



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE RISCOS
E DESASTRES NATURAIS NA AMAZÔNIA**

EDUARDO AYRON GOMES SOARES

**SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA
DE PREVENÇÃO DE RISCO: MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À
INUNDAÇÃO EM MUNICÍPIOS PARAENSES.**

**BELÉM - PA
2024**

EDUARDO AYRON GOMES SOARES

**SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA
DE PREVENÇÃO DE RISCO: MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À
INUNDAÇÃO EM MUNICÍPIOS PARAENSES.**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastres Naturais na Amazônia, da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

Linha de pesquisa: Vulnerabilidade das Populações em Áreas de Risco.

Orientador: Prof. Dr. Gilmar Wanzeller Siqueira

BELÉM - PA
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBDSistema
de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S676s Soares, Eduardo.
 SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO
 COMO FERRAMENTA DE PREVENÇÃO DE RISCO:
 mapeamento de áreas suscetíveis à inundação em municípios
 paraenses / Eduardo Soares. — 2024.
 Lx, 60 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Gilmar Siqueira
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de
 Geociências, Programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e
 Desastre na Amazônia, Belém, 2024.
1. Inundação. 2. Sensoriamento Remoto. 3.
 Geoprocessamento. 4. Susceptibilidade. 5. Prevenção. I. Título.

CDD 016.558115

EDUARDO AYRON GOMES SOARES

**SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA
DE PREVENÇÃO DE RISCO: MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À
INUNDAÇÃO EM MUNICÍPIOS PARAENSES.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação – (Stricto Sensu) Mestrado Profissional em Gestão de Risco e Desastre na Amazônia, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

Área de Concentração: Minimização de Riscos e Mitigação de Desastres Naturais na Amazônia

Linha de pesquisa: Vulnerabilidade de Populações em Áreas de Risco

Orientador: Prof. Dr. Gilmar Wanzeller Siqueira

DATA DE AVALIAÇÃO: ____/____/____

Banca Examinadora

Orientador (PPGGRD)
Prof. Dr. Gilmar Wanzeller Siqueira
Universidade Federal do Pará

Membro Interno (PPGGRD)
Prof. Dr. João de Athaydes Silva Júnior
Universidade Federal do Pará

Membro Interno (PPGGRD)
Prof. Dr. Giordani Rafael Conceição Sodré
Universidade Federal do Pará

Membro Externo
Prof. Dr. Marcos Valério de Albuquerque Vinagre
Universidade da Amazônia

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer aos meus familiares e amigos que nunca deixaram de me apoiar. Desejo destacar neste momento de gratidão a **Roberta Sodré**, um ser de luz e de amor, que esteve do meu lado em meio as crises de ansiedade quando eu pensava em desistir de tudo. Obrigado, Roberta. Muito provavelmente sem sua ajuda não teria concluído este curso, você sempre terá meu profundo carinho e admiração.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Gilmar Wanzeller Siqueira, por toda assistência e orientação durante a construção deste trabalho. Aos Professores e Professoras do PPGGRD pelo conhecimento explanado durante as disciplinas ao longo do programa que foram indispensáveis para produção deste trabalho. Agradeço também aos colegas da turma do PPGGRD/2022 pelo companheirismo durante estes dois anos.

A findar, por ser um grande fã de música gostaria de deixar eternizado alguns versos de artistas que me ajudaram ao longo da construção desta pesquisa:

“Pra quem não sabia contar gotas
‘Cê aprendeu a nadar
O mar te cobriu sereno
Planeta marte
Sem ponto, sem virgula, sem meia, descalça
Descascou o medo pra caber coragem”

Liniker - Psiu

“É necessário sempre acreditar que o sonho é possível
Que o céu é o limite e você, truta, é imbatível
Que o tempo ruim vai passar, é só uma fase
Que o sofrimento alimenta mais a sua coragem”

Racionais MC's – A vida é desafio

RESUMO

A inundação é um desastre pertencente   classe hidrológica, que afeta milhares de pessoas ao redor do mundo do ano. Ao tratar da situação dos municípios paraenses frente às inundações,   possível identificar que é uma problemática que afeta diversos municípios, existem 3.021 trechos inundáveis no Pará. Tal cenário enfatiza a importância da gestão de riscos e a necessidade de investimentos em medidas de prevenção em relação às inundações. Diante deste cenário o sensoriamento remoto e geoprocessamento surgem como alternativa para identificação das áreas suscetíveis a inundação podendo ajudar os gestores públicos a criar medidas de prevenção em relação aos desastres. O presente trabalho teve como objetivo utilizar o modelo Height Above Nearest Drainage (HAND) para mapear as áreas susceptíveis   inundação em municípios paraenses utilizando dados secundários, livres e ferramentas gratuitas. A supracitada metodologia consiste em utilizar um modelo digital de elevação (MDT) com intuito de efetuar a normalização da altimetria do terreno com base nas cotas da drenagem, o método utiliza a diferença entre a altitude do terreno e a altitude do canal para prever o grau de susceptibilidade   inundação. Os municípios mapeados foram Porto de Moz que já possui um mapa de setorização de risco produzido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e o outro município foi Anajás que ainda não possui mapeamentos de áreas susceptíveis a inundações. Os resultados obtidos através do HAND para o município de Porto de Moz foram positivos, pois, as comparações com produtos gerados pelo CPRM demonstraram similaridades com pontos de susceptibilidade a inundação identificados em ambos mapeamentos. Portanto, o método foi aplicado no município de Anajás gerando o mapa de susceptibilidade a inundação para   área urbana, onde foi constatado que 55,1% da área urbana de Anajás é altamente suscetível   inundação e através da inserção dos dados censitários do ano de 2022 no mapa produzido, foi possível observar que 90% das intuições de ensino e estabelecimentos de saúde estão em área de alta susceptibilidade   inundação. Os resultados alcançados indicam que o sensoriamento remoto e o geoprocessamento são ferramentas que contribuem positivamente para gestão de risco, possibilitando que sejam identificadas as áreas mais sujeitas a inundações, facilitando a criação de planos de prevenção por parte dos órgãos públicos competentes, todavia, exige-se que sejam feitos investimentos em qualificação dos servidores públicos e equipamentos de qualidade para alcançar o potencial máximo dessas ferramentas.

Palavras-chave: inundação; sensoriamento remoto; geoprocessamento; susceptibilidade; prevenção.

ABSTRACT

Flooding is a hydrological disaster that affects thousands of people around the world every year. When dealing with the situation of municipalities in Pará in the face of flooding, it is possible to identify that it is a problem that affects several municipalities, there are 3,021 floodable stretches in Pará. This scenario emphasizes the importance of risk management and the need for investments in prevention measures in relation to flooding. Given this scenario, remote sensing and geoprocessing emerge as an alternative for identifying areas susceptible to flooding and can help public managers create prevention measures in relation to disasters. The present work aimed to use the Height Above Nearest Drainage (HAND) model to map areas susceptible to flooding in municipalities in Pará using free secondary data and free tools. The aforementioned methodology consists of using a digital elevation model (MDT) with the intention of normalizing the terrain altimetry based on transport elevations. The method uses the difference between the terrain altitude and the channel altitude to predict the degree of susceptibility to flooding. The municipalities mapped were Porto de Moz, which already has a risk sectorization map produced by the Mineral Resources Research Company (CPRM) and the other municipality was Anajás, which does not yet have mapping of areas susceptible to flooding. The results obtained through HAND for the municipality of Porto de Moz were positive, as comparisons with products generated by CPRM demonstrated similarities with points of susceptibility to flooding identified in both mappings. Therefore, the method was applied in the municipality of Anajás, generating the flood susceptibility map for the urban area, where it was found that 55.1% of the urban area of Anajás is highly susceptible to flooding and through the insertion of census data from the year 2022 on the map produced, it was possible to observe that 90% of teaching institutions and health establishments are in areas of high susceptibility to flooding. The results achieved indicate that remote sensing and geoprocessing are tools that positively improve risk management, enabling the identification of areas most prone to flooding, facilitating the creation of prevention plans by competent public bodies, always requiring investments are made in the qualification of public servants and quality equipment to achieve the potential of these maximum tools.

Keywords: flood; remote sensing; geoprocessing; susceptibility; prevention.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Classificação dos desastres naturais.	16
Figura 2 - Elevação do nível de um rio provocada pelas chuvas, do nível normal até a ocorrência de uma inundação	18
Figura 3 - Interações entre perigo e vulnerabilidade.	19
Figura 4 - Obtenção de imagens por sensoriamento remoto.	21
Figura 5 - Propriedades da onda de energia eletromagnética: a) a amplitude = A , a frequência = v e o comprimento da onda.....	21
Figura 6 - Procedimentos desenvolvidos durante a elaboração das setorizações de áreas de risco geológico.	25
Figura 7 - Mapa de localização Porto de Moz.....	27
Figura 8 - Mapa altimétrico do município de Porto de Moz	28
Figura 9 - Mapeamento das áreas vulneráveis à inundação em Porto de Moz.....	29
Figura 10 - Mapa de localização do município de Anajás	30
Figura 11 - Mapa altimétrico do município de Anajás.....	31
Figura 12 - Trechos vulneráveis à inundação em Anajás.....	32
Figura 13 - Procedimentos preliminares HAND MODEL.....	33
Figura 14 - Etapa final do HAND Model	34
Figura 15 - Classes de susceptibilidade à inundação pelo HAND Model.....	35
Figura 16 - Testes dos limiares e comparação com a drenagem	39
Figura 17 - Novo teste de limiares e o comportamento da criação dos trechos de drenagem dentro do perímetro urbano de Porto de Moz.....	40
Figura 18 - Aplicação do Método HAND com testes de limiares.....	41
Figura 19 - Mapa de suscetibilidade à inundação do perímetro urbano município de Porto de Moz produzido através do HAND Model.	43
Figura 20 - Comparação do mapeamento produzido através do HAND Model com o mapeamento elaborado pelo CPRM.	44
Figura 21 - Plotagem dos pontos dos locais com históricos de inundação identificados pelo CPRM no MDT-HAND-500.....	45
Figura 22 - Testes de limiares e o comportamento da criação dos trechos de drenagem dentro do raio de 5 km.	47
Figura 23 - Mapa de suscetibilidade à inundação da área urbana do município de Porto de Moz produzido através do HAND model.	50
Figura 24 - Domicílios particulares localizados em áreas suscetíveis à inundação	51
Figura 25 - Estabelecimentos de ensino e saúde localizados em áreas suscetíveis à inundação	53

GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição dos eventos hidrológicos, geológicos e óbitos em 2018	17
Gráfico 2 - Representação das extensões das áreas de alto, médio, baixo grau de susceptibilidade à inundação apresentadas no MDT-HAND com limiar de 100.....	42
Gráfico 3 - Representação das extensões das áreas de alto, médio, baixo grau de susceptibilidade à inundação apresentadas no MDT-HAND com limiar de 250.....	42
Gráfico 4 - Representação das extensões das áreas de alto, médio, baixo grau de susceptibilidade à inundação apresentadas no MDT-HAND com limiar de 500.....	42
Gráfico 5 - Representação das extensões das áreas de alto, médio, baixo grau de susceptibilidade à inundação apresentadas no MDT-HAND com limiar de 100.....	48
Gráfico 6 - Representação das extensões das áreas de alto, médio, baixo grau de susceptibilidade à inundação apresentadas no MDT-HAND com limiar de 250.....	48
Gráfico 7 - Representação das extensões das áreas de alto, médio, baixo grau de susceptibilidade à inundação apresentadas no MDT-HAND com limiar de 500.....	49

TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos pontos identificados pelo CPRM.	46
Tabela 2 - Número de domicílios total e o número de domicílios localizados em áreas de alta suscetibilidade à inundação.	52

QUADROS

Quadro 1 - Sequência de procedimentos desenvolvidos durante a elaboração das setorizações de áreas de risco geológico.	25
Quadro 2 - Classificação dos graus de risco para enchentes e inundações	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASI	Italian Space Agency
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais SIG Sistemas de Informação Geográfica
CRED	Centro para Pesquisa sobre Epidemiologia de Desastres
COBRADE	Codificação Brasileira de Desastres
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DLR	German Aerospace Center
EM-DAT	The International Disaster Database
HAND	Heights Above the Nearest Drainage
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDT	Modelo Digital de Elevação
NASA	National Aeronautics and Space Administration
SITIM	Sistema de Tratamento de Imagens
SRTM	Shuttle Radar Topographic Mission
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PNPDC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
UFPA	Universidade do Estado do Pará
PPGGRD	Programa Pós-graduação em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	15
2.1 Geral.....	15
3.2 Específicos	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 Desastres naturais.....	16
3.2 Inundações.....	17
3.3 Risco e a susceptibilidade à inundação	18
4 MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1 Áreas de estudos	27
4.1.1 Porto de Moz	27
4.2 Procedimentos metodológicos.....	32
4.2.1 Método HAND	32
4.3 Modelo digital de terreno (MDT), softwares e bases de dados utilizados	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5.1 Mapeamento de susceptibilidade à inundação município de Porto de Moz	37
5.1.1 A influência do limiar na geração da rede de drenagem	37
5.1.2 Testes para a criação dos trechos de drenagem	38
5.1.4 Aplicação do Método HAND no município de Porto de Moz	40
5.1.5 Comparação das áreas susceptíveis a inundação identificadas HAND MODEL X CPRM	44
5.2 Aplicação do Método HAND no município de Anajás.....	46
5.3 O sensoriamento remoto e geoprocessamento como ferramenta de prevenção à inundação	54
6 CONCLUSÃO.....	56
REFERÊNCIAS	57
APÊNDICE	60

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de inundações está em processo de ascensão e intensificação em todo o mundo devido às mudanças climáticas e os seus respectivos efeitos são acentuados por causa do contexto de vulnerabilidade em que as pessoas afetadas estão inseridas.

