# Suscetibilidade a inundações na Sub-Bacia do Rio Fragoso (Olinda – Pernambuco): análise integrada com o modelo *Height Above the Nearest Drainage* (Hand) e dados domiciliares do Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Cnefe/IBGE)

*Flood susceptibility in the Fragoso River Sub-Basin (Olinda – Pernambuco): integrated analysis using the Height Above the Nearest Drainage (Hand) model and household data from the National Register of Addresses for Statistical Purposes of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (Cnefe/IBGE)*

*Susceptibilidad a inundaciones en la Subcuenca del Río Fragoso (Olinda - Pernambuco): análisis integrado utilizando el modelo de Altura Sobre el Drenaje Más Próximo (Hand) y datos de hogares del Registro Nacional de Direcciones para Fines Estadísticos del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (Cnefe/IBGE)*

Joana Gabrielly Carias do Nascimento[1]
Fabrizio de Luiz Rosito Listo[2]
Ligia Albuquerque de Alcântara Ferreira[3]

**Resumo**

Nascimento, J. G. C. Listo, F. L. R. Ferreira, L. A. A. Suscetibilidade a inundações na Sub-Bacia do Rio Fragoso (Olinda – Pernambuco): análise integrada com o modelo Height Above the Nearest Drainage (Hand) e dados domiciliares do Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Cnefe/IBGE). ***Rev. C&Trópico***, v. 49, n. 2, p. 355-378, 2025. Doi: 10.33148/ctrpico.v49i2.2660

As inundações urbanas constituem um dos principais riscos hidrometeorológicos em contextos costeiros, agravados pelas mudanças climáticas e pela expansão habitacional sobre áreas suscetíveis. Este artigo analisou a suscetibilidade a inundações na Sub-Bacia do Rio Fragoso, em Olinda, Região Metropolitana do Recife-PE, a partir da aplicação do modelo Hand *(Height Above the Nearest Drainage)* associado à análise socioambiental. Foram integrados dados altimétricos do PE3D, processados em ambiente SIG, e informações domiciliares do Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Cnefe/IBGE - 2022). Os resultados indicam que aproximadamente 75% da área apresenta suscetibilidade alta ou muito alta, com concentração nas porções leste e sudeste da sub-bacia. A sobreposição com os dados de ocupação revelou que mais de 75% das residências estão localizadas em setores críticos, com destaque para os bairros Jardim Atlântico, Ouro Preto, Casa Caiada e Fragoso. A construção de um índice sintético permitiu hierarquizar os bairros, demonstrando como a combinação entre suscetibilidade e adensamento populacional potencializa o risco. Esses achados reforçam a necessidade de políticas públicas que articulem

[1] Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). E-mail: joana.carias@ufpe.br. Orcid:https://orcid.org/0009-0003-0090-0842

[2] Mestre e doutor em Geografia Física pela Universidade de São Paulo (USP). Integrante permanente do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (PPGCGTG/Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). E-mail: fabrizio.listo@ufpe.br. Orcid:https://orcid.org/0000-0002-2664-1442

[3] Doutora em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Professora no Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE, é membro permanente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da UFPE. E-mail: ligia.alcantara@ufpe.br. Orcid: https://orcid.org/0000-0001-6117-2365

medidas estruturais e não estruturais, como ordenamento territorial, planejamento habitacional e sistemas de alerta precoce, contribuindo para a formulação de estratégias de adaptação urbana e justiça climática em territórios costeiros vulneráveis.
**Palavras-chave:** Risco hidrológico; Modelos matemáticos; Previsão; Planejamento territorial; Justiça climática.

**Abstract**

Nascimento, J. G. C. Listo, F. L. R. Ferreira, L. A. A. Flood susceptibility in the Fragoso River Sub-Basin (Olinda – Pernambuco): integrated analysis using the Height Above the Nearest Drainage (Hand) model and household data from the National Register of Addresses for Statistical Purposes of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (Cnefe/IBGE). ***Rev. C&Trópico***, v. 49, n. 2, p. 355-378, 2025. Doi: 10.33148/ctrpico.v49i2.2660

Urban flooding represents one of the main hydrometeorological risks in coastal contexts, exacerbated by climate change and housing expansion over susceptible areas. This study analyzes flood susceptibility in the Fragoso River Sub-Basin (Olinda, Metropolitan Region of Recife, Brazil) through the application of the Hand model (Height Above the Nearest Drainage) combined with socio-environmental analysis. Altimetric data from the PE3D project, processed in a GIS environment, were integrated with household information from National Address File for Statistical Purposes (Cnefe/IBGE - 2022). The results indicate that approximately 75% of the area presents high or very high susceptibility, with concentrations in the eastern and southeastern portions of the sub-basin. The overlap with housing data revealed that more than 75% of the residences are located in critical sectors, notably in the neighborhoods of Jardim Atlântico, Ouro Preto, Casa Caiada and Fragoso. The construction of a synthetic index allowed for the ranking of neighborhoods, demonstrating how the combination of susceptibility and population density increases risk. These findings reinforce the need for public policies that integrate structural and non-structural measures, such as land-use planning, housing management, and early warning systems, contributing to the development of urban adaptation strategies and climate justice in vulnerable coastal territories.
**Keywords:** Hydrological risk; Mathematical models; Forecasting; Territorial planning; Climate justice.

**Resumen**

Nascimento, J. G. C. Listo, F. L. R. Ferreira, L. A. A. Susceptibilidad a inundaciones en la Subcuenca del Río Fragoso (Olinda - Pernambuco): análisis integrado utilizando el modelo de Altura Sobre el Drenaje Más Próximo (Hand) y datos de hogares del Registro Nacional de Direcciones para Fines Estadísticos del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (Cnefe/IBGE). ***Rev. C&Trópico***, v. 49, n. 2, p. 355-378, 2025. Doi: 10.33148/ctrpico.v49i2.2660

Las inundaciones urbanas constituyen uno de los principales riesgos hidrometeorológicos en contextos costeros, agravadas por el cambio climático y la expansión habitacional sobre áreas susceptibles. Este estudio analiza la susceptibilidad a inundaciones en la Subcuenca del Río Fragoso (Olinda, Región Metropolitana de Recife, Brasil), a partir de la aplicación del modelo Hand (Height Above the Nearest Drainage) asociado al análisis socioambiental. Se integraron datos altimétricos del proyecto PE3D, procesados en un entorno SIG, junto con información domiciliaria del Registro Nacional de Direcciones para Fines Estadísticos (Cnefe/IBGE - 2022). Los resultados indican que aproximadamente el 75% del área presenta susceptibilidad alta o muy alta, con concentración en las porciones este y sureste de la subcuenca. La superposición con los datos de ocupación reveló que más del 75% de las viviendas se ubican en sectores críticos, destacándose los barrios Jardim Atlântico, Ouro Preto, Casa Caiada y Fragoso. La construcción de un índice sintético permitió jerarquizar los barrios, demostrando cómo la combinación entre susceptibilidad y densidad poblacional potencia el riesgo. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de políticas públicas que articulen medidas estructurales y no estructurales, como el ordenamiento territorial, la planificación habitacional y los sistemas de alerta temprana, contribuyendo a la formulación de estrategias de adaptación urbana y justicia climática en territorios costeros vulnerables.
**Palabras clave:** Riesgo hidrológico; Modelos matemáticos; Predicción; Planificación territorial; Justicia climática.

*Data de submissão: 05/10/2025*
*Data de aceite: 18/11/2025*

## 1. Introdução

As inundações urbanas constituem um dos principais riscos hidrometeorológicos no contexto contemporâneo, intensificados pelas mudanças climáticas e pelo processo de urbanização excludente em áreas suscetíveis. Em centros urbanos latino-americanos, a expansão residencial sobre zonas de baixa cota topográfica agrava a exposição da população e acentua desigualdades socioambientais, tornando urgente a produção de diagnósticos que articulem dimensões físicas e sociais do risco.

Nesse contexto, a cartografia aplicada, associada a Sistemas de Informação Geográfica (SIG), consolidou-se como ferramenta essencial para a gestão e o planejamento territorial, permitindo identificar áreas suscetíveis, simular cenários futuros e subsidiar estratégias de adaptação. A precisão cartográfica é especialmente relevante diante de inundações, uma vez que possibilita reconhecer padrões espaciais de suscetibilidade e orientar políticas de mitigação (Ribeiro *et al.,* 2014; Servidoni *et al.,* 2019).

