

Aplicação do modelo HAND para modelagem de suscetibilidade à inundação nos bairros de Ilhéus, sul da Bahia (Brasil)

João Gabriel de Moraes Pinheiro ^{1*}

¹Bacharelado em Geografia, Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil. pinheirogabriel@gmail.com

Histórico do Artigo: Submetido em: 20/08/2023 – Revisado em: 14/01/2024 – Aceito em: 11/02/2024

RESUMO

A presente pesquisa bem como a utilização de procedimentos teórico-metodológicos possui o objetivo principal de mapear, quantificar e mensurar as áreas suscetíveis a inundação distribuída nos bairros da sede municipal de Ilhéus, no sul da Bahia, por meio da utilização das tecnologias de geoprocessamento e dos SIG. Após os processamentos dos dados no Hand Model, foi gerado 3 classificações de inundação, a saber: i) muito alto, ii) médio e iii) baixo. A classificação de muito alto ocupa uma área de 617,8 hectares, a classificação de inundação média ocupa 201,3 hectares, e por último a classificação baixa ocupa 194,2 hectares. Diante da realização da modelagem de inundação no deslizamento na sede municipal de Ilhéus, constatou-se que parte considerável da mancha urbana estar suscetível ao risco de inundação, principalmente nas áreas urbanas de alta densidade de edificações. Relativo à inundação a mesma ocorre devido as cheias do rio, bem como a drenagem superficial ineficiente do município.

Palavras-Chaves: Geoprocessamento. Inundações. Modelagem.

RESUMO GRÁFICO // GRAPHICAL ABSTRACT (*in portuguese*)

APLICAÇÃO DO MODELO HAND PARA MODELAGEM DE SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO NOS BAIRROS DE ILHÉUS, SUL DA BAHIA

Contexto da pesquisa

O artigo intitulado de “Aplicação do modelo Hand para modelagem de suscetibilidade à inundação nos bairros de Ilhéus, sul da Bahia” tem por objetivo demonstrar a utilização do sensoriamento remoto e geotecnologias bem como procedimentos teórico-metodológicos para mapear, quantificar e mensurar as áreas suscetíveis a inundação distribuída nos bairros da sede municipal de Ilhéus, no sul da Bahia, por meio da utilização das tecnologias de geoprocessamento, como o modelo Hand.



Materiais e métodos

- Utilizada a abordagem desenvolvida por pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) denominado de HAND (*Height Above Nearest Drainage*);
- Foi utilizado como *input* de dados o MDE do ALOS PALSAR, pré-processado pela Alaska Satellite Facility, com resolução espacial de 12,5 m
- A 1ª etapa consistiu na determinação do fluxo de drenagem e na correção do MDE;
- Na segunda etapa, é obtido a rede de drenagem. Através do MDE hidrológicamente corrigido;
- Na terceira etapa é gerada a topologia HAND.



Principais resultados

Após o processamentos dos dados no Hand Model, foi gerado 3 classificações de inundação, a saber: i) muito alto, ii) médio e iii) baixo

- Muito alto: 617,8 hectares • Média: 201,3 hectares • Baixa: 194,2 hectares.
- Tamanho da sede municipal: 5.059, 15 hectares;
- Tamanho total das manchas de inundação: 1.476,38 hectares (29,12% da área total da mancha urbana);

Autoria

João Gabriel de Moraes Pinheiro - Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais (DCAA) da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC).

Pinheiro, J.G.D. (2024). Aplicação do modelo HAND para modelagem de suscetibilidade à inundação nos bairros de Ilhéus, sul da Bahia (Brasil). *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.5, n.1, p.02-12.



Application of the hand model for flood susceptibility modeling in the neighborhoods of Ilhéus, south Bahia (Brazil)

ABSTRACT

This research, as well as the use of theoretical-methodological procedures, has the main objective of mapping, quantifying and measuring the areas susceptible to flooding distributed in the neighborhoods of the municipal headquarters of Ilhéus, in the south of Bahia, through the use of geoprocessing technologies and GIS. After processing the data in the Hand Model, 3 flood classifications were generated, namely: i) very high, ii) medium and iii) low. The very high classification occupies an area of 617.8 hectares, the medium flood classification occupies 201.3 hectares, and lastly the low classification occupies 194.2 hectares. When carrying out landslide flooding modeling at the municipal headquarters of Ilhéus, it was found that a considerable part of the urban area is susceptible to the risk of flooding, especially in urban areas with high density of buildings. Regarding flooding, it occurs due to river flooding, as well as inefficient surface drainage in the municipality.

Keywords: Geoprocessing. Floods. Modeling.