Segundo Carvalho *et al.*, (2007), inundação é o processo de extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais (planície de inundação, várzea ou leito maior do rio) quando a enchente atinge cota acima do nível máximo da calha principal do rio. As inundações são desastres naturais responsáveis pela maior quantidade de pessoas afetadas e perdas econômicas entre anos 2000 e 2019, foram responsáveis por 44% de todas as catástrofes nesse período, afetando 1,6 bilhões de pessoas em todo o mundo e resultando na perda econômica de aproximadamente de US\$ 650 bilhões. O Brasil está entre os 10 países mais afetados por tal desastre, onde 41 milhões de pessoas foram afetadas nesse período (CRED; UNDRR, 2020).

O Atlas de Vulnerabilidade a Inundações identificou 13.948 trechos de rios inundáveis em 2.780 cursos d'água do País, dos quais 4.111 trechos, ou seja 30%, foram considerados de alta vulnerabilidade a inundações graduais, 6.051 (43%) de média e 3.786 (27%) de baixa propensão a essas ocorrências (Brasil, 2014, p.7).

Na Região Norte, dos 3.021 trechos inundáveis, 657 são de alta suscetibilidade à inundação e 1.594, de média. No Estado do Pará existem 1088 trechos inundáveis e são 142 trechos de elevada vulnerabilidade à inundação, apesar de possuir grande parte de seus trechos numa situação de média ou baixa vulnerabilidade à inundação, essa região apresenta eventos significativos de cheias e que merecem destaque pelos seus impactos (Brasil, 2014, p.8).

Diante desse contexto, alguns municípios paraenses estão localizados em áreas susceptíveis a inundação, demonstrando uma lacuna a ser explorada cientificamente, objetivando buscar formas de prevenção e mitigação a desastres hidrológicos no estado do Pará, visto que a frequência na ocorrência de inundações em todo o globo está aumentando com o passar dos anos.

Neste sentido, cabe ressaltar, em 2015 a Organização das Nações Unidas (ONU) através de uma assembleia criou 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para os países integrantes da ONU, com objetivo de acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade (ONU, 2015).

Entre os objetivos estabelecidos, vale destacar o objetivo número 11 que dispõe sobre

tornar as cidades e comunidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis, uma das metas a ser alcançada, visa reduzir até 2030, o número de mortes e pessoas afetadas por catástrofes, incluindo os desastres relacionados à água, com o foco em proteger os pobres e as pessoas em situação de vulnerabilidade (ONU, 2015).

No Brasil existe a Lei 12.608 que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), artigo 22, inciso I, incentiva a elaboração do mapeamento contendo as áreas suscetíveis a inundações bruscas em municípios com áreas suscetíveis a eventos de grandes impactos (Brasil, 2012).

As inundações tem sido objeto a ser avaliado em diversos estudos devido os danos causados na sociedade e no ambiente, em particular no contexto das alterações climáticas e do desenvolvimento socioeconómico (Zhou *et al.*, 2017). Neste sentido, o uso do sensoriamento remoto há de ser uma grande ferramenta para o mapeamento de eventos relacionados a inundações.

Pois, o sensoriamento remoto somado com as técnicas de geoprocessamento possibilitam que sejam produzidos produtos que identifiquem diversos fenômenos relacionados a desastres naturais de modo geral e assim produzir mapeamentos de modo geral que contribuam para tornar cidades mais resilientes e seguras, mediante ações de prevenção que foram possibilitadas a partir de produtos produzidos por sensoriamento remoto, a depender a modelagem aplicada o custo/eficácia é um ponto positivo a ser observado no uso de tal procedimento de mapeamento (Arrighi *et al.*, 2013). Os produtos gerados através do mapeamento de áreas suscetíveis à inundação podem ser usados como ferramenta para o planejamento de ações que visem a minimização dos danos ocasionados por inundações (Souza, Fernandes e Matos, 2021). Os produtos obtidos nos estudos de análise de risco permitem a formulação de um plano de prevenção de acidentes, com o intuito de priorizar a aplicação de medidas de prevenção nas áreas de alto risco críticos (Tucci, 2007; Brasil, 2006, p.22).

Comumente, o sensoriamento remoto é utilizado a partir de modelagens que usam descritores de terreno, denominado Modelo Digital de Elevação (MDT), para identificar diversos eventos relacionados a desastres. No contexto dos estudos relacionados a inundações surgem as modelagens hidrológicas que são utilizadas para identificar o risco ou susceptibilidades à inundações em determinada área de estudo.

Entre os modelos hidrológicos surge o método Height Above Nearest Drainage (HAND), que tem sido explorado por diversos estudos que se propõem a identificar áreas susceptíveis a inundação. Vale destacar as dissertações de Carvalho (2018) Speckhann (2018), e Senger (2021). Carvalho (2018), que usaram o Método HAND para o mapeamento de

manchas de inundação. Além dos artigos acadêmicos de Silva *et al.*, 2013; Pires e Borma, 2013; Nobre *et al.*, 2015; Momo *et al.*, 2016; Milanesi *et al.*, 2017 e Johnson *et al.*, 2019.

Este trabalho objetiva explorar e apresentar o sensoriamento remoto e o geoprocessamento como ferramenta viável e acessível para o mapeamento de áreas susceptíveis a inundação, podendo assim contribuir com gestão de riscos relacionados a inundações em municípios paraenses, visto que no estado Pará existem diversos trechos vulneráveis a tal desastre hidrológico, tais ferramentas podem ser um instrumento eficaz no auxílio de municípios com poucos recursos ou mão de obra técnica, mas, que devem iniciar a gestão de risco relacionados a inundações, mesmo que de forma preliminar, de modo que as mudanças climáticas devem acentuar a frequência das ocorrências das inundações e consequentemente os seus respectivos impactos aos grupos mais vulneráveis.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Utilizar o modelo de HAND para mapear as áreas susceptíveis à inundação em municípios paraenses utilizando dados secundários, livres e ferramentas gratuitas.

3.2 Específicos

1. Elaborar um mapa de susceptibilidade a inundação utilizando apenas o modelo de HAND de um município já mapeado pelo CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais);
2. Comparar áreas de riscos identificadas através do modelo de HAND com o mapa de setorização de áreas de risco às inundações do CPRM;
3. Mapear áreas susceptíveis à inundação em um município não mapeado pelo CPRM.

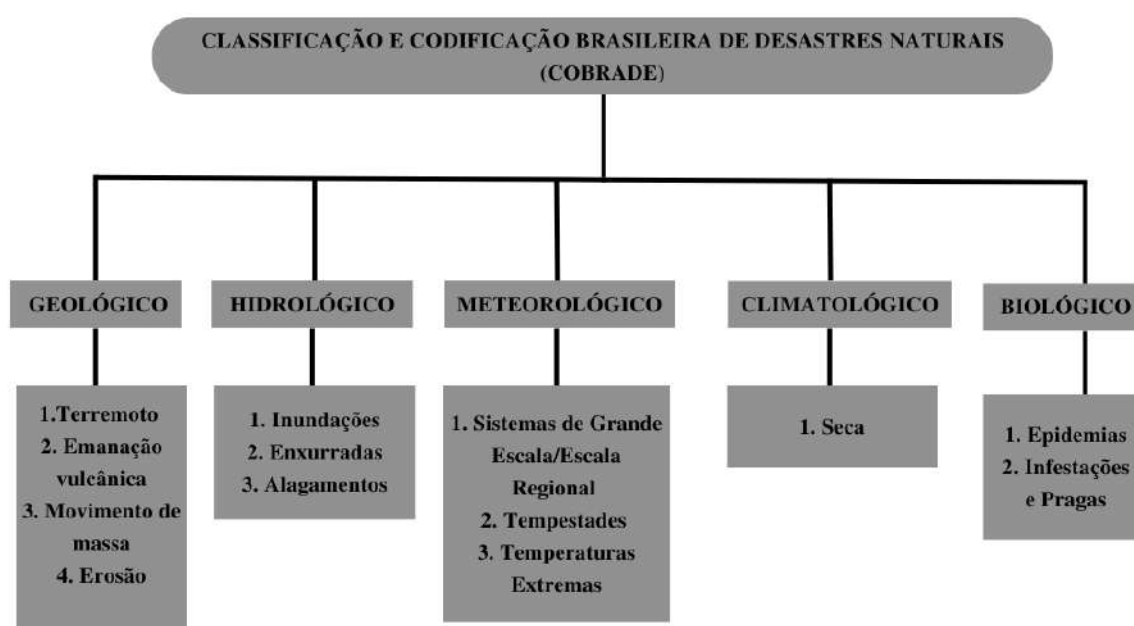
3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Desastres naturais

A Política Nacional de Defesa Civil, define desastres naturais como o resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais e ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais. (Brasil, 2007, p. 8). Diante desta perspectiva para ocorrer um desastre é necessário que exista danos, sejam eles humanos, materiais ou ambientais, que consequentemente resultam em prejuízos econômicos e sociais. O resultado da combinação de um evento adverso, definido como ameaça, sobre um cenário vulnerável caracterizado como o grau de vulnerabilidade, o resultado desta combinação é o desastre (Ministério da Integração Nacional, 2017).

No Brasil a classificação dos desastres naturais foi estabelecida por meio da Normativa nº 1, de 24 de agosto de 2012, que apresentou a Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade) em substituição da Codificação de Desastres, Ameaças e Riscos (Codar), até então utilizada. A Cobrade foi elaborada a partir da classificação utilizada pelo Banco de Dados Internacional de Desastres (EM-DAT) do Centro para Pesquisa sobre Epidemiologia de Desastres (Cred) e da Organização Mundial de Saúde (OMS/ONU), e considerando as peculiares da realidade brasileira. A figura 1, apresenta a classificação e codificação brasileira de desastres naturais (Ministério da Integração Nacional, 2012).

Figura 1- Classificação dos desastres naturais.

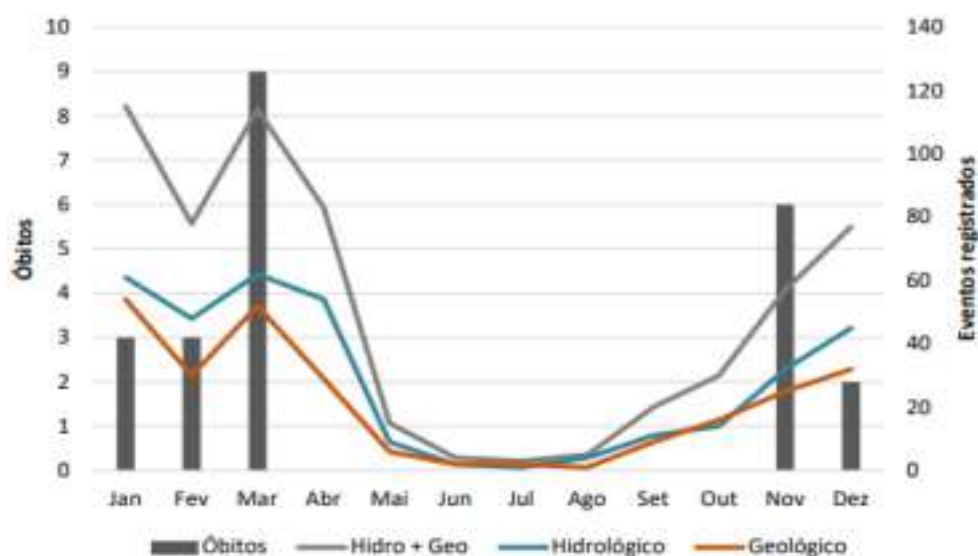


Fonte: Modificado pelo autor, (2023).