Entre os avanços metodológicos recentes, destaca-se o modelo conhecido como *Height Above the Nearest Drainage* (Hand) – ou, em português, "Altura acima da drenagem mais próxima" -, desenvolvido no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) por Rennó *et al*. (2008). Trata-se de um modelo hidrotopográfico que, a partir de modelos digitais de elevação, calcula a altura relativa do terreno em relação à rede de drenagem, permitindo identificar setores propensos ao extravasamento hídrico com elevada eficiência computacional e aplicabilidade em diferentes escalas. Desde sua formulação original, o Hand tem sido amplamente empregado em estudos hidrológicos e de mapeamento de suscetibilidade a inundações no Brasil e em outros países (Nobre *et al*., 2016; Ferreira *et al*., 2021).

A análise de inundações, entretanto, não pode restringir-se à dimensão física. A sobreposição de áreas suscetíveis com residências e infraestruturas urbanas revela o alcance social do risco, evidenciando desigualdades na ocupação do território e diferentes capacidades de resposta a eventos extremos (Maricato, 2011; Freire e Moraes, 2020). Assim, a integração entre modelagem hidrotopográfica e análise socioambiental amplia a compreensão do problema e oferece subsídios técnicos para políticas públicas

de adaptação às mudanças climáticas.

Dessa forma, o presente artigo tem como objetivo analisar a suscetibilidade a inundações na Sub-Bacia do Rio Fragoso, em Olinda, cidade da Região Metropolitana do Recife (RMR), em Pernambuco, por meio da aplicação do modelo Hand associado à análise socioambiental. A partir dessa abordagem, busca-se identificar áreas críticas, estimar o número de moradias potencialmente atingidas e discutir os resultados à luz do contexto das mudanças climáticas, de modo a orientar estratégias de planejamento urbano, mitigação de riscos e adaptação em territórios vulneráveis da RMR.

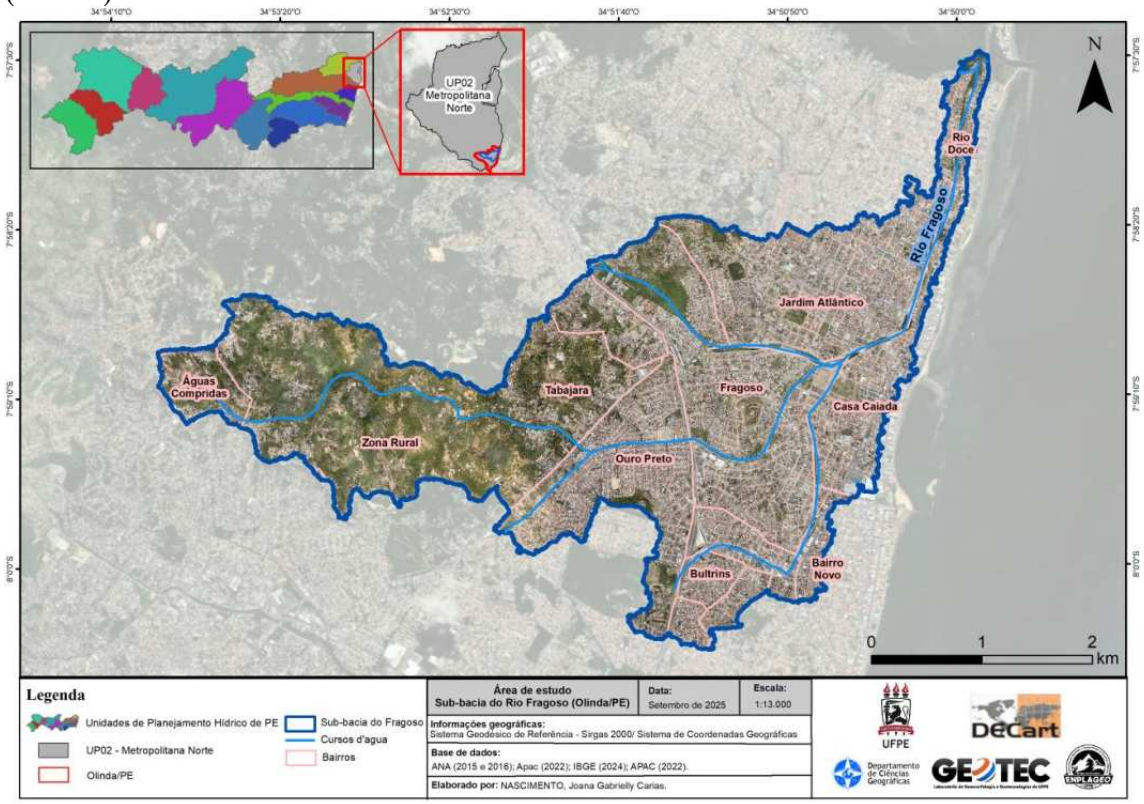
## 2. Procedimentos metodológicos

### *2.1 Área de estudo*

A área de estudo corresponde à Sub-Bacia do Rio Fragoso, inserida na Unidade de Planejamento Hídrico de Pernambuco 2 (Metropolitana Norte), delimitada pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (Apac), conforme a Figura 1. O recorte espacial considerou os limites municipais de Olinda, abrangendo aproximadamente 14,5 km² e inclui parcial ou integralmente os seguintes bairros: Fragoso, Jardim Atlântico, Ouro Preto, Casa Caiada, Zona Rural, Bultrins, Rio Doce, Tabajara, Alto da Nação, Monte, Águas Compridas, Guadalupe, Bairro Novo, Sapucaia, Alto da Conquista e Aguazinha. A delimitação técnica foi realizada a partir do Modelo Digital do Terreno (MDT), em escala 1:5.000, disponibilizado pela plataforma Pernambuco Tridimensional (PE3D) e processado em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), no software ArcGIS 10.8 (licença acadêmica). Esse procedimento permitiu identificar a rede de drenagem, os divisores topográficos e a área de contribuição da sub-bacia.

A Sub-Bacia do Fragoso apresenta predominância de planícies fluviomarinhas e áreas de baixa declividade, recortadas por pequenos cursos d'água que deságuam no Oceano Atlântico, o que favorece a acumulação de águas pluviais e a ocorrência de inundações. Do ponto de vista geológico, predominam depósitos aluvionares e colúvio-eluviais associados a terraços marinhos holocênicos, características típicas de ambientes costeiros de baixa altitude (Magalhães, 2023). Sobre esse meio físico, a urbanização acelerada e pouco planejada intensificou a impermeabilização do solo e a ocupação de margens fluviais, ampliando a vulnerabilidade socioambiental (Tucci, 2004; Dos Santos, 2012). Esse contexto evidencia a sobreposição entre fragilidades naturais e pressões antrópicas, resultando em cenários recorrentes de risco hidrológico em Olinda.

**Figura 1**: Mapa de localização da área de estudo, Sub-Bacia do Rio Fragoso (Olinda).




**Fonte:** Autores (2025). Base de dados: ANA (2015 E 2016); IBGE (2024); Apac (2022).

### *2.2 Inventário de ocorrências e cenário de suscetibilidade – Modelo Hand*

A construção do cenário de suscetibilidade foi realizada a partir da aplicação do modelo Hand em ambiente SIG, utilizando o Modelo Digital de Elevação disponibilizado pela plataforma Pernambuco Tridimensional (PE3D), com resolução espacial de 1 m. Esse dado permitiu derivar a altura relativa do terreno em relação à rede de drenagem, possibilitando a classificação em diferentes graus de suscetibilidade à inundação. Para este estudo, foram definidas cinco classes: muito baixa (0–1 m), baixa (1,1 – 5 m), média (5,1 – 10 m), alta (10,1 – 20 m) e muito alta (> 20 m). A definição desses intervalos foi orientada não apenas por critérios topográficos, mas também por evidências empíricas registradas em campo, como marcas de inundação observadas nas paredes das residências, que indicaram níveis de alcance próximos a 1 m. Dessa forma, as classes estabelecidas refletem a integração entre parâmetros geomorfológicos e a realidade observada na área de estudo, aumentando a aderência do modelo às condições locais.

