acesso em: 10 de julho de 2022. Disponível em: [https://www.datainwater.com/post/hand\\_dk/](https://www.datainwater.com/post/hand_dk/).

MILANESI, J.; QUADROS, E. L. L. de; LAHM, R. A. Utilização do modelo HAND no reconhecimento dos terrenos sujeitos a inundação - Porto Alegre/RS. Revista Brasileira de Cartografia, [S. I.], v. 69, n. 4, pp. 675-686, abr. 2017

MOMO, M. R.; PINHEIRO, A.; SE-VERO, D. L.; CUARTAS, L. A.; NOBRE, A. D. Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 200-208, jan./mar. 2016

MONTE, B. E. O.; GOLDENFUM, J. A.; MICHEL, G.P.; CAVALCANTI, J.R. A. Terminology of natural hazards and disasters: A review and the case of Brazil, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101970>. 2021

MUHADI, N.A.; ABDULLAH, A.F.; BEJO, S.K.; MAHADI, M.R.; MIJIC, A. The Use of LiDAR-Derived DEM in Flood Applications: A Review. *Remote Sens.* 2020, 12, 2308. <https://doi.org/10.3390/rs12142308>

MUNAWAR, H.S.; HAMMAD, A.W.A.; WALLER, S.T. Remote Sensing Methods for Flood Prediction: A Review. *Sensors* 2022, 22, 960. <https://doi.org/10.3390/s22030960>

NETO, A. G. P.; BARBOSA, I. M. B. R.; SILVA, S. R. Mapeamento das áreas de risco de inundação da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, em Pernambuco, utilizando o método AHP (Analytic Hierarchy Process). IX Encontro de Sustentabilidade em Projeto, [s. l.], 2021

NKWUNONWO, U. C.; WHIT-WORTH, M., BAILY, B. A review of the current status of flood modelling for urban flood risk management in the de-eloping countries, *Scientific African*, Volume 7, 2020, e00269, ISSN 2468-2276, <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00269>.

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SANTIAGO, J.; SILVA, M.; AMORE, D. HAND Model: a new look over the landscape. 2019. Disponível em: <http://handmodel.ccst.inpe.br/>

NOBRE, A. D., CUARTAS, L. A.; HODNETT, M.; RENNÓ, C. D.; RO-DRIGUES, G.; SILVEIRA, A.; WA-TERLOO, M.; SALESKA, S. Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model. *Journal of Hydrology*, 404 (1-2), pp. 13-29, jun. 2011

ONU. General Assembly Resolution A/RES/70/1. Transforming Our World, the 2030 Agenda for Sustainable Development. 2015

TEWARI, A., KSHEMKALYANI, V., KUKREJA, H., MENON, P., THOM-AS, R. (2022). ML and GIS-Based Approaches to Flood Prediction: A Comparative Study. In: Tavares, J.M.R.S., Dutta, P., Dutta, S., Samanta, D. (eds) *Cyber Intelligence and Information Retrieval. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 291. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-4284-5\\_19](https://doi.org/10.1007/978-981-16-4284-5_19)

TUCCI, C. M. E. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 2. ed. Porto Alegre, RS: Editora da Universidade/UFRS, 2001. ISBN 85-7025-298-6

UNDDR. *Global Assessment Report on Disaster Risk. Our World at Risk: Transforming Governance for a Resilient Future*. United Nations, 2022.

WU, M.; SHI, P.; CHEN, A.; SHEN, C.; WANG, P. Impacts of DEM resolution and area threshold value uncertain-ty on the drain-age network derived using SWAT. *Water SA* Vol. 43 No. 3, jul. 2017

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho foi realizado graças à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), por meio do Programa de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC); ao Grupo de Estudos em Climatologia Tropical e Eventos Extremos (Tropoclima) e do Laboratório de Sensoriamento Remoto (SERGEO) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), por cederem seus espaços para a realização da presente pesquisa. Também deixo meu agradecimento a todos que, cada um à sua maneira, mais me ajudaram ao longo dos últimos 5 anos: Nilton, Sandra, Matheus, Nick, Julyana, Cristiana, Emile, Marcus, Mayara.