Segundo o Ministério da Integração Nacional (2017), no Brasil, as ocorrências de desastres, em especial são de origem natural, coincidem com a deterioração das condições de vida nas cidades, onde, em menos de um século, houve um crescimento significativo de sua população e inversão no tipo de ocupação do território, já que uma maioria que vivia no meio rural passou a viver no meio urbano.

O Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) monitora 958 municípios em todo território brasileiro que possuem histórico de registros de desastres naturais decorrentes de movimentos de massa e/ou resultantes de processos hidrológicos (CEMADEN, 2019). O último relatório anual de alertas e ocorrências de 2018 produzido pelo CEMADEN indicou que em 2018 foram registrados 343 eventos hidrológicos e 258 eventos geológicos, e durante o ano de 2018 foram emitidos 2.077 alertas, porém, apenas 368 tiveram ocorrências observadas e 22 óbitos. O gráfico 1 mostra a distribuição e a tipologia dos eventos ocorridos no Brasil em 2018 juntamente com o número de óbitos.

Gráfico 1 - Distribuição dos eventos hidrológicos, geológicos e óbitos em 2018



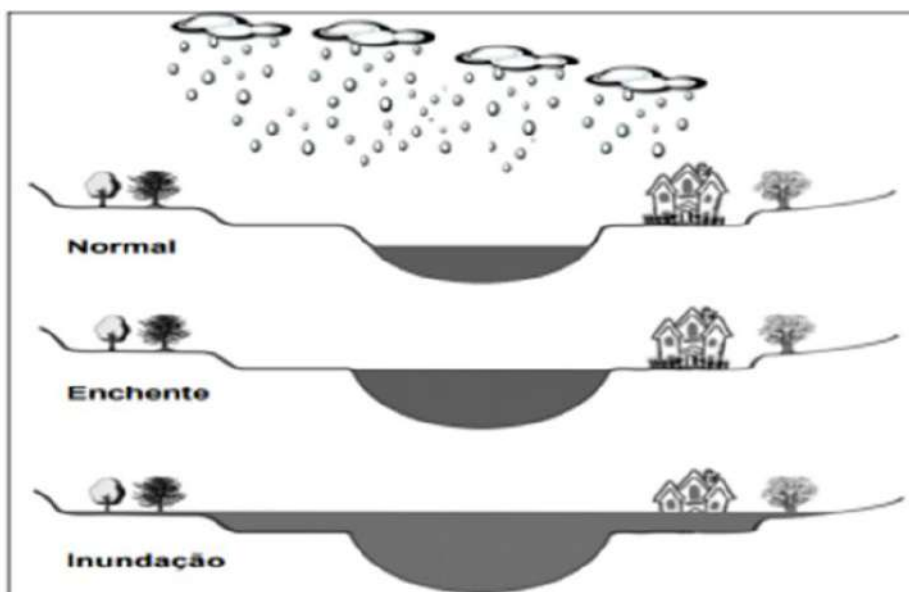
Fonte: CEMADEN, (2019).

3.2 Inundações

Segundo a definição explicitada pelo COBRADE, inundação é a submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas, ou seja, inundação é o processo de extravasamento do leito do maior do rio, cuja a área inundada é definida como a planície de inundação. De acordo com Kobiyama e Goerl

(2005), quando as águas do rio se elevam até a altura de suas margens, contudo sem transbordar nas áreas adjacentes é classificado como enchente, e a inundação ocorre a partir do transbordamento da água ocupando a planície de inundação (figura 2).

Figura 2 - Elevação do nível de um rio provocada pelas chuvas, do nível normal até a ocorrência de uma inundação



Fonte: Kobiyama e Goerl (2005).

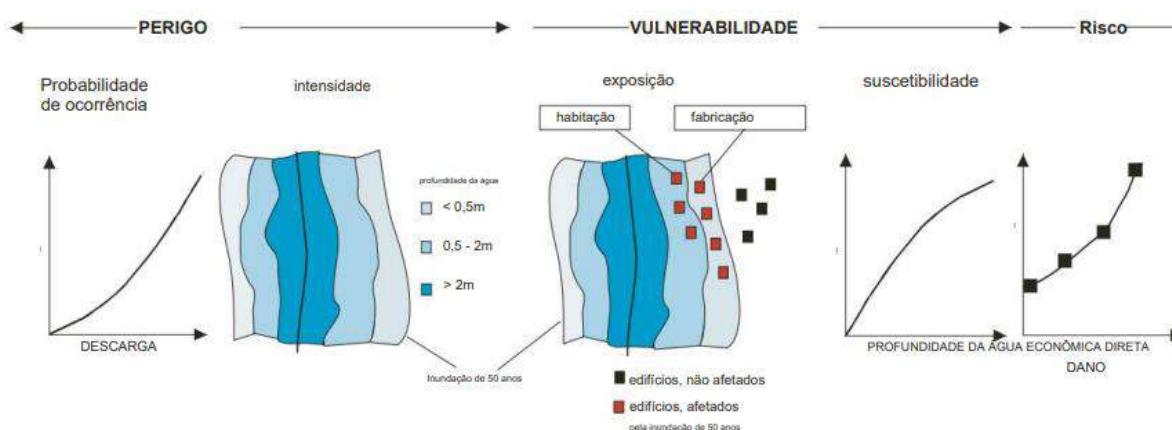
Ainda na perspectiva de Kobiyama e Goerl (2005), existem dois tipos de inundações, a inundações graduais acontecem quando a elevação do nível das águas ocorre lentamente, provocada por intensas e persistentes chuvas, até o transbordamento que afeta áreas adjacentes às margens dos rios, que são denominadas como as planícies de inundações. E a inundações bruscas ocorrem repentinamente, com pouco tempo para emitir alarme e alerta de ocorrência, geralmente atingem as áreas susceptíveis rapidamente, dificultando que medidas de mitigação sejam tomadas com rapidez.

3.3 Risco e a susceptibilidade à inundação

Castro (1998), define risco como medida de dano potencial ou prejuízo econômico podendo ser transcrita em formato de probabilidade estatística de ocorrência e de intensidade ou mensuração das consequências. O risco surge a partir da relação entre Probabilidade e Vulnerabilidade, onde são levados em consideração na sua mensuração fatores relacionados a probabilidade de ocorrência de um desastre e o grau de vulnerabilidade do sistema receptor a seus efeitos (Kaplan & Garrick, 1981)

Segundo Zhou *et al.*, (2017), os danos causados pelas inundações são um produto combinado do perigo, da exposição e da vulnerabilidade. O perigo representa a probabilidade e a intensidade das inundações. A exposição descreve os elementos em risco, como as pessoas e os seus bens, que podem ser afetados pelas inundações. A vulnerabilidade descreve a suscetibilidade dos elementos em risco de serem afetados negativamente. Esses componentes de risco são controlados por uma variedade de fatores. Os sistemas de risco de inundações são, portanto, sistemas complexos que não são facilmente compreendidos nem geridos (Merz *et al.*, 2015) (Figura 3).

Figura 3 - Interações entre perigo e vulnerabilidade.



Fonte: MERZ *et al.*, (2007).

Ainda na perspectiva de Zhou *et al.*, (2017), a susceptibilidade à inundação surge a partir dos conceitos de exposição e vulnerabilidade, estes conceitos podem determinar condições para um grupo ser chamado de “grupo de risco”, que comumente são analisados fatores tais como os aspectos sociais e económicos e a formação natural dos locais habitados por pessoas. O conceito de susceptibilidade está diretamente ligado a definição de vulnerabilidade, pois, a susceptibilidade é um dos fatores que determinam se um grupo de pessoas é vulnerável a sofrer com determinado desastre natural.

A exemplificar, dentro de um cenário de mapeamento de áreas de risco à inundação, são consideradas diversos fatores, um dos elementos observados são as cotas altimétrica do terreno, pois, entende-se que as áreas mais baixas tendem a sofrer mais com a elevação dos níveis dos corpos hídricos, portanto, a susceptibilidade gerada a partir das cotas altimétrica geram um fator que determinante para definição se uma residência juntamente com seus habitantes são vulneráveis a inundações.

3.4 O uso do sensoriamento remoto e o geoprocessamento no mapeamento de áreas vulneráveis às inundações

Sensoriamento remoto, termo criado em 1960 por Evelyn L. Pruitt. O Brasil foi pioneiro no hemisfério sul, através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, na consolidação do sensoriamento remoto como uma tecnologia viável para realização de pesquisas. Em 1972, o INPE se destacava como uma das primeiras instituições, a investir em pesquisas de sensoriamento remoto, a citar o projeto Missão 96 que foi executado em colaboração com a National Aeronautics and Space Administration (NASA), que realizou um levantamento experimental aerotransportado com variados tipos de sensores imageadores na região do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais (Meneses *et al.*, 2012).

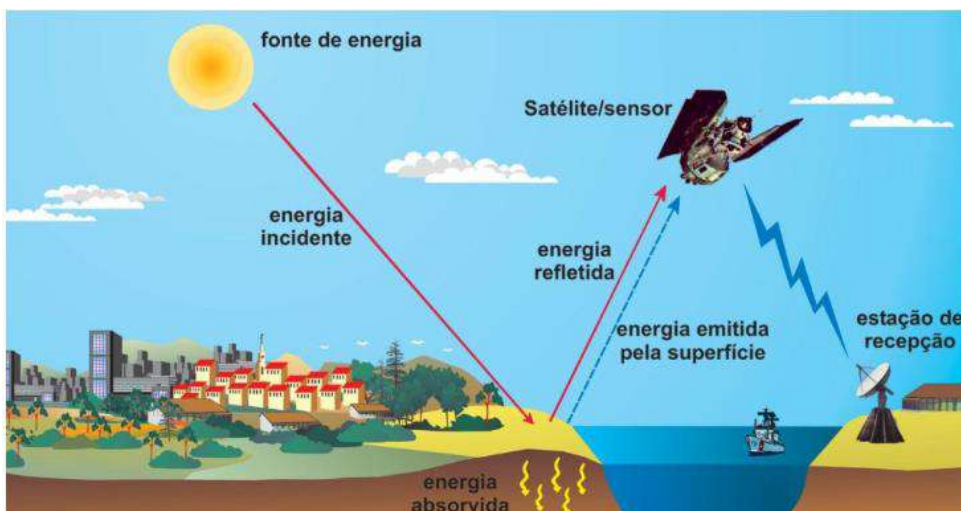
Florenzano (2011), define o sensoriamento remoto, como a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície da terrestre. Onde o termo sensoriamento refere-se à obtenção de dados com uso de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas (balões e aeronaves) e orbitais (satélite artificiais). O termo remoto, que significa distante, é utilizado porque a obtenção é feita à distância, sem o contato físico entre o sensor e objetos na superfície.

Para Liu (2007), as aplicações atuais da Ciência de Sensoriamento Remoto via satélite abrangem monitoramento de recursos naturais, precipitação, clima, manejo dos recursos hídricos da superfície, inventário e monitoramento de usos do solo, monitoramento da produção primária das florestas e pastagens, monitoramento das ocorrências dos eventos catastróficos, mapeamento topográfico, estudo das mudanças climáticas, e outros.

A detecção, aquisição e análise realizadas a partir do sensoriamento remoto (interpretação e extração de informações) são possíveis a partir da verificação da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos. A energia eletromagnética é emitida por qualquer corpo que possua temperatura acima de zero grau absoluto (0 Kelvin), quantificação da energia é possível pela radiação eletromagnética

Objetos da superfície terrestre, como a vegetação, a água e o solo, e o solo, refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam com o comprimento de onda, de acordo com as suas características biofísicas e químicas. As variações da energia refletida pelos objetos podem ser representados por curvas, e assim tornando possível distinguir os objetos da superfície terrestre nas imagens de sensores remotos (Figura 4).

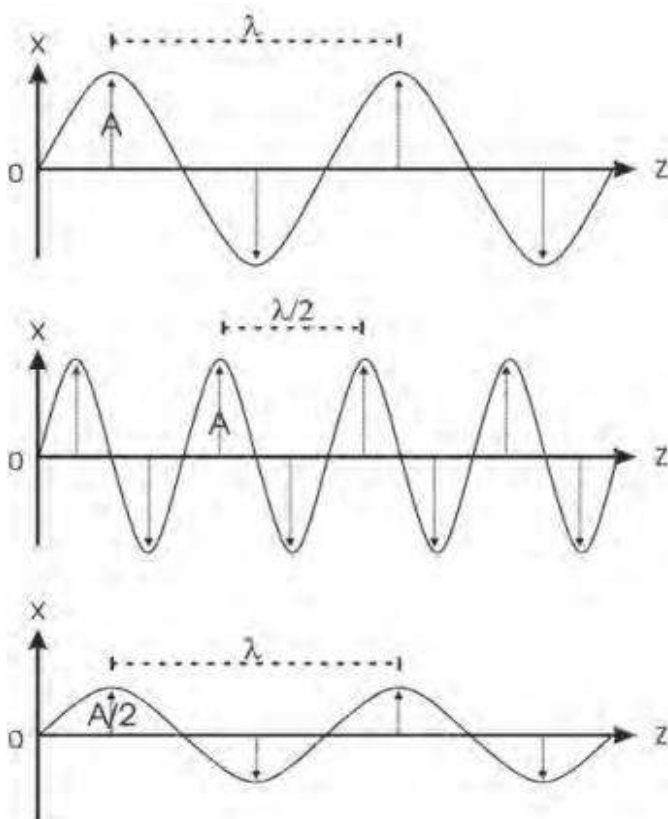
Figura 4 - Obtenção de imagens por sensoriamento remoto.