Em paralelo, foi elaborado um inventário de ocorrências com registros de inundações a partir de três fontes principais: registros oficiais da Prefeitura de Olinda,

reportagens de veículos jornalísticos e observações de campo. Os dados foram integrados em ambiente geoespacial e, após a consolidação, resultaram em uma nuvem de pontos indicando as áreas mais críticas da sub-bacia. A elaboração desse inventário é de grande importância, pois fornece informações concretas que permitem confrontar e validar os resultados obtidos pelo modelo Hand, assegurando maior precisão na identificação das áreas suscetíveis. Além disso, o cruzamento entre registros históricos e simulações contribui para reduzir incertezas, reforçando a credibilidade da análise e a utilidade dos cenários produzidos no apoio ao planejamento e à gestão do risco de inundações.

Para essa etapa, realizou-se a sobreposição do inventário consolidado de ocorrências com o mapa de suscetibilidade gerado pelo modelo Hand. Em ambiente SIG, os pontos de inundação foram comparados com as classes de suscetibilidade, permitindo verificar as correspondências entre áreas classificadas como de alta e muito alta suscetibilidade e os eventos efetivamente registrados. Esse procedimento possibilitou avaliar a aderência do modelo às condições observadas em campo e, ao mesmo tempo, evidenciar a vulnerabilidade da população residente em setores adjacentes aos principais canais de drenagem.

### *2.3 Análise conjunta (mancha de inundação e alcance de moradias)*

Por fim, realizou-se a sobreposição espacial entre a mancha de suscetibilidade gerada pelo Hand e os dados domiciliares disponibilizada pelo Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (Cnefe/IBGE, 2022). A base tabular foi convertida em formato vetorial de pontos, representando cada unidade residencial. A interseção espacial possibilitou estimar o número de moradias situadas em áreas classificadas como suscetíveis à inundação, conferindo ao estudo tanto uma dimensão socioambiental quanto o alcance de moradias que podem ser atingidas.

Com base nessa integração, elaborou-se um índice sintético de suscetibilidade por bairro, concebido para integrar duas dimensões complementares: (i) a exposição territorial (E), expressa pela proporção da área de cada bairro inserida nos limites da Sub-Bacia do Fragoso, e (ii) a severidade das classes de suscetibilidade (S), determinada a partir da distribuição percentual das residências em cada classe do Hand. Para representar a gravidade relativa, cada classe recebeu pesos decrescentes: muito alta = 1,0; alta = 0,75; moderada = 0,5; baixa = 0,25; muito baixa = 0,1. Assim, bairros com

maior concentração de residências em zonas críticas contribuíram mais fortemente para o valor final do índice. A formulação do índice está expressa na Equação 1:

*Equação 1.*

$$I = \alpha \, . \, E + \beta \, . \, S$$

Onde:

*I* = Índice final de suscetibilidade do bairro (0-100);

*E* = % área do bairro inserida na sub-bacia / 100 => (exposição territorial);

*S* = 1/100. (1,0. %MA + 0,75 · %A + 0,5 · %M + 0,25 · %B + 0,1 · %MB) => severidade, em que: Muito alta (MA); Alta (A); Moderada (M); Baixa (B); Muito baixa (MB).

Os coeficientes $\alpha = 0{,}4$ e $\beta = 0{,}6$ definem os pesos relativos de cada componente no índice final, atribuindo maior importância à severidade das classes (60%) em relação à exposição territorial (40%). O resultado foi normalizado para uma escala de 0 a 100, permitindo hierarquizar os bairros segundo seu grau relativo de suscetibilidade às inundações.

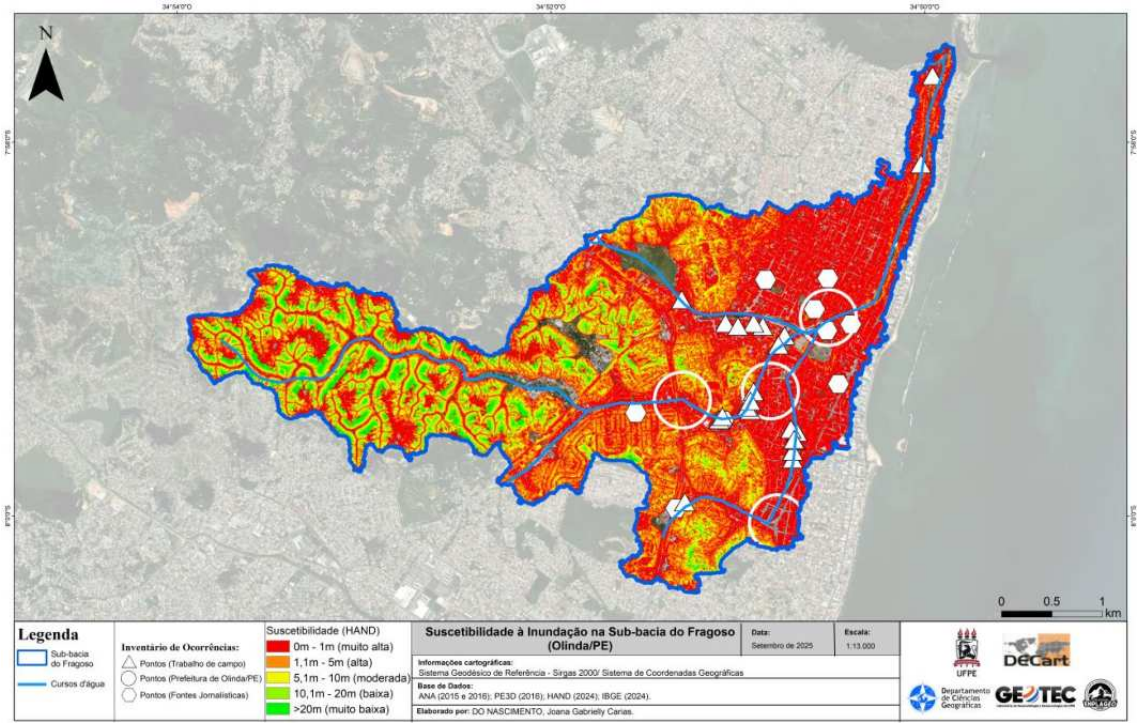
Esse procedimento gerou um indicador objetivo e comparável, que articula a dimensão espacial da área exposta com a intensidade da vulnerabilidade das moradias, fornecendo subsídios robustos para a análise do risco hidrológico e para o planejamento de ações voltadas à gestão urbana e à redução de desastres.

## 3. Resultados e discussões

### *3.1 Ocorrências de inundação e mapa de suscetibilidade à inundação*

O inventário de ocorrências de inundações na Sub-Bacia do Fragoso revelou uma distribuição espacial concentrada, com destaque para os bairros Fragoso, Jardim Atlântico, Casa Caiada, Rio Doce, Bairro Novo, Bultrins e Ouro Preto, situados principalmente nas porções leste e sudeste da área de estudo (Figura 2). Esses setores, caracterizados por adensamento populacional e ocupação de margens fluviais, apresentaram maior frequência de registros de eventos, configurando áreas críticas de recorrência de inundações.

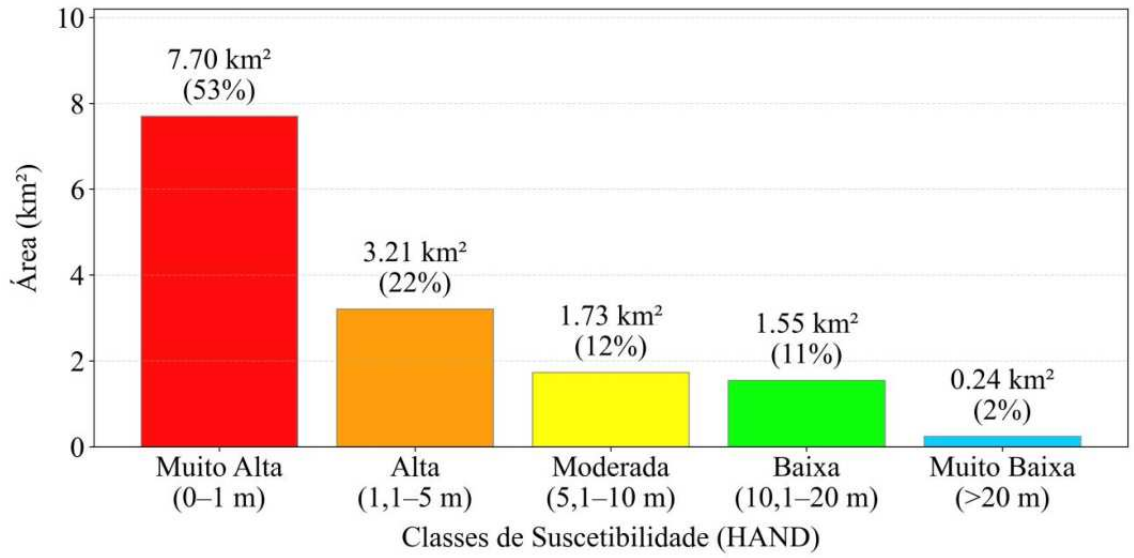
**Figura 2**: Suscetibilidade a inundações e inventário de ocorrências na Sub-Bacia do Fragoso.