1. Introdução

No rol de fenômenos naturais catalisados pela ação antrópica, os eventos hidrológicos correspondem aos maiores índices de desastres registrados nas cidades do Brasil. A investigação, bem como a gestão e manejo das águas urbanas é uma das temáticas de interesse da Geografia e de áreas correlatas, devendo ser de interesse, sobretudo, da gestão pública nas esferas federal, estadual e municipal (Farias; Mendonça, 2019). Ao longo da história, as sociedades humanas demonstram tendência na ocupação nas áreas próximas aos rios, e neste local permanecem e desenvolvem-se. Neste sentido, evitar desastres hidrológicos é uma tarefa inescrutável, sendo necessário, portanto, medidas de mitigação e prevenção (Goerl; Michel; Koiybama, 2017). Essas medidas por sua vez, podem ser classificadas em estruturais, como obras de engenharia, e não estruturais, a exemplo do mapeamento, educação ambiental, sistema de monitoramento e alerta (Koiybama et al., 2006).

No Brasil, a Lei Federal Nº 12.608, de 10 de abril de 2012, institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), na qual abrange as políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano nas esferas de meio ambiente, saúde, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos e entre outros (Brasil, 2012). Outrossim, as áreas de riscos podem ser conceituadas como a probabilidade de consequências adversas ou perdas que são o resultado da interação entre perigos e sistemas humanos (UNDP, 2004). Para além do conceito supracitado, o risco pode ser representado através função: $R = f(H, V)$, onde R é risco, H é perigo (hazard), e V é vulnerabilidade (Lima, 2021). A vulnerabilidade por sua vez, está associada à condição dos indivíduos e/ou coletividade e pode ser determinada a partir do grau estimado e prejuízos que um evento adverso, como a inundação pode provocar (Fonseca; Ferentz, 2020; Pinheiro, 2007).

Por meio dos métodos e técnicas empregadas na análise espacial e executada nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) utilizando dados oriundos do sensoriamento remoto, as áreas suscetíveis à inundação podem ser mensuradas através da modelagem, sendo possível também identificar e quantificar as manchas de inundação. A partir do momento em que os Modelos Digitais de Elevação (MDE) foram consolidados como uma fonte de informação sobre as cotas de altitude, foi possível (quando aplicado em modelos hidrológicos), avaliar a previsão do fluxo e da direção do escoamento da água. Dessa forma, a aplicação e utilização desses modelos e tecnologias auxiliam na criação de políticas públicas e ações, com vistas a implementar o zoneamento de áreas de riscos e planos de adaptação e mitigação de áreas com grande suscetibilidade à inundação (Mengue et al., 2016).

Neste sentido, a presente pesquisa bem como a utilização de procedimentos teórico-metodológicos, possui o objetivo principal de mapear, quantificar e mensurar as áreas suscetíveis a inundação distribuída nos bairros da sede municipal de Ilhéus, no sul da Bahia, por meio da utilização das tecnologias de

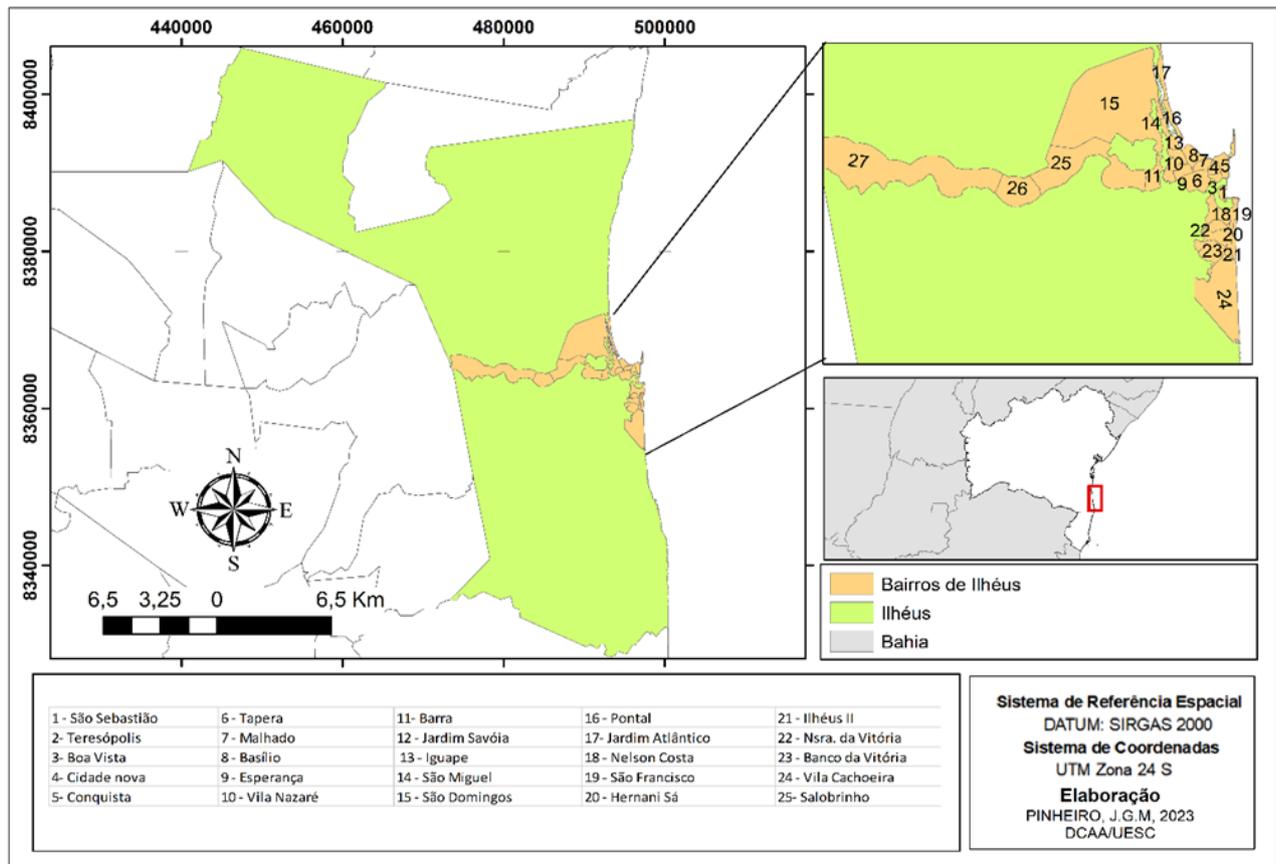
geoprocessamento e dos SIG. Dessa forma, esta pesquisa justifica-se pela capacidade de subsidiar a gestão pública municipal no que tange a implantação/implementação de políticas, ações e diretrizes que visem conter à ocupação nas áreas de risco de inundação, assim como a adaptação e mitigação aos riscos hidrológicos, por meio da modelagem de inundação.