Fonte: Florenzano (2011, p. 8).

A energia eletromagnética possui as três propriedades, incluindo comprimento da onda (λ), frequência (ν) e amplitude (A). O comprimento da onda é a distância de um pico da onda ao outro. A frequência é mensurada pelo número das ondas que passam por um ponto fixo em um segundo. A unidade da frequência é definida como hertz (Hz) (Figura 5).

Figura 5 - Propriedades da onda de energia eletromagnética: a) a amplitude = A , a frequência = ν e o comprimento da onda



Fonte: Liu (2007), p7

Existem diversas tipologias de sensores remotos, podendo serem instalados em plataformas ou portáteis. As principais tipologias são os radares e as orbitais onde estão inseridos os satélites artificiais, ambos são amplamente utilizados para obter informações da superfície da terra. Os sensores também são caracterizados por serem imageadores, quando fornecem uma imagem da área observada como, por exemplo, os scanners e as câmeras fotográficas, ou, podem ser não-imageadores quando geram dígitos ou gráficos, que são radiômetros ou espectro radiômetros (Marcos *et al.*, 2008).

No presente trabalho foi utilizado o modelo digital de elevação (MDT) obtido através do projeto Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), o produto gerado surgiu a partir de uma colaboração da NASA, German Aerospace Center (DLR) e Italian Space Agency (ASI), onde iniciaram a missão topográfica de gerar um MDT do planeta terra utilizando um radar interferométrico (Rodriguez, 2005).

Os radares são sensores que emitem pulsos na região das micro-ondas do espectro eletromagnético, subdividida em bandas conforme o comprimento de onda. Os radares funcionam em comprimentos de ondas maiores comparados aos da região infravermelho e espectral do visível, pois, operam na região de ondas das bandas K-alfa (10 cm ou 40 GHz) e P (1m ou 300 MHz) (Florenzano, 2011).

O geoprocessamento surge como complemento ao sensoriamento remoto, pois, possibilita que os dados obtidos pelos sensores sejam processados, e assim criando diversas alternativas de aplicação de metodologias científicas para avaliar os diversos tipos de fenômenos que ocorrem no planeta.

Segundo Câmara & Davis (2001), o geoprocessamento é uma tecnologia interdisciplinar, que permite a convergência de diferentes disciplinas científicas para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos, ou seja, geoprocessamento é um conjunto de tecnologias que permite tratar dados para obter informações sobre diversos tópicos dentro de determinada área geográfica.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são um elemento crucial para que seja possível o geoprocessamento de dados, pois, o SIG tem a função tornar possível a transformação de dados em informações claras sobre determinado problema. De acordo com Fitz (2008), SIG é um sistema constituído por um conjunto de programas computacionais, o qual integra dados, equipamentos e pessoas com o objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar, e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenados conhecidos.

Na década de 60 no Canadá surgiu o primeiro projeto que envolvia o geoprocessamento, no qual foram utilizados SIGs para criar um inventário de recursos naturais. Já na década de 80 com os avanços tecnológicos da época as ferramentas relacionadas ao geoprocessamento evoluíram devido às novas capacidades de hardwares dos computadores e popularização dos computadores, foi nesse momento da história que projetos relacionados com SIGs começaram a crescer em todo o mundo.

A introdução do Geoprocessamento no Brasil iniciou-se através de pesquisadores da Universidade Federal do Rio de Janeiro, no início dos anos 80. O primeiro grande projeto que ocorreu no Brasil foi executado de 1984 a 1990 pelo INPE, que consistiu em criar programas direcionados para o sistema operacional PC-DOS, os programas que foram chamados de SITIM (Sistema de Tratamento de Imagens) e o SGI (Sistema de Informações Geográficas), em 1991 o INPE criou o SPRING (Sistema para Processamento de Informações Geográficas), voltados para os sistemas operacionais UNIX e MS/Windows (Câmara & Davis, 2001). Atualmente existem no mercado diversos softwares de geoprocessamento disponíveis, vale destacar o ArcGis, QGis e Google Earth, que são excelentes opções para aplicar as técnicas de mapeamentos de áreas de riscos.

Segundo Hora e Gomes (2009), o mapeamento assume um papel importante na gestão do risco, pois através dela é possível elaborar mapas associando os conhecimentos físico, ambiental e sociais que interferem na dinâmica das inundações. As diversas técnicas de mapeamento de risco abrem espaço para a identificação e diagnóstico de áreas de riscos, facilitando a gestão de riscos.

Para Westen (2013), o geoprocessamento é uma ferramenta excelente para a gestão de riscos de desastres, pois possibilita explorar diferentes metodologias de mapeamento de risco, que facilitam as tomadas de decisões em situações de risco, resultando em uma melhor gestão de riscos, contribuindo com criação de melhores medidas e estratégias prevenção de desastres, obtidas a partir do mapeamento e análise de risco.

Pois, os mapas dão uma impressão mais direta e mais forte da distribuição espacial do risco de inundação do que outras formas de apresentação (descrição verbal, diagramas). Assim, os mapas são valiosos para apresentar e avaliar a situação local de inundações e fornecem informações para muitas aplicações na defesa contra inundações e na gestão de desastres (Merz *et al.*, 2007).

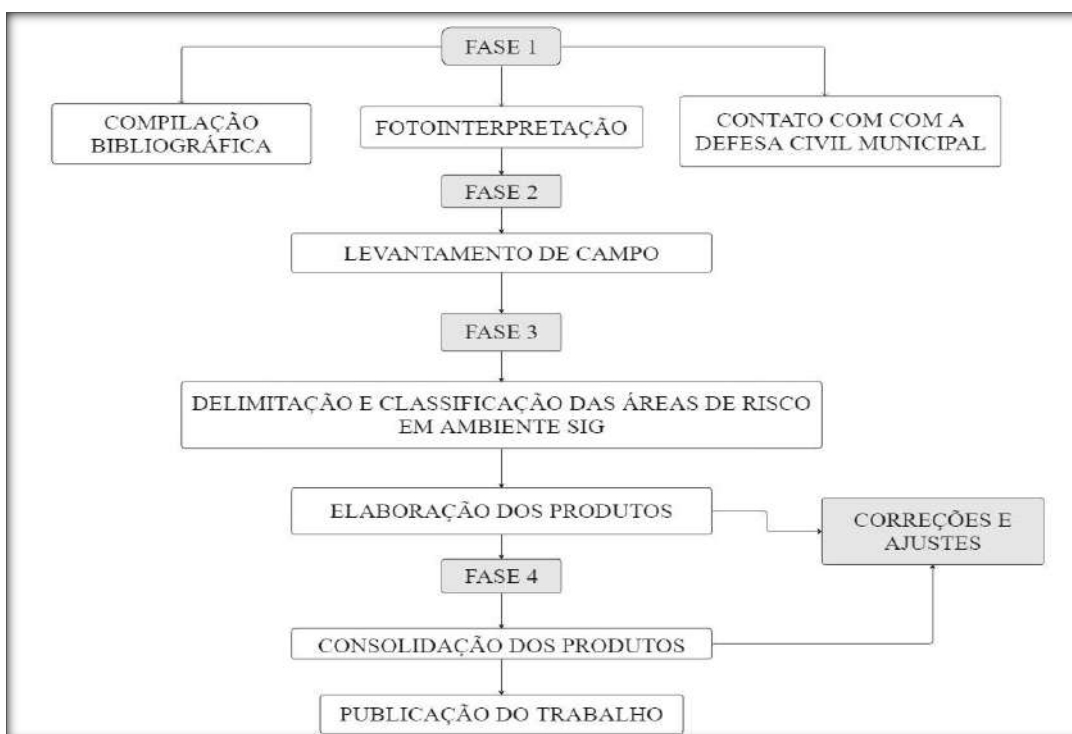
3.5 Procedimentos técnicos e metodológicos utilizados pelo CPRM para mapear áreas susceptíveis à inundação

Os procedimentos metodológicos adotados pelo CPRM no mapeamento de áreas de riscos estão descritos em um documento oficial denominado de guia de procedimentos técnicos do departamento de gestão territorial, o citado documento apresenta como é realizada a setorização dos riscos geológicos, onde são analisados os processos de movimentos de massa, hidrológicos, erosões hídricas. Cada processo possui uma metodologia específica de análise, todavia, diante do contexto desta pesquisa será abordado apenas os procedimentos relacionados os fenômenos hidrológicos.

Os processos são avaliados a partir da setorização de áreas de risco que consiste na identificação e caracterização das porções urbanizadas do território municipal sujeitas a sofrerem perdas ou danos causados por desastres naturais (CPRM, 2021). Os setores são definidos a partir de análises de critérios específicos que possam enquadrar determinado local como setor de risco, entre esses critérios estão as características e a tipologia de terreno, quantidade de residências, tipo de moradia e a quantidade de pessoas. Tal procedimento metodológico possibilita que os mapeamentos sejam mais rápidos e mais baratos, pois, a área que está sendo avaliada reduz, facilitando a larga aplicabilidade no Brasil.

O CPRM possui um roteiro metodológico baseado em quatro fases que apresenta cada procedimento a ser realizado para produzir o mapeamento almejado, a figura 6 e a tabela 1 descrevem o fluxo seguido até a lavratura do produto final e os procedimentos efetuados.

Figura 6 - Procedimentos desenvolvidos durante a elaboração das setorizações de áreas de risco geológico.



Fonte: CPRM (2021).

Quadro 1 - Sequência de procedimentos desenvolvidos durante a elaboração das setorizações de áreas de risco geológico.

FASE	ETAPA	CARACTERÍSTICAS
1	Compilação bibliográfica	Útil para o planejamento da campanha de campo;
	Fotointerpretação	Pode auxiliar na identificação prévia de áreas de risco.
	Contato com a Defesa Civil Municipal	Durante essa etapa, é feita uma breve apresentação do trabalho, bem como da importância da participação da Defesa Civil Municipal na campanha de campo.
2	Levantamento de campo	Inclui somente áreas urbanizadas; Escala de referência varia entre 1:1.000 e 1:2.000; É feito por caminhar em conjunto com a Defesa Civil Municipal; Avaliam-se condições e indícios de risco geológico nas áreas pré-selecionadas pela equipe do SGB-CPRM e naquelas indicadas pela Defesa Civil Municipal; Não avalia eficácia ou pertinência de obras de engenharia de qualquer natureza; Não são avaliadas condições que não tem relação com processos geológicos; Utilizam-se GPS e máquina fotográfica para registro das estações de campo.
3	Delimitação e classificação das áreas de risco	É feita por meio da interpolação de estações de campo; Não são delimitadas áreas sem edificações de permanência humana; Utilizam-se como base as imagens orbitais Google, como <i>Base map</i> , as bases cartográficas e topográficas do <i>Open Street Map</i> , geoserviços de relevo sombreado e de curvas de nível compiladas no <i>plugin MapTiler</i> . Todos passam por um processo de fusão/realçamento visual no QGIS para destacar as informações de relevo sobre a imagem do Google; São delimitadas e classificadas apenas as áreas de risco nos graus alto ou muito alto; As áreas de risco médio ou baixo, eventualmente, são indicadas no relatório como áreas de monitoramento.
	Elaboração dos produtos	Inclui os procedimentos de confecção dos mapas, relatório e arquivos vetoriais.
	Correções e ajustes	Etapa de adequação do material entregue pelas equipes técnicas, após ser consolidado na fase 4.
4	Consolidação dos produtos	Verifica-se se o trabalho não apresenta erros ou desvios metodológicos significativos.
	Publicação do trabalho	Disponibilização do trabalho para o município, para as instituições que atuam na prevenção de desastres e para o público em geral.

Fonte: CPRM, (2021)

A delimitação das áreas de riscos hidrológicos é definida conforme os critérios estabelecidos Ministério das Cidades e Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Primeiramente identificados os locais de perigo efetivo ou potencial com uso do sensoriamento remoto e levantamento dos registros de ocorrências de enchentes e inundações na área de mapeamento.