**Fonte**: Autores (2025). Base de Dados: ANA (2015 e 2016); PE3D (2016); IBGE (2024);

A aplicação do modelo Hand à Sub-Bacia do Rio Fragoso permitiu classificar o território em diferentes níveis de suscetibilidade à inundação, definidos pela variação altimétrica em relação à rede de drenagem. Os resultados revelaram que aproximadamente 75% da área apresenta suscetibilidade alta ou muito alta, o que evidencia a acentuada fragilidade hidrológica da sub-bacia.

**Figura 3**: Frequência de Distribuição (FD) das classes de suscetibilidade a inundação na Sub-Bacia do Fragoso.




**Fonte**: Autores (2025).

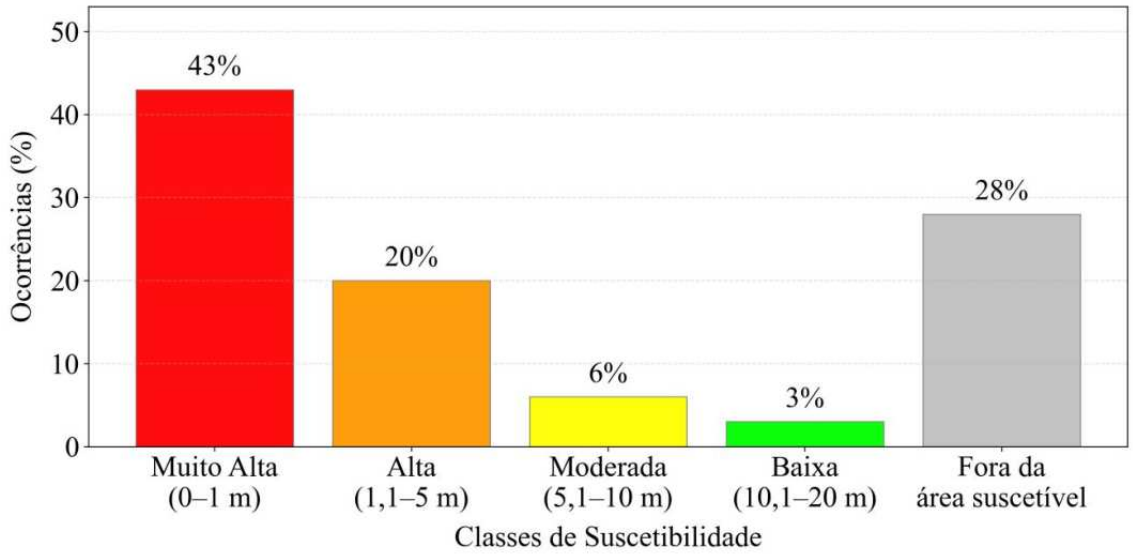
As áreas críticas concentram-se, sobretudo, nas porções leste e sudeste, coincidindo com o inventário de ocorrências, caracterizadas por baixas altitudes e maior proximidade dos canais de drenagem, condições que favorecem a ocorrência de inundações durante eventos de precipitação intensa. Esse padrão espacial é consistente com a morfologia típica de planícies fluviomarinhas de baixo gradiente, onde a combinação entre declividade reduzida e processos de impermeabilização urbana intensificam a frequência e a severidade dos processos (Ribeiro Neto, Batista,Coutinho, 2016; Rodrigues, 2025).

A predominância de áreas enquadradas em classes elevadas de suscetibilidade revela que a expansão urbana na Sub-Bacia do Fragoso ocorreu sobre setores naturalmente suscetíveis, especialmente em zonas de baixa cota topográfica. Esse padrão reflete um processo histórico de crescimento pouco orientado por critérios ambientais, que, ao desconsiderar a fragilidade geomorfológica do território, ampliou a exposição da população a eventos recorrentes de inundação, tornando-a mais vulnerável.

A análise da distribuição das ocorrências por classe de suscetibilidade (Figura 4) reforça a tendência observada no inventário e no mapa Hand. Verifica-se que 43% dos registros concentram-se em áreas de suscetibilidade muito alta (0–1 m) e outros 20% em áreas de suscetibilidade alta (1,1–5 m**)**, totalizando mais de 60% dos eventos em setores críticos próximos à rede de drenagem. Em contraste, apenas 6% das ocorrências situaram-se em áreas moderadas e 3% em áreas de baixa suscetibilidade, enquanto 28% ficaram fora das zonas delimitadas pelo modelo. Esses resultados demonstram a forte associação entre a ocorrência de inundações e os compartimentos altimétricos mais

vulneráveis, confirmando a capacidade do modelo em representar a realidade local e evidenciando a pressão urbana sobre áreas naturalmente suscetíveis.

**Figura 4**: Frequência de Distribuição (FD) das classes de suscetibilidade a inundação e a sobreposição com o inventário de ocorrências na Sub-bacia do Fragoso.




**Fonte**: Autores (2025).

Cabe destacar que cerca de 28% das ocorrências registradas ficaram fora das áreas suscetíveis delimitadas pelo Hand, o que evidencia limitações inerentes ao modelo. Como a metodologia está fundamentada apenas na variação altimétrica em relação à rede de drenagem, não são considerados fatores como a eficiência do sistema de drenagem urbana, obstruções antrópicas, falhas no escoamento pluvial ou mudanças recentes no uso e cobertura do solo. Dessa forma, eventos de inundação registrados em setores não mapeados como suscetíveis podem estar associados a problemas localizados de infraestrutura ou à intensificação de processos urbanos que extrapolam a explicação topográfica. Esse resultado ressalta a importância de utilizar o Hand de forma integrada a outras abordagens hidrológicas e socioambientais, de modo a oferecer diagnósticos mais completos sobre a dinâmica de inundações em áreas urbanas.

Essa distribuição evidencia a forte influência da topografia no condicionamento do risco hidrológico e confirma a eficácia do modelo Hand na identificação de zonas propensas ao extravasamento de água. Resultados semelhantes já foram relatados em diferentes contextos: Rennó *et al*. (2008) demonstraram sua aplicabilidade em bacias amazônicas, Nobre *et al.* (2011) validaram o modelo em áreas do Sudeste com alta densidade urbana, e Speckhann *et al*. (2018) reforçaram sua utilidade em regiões do Sul.

Comparando com a Sub-Bacia do Fragoso, observa-se que, assim como nos estudos anteriores, o Hand conseguiu identificar padrões coerentes de suscetibilidade relacionados à baixa declividade e proximidade da rede de drenagem. Entretanto, diferentemente de contextos menos urbanizados descritos por Rennó *et al*. (2008), no Fragoso os resultados evidenciam a influência marcante da expansão urbana acelerada e da impermeabilização das margens fluviais, o que potencializa a recorrência das inundações e amplia as limitações do modelo. Essa comparação reforça que, embora o Hand seja consistente na detecção de áreas críticas, sua eficácia é condicionada pelas especificidades locais.

Em áreas costeiras como Olinda, a suscetibilidade às inundações é intensificada por eventos compostos, resultantes da combinação entre precipitações intensas, marés elevadas e sobreelevação oceânica. Estudos hidrodinâmicos bidimensionais no Rio Fragoso (Rodrigues, 2025) demonstram que, mesmo após intervenções de canalização, setores vulneráveis permanecem sujeitos a alagamentos em função da baixa declividade e da influência direta das marés. Esse padrão é consistente com resultados relatados em contextos internacionais, nos quais a interação entre drenagem deficiente e dinâmica oceânica potencializa o risco de inundações em áreas urbanas costeiras.