2. Material e Métodos

2.1 Características da área escolhida para o estudo

O município de Ilhéus está localizado no Sul da Bahia do estado da Bahia, sob as coordenadas geográficas Latitude: -14.7973, Longitude: -39.0355 14° 47' 50" Sul, 39° 2' 8" Oeste, numa altitude de 52 metros, tendo como municípios limítrofes Itabuna, Una e Uruçuca. O município possui uma extensão territorial de 1.585 km², com uma densidade demográfica em 2010 de 104.67 hab/km². A parte urbanizada do município corresponde a 0,77% da área total, sendo dividido em 25 bairros (Figura 1). Segundo o último censo demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Ilhéus possuía em 2010 100.196 habitantes, todavia de acordo com a projeção população realizada no ano de 2020 tendo como base o censo de 2010, a população é de 184.236 habitantes, porém, segundo o último censo demográfico de 2022, com dados coletados até 25 de dezembro, Ilhéus possui 197.163 habitantes.

Figura 1 – Mapa de localização do município de Ilhéus
Figure 1 - Location map of the municipality of Ilhéus



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).
Source: Prepared by the author

No tocante as características físicas e naturais, o município de Ilhéus está localizado completamente no Bioma da Mata Atlântica, especificamente na região fitoecológica da floresta ombrófila densa e inserida em ambiente litorâneo no Domínio Morfoclimático dos Mares de Morros. Este bioma possui uma grande diversidade, sendo composto por vários ecossistemas florestais e não-florestais, classificados de acordo com critérios botânicos, fisionômicos, geográficos e geológicos, além disso, a Mata Atlântica é responsável pela regulação dos mananciais hídricos e promoção da fertilidade dos solos (Batalha-Filho, Miyaki; 2011).

Referente ao clima, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger o município está na categoria Aw possuindo uma temperatura média de 23,5°C e uma pluviosidade média anual de 990 mm. Quanto aos solos o município possui três tipos de acordo com a Classificação Brasileira de Solos (SIBC), a saber: Latossolo Amarelo (45,5%), Luvissolo Cômico (29,57%), Latossolo Vermelho-Amarelo (5,51%), Gleissolo Tiomórfico (1,69%), Espodossolo Humilúvico (6,0%), Argissolo Vermelho – Amarelo (8,88%) e Neossolo Quartzarêico (1,21%).