A identificação é baseada na avaliação de fatores de natureza ambiental e social. Os fatores de natureza ambiental são: frequência, magnitude e energia do processo hidrológico e os sociais são: alcance, extensão e impactos do processo. Após todos os procedimentos é efetuada a classificação do grau de risco conforme os aspectos observados em campo, podendo variar de risco baixo até risco muito alto, somente setores com risco alto e muito alto são mapeados em campo (vide tabela 2).

Quadro 2 - Classificação dos graus de risco para enchentes e inundações

Grau de risco	Descrição
R1 Baixo	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com baixo potencial de causar danos. Baixa frequência de ocorrência (sem registros de ocorrências nos últimos cinco anos).
R2 Médio	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com médio potencial de causar danos. Média frequência de ocorrência (registro de uma ocorrência significativa nos últimos cinco anos).
R3 Alto	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com alto potencial de causar danos. Média frequência de ocorrência (registro de uma ocorrência significativa nos últimos cinco anos) e envolvendo moradias de alta vulnerabilidade.
R4 Muito Alto	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com alto potencial de causar danos. Alta frequência de ocorrência (pelo menos três eventos significativos em cinco anos) e envolvendo moradias com alta vulnerabilidade.

Fonte: Ministério das Cidades e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2004).

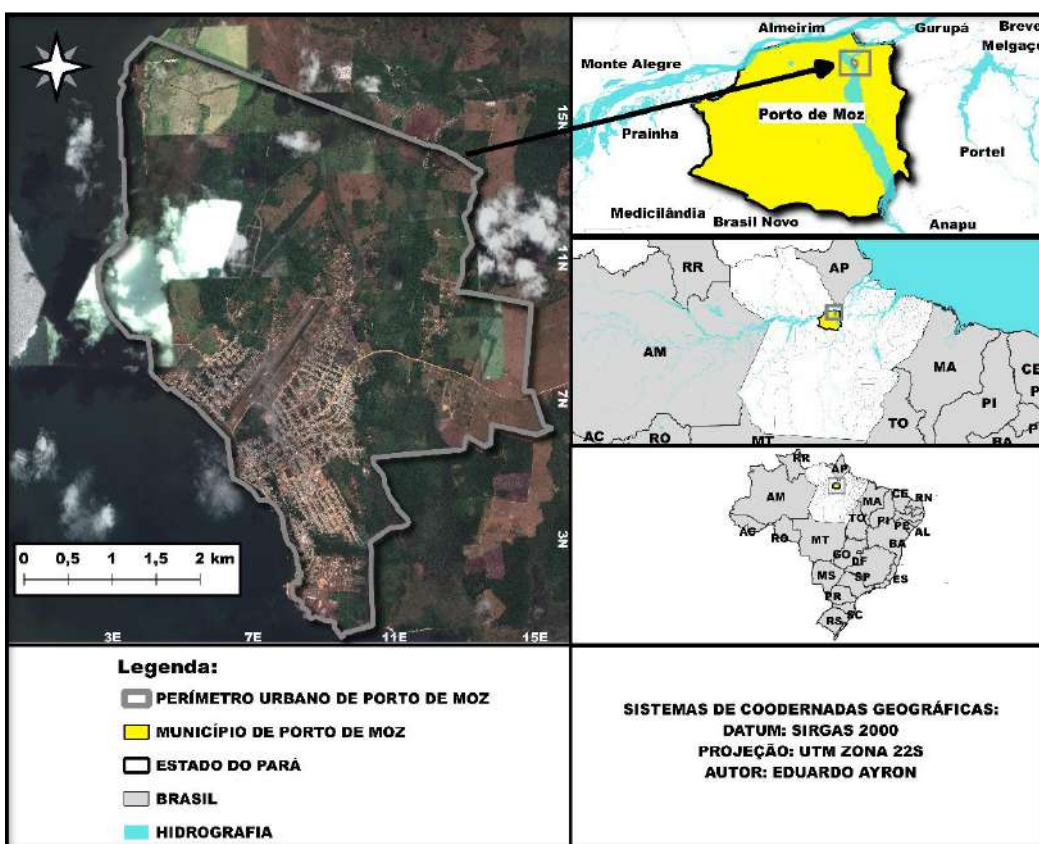
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Áreas de estudos

4.1.1 Porto de Moz

Porto de Moz é um município que integra o estado do Pará e conta com aproximadamente 42 mil habitantes, com índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) de 0,503. O município está localizado sob as coordenadas geográficas: Latitude: 1° 44' 54" Sul, Longitude: 52° 14' 18" Oeste. O território do município possui cerca de 17.423,017 km² de extensão, altitude que varia de 0 a 239 metros, e com densidade populacional de 2,4 ha./km². Foi delimitado o perímetro urbano instituído lei municipal de N° 1822/2022 para realizar o mapeamento de suscetibilidade a inundação com objetivo de facilitar o processamento dos dados nos softwares utilizados (figura 7).

Figura 7 - Mapa de localização Porto de Moz



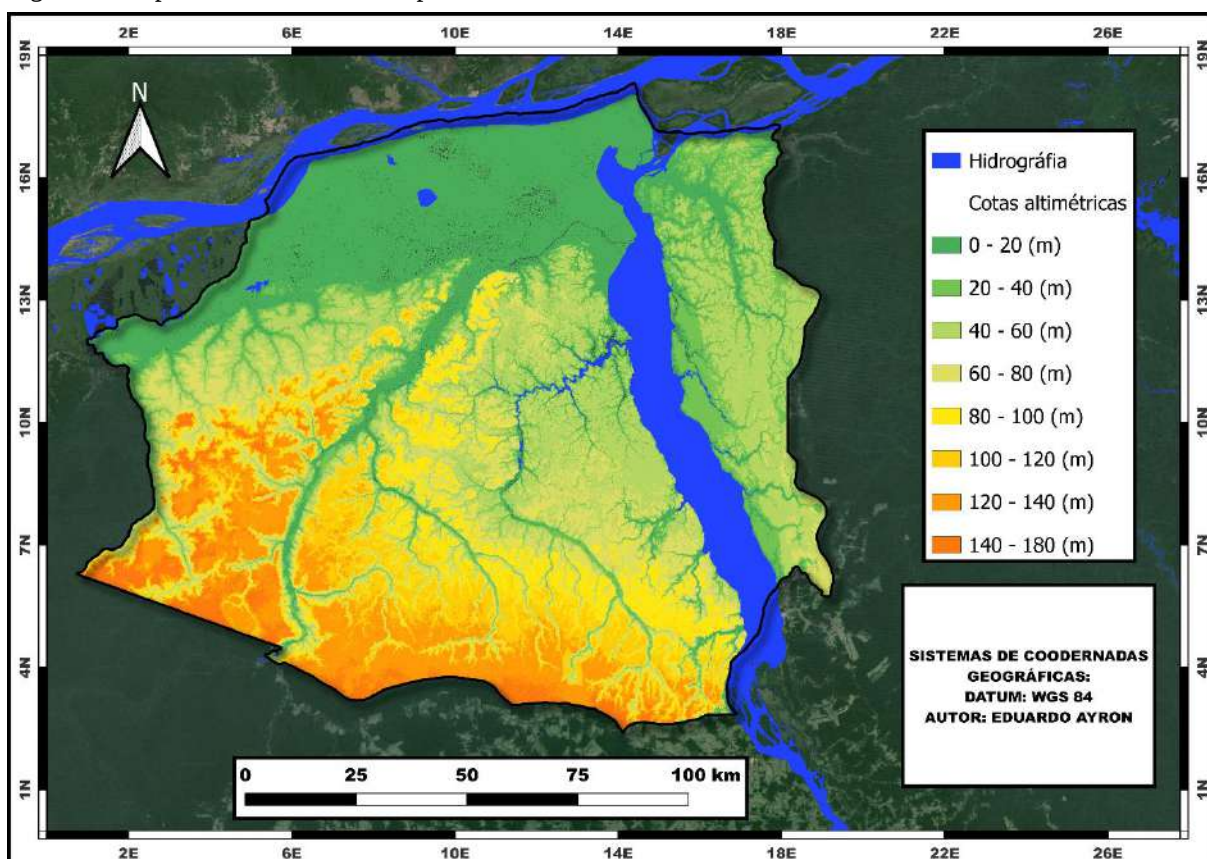
Fonte: Modificado pelo Autor (2023).

A geologia do município de Porto de Moz é predominante de áreas do terciário, formação barreiras e expressiva arca do quaternário sub atual e recente. A estrutura de relevo é composta por grandes áreas de interflúvios tabulares com eventuais áreas de ravinas e vales, e baixos platôs aplainados. O município também possui áreas de terraços uma larga faixa de planícies aluviais as margens do Amazonas e da foz do Xingu, inseridas na unidade morfoestrutural Planalto Rebaixado da Amazônia (Baixo Amazonas) e parte do Planalto Tapajós-Xingu.

Os solos encontrados na área de Porto de Moz são os Latossolos e Argissolos que estão presentes em grande parte da extensão territorial (Rodrigues *et. al.*, 2007). A vegetação do município é composta por são as formações pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre, ou seja, vegetações aluviais, de mangues e restinga, também é encontrado formações de Campinarana (PARÁ, 2022, p. 12).

A hidrologia de Porto de Moz (figura 8) é diversificada, na margem direita está localizado o rio Xingu que corta o município no sentido sul-norte, na margem esquerda se encontram os afluentes dos rios Jaraçu, Acaraí, Perí e Tucuruí, no norte do município está o rio Amazonas e no oeste o rio Guajará. O clima na região é o equatorial úmido, com temperatura média 26°, e com índice pluviométrico anual próximo de 2.000 mm.

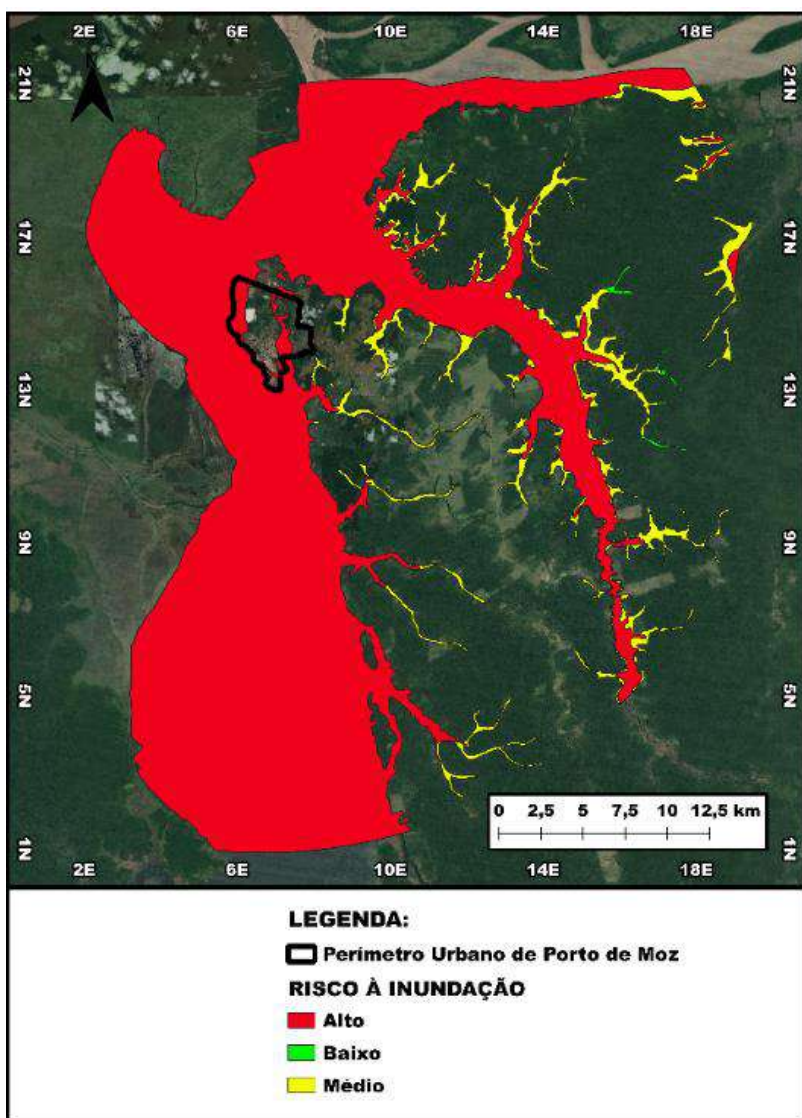
Figura 8 - Mapa altimétrico do município de Porto de Moz



Fonte: O autor (2024).

As inundações são uma problemática que constantemente afeta os habitantes de Porto de Moz. Em 2017 CPRM realizou a setorização de riscos no município, na área urbana, o levantamento identificou as principais áreas vulneráveis à inundação (figura 3). O relatório produzido por técnicos do CPRM indicou que o alto grau de vulnerabilidade é resultado da expansão da área urbana da cidade combinada com a geomorfologia da região, o crescimento urbano do município está ocorrendo nas planícies de inundação dos afluentes do rio Xingu e no próprio rio Xingu (Brasil, 2017, p. 16).