Nesse contexto, pesquisas recentes têm apontado o modelo Hand como uma ferramenta eficaz de triagem preliminar da suscetibilidade, especialmente pela sua capacidade de rápida aplicação em diferentes escalas. No entanto, como demonstrado por Pasquier *et al*. (2019) e Thalakkottukara *et al*. (2024), sua aplicação isolada não é suficiente para explicar a dinâmica de áreas costeiras densamente urbanizadas, onde fenômenos como a reversão de gradiente e os bloqueios provocados pelas marés assumem papel relevante. A integração do Hand com modelos hidráulicos unidimensionais e bidimensionais (1D/2D) amplia a precisão das análises, fornecendo diagnósticos mais realistas sobre a interação entre drenagem pluvial e influência marinha. No caso do Fragoso, essa abordagem integrada se mostra indispensável, considerando a sobreposição entre condições urbanas e costeiras que intensificam a vulnerabilidade da população residente.

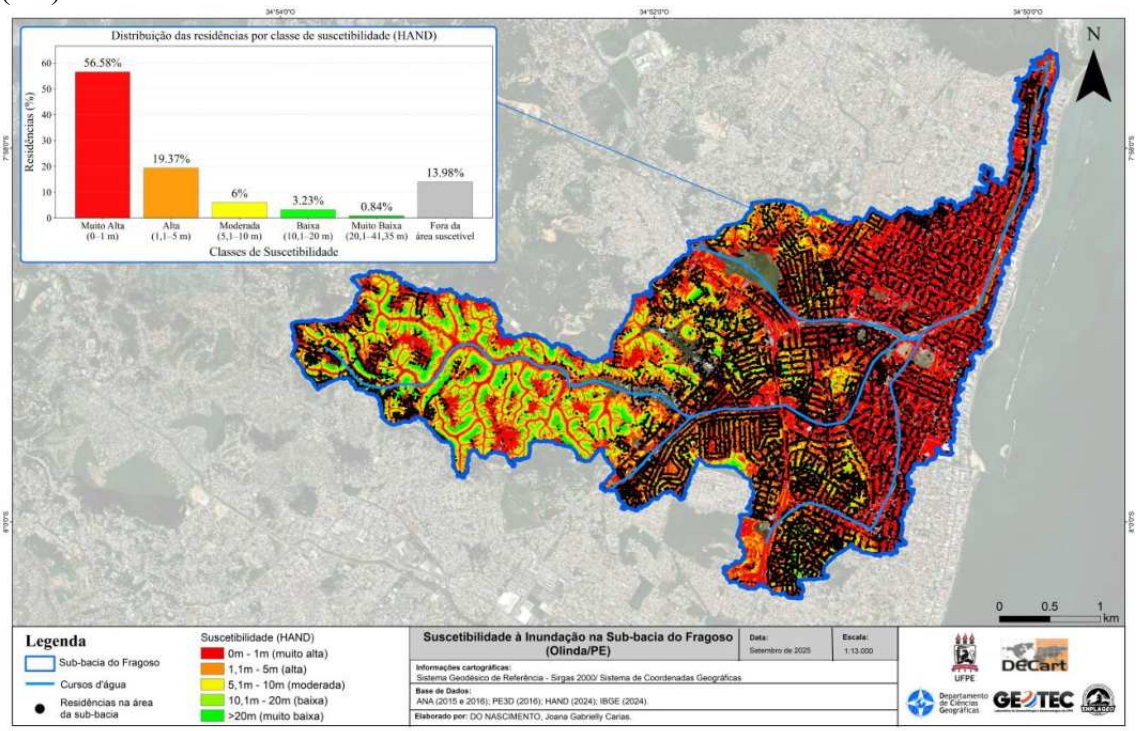
### *3.2 Alcance de moradias e análise conjunta*

A sobreposição entre as classes de suscetibilidade e os dados domiciliares do Cnefe/IBGE (2022) revelou que mais de 75% das residências da Sub-Bacia do Fragoso estão situadas em áreas classificadas como de alta ou muito alta suscetibilidade a

inundações (Figura 5). Desse total, 56,6% encontram-se na classe muito alta (0–1 m) e 19,4% na classe alta (1,1–5 m), evidenciando a concentração da ocupação urbana em setores de baixa cota altimétrica e próximos aos canais de drenagem. Em contrapartida, 13,9% dos domicílios aparecem como “fora da área suscetível”, categoria que inclui áreas não classificadas pelo modelo Hand por apresentarem cotas mais elevadas ou estarem fora da zona de contribuição direta da drenagem.

Esse resultado também reflete uma limitação metodológica do modelo, que considera apenas a variação altimétrica e não inclui os demais fatores que influenciam, já mencionados anteriormente. Assim, parte dessas residências pode ainda estar exposta a riscos localizados, reforçando a necessidade de integrar o Hand a outros modelos hidrológicos e diagnósticos urbanos mais abrangentes.

**Figura 5**: Mapas das classes de suscetibilidade a inundação e o alcance residencial na Sub-Bacia do Fragoso com a Frequência de Distribuição (FD).




**Fonte**: Autores (2025).

A integração entre o modelo Hand e os dados domiciliares do Cnefe/IBGE (2022) permitiu avaliar de forma mais precisa a exposição populacional frente aos diferentes graus de suscetibilidade à inundação na Sub-Bacia do Fragoso. Os resultados indicam que mais de três quartos das residências se encontram em áreas classificadas como de alta ou muito alta suscetibilidade, o que evidencia a sobreposição entre expansão urbana e setores naturalmente frágeis. Essa distribuição espacial confirma que a vulnerabilidade

da população não se limita à topografia, mas reflete um processo cumulativo de ocupação de margens fluviais e de consolidação urbana em áreas de risco. Observa-se que os bairros Fragoso, Jardim Atlântico e Casa Caiada concentram o maior número de moradias em zonas de suscetibilidade muito alta, seguidos por Ouro Preto e Bultrins, que também apresentam parcelas significativas de residências em áreas críticas (Figura 5; Quadro 1). Essa concentração espacial de domicílios em zonas sujeitas a alagamentos reforça a necessidade de integrar o planejamento urbano a parâmetros hidrológicos, de modo a conter a expansão sobre terrenos de baixa cota e drenagem deficiente.

**Quadro 1**: Distribuição do número de residências afetadas por classe de suscetibilidade na Sub-Bacia do Fragoso.

| Bairro | Muito Ata | Alta | Moderada | Baixa | Muito Baixa | Fora das classes | Total de residências |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Águas Compridas** | 496 | 237 | 133 | 187 | 105 | 76 | 1234 |
| **Aguazinha** | 1 | 19 | 5 | 6 | 0 | 9 | 40 |
| **Alto da Conquista** | 37 | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 | 43 |
| **Alto da Nação** | 387 | 587 | 293 | 141 | 25 | 92 | 1525 |
| **Bairro Novo** | 560 | 1 | 0 | 0 | 0 | 252 | 813 |
| **Bultrins** | 880 | 620 | 150 | 32 | 0 | 180 | 1862 |
| **Casa Caiada** | 3426 | 250 | 0 | 0 | 0 | 1068 | 4744 |
| **Fragoso** | 6409 | 2228 | 804 | 219 | 5 | 1353 | 11018 |
| **Guadalupe** | 312 | 362 | 77 | 26 | 10 | 80 | 867 |
| **Jardim Atlântico** | 8191 | 953 | 188 | 59 | 0 | 1849 | 11240 |
| **Monte** | 442 | 421 | 222 | 206 | 29 | 116 | 1436 |
| **Ouro Preto** | 4565 | 2572 | 591 | 154 | 12 | 1109 | 9003 |
| **Rio Doce** | 1301 | 287 | 0 | 0 | 0 | 285 | 1873 |
| **Sapucaia** | 28 | 8 | 1 | 4 | 16 | 1 | 58 |
| **Tabajara** | 504 | 531 | 173 | 198 | 69 | 77 | 1552 |
| **Zona Rural** | 1477 | 854 | 441 | 426 | 159 | 617 | 3974 |

**Fonte**: Autores (2025). Base de dados: Cnefe/IBGE, 2022.

A distribuição espacial observada demonstra que a ocorrência mais acelerada das inundações na Sub-Bacia do Fragoso não decorre apenas da dinâmica natural do relevo, mas está intrinsecamente vinculada ao padrão de ocupação urbana. Os eventos extremos registrados na Região Metropolitana do Recife, em 2022, ilustram a gravidade desse

processo, quando chuvas intensas resultaram em mortes e centenas de desabrigados em áreas tanto de encosta quanto de planície fluvial (Marengo *et al.,* 2023).