2.2 Modelo HAND

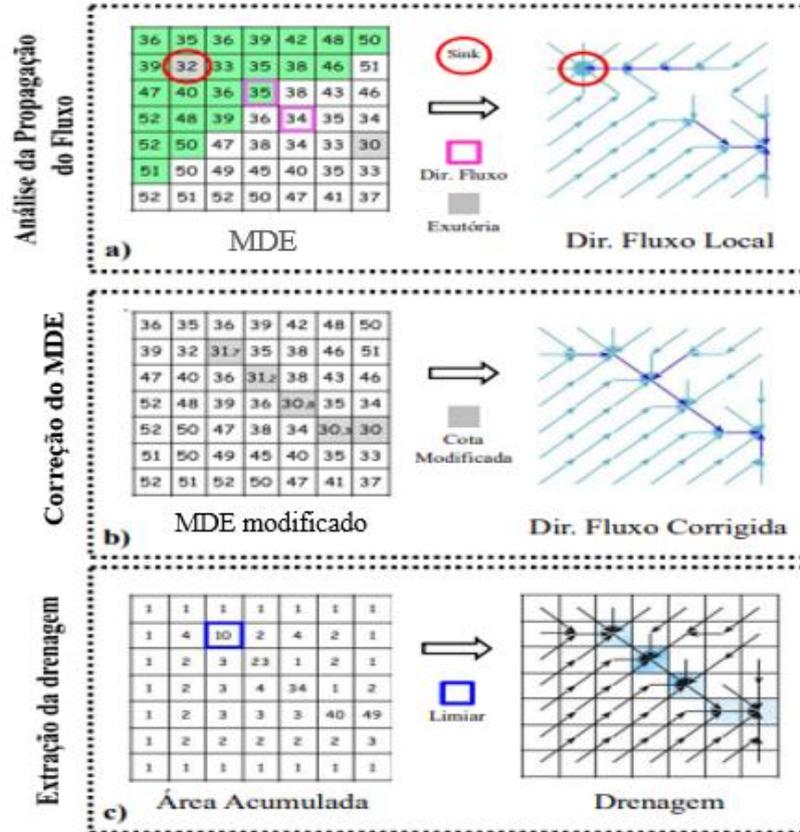
Para a realização da modelagem de áreas suscetíveis à inundação, utilizou-se uma abordagem desenvolvida por pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) denominado de HAND (*Height Above Nearest Drainage*) (Nobre et al., 2011). Esse modelo de terreno desenvolvido pelo INPE, tem sido utilizado no mapeamento das condições hidrológicas do terreno, bem como sendo possível realizar o mapeamento de áreas suscetíveis à inundação (Momo et al., 2016). No modelo HAND, Nobre et al. (2016) com o objetivo de classificar as áreas segundo a saturação de água presente no solo, a rede de drenagem mais próxima como principal atributo, utilizando dessa forma, a altura local relativa, em vez de considerar a altura em relação ao nível do mar.

2.3 Aplicação do modelo HAND

O modelo HAND foi construído na linguagem C++, dessa forma contém procedimentos pré-definidos para o processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE), sendo extraído automaticamente a rede de drenagem, a partir deste processamento da rede de drenagem do MDE, é gerada a topologia HAND (Rennó et al, 2008; Nobre et al., 2011; Momo et al., 2016). O modelo HAND tem como entrada um MDE, dessa forma, para realizar o mapeamento das áreas suscetíveis à inundação na sede municipal de Ilhéus, utilizou-se o MDE do ALOS PALSAR, pré-processado pela *Alaska Satellite Facility*, com resolução espacial de 12,5 m (ASF, 2015). Todo o processamento do modelo HAND é desenvolvida em três etapas, as duas primeiras utilizando métodos pré-estabelecidos por O'Callaghan e Mark (1984), Jenson e Domingue (1988). A terceira etapa por sua vez é desenvolvida utilizando a nova metodologia para o HAND, desenvolvido por Nobre et al. (2011).

A Primeira etapa consiste na determinação do fluxo de drenagem e na correção do MDE. Na fase de correção, é eliminado as imperfeições (*sinks*) para garantir que o fluxo d'água em todas as células do MDE (Figura 2). Após a correção, as direções bem como as áreas de acumulação de fluxo de cada célula são determinadas (Goerl; Michel; Kobiyama, 2017). O método *Deterministic Eight-Neighbors* utiliza a regra da maior declividade para atribuir a direção do fluxo d'água, este método tem como produto uma grade de pontos denominada de Direção do Fluxo de Drenagem (DFD), do inglês *Local Drain Direction* (LDD) Momo et al., 2016).

Figura 2 – Fases para a determinação da consistência hidrológica do MDE: a) consistência hidrológica; b) determinação do caminho do fluxo; c) delimitação dos canais de drenagem.
 Figure 2 - Phases for determining the hydrological consistency of the MDE: a) hydrological consistency; b) determination of the flow path; c) delimitation of drainage channels.