Figura 9 - Mapeamento das áreas vulneráveis à inundação em Porto de Moz.

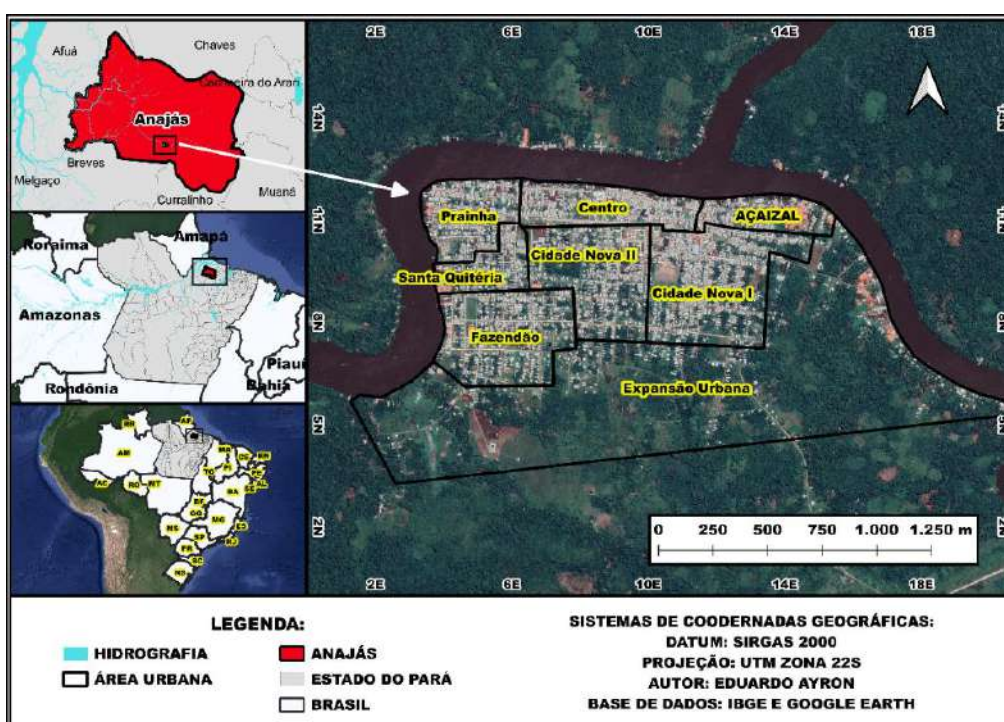


Fonte: Crédito do autor (2024).

4.1.2 ANAJÁS

Anajás é um município paraense que integra a região de integração do Marajó, município está localizado sob as coordenadas geográficas: latitude de $0^{\circ} 59' 14''$ sul e longitude de $49^{\circ} 56' 25''$ oeste. A extensão territorial do município é 6.913,640 km², altitude média de 15 metros, o número de habitantes é aproximadamente 30.091, com densidade populacional de 4,35 ha./km². A área a ser mapeada foi delimitada conforme a densidade habitacional e populacional, visto que o município de Anajás não possui um perímetro urbano estabelecido por lei municipal (figura 10).

Figura 10 - Mapa de localização do município de Anajás

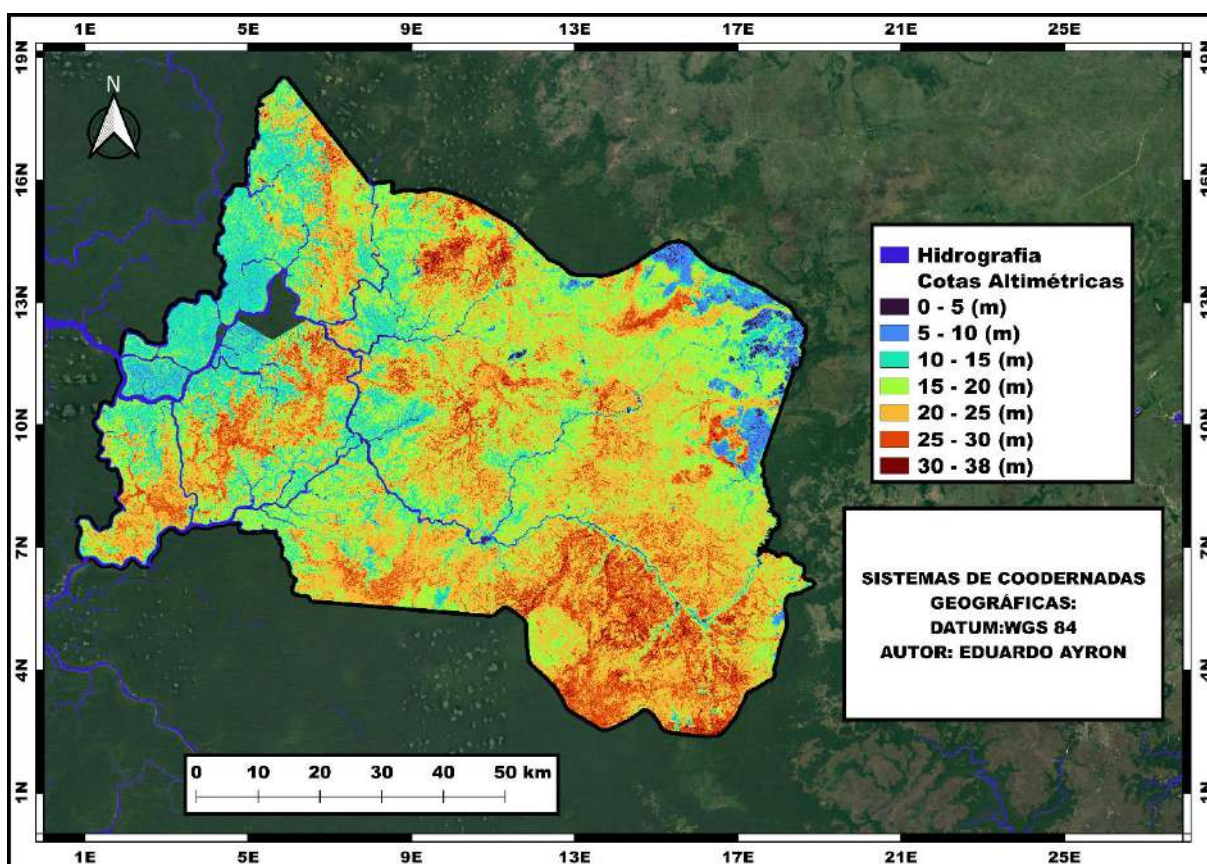


Fonte: Crédito do autor (2024).

A hidrografia de Anajás é composta pelo rio Anajás que está localizado na margem esquerda escoando no sentido Sudeste-Noroeste, na margem direita estão os rios Mocoões, Guajará, Cururu e Jacaré, no leste do Município está o rio Aramã, e os furos Japichana e Acari Pereira. O clima na região é o equatorial úmido, com temperatura média 27° , e com índice pluviométrico anual próximo de 2.000 mm (Figura 11).

Os solos encontrados no município são o gleissolo, plintossolo, e areais quartzosos distróficos. Os tipos de vegetação identificados neste município são a floresta ombrófila densa, vegetação de folhas extensas e perenifólias com subformação aluvial, por fim, as formações pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre (Pará, 2022, p.11).

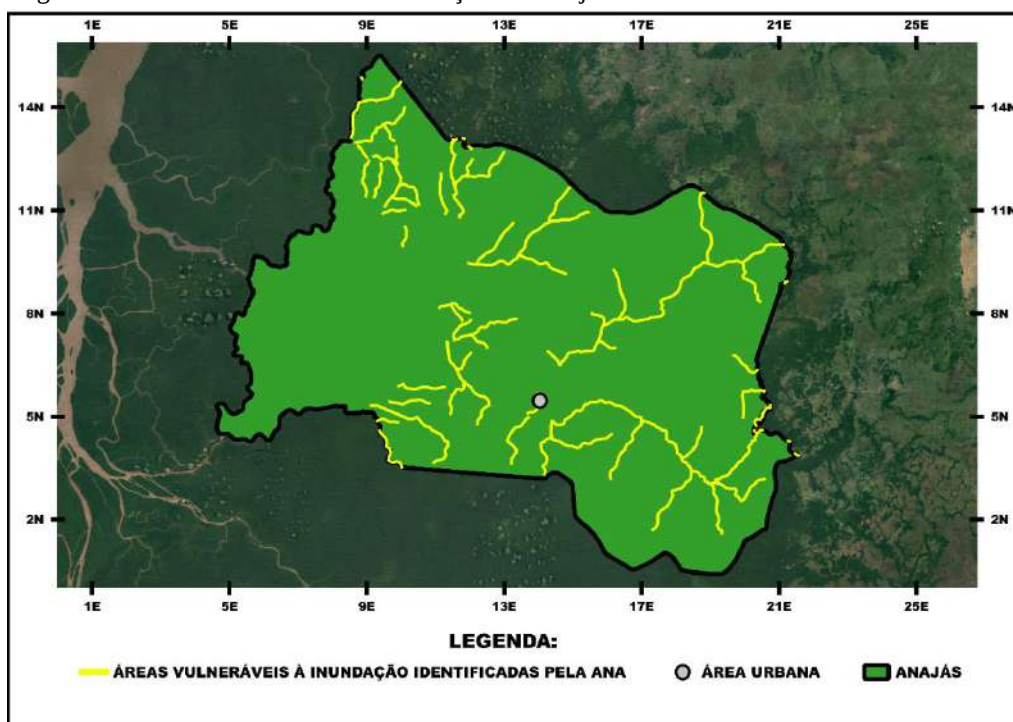
Figura 11 - Mapa altimétrico do município de Anajás.



Fonte: Crédito do autor (2024).

O município de Anajás sofre com inundações, o atlas de vulnerabilidade a inundações produzido pela Agência Nacional de Águas identificou 3.021 trechos inundáveis no estado do Pará. No município de Anajás existem 82 trechos de médio risco identificados (figura 12). Na bibliografia disponível, não foram encontrados estudos na região de Anajás relacionados a mapeamento de riscos relacionados à inundações, portanto, ressalta-se a importância de realizar estudos para identificar os pontos mais vulneráveis possibilitando a criação de medidas de prevenção no município de Anajás.

Figura 12 - Trechos vulneráveis à inundação em Anajás



Fonte: Crédito do autor (2024).

4.2 Procedimentos metodológicos

4.2.1 Método HAND

O método Height Above Nearest Drainage (HAND), foi idealizado por Rennó et. al (2008), o método consiste em utilizar um modelo digital de elevação (MDT) com intuito de efetuar a normalização da altimetria do terreno com base nas cotas da drenagem, ou seja, o modelo HAND depende exclusivamente da topografia normalizada, o método utiliza a diferença entre a altitude do terreno e a altitude do canal para prever as manchas de inundações (Nobre *et. al.*, 2016). O grau de susceptibilidade à inundação do trecho é definido a partir da proximidade do ponto em relação ao canal de drenagem e a variação altimétrica do terreno, portanto, quando um ponto está próximo de um canal de drenagem e também quanto menor a variação altimétrica entre o canal e este ponto, maior a suscetibilidade do mesmo às inundações (Goerl *et. al.*, 2017).