A integração entre a modelagem computacional (Hand) e a análise socioambiental evidencia que o risco de inundação na Sub-Bacia do Fragoso é intensificado pela expansão urbana excludente e pela impermeabilização do solo. Essa constatação está em consonância com Costa *et al*. (2010), que já haviam destacado que a ocupação de áreas de várzea nas bacias costeiras do Nordeste contribui significativamente para o aumento da frequência e da intensidade das inundações. Anos depois, Ribeiro Neto, Batista e Coutinho (2016) aprofundaram essa análise para a Região Metropolitana do Recife, demonstrando que a ausência de integração entre o planejamento urbano e a gestão dos recursos hídricos tem potencializado o risco em áreas densamente povoadas. Mais recentemente, Rodrigues (2025) reforça essa tendência ao apontar que, mesmo em trechos onde foram implementadas obras de canalização no Rio Fragoso, persistem setores vulneráveis em função da baixa declividade e da impermeabilização das margens. Os resultados deste estudo confirmam e ampliam essas evidências, mostrando que a maioria das residências e ocorrências de inundação se concentra em planícies fluviais de baixa cota, onde o avanço da urbanização sobre áreas naturalmente inundáveis tem agravado a severidade e a recorrência dos eventos hidrológicos.

Diante desse cenário, torna-se necessário avançar da simples caracterização espacial para a elaboração de métricas sintéticas que permitam hierarquizar o grau de impacto entre os bairros. Essa abordagem é consistente com tendências da literatura internacional, que vem desenvolvendo há décadas índices de vulnerabilidade e suscetibilidade a inundações em diferentes escalas e contextos. Entre eles, destacam-se o *Flood Vulnerability Index* (FVI)[4], que integra dimensões físicas, sociais e econômicas (Salazar-Briones *et al.,* 2020), e o *Composite Flood Potential Index* (CFPI)[5], voltado para áreas costeiras (Del-Rosal-Salido *et al.,* 2025). No Brasil, Moreira, de Brito e Kobiyama (2021) sistematizaram 95 metodologias de índices compostos, ressaltando a diversidade de técnicas de normalização e atribuição de pesos.

Nesse quadro, insere-se o índice desenvolvido nesta pesquisa, concebido para refletir as especificidades da sub-bacia. Diferencia-se por combinar dois componentes: (i) a exposição territorial, expressa pela proporção da área de cada bairro inserida na

[4] *Flood Vulnerability Index* (FVI): Índice de Vulnerabilidade a Inundações;
[5] *Composite Flood Potential Index* (CFPI): Índice Composto de Potencial de Inundação.

sub-bacia, e (ii) a severidade da suscetibilidade, derivada da distribuição percentual das residências em classes Hand (muito alta, alta, moderada, baixa e muito baixa). Assim, a aplicação do índice final de suscetibilidade aos bairros da área de estudo resultou nos valores apresentados no Quadro 2.

**Quadro 2:** Ranking do índice final de suscetibilidade dos bairros inseridos na Sub-Bacia do Fragoso.

| Bairro | %Area | %MA* | %A* | %M* | %B* | %MB* | Exposição (E) | Severidade (S) | Índice Final (0–100) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Fragoso** | 97,73 | 46,28 | 46,28 | 5,8 | 1,58 | 0,03 | 97,73 | 84,31 | 89,68 |
| **Bultrins** | 89,02 | 45,31 | 45,31 | 7,72 | 1,64 | 0 | 89,03 | 83,57 | 85,75 |
| **Alto da Nação** | 100 | 31,38 | 31,38 | 23,76 | 11,43 | 2,02 | 100 | 69,87 | 81,92 |
| **Jardim Atlântico** | 66,74 | 49,25 | 49,25 | 1,13 | 0,35 | 0 | 66,75 | 86,85 | 78,81 |
| **Casa Caiada** | 60,23 | 50 | 50 | 0 | 0 | 0 | 60,23 | 87,5 | 76,59 |
| **Ouro Preto** | 59,71 | 46,17 | 46,17 | 5,97 | 1,55 | 0,12 | 59,72 | 84,19 | 74,4 |
| **Zona Rural** | 67,06 | 37,11 | 37,11 | 11,08 | 10,7 | 3,99 | 67,06 | 73,56 | 70,96 |
| **Guadalupe** | 47,29 | 42,33 | 42,33 | 10,44 | 3,52 | 1,35 | 47,29 | 80,33 | 67,11 |
| **Bairro Novo** | 16,11 | 50 | 50 | 0 | 0 | 0 | 16,12 | 87,5 | 58,95 |
| **Tabajara** | 39,6 | 34,8 | 34,8 | 11,94 | 13,67 | 4,76 | 39,6 | 70,78 | 58,31 |
| **Rio Doce** | 10,09 | 50 | 50 | 0 | 0 | 0 | 10,09 | 87,5 | 56,54 |
| **Monte** | 33,13 | 32,96 | 32,96 | 16,55 | 15,36 | 2,16 | 33,13 | 70,01 | 55,26 |
| **Alto da Conquista** | 0,67 | 50 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0,67 | 87,5 | 52,77 |
| **Águas Compridas** | 25,56 | 35 | 35 | 9,38 | 13,19 | 7,4 | 25,56 | 69,99 | 52,22 |
| **Sapucaia** | 0,8 | 36,36 | 36,36 | 1,29 | 5,19 | 20,77 | 0,81 | 67,66 | 40,92 |
| **Aguazinha** | 0,56 | 7,69 | 7,69 | 38,46 | 46,15 | 0 | 0,57 | 44,23 | 26,77 |

**Fonte**: Autores (2025). *Muito alta (MA); Alta (A) =; Moderada (M); Baixa (B); Muito baixa (MB).

Os valores apresentados no Quadro 2 evidenciam a predominância das classes de suscetibilidade alta e muito alta, revelando uma expressiva sobreposição entre zonas de exposição e áreas já ocupadas. Essa tendência corrobora os resultados de estudos anteriores que aplicaram índices de vulnerabilidade e suscetibilidade a inundações em contextos urbanos. Lima (2021), ao propor um Índice de Vulnerabilidade a Inundações Fluviais para a região do Baixo-Açu, no estado do Rio Grande do Norte, verificou que os setores mais críticos coincidiam com áreas de menor elevação e maior proximidade

dos cursos d'água, padrão semelhante ao identificado na Sub-Bacia do Fragoso. Essa convergência evidencia que o relevo e a drenagem desempenham papel determinante na intensificação dos riscos, sobretudo quando associados à ocupação urbana desordenada e à impermeabilização das margens fluviais.

O índice desenvolvido para a Sub-Bacia do Fragoso avança ao articular classes altimétricas de suscetibilidade com a estimativa de residências atingidas, transformando uma leitura essencialmente topográfica em um diagnóstico socialmente orientado. Esta análise conjunta permite identificar não apenas os setores naturalmente suscetíveis, mas também as comunidades mais expostas e em risco, aproximando a análise de uma perspectiva integrada e operacional para a gestão urbana.

Enquanto o Quadro 2 sintetiza a distribuição percentual das classes de suscetibilidade, ainda restrita ao nível físico do território, o Quadro 3 oferece uma interpretação mais aplicada, ao traduzir os cenários de exposição em números absolutos de residências e pessoas potencialmente atingidas por bairro.

Essa mudança de enfoque evidencia como a suscetibilidade mapeada se converte em impactos diretos sobre a população. Nesse contexto, os bairros Fragoso, Jardim Atlântico e Ouro Preto despontam como os mais críticos, concentrando o maior contingente populacional em áreas de alta e muito alta suscetibilidade. A concentração nesses territórios reforça a urgência de estratégias específicas de mitigação, uma vez que a combinação entre adensamento urbano e fragilidade natural amplia de forma significativa o potencial de perdas em eventos extremos.