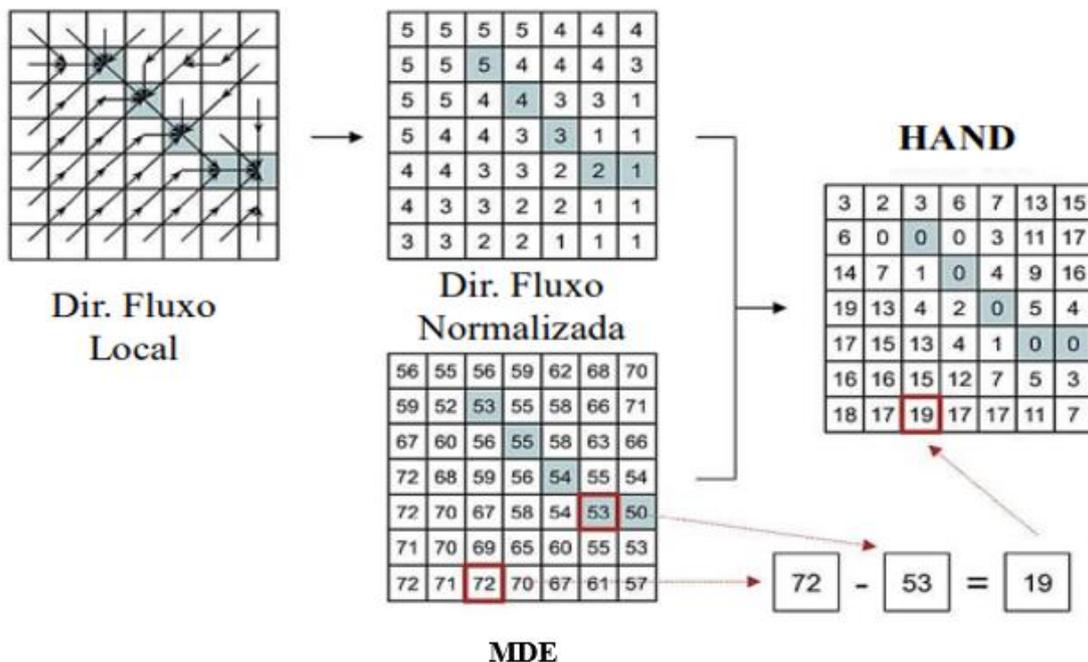
Fonte: Goerl; Michel; Kobiyama (2017).
 Source: Goerl; Michel; Kobiyama (2017).

Na segunda etapa, é obtido a rede de drenagem. Através do MDE hidrológicamente corrigido e do DFD, são calculados, para cada célula de grade, os valores acumulados dos fluxos recebidos, na qual as células com os maiores valores apontam para um maior gradiente de concentração do fluxo acumulado.

Na terceira etapa é gerada a topologia HAND. Nesta fase, o modelo classifica todos os pontos da malha de entrada por meio das distâncias verticais relativas ao curso d'água mais próximo, ao longo das trajetórias superficiais de fluxo.

O resultado desta etapa consiste em um MDE normalizado (Figura 3), onde cada ponto da malha recebe um novo valor altimétrico referenciado topograficamente à rede de drenagem (Goerl; Michel; Kobiyama, 2017). Posteriormente, o MDE foi reclassificado na qual foram determinados pesos a cotas específicas. Dessa forma, cotas com baixa suscetibilidade à inundação receberam peso 3, cotas intermediárias receberam peso 2 e cotas elevadas, peso 1.

Figura 3 – Normalização do MDE através do modelo HAND
 Figure 3 - Normalization of the DEM through the HAND model



Fonte: Goerl; Michel; Kobiyama (2017).
 Source: Goerl; Michel; Kobiyama (2017).

3. Resultados e Discussão

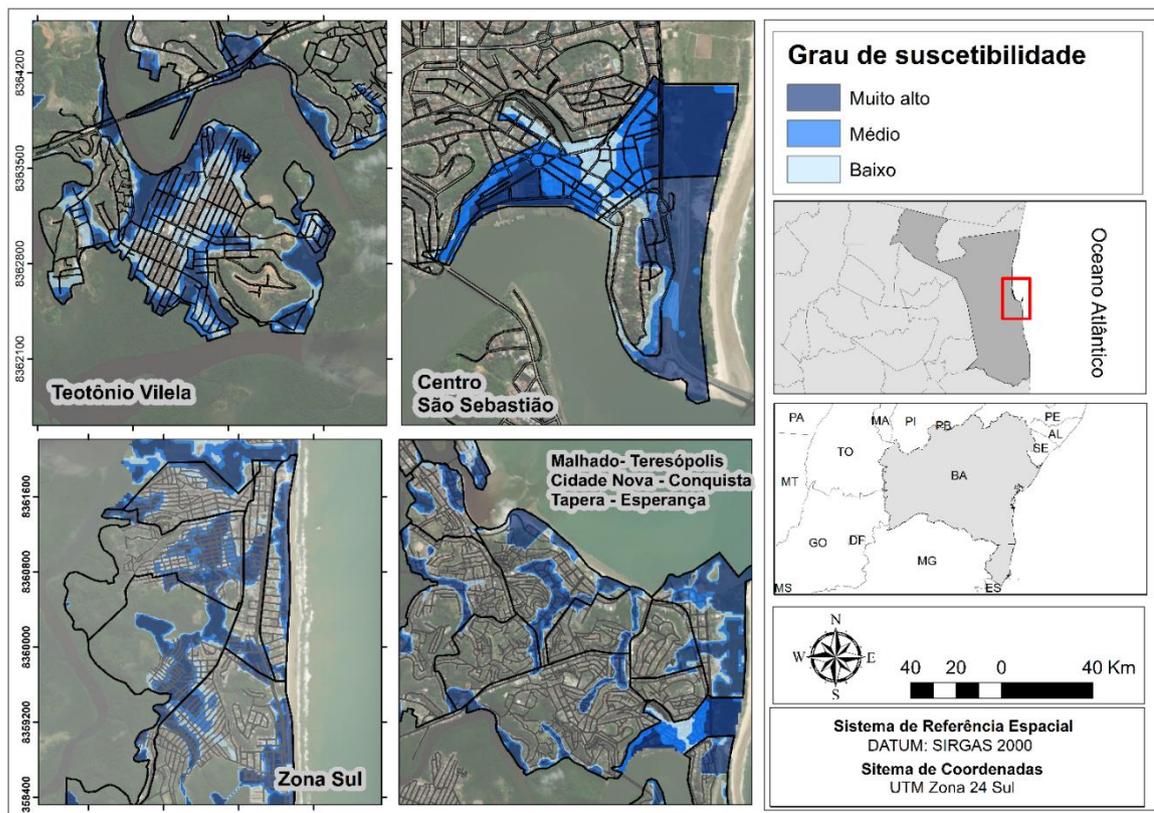
Após os processamentos dos dados no Hand Model, foi gerado 3 classificações de inundação, a saber: i) muito alto, ii) médio e iii) baixo. A classificação de muito alto ocupa uma área de 617,8 hectares, a classificação de inundação média ocupa 201,3 hectares, e por último a classificação baixa ocupa 194,2 hectares (figura 4).