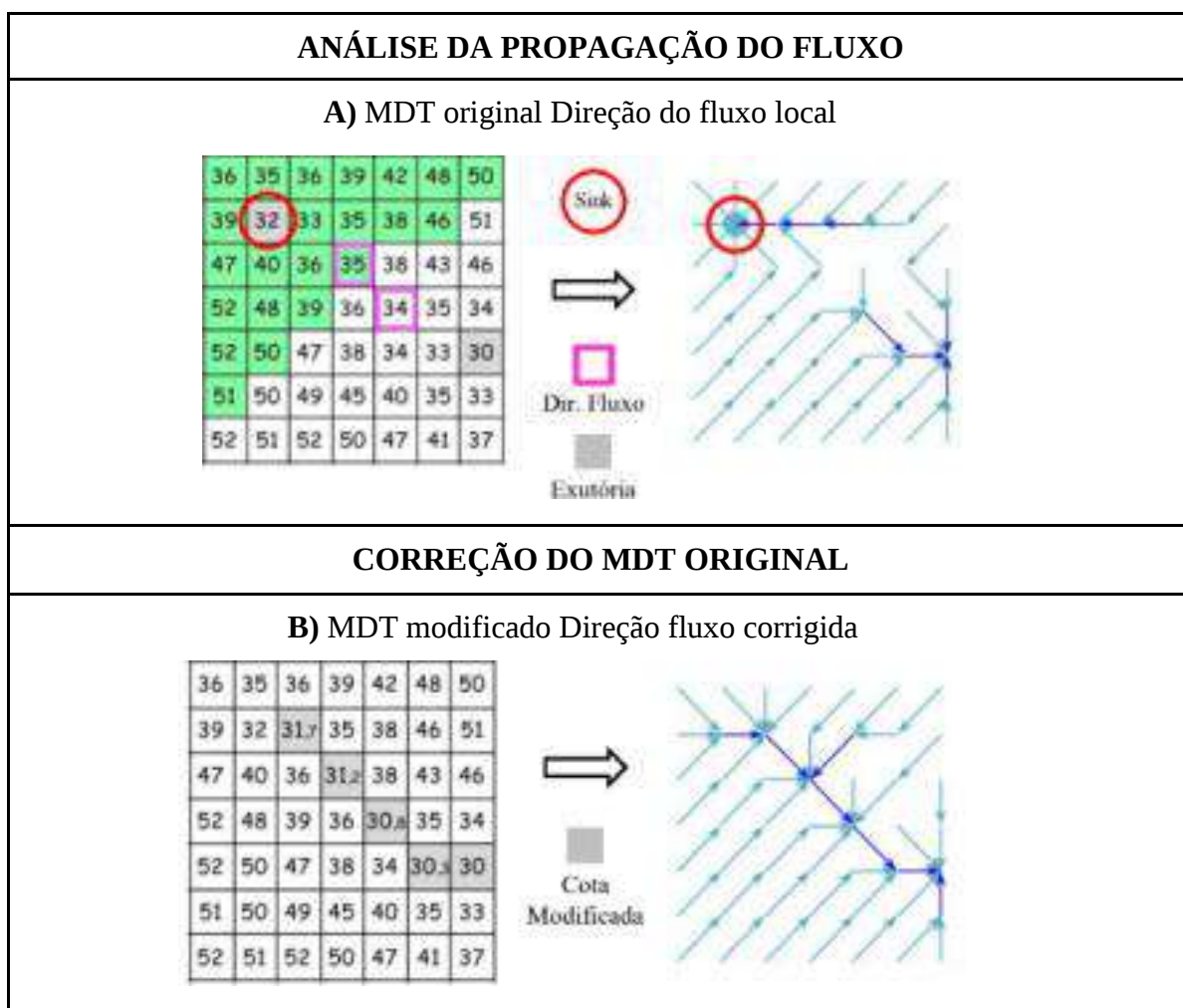
A aplicação do método HAND é feita através do software “HAND Model”, produzido por pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O processo metodológico começa a partir dos procedimentos preliminares no HAND Model que são:

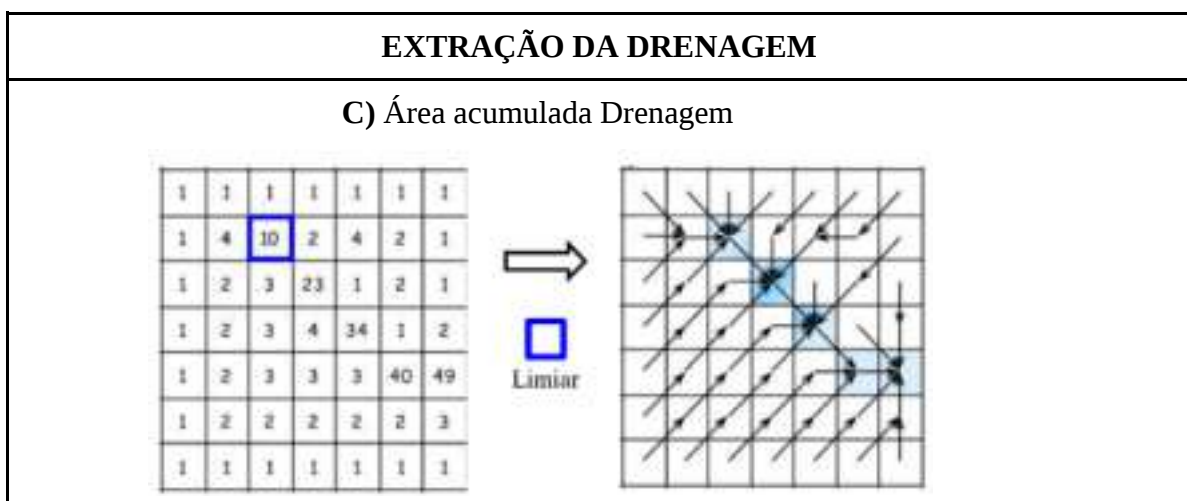
Primeira etapa da aplicação do modelo é a análise da propagação do fluxo que consiste na entrada do MDT original no software e verificação da direção do fluxo local da drenagem (figura 13.A).

A segunda etapa é a correção do MDT original (figura 13.B), que visa remover as desconformidades encontradas nos valores da células do MDT original, as células que possuem altitude menor ou igual ao menor dos seus oito vizinhos ela é identificada como sumidouro, esses valores desconformes são ocasionados quando há incoerência do valor altimétrico no dado topográfico, em alguns pontos da grade do MDT original, causando interrupção da rede de drenagem, tornando necessário à correção, a partir da obtenção do MDT corrigido é possível obter o fluxo de direção da drenagem corrigido. (MOMO et. al., 2016)

A terceira etapa é a extração da drenagem (figura 13.C), objetiva através dos cálculos dos valores de fluxo recebidos por cada célula do MDT, que são denominadas as áreas de contribuição, que possibilitam identificar os pontos que se iniciam os cursos d'água, tornando possível obter a drenagem correta da área.

Figura 13 - Procedimentos preliminares HAND MODEL

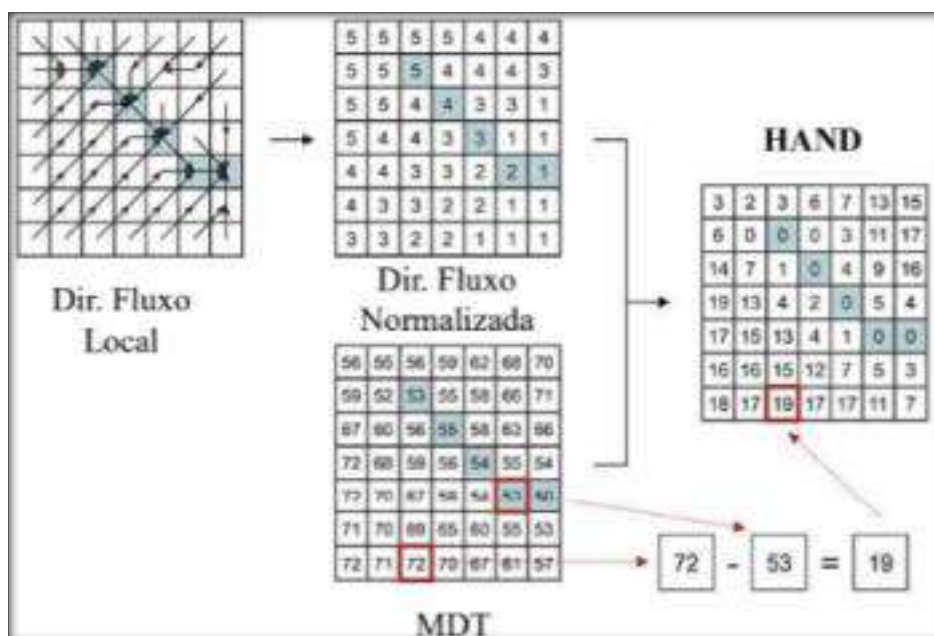




Fonte: Nobre *et al.* (2011) e Goerl *et al.* (2017).

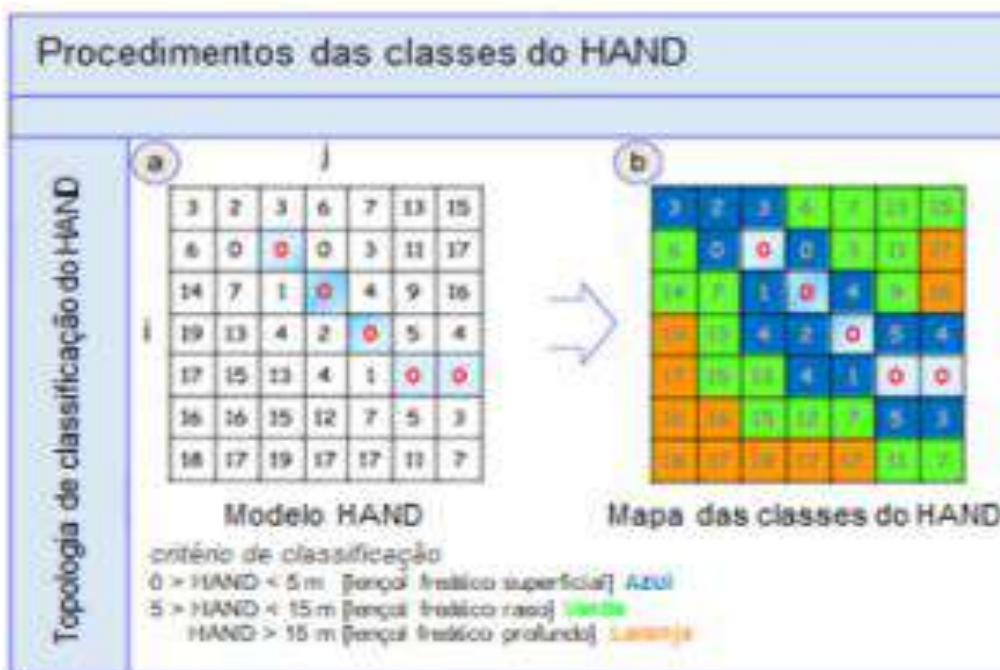
A etapa final do HAN model consiste em gerar um novo MDT ajustado (figura 14), obtido através da normalização da altimetria com base nas cotas da drenagem. O novo MDT é reclassificado com base na diferença entre a cota do canal mais próximo e as cotas da planície de inundação e/ou das encostas adjacentes a este canal, o produto gerado possibilita classificar as classes de susceptibilidades à inundação (figura 8) (Nobre *et al.*, 2011 e Goerl *et al.*, 2017).

Figura 14 - Etapa final do HAND Model



Fonte: Nobre *et al.*, 2011 e Goerl *et al.*, 2017.

Figura 15 - Classes de susceptibilidade à inundação pelo HAND Model.



Fonte: Nobre *et al.*(2011); Carvalho (2018).

4.3 Modelo digital de terreno (MDT), softwares e bases de dados utilizados

O MDT utilizado para a aplicação do método HAND foi STRM 1 Arc-Second void filled, de 30 metros de resolução, o referido MDT utilizado nesta pesquisa está disponível gratuitamente no seguinte link: <https://earthexplorer.usgs.gov>.

Posteriormente, o MDT foi manuseado dentro do software TerraView Hydro 0.4.4, que foi produzido por pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), onde ocorre a aplicação do método de HAND, com isso foi gerado o MDT-STRM-HAND, que é o produto final aplicação da supracitada metodologia (DPI-INPE, 2015).

Posterior a isto, foi utilizado o software gratuito QGIS 3.30 para aplicar as reclassificações do MDT HAND-STRM, os critérios de susceptibilidade à inundação usados neste estudo para a reclassificação do MDT, foram estabelecidos baseados na pesquisa Nobre *et al.*,(2011), que estabelece os critérios de susceptibilidade conforme a cota altimétrica do terreno, onde cota altimétrica de $0 \leq 5$ m são consideradas baixo, consideradas de alto grau de susceptibilidade; cotas de 6 a 15 m são definidas como ecótono forma definidas como de grau médio, cotas de 16 a 50 m são caracterizadas como encostas, forma consideradas como de baixo grau.

Para o mapeamentos realizados no município de Anajás foram utilizadas informações do Censo de 2022 produzidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com intuito de avaliar o número de domicílios coletivos, estabelecimentos de saúde e ensino estão localizados em áreas de alta susceptibilidade à inundação, podendo assim facilitar a visualização de quais área demandam de ação de prevenção mais imediatas, a base de dados está disponível gratuitamente no link: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Mapeamento de susceptibilidade à inundação município de Porto de Moz

5.1.1 A influência do limiar na geração da rede de drenagem

Inicialmente foi obtido a partir do MDT-STRM , um novo MDT denominado como MDT-STRM-HAND (figura 16), o novo produto apresentou diferenças notórias em relação ao original, diferenças essas que ocorrem a partir verificação da direção do fluxo local e da geração da drenagem, pois, os MDTs apresentam grande diferença na amostragem da drenagem, visto que dentro do software é possível controlar a variável denominada como “limiar” que define a densidade da drenagem que será representada no MDT-STRM- HAND. (MOMO *et. al.*, 2016).