**Quadro 3:** Número de residências e estimativa de pessoas atingidas segundo as classes de suscetibilidade geradas pelo modelo Hand.

| Nome do bairro | Residências atingidas em algum nível | Número de pessoas atingidas |
|---|---|---|
| **Fragoso** | 9665 | 26.965,35 |
| **Jardim Atlântico** | 9391 | 26.200,89 |
| **Ouro Preto** | 7894 | 22.024,26 |
| **Casa Caiada** | 3676 | 10.256,04 |
| **Zona Rural** | 3357 | 9.366,03 |
| **Bultrins** | 1682 | 4.692,78 |
| **Rio Doce** | 1588 | 4.430,52 |
| **Tabajara** | 1475 | 4.115,25 |
| **Alto da Nação** | 1433 | 3.998,07 |

| | | |
|---|---|---|
| **Monte** | 1320 | 3.682,8 |
| **Águas Compridas** | 1158 | 3.230,82 |
| **Guadalupe** | 787 | 2.195,73 |
| **Bairro Novo** | 561 | 1.565,19 |
| **Sapucaia** | 57 | 159,03 |
| **Alto da Conquista** | 40 | 111,6 |
| **Aguazinha** | 31 | 86,49 |

**Fonte**: Autores (2025). Base de dados: Cnefe/IBGE, 2022.

Ao considerar os dados do Censo Demográfico de 2022, que apontam a média nacional de 2,79 pessoas por domicílio (IBGE, 2022), torna-se possível dimensionar com maior precisão a gravidade dos números apresentados no Quadro 3. Nos bairros Fragoso, Jardim Atlântico e Ouro Preto, a quantidade de residências atingidas supera 7 mil unidades, o que, multiplicado pela média de habitantes por domicílio, evidencia a magnitude do impacto social da suscetibilidade mapeada.

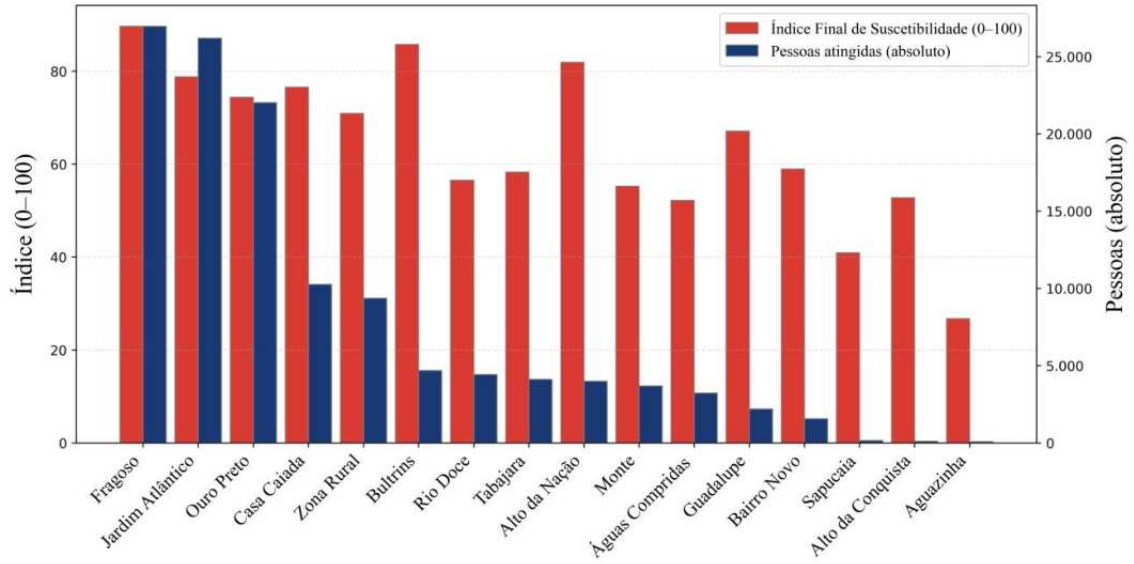
Os resultados demonstram que o risco de inundação na Sub-Bacia do Fragoso não se restringe à suscetibilidade física do território, determinada pela baixa cota topográfica, mas se intensifica pela elevada densidade populacional exposta. Esse padrão confirma o apontado por Farias (2022), que identificou em centros urbanos brasileiros a tendência de áreas de baixa altitude concentrarem, simultaneamente, maior suscetibilidade hidrológica e populações em situação de alta exposição social.

A incorporação de dados populacionais ao índice de suscetibilidade aproxima a análise dos referenciais empregados em outras pesquisas nacionais. Estudos recentes no Recife e em Olinda apontam que, sem a integração de variáveis demográficas e sociais, os mapas de risco tendem a subestimar o alcance dos eventos hidrológicos (Souza; Nascimento; Lima, 2021).

De modo semelhante, investigações comparativas conduzidas por Farias (2022) em capitais nordestinas revelaram que bairros densamente povoados, situados em áreas baixas, sofrem danos mais expressivos mesmo quando apresentam suscetibilidade física equivalente à de setores menos habitados. Assim, ao quantificar residências e pessoas atingidas por bairro, os resultados obtidos para a Sub-Bacia do Fragoso alinham-se a esse corpo de literatura e fornecem subsídios práticos para a formulação de políticas públicas de mitigação, com prioridade para territórios que combinam alta densidade populacional e elevada vulnerabilidade social.

A integração dos resultados dos Quadros 2 e 3 permite visualizar comparativamente a distribuição do índice de suscetibilidade e a quantidade absoluta de pessoas potencialmente atingidas em cada bairro da Sub-Bacia do Fragoso. Essa leitura conjunta possibilita identificar não apenas os setores com maior exposição e vulnerabilidade, representados pelos valores do índice, mas também aqueles em que a suscetibilidade se converte em impacto social ampliado, em razão do número expressivo de residentes afetados. Nesse sentido, o gráfico da Figura 6 apresenta uma visão integrada, evidenciando a sobreposição entre risco hidrológico e concentração populacional.

**Figura 6**: Comparação entre o índice de suscetibilidade e pessoas atingidas por bairro.




**Fonte**: Autores (2025).

Os resultados apresentados na Figura 6 evidenciam que os bairros Fragoso, Jardim Atlântico e Ouro Preto concentram simultaneamente os maiores índices de suscetibilidade e o maior número absoluto de pessoas potencialmente atingidas. Nesses territórios, a suscetibilidade, condicionada pela baixa altitude e pela proximidade de cursos d'água, converge com a elevada densidade populacional, resultando em risco de inundação ampliado. Uma situação semelhante foi registrada por Nobre *et al.* (2016) na Região Metropolitana do Recife, onde a combinação entre fragilidade topográfica e expansão urbana intensificou a exposição populacional a eventos extremos. Assim, a sobreposição entre suscetibilidade e concentração demográfica identificada na Sub-Bacia do Fragoso reforça a importância de integrar variáveis sociais às análises hidrológicas. Por outro lado, bairros como Bultrins, Tabajara e Alto da Nação, embora

apresentem índices de suscetibilidade relativamente elevados, concentram menor número de habitantes em áreas críticas, o que se traduz em risco social mais restrito. Esse padrão confirma as observações de Jha, Bloch e Lamond (2012). Para eles, a magnitude dos impactos das inundações não depende apenas da suscetibilidade, mas também da intensidade da ocupação humana nas áreas afetadas.

Nesse sentido, a análise conjunta do índice e da população exposta contribui para qualificar a priorização de políticas públicas: enquanto determinados bairros demandam intervenções estruturais para conter o risco hidrológico, outros exigem sobretudo medidas não estruturais, como ordenamento territorial e controle da expansão urbana em zonas naturalmente vulneráveis.

## 4. Considerações finais

Esta pesquisa analisou a suscetibilidade a inundações na Sub-Bacia do Fragoso por meio da aplicação do modelo Hand, integrando dados de topografia, hidrografia e informações domiciliares do Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (Cnefe/IBGE). Os resultados revelaram que aproximadamente 75% do território apresenta suscetibilidade alta ou muito alta, confirmando a fragilidade hidrológica da região. A construção de um índice sintético permitiu hierarquizar os bairros mais impactados, destacando Jardim Atlântico, Ouro Preto, Casa Caiada e Fragoso como aqueles com maior exposição. Essa abordagem não apenas mapeou áreas críticas, mas também possibilitou quantificar a magnitude do risco de forma comparável entre diferentes unidades territoriais.