Ao todo, os bairros que compõem a sede municipal de Ilhéus possuem uma área total de 5.059, 15 hectares. As manchas de inundação de todos os bairros totalizam 1.476,38 hectares, o que corresponde a 29,12% da área total da sede municipal. Os bairros de Ilhéus que possuem maiores suscetibilidades a inundação são: Nossa Senhora da Vitória (correspondendo a 5,51% da área total da sede municipal), Iguape (correspondendo a 2,65 % da área total da sede municipal), Teotônio Vilela (correspondendo a 2,45 % da área total da sede municipal) Pontal (correspondendo a 2,44 % da área total da sede municipal) e Jardim Atlântico (correspondendo a 2,34 % da área total da sede municipal) (tabela 1).

Por meio da espacialização das manchas de inundação, percebe-se que a maior frequência das inundações está localizada nos bairros que compõem a zona sul da cidade, a saber: i) Pontal, Jardim Atlântico, Nelson Costa, São Francisco, Hernani Sá, Ilhéus II e Nossa Senhora da Vitória. Todavia, o Teotônio Vilela (zona oeste) e o centro praticamente possuem seu perímetro todo suscetível da inundação alta.

Figura 4 – Mapeamento das áreas suscetíveis à inundação, setorizado por bairros, na sede municipal de Ilhéus – Bahia

Figure 4 - Mapping of areas susceptible to flooding, divided into neighborhoods, in the municipal headquarters of Ilhéus – Bahia



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).
Source: Prepared by the author

No que concerne à densidade populacional, segundo a malha de setores censitários disponibilizadas pelo IBGE, uma grande parte (90%) da sede municipal de Ilhéus é caracterizada como área urbana de alta densidade de edificações, possuindo dessa forma, maior densidade populacional. Na análise da Figura 5, constata-se que cerca de 95% das manchas de inundação na sede municipal estão localizadas nas áreas de maior concentração de edificações e de população. Diante deste fato, as populações distribuídas nos bairros deste setor estão mais vulneráveis aos efeitos da inundação em comparação com outros setores com uma baixa densidade de habitação.

Tabela 1 – Áreas suscetíveis à inundação na sede municipal de Ilhéus em hectares
Table 1- Areas susceptible to flooding in the municipal seat of Ilhéus in hectares.

Bairro	Tamanho da mancha de inundação (ha)
Nossa Sra. Da Vitória	278,90
Iguape	134,15
Teotônio Vilela	124,38
Pontal	123,60

Jardim Atlântico	118,66	
Hernani Sá	95,08	
São Miguel	88,15	
São Domingos	73,80	
Cidade Nova	70,48	
Nelson Costa	66,30	
Malhado	48,92	
Conquista	47,66	
Centro	38,46	
Basílio	35,16	
Esperança	31,24	
Tapera	29,58	
Boa Vista	26,91	
Teresópolis	22,91	
Jardim Savóia	8,08	
São Francisco	8,08	
Ilhéus II	5,88	Elaborado

Fonte:

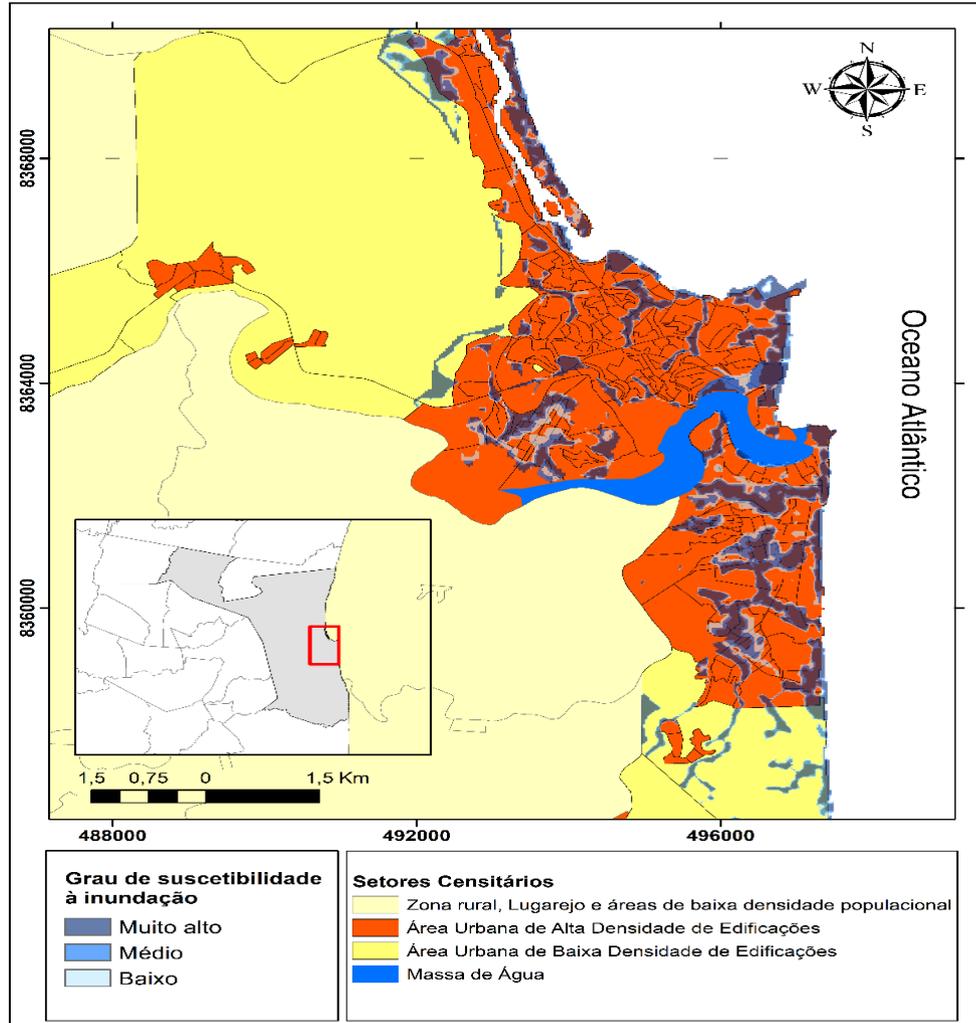
pele autor (2023).
Source: Prepared by the author

Os resultados obtidos a partir da modelagem de inundação pelo Hand Model podem ser analisados sob dois vieses. *A priori*, as inundações que ocorrem na sede municipal de Ilhéus é o produto da cheia produzido pela bacia hidrográfica do Rio Cachoeira. A inundação é ocasionada devido ao escoamento de refluxo, que ocorre quando o nível do rio principal é superior ao escoamento no canal de drenagem. Dessa forma, a velocidade pela qual acontece o enchimento das áreas suscetíveis à inundação dos afluentes depende da diferença existente no nível entre o rio principal e o ponto ao qual está sendo considerado (Momo et al., 2016).

A posteriori, as inundações também ocorrem devido a impermeabilização do solo urbano e o escoamento superficial ineficiente. Na medida em que o solo urbano é impermeabilizado, o escoamento é acelerado por meio de condutos e canais, dessa forma, a quantidade de água que ao mesmo tempo entra no sistema de drenagem aumenta, ocasionando em inundações com mais frequência do que as que existiam quando o solo era permeável (Santos, 2012).

Diante da alta suscetibilidade que a sede municipal de Ilhéus possui frente as inundações, a comunicação e gestão dessas áreas configuram-se como o supressumo para evitar que eventos de caráter hidrológico ocasionem na perda material e de vida. A comunicação do risco de inundação pode ser entendida como um processo de intercâmbio de informações, claras e de caráter explicativo entre os agentes envolvidos na temática nas mais diversas dimensões espaciais (Fonseca; Garcias, 2020). Na inundação a unidade de gestão e planejamento é a bacia hidrográfica, configurando-se como um sistema de múltiplas relações aos quais os elementos naturais e antrópicos estão intrinsecamente relacionados, influenciando na dinâmica da própria bacia e dos municípios.

Figura 5 – Mapeamento das áreas suscetíveis à inundação, por setores censitários, na sede municipal de Ilhéus
 Figure 5 - Mapping of areas susceptible to flooding, by census sectors, in the municipal headquarters of Ilhéus – Bahia



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).
 Source: Prepared by the author

O mapeamento de suscetibilidade à inundação a partir do modelo Hand, associado a distribuição socioespacial das manchas de inundação, ressaltam a importância da revisão das normas existentes de uso e ocupação da terra, bem como o desenvolvimento e adoção de novas técnicas de construção que promovam e legitimem o planejamento da ocupação da terra. Em escala municipal, existe a necessidade de incorporar a avaliação de risco de desastres de inundação no planejamento urbano e gestão de áreas de risco que possuam uma alta densidade populacional (Pozzer et al., 2014).