O limiar é um parâmetro definido pelo usuário em uma das etapas de aplicação de método HAND no software TerraView Hydro 0.4.4. A escolha do Limiar influencia diretamente na representação da densidade da rede de drenagem da área de estudo (Mengue et al. 2016). Com isso, não há valores pré-estabelecidos para serem utilizados, sendo necessário a realização de diversos testes para alcançar o valor a ser utilizado adequadamente para uma boa representação da rede de drenagem da área de estudo.

Devido a inexistência de critérios para a escolha do limiar, alguns autores procuram alternativas que visem validar e facilitar a escolha do valor do limiar. O estudo de Senger (2021), realizou três testes com limiares de 1000, 5000 e 10000, com intuito de verificar qual se assemelha com a hidrografia disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA). Pires e Borma (2013) também usaram o limiar que apresenta mais similaridade com a hidrografia fornecida pela ANA. Em sua pesquisa Mengue et al. (2016), efetuou quatro testes com parâmetros para geração da rede de drenagem: 600, 2000, 5000 e 10000, no qual o maior valor testado apresentou resultados mais apropriados para o tamanho da área de estudo do autor e foi mais compatível com a hidrografia da ANA em escala 1:100.000.

A partir dos testes realizados é notório que o tamanho da área estudo é um fator determinante para a escolha do limiar, portanto, é possível observar que grandes áreas requerem valores de limiares maiores e áreas menores demandam valores menores, diante desse contexto o perímetro urbano de porto de Moz possui uma área de aproximadamente 18.6 km².

Logo, diante do cenário desta pesquisa, utilizar a drenagem oferecida pela ANA como parâmetro comparativo de compatibilidade não é uma alternativa adequada, visto que a drenagem oferecida pela referida agência estão disponíveis apenas em grandes escalas que não

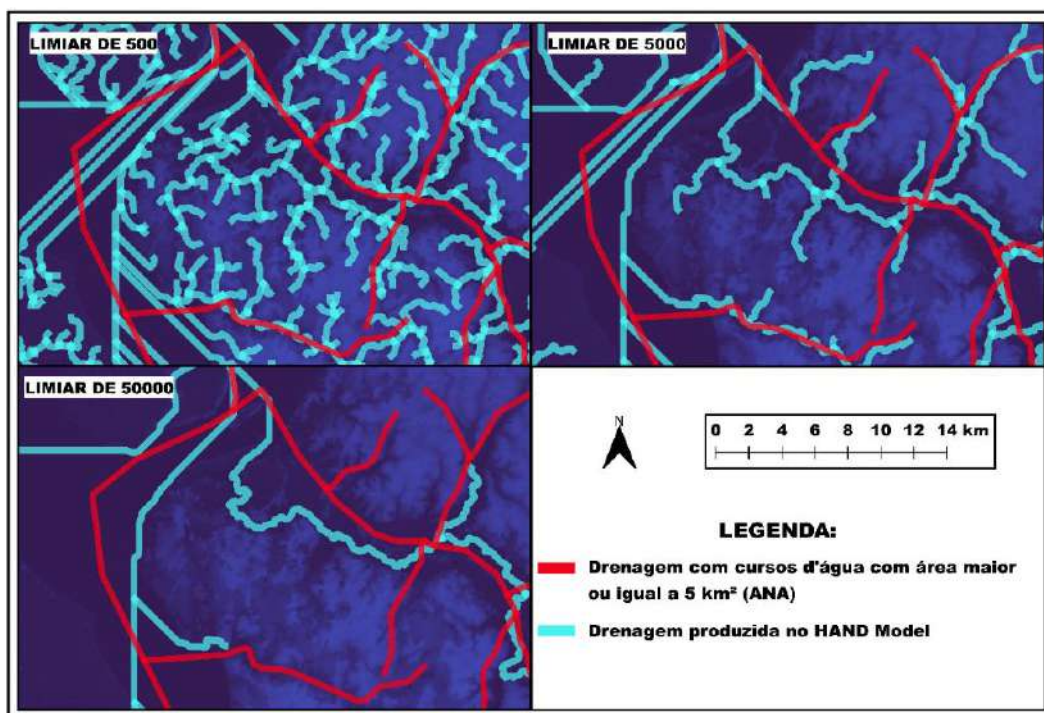
representam a totalidade da hidrografia existente em determinada região, visto que a rede de drenagem de menor escala fornecida pela ANA possui apenas os cursos d'água com área maior ou igual a 5 km² e trechos de drenagem de domínio federal. Portanto, utilizar tal dado como ferramenta de comparação não é viável, pois, dentro do perímetro urbano de Porto de Moz, existem cursos d'água de menores que 5 km² que necessitam ser levados em consideração na avaliação de suscetibilidade à inundação, uma vez que os corpos hídricos influenciam diretamente no referido fenômeno hidrológico.

5.1.2 Testes para a criação dos trechos de drenagem

Por não existir um parâmetro que pudesse ser comparado, foi realizado três testes utilizando os limiares de 500, 5000 e 50000. A figura 16 indica claramente a influência do limiar na representação da drenagem, pois, com o uso do limiar de 50000, dentro do perímetro urbano de Porto de Moz não foram criados trechos de drenagem em nenhum método, corroborando com a percepção de que avaliações de susceptibilidade a inundação que utilizem o HAND MODEL em grande área necessitam de limiares maiores ou menores, a depender do tamanho da área de estudo.

A partir dos testes realizados foi possível observar também quanto menor o limiar utilizado mais ruídos e distorções ocorrem na criação da rede de drenagem, visto que na Amazônia existem corpos hídricos de grandes classes, e as células do MDT pode apresentar valores de células distorcidos.

Figura 16 - Testes dos limiares e comparação com a drenagem



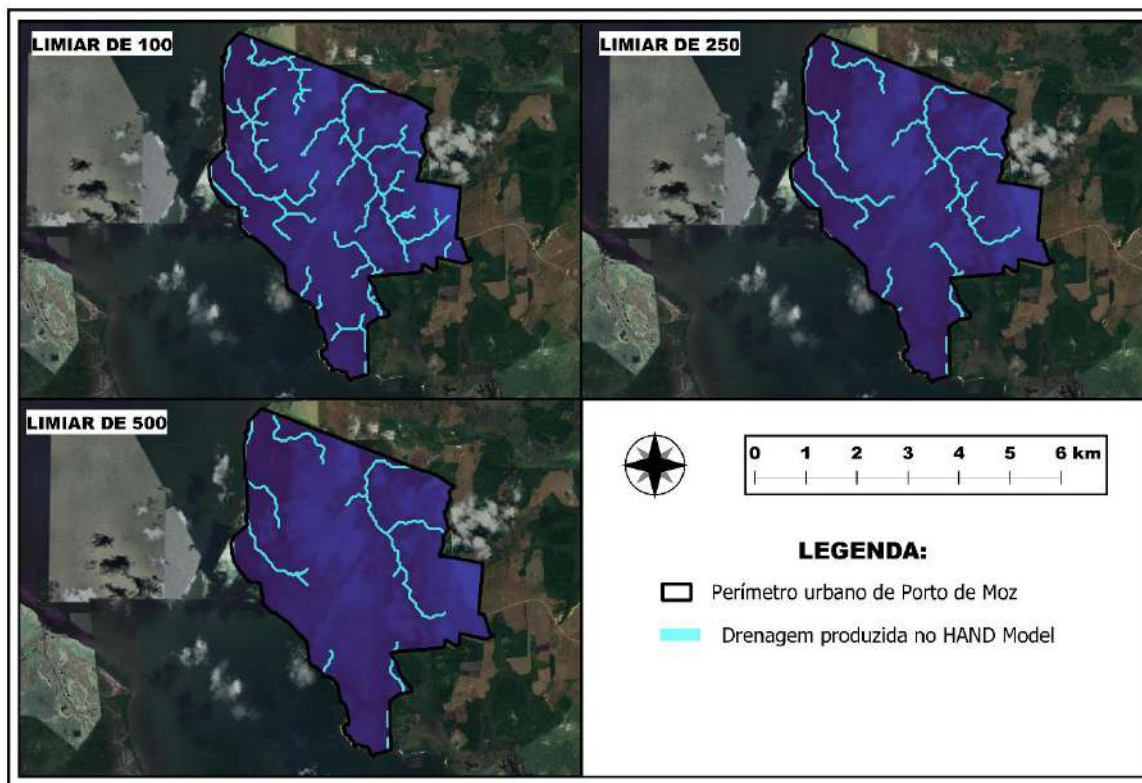
Fonte: Crédito do autor (2024).

5.1.3 ESCOLHA DO LIMIAR PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO HAND

Como podemos verificar na figura 16, os testes realizados com limiares de 5000 e 50000, não representaram os trechos de drenagem dentro do perímetro urbano de Porto de Moz. Com isso, o limiar de 500 se mostrou mais adequado para a área de estudo, pois, gerou mais trechos de drenagem dentro do perímetro urbano, sendo assim para essa pesquisa adotou-se que o limiar de 500 era o valor máximo que poderia ser usado nesse cenário. Neste sentido foram realizados mais três testes no software do HAND MODEL com valores entre 0 a 500 para averiguar o comportamento dos trechos de drenagem com esses limiares.

Portanto, foram realizados mais três testes, com valores de 100 e 250. Os resultados encontrados indicaram que limiar de 100 criou o maior número de trechos de drenagem, enquanto o teste com limiar de 250 criou uma drenagem mais equilibrada, sem grandes generalizações aparentes, como mostra a figura (17)

Figura 17 - Novo teste de limiares e o comportamento da criação dos trechos de drenagem dentro do perímetro urbano de Porto de Moz

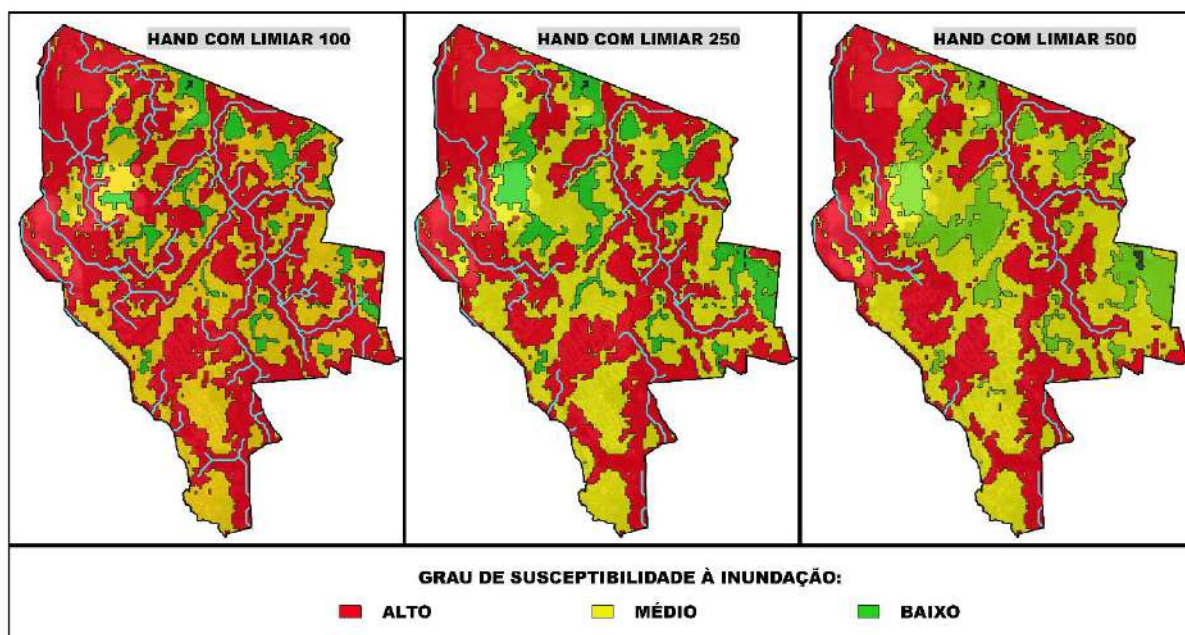


Fonte: Crédito do autor (2024).

5.1.4 Aplicação do Método HAND no município de Porto de Moz

Foi realizada aplicação do método HAND utilizando os três limiares de 100, 250 e 500 (figura 18). Onde foi possível observar diferenças na geração do MDT-HAND, quanto a geração de classes de susceptibilidades de alto, médio e baixo, dentro da área de estudo. Para melhor compreensão e facilitar a leitura, os produtos gerados após aplicação do supracitado método serão denominados respectivamente: MDT-HAND-100, MDT-HAND-250 e MDT-HAND-500, a numeração se origina do limiar utilizado para geração do novo MDT a partir do HAND MODEL.

Figura 18 - Aplicação do Método HAND com testes de limares.