Os achados reforçam a urgência de políticas públicas que articulem medidas estruturais, como obras de drenagem e canalização integradas à Soluções Baseadas na Natureza (SBN) e ações não estruturais, a exemplo do ordenamento territorial, do planejamento habitacional e da implantação de sistemas de alerta precoce.

Entre as limitações do estudo, destacam-se a dependência da resolução e da qualidade dos dados altimétricos utilizados no Hand e a ausência de modelagens hidráulicas 1D/2D, necessárias para captar com maior precisão a influência de marés e reversões de gradiente. Do ponto de vista socioambiental, ressalta-se que a base do Cnefe, embora abrangente, não contempla variáveis socioeconômicas detalhadas, cuja incorporação poderia refinar a análise da vulnerabilidade social e ampliar a

interpretação dos resultados.

Como perspectivas futuras, recomenda-se o acoplamento do modelo Hand a simulações hidrodinâmicas 1D/2D, permitindo integrar cenários de precipitação extrema aos efeitos de marés e sobre-elevação oceânica. Sugere-se, ainda, a incorporação de indicadores socioeconômicos e ambientais que possibilitem novas análises multivariadas, bem como a aplicação do índice em outras bacias urbanas da Região Metropolitana do Recife, para fins comparativos.

A relevância dos resultados obtidos ultrapassa o campo acadêmico, oferecendo subsídios concretos para a formulação de políticas públicas de adaptação urbana e justiça climática. Ao demonstrar que a expansão urbana sobre áreas de várzea potencializa os efeitos das inundações, este estudo contribui diretamente para a atuação de gestores municipais e órgãos ambientais no enfrentamento da vulnerabilidade socioambiental em Olinda. Reafirma-se, assim, a importância da cartografia e da modelagem espacial como ferramentas estratégicas para reduzir riscos e orientar decisões em territórios urbanos costeiros marcados pela intensificação dos eventos extremos.

**Referências**

APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima. Bacias Hidrográficas). Disponível em: https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas. Acesso em: 28 mar. 2025.

COSTA, M. B. S. F. et al. “Vulnerability and impacts related to the rising sea level in the Metropolitan Center of Recife”. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, v. 5, n. 2, p. 341-349, 2010. Disponível em: https://panamjas.org/pdf_artigos/PANAMJAS_5(2)_341-349.pdf. Acesso em: 27 set. 2025.

DEL-ROSAL-SALIDO, I. et al. “A compound flood potential index for Mediterranean coastal areas”. *Communications Earth & Environment*, v. 6, 2025. DOI: https://doi.org/10.1038/s43247-025-02331-z

DOS SANTOS, Kesia Rodrigues. “Inundações urbanas: um passeio pela literatura”. *Élisée - Revista de Geografia da UEG*, v. 1, n. 01, p. 177-190, 2012.

FARIAS, E. S. “Vulnerabilidade socioambiental e risco de inundações em áreas urbanas brasileiras”. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v. 34, p. 1-20, 2022. DOI: https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-65258.

FERREIRA, A. et al. “Flood hazard mapping using Hand model and Sentinel-1 data: An application in urban area of Brazil”. *Natural Hazards*, 2021.

FREIRE, D.; MORAES, A. “Desigualdades socioambientais e vulnerabilidade urbana frente às mudanças climáticas”. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionai*s, 22(1), 2020.

IBGE. *Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (Cnefe)*. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/38734-cadastro-nacional-de-enderecos-para-fins-estatisticos.html. Acesso em: 17 jul. 2025.

IBGE. “IBGE releases microdata of Cnefe from 2022 Population Census”. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/en/highlights/40166-ibge-releases-microdata-of-national-address-file-for-statistical-purposes-cnefe-from-2022-population-census.html. Acesso em: 15 ago. 2025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico 2022*: resultados preliminares. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: https://censo2022.ibge.gov.br/. Acesso em: 25 set. 2025.

JHA, A. K.; BLOCH, R.; LAMOND, J. *Cities and flooding:* A guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st century. Washington, DC: World Bank, 2012.

LIMA, Bárbara Almeida de. “Índice de vulnerabilidade a inundações fluviais na Região do Baixo - Açu / Bárbara Almeida de Lima. – 2021”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/46815. Acesso em: 28 set. 2025.

MAGALHÃES, João. “Comportamento hidrológico e hidrodinâmico no Canal do Fragoso em Olinda, Nordeste do Brasil, para diversos cenários de enchente”. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2023.

MARENGO, J. A. et al. “Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil”. *Weather and Climate Extremes*, v. 39, 100546, 2023. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212094722001244. Acesso em: 27 set. 2025.

MARICATO, E. *O impasse da política urbana no Brasil*. Petrópolis: Vozes, 2011.

MOREIRA, F. H. S.; DE BRITO, M. M.; KOBIYAMA, M. “Flood vulnerability indices: A systematic review of existing approaches”. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 21, p. 1513–1536, 2021. DOI: https://doi.org/10.5194/nhess-21-1513-2021

NOBRE, A. D. et al. “Hand contour: A new proxy predictor of inundation extent”. *Hydrological Processes*, 30(2):320–333, 2016.

NOBRE, A. D. et al. “Height Above the Nearest Drainage: a hydrologically relevant new terrain model”. *Journal of Hydrology*, v. 404, n. 1–2, p. 13–29, 2011. Disponível

em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169411002599. Acesso em: 27 set. 2025.

NOBRE, P.; MARENGO, J. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, L. A.; ALVES, L. M. "Some characteristics and impacts of the drought and water crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015". *Journal of Water Resource and Protection*, v. 8, n. 2, p. 252-262, 2016. DOI: 10.4236/jwarp.2016.82022.

PASQUIER, U. et al. "An integrated 1D–2D hydraulic modelling approach to assess compound flooding under climate change". *Natural Hazards*, v. 98, n. 1, p. 53–74, 2019. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-018-3462-1. Acesso em: 25 set. 2025.

RENNÓ, C. D. et al. "Hand, a new terrain descriptor using SRTM-DEM". *Remote Sensing of Environment*, v. 112, n. 9, p. 3469–3481, 2008. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S003442570800120X. Acesso em: 27 set. 2025.

RENNÓ, C. D. et al. "Hand, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia". *Remote Sensing of Environment*, 112(9):3469–3481, 2008.

RIBEIRO NETO, A.; BATISTA, L. F. D. R.; COUTINHO, R. Q. "Metodologias para geração de mapa de indicadores de perigo e áreas inundáveis: Município de Ipojuca/PE". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 2, p. 377–390, 2016. DOI: 10.21168/rbrh.v21n2. p377-390.

RIBEIRO, Osmar José. SCHEIEBELBEIN, Luis Miguel. "O geoprocessamento como ferramenta de gestão urbana". *Revista Technoeng*, 9ª Edição / Jan – Jun. de 2014.

RODRIGUES, A. B. "Modelagem bidimensional de inundações na Bacia do Rio Fragoso em área costeira altamente urbanizada com influência das marés". *Geo UERJ*, v. 47, p. 1–22, 2025. DOI: 10.12957/geouerj.2025.76153.

SERVIDONI, Lucas Emanuel et al. "Avaliação de risco a enchentes e inundações por krigagem ordinária em sistemas de informação geográfica". *Caderno de Geografia*, v. 29, n. 1, p. 126-143, 2019.

SOUZA, R. M.; NASCIMENTO, M. A.; LIMA, R. J. "Análise de vulnerabilidade urbana a inundações em Recife e Olinda: integração de dados demográficos e ambientais". *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 14, n. 3, p. 945-960, 2021. DOI: https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p945-960.

SPECKHANN, G. A. et al. "Flood hazard mapping in Southern Brazil: a combination of flow-frequency analysis and the Hand model (f2Hand)". *Hydrological Sciences Journal*, v. 63, n. 1, p. 87–100, 2018. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02626667.2017.1409896. Acesso em: 26 set. 2025.

THALAKKOTTUKARA, N. T. et al. “Suitability of the Hand model for flood inundation mapping in data-scarce regions: a comparative analysis with hydrodynamic models”. *Earth Science Informatics*, v. 17, p. 345–360, 2024. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s12145-023-01218-x. Acesso em: 27 set. 2025.

TUCCI, Carlos. “Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil”. *Rega/Global Water Partnership South America*, v. 1, n. 1, p. 59-73, 2004.