4. Conclusão

Diante da realização da modelagem de inundação no deslizamento na sede municipal de Ilhéus, constatou-se que parte considerável da mancha urbana estar suscetível ao risco de inundação, principalmente nas áreas urbanas de alta densidade de edificações. Relativo à inundação a mesma ocorre devido as cheias do rio devido a atividade pluviométrica, bem como a drenagem superficial urbana ineficiente do município. Nesse sentido, as ferramentas de geoprocessamento e o modelo Hand demonstram-se eficientes na realização da modelagem de inundação bem como na classificação da mesma.

Dessa forma, devido ao panorama de vulnerabilidade e risco da população residente, existe a necessidade proeminente da implantação/implementação de políticas públicas, diretrizes e ações que visem promover a mitigação e adaptação aos efeitos dos riscos geológicos. Além disso o município de Ilhéus poderá construir um plano municipal e ação à desastres naturais e antrópicos com objetivo de sistematizar de maneira teórica e metodológica ações de prevenção e manutenção de áreas afetadas. Ressalta-se também a necessidade do trabalho intersetorial da Secretaria de Infraestrutura com as Secretarias de Meio Ambiente e Assistência Social, para trabalharem de maneira concomitantemente para monitorar os riscos e as populações vulneráveis distribuídas nos bairros e nas zonas. Por fim, salienta-se a importância da promoção de ações de educação ambiental que visem conscientizar e informar a população de possíveis áreas de risco, assim como treinamentos que reduzem as ações que coloquem ainda mais em risco a comunidade.

5. Referências

ASF - Alaska Satellite Facility. (2015). **Radiometrically Terrain Corrected ALOS PALSAR products**. Product Guide, revision 1.2. Fairbanks, Alaska: [s.n.]. Disponível em: <https://asf.alaska.edu/wp-content/uploads/2019/03/rtc_product_guide_v1.2.pdf>. Acesso em: 22 jul. de 2023.

Batalha-Filho, H.; Miaky, C. Y. (2011). Filogeografia da Mata Atlântica. **Revista da Biologia**, 7, p. 31-34.

BRASIL. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei Federal Nº 12.608, de 10 de abril de 2012**. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasília, 2012.

Farias, A.; Mendonça, F. A. (2019). Modelagem e mapeamento de áreas de perigo de inundação urbana na cidade de Francisco Beltrão (Brasil). **Physis Terrae-Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente**, 1, (1), p. 73-91.

Fonseca, M. N. da.; Ferentz, L.M.S. (2020). Percepções sobre as consequências e prejuízos de inundações: estudo aplicado em Pinhais, Paraná. **Revista Brasileira de História & Ciências Sociais – RBHCS**, 12, (23).

Fonseca, M. N.; Garcias, C. M. (2020) Comunicação de risco de inundação: instrumento fundamental da gestão de riscos de desastres. **DRd-Desenvolvimento Regional em debate**, 10, p. 1139-1159.

Goerl, R. F.; Michel, G. P.; Kobiyama, M. (2017). Mapeamento de áreas susceptíveis a inundação com o modelo HAND e análise do seu desempenho em diferentes resoluções espaciais. **Revista brasileira de cartografia**, 69, (1), p. 61-69.

Jenson, S. K.; Domingue, J. O. (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 54, (11), p.1593–1600.

Kobiyama, M. et al. (2006). **Prevenção de desastres naturais: Conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading. 109 p. ISBN: 85-87-75503-X.

Lima, R. E. et al. (2021). Proposta metodológica para mapeamento de risco de inundação no município de Curitiba (Paraná). **Caminhos de Geografia**, 22, (82), p. 01-12.

Mengue, V. P. et al. (2016). Utilização do Modelo HAND para mapeamento das áreas mais suscetíveis à inundação no Rio Uruguai. **Pesquisas em Geociências**, 43, (1), p. 41-53.

Momo, M. R. et al. Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial. **RBRH**, 21, p. 200-208, 2016.

Nobre, A. D. et al. Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model. **Journal of Hydrology**, 404, (1), p. 13-29, 2011.

O’callagan, J. F.; Mark, D. M. (1984). The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 28, (3), p. 323–344.

Pinheiro, A. (2007). Enchentes e inundações. In: SANTOS, R. F. (Org.). **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 97-108. ISBN: 978-85-7738-080-0.

Pozzer, C. P. et al. (2014). O Marco de Ação de Hyogo aplicado à gestão de risco de inundação no Brasil e em Portugal. **Territorium**, 21, p. 49-70.

Rennó, C. D. et al. (2008). HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM; mapping terra-fi rme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, 112, p. 3469-3481.

Santos, K. R. (2012). Inundações urbanas: um passeio pela literatura. **Élisée-Revista de Geografia da UEG**, 1, (01), p. 177-190.

UNDP - United Nations Development Program. (2004). **Reducing disaster risk: a challenge for development**. New York: UNDP, 130 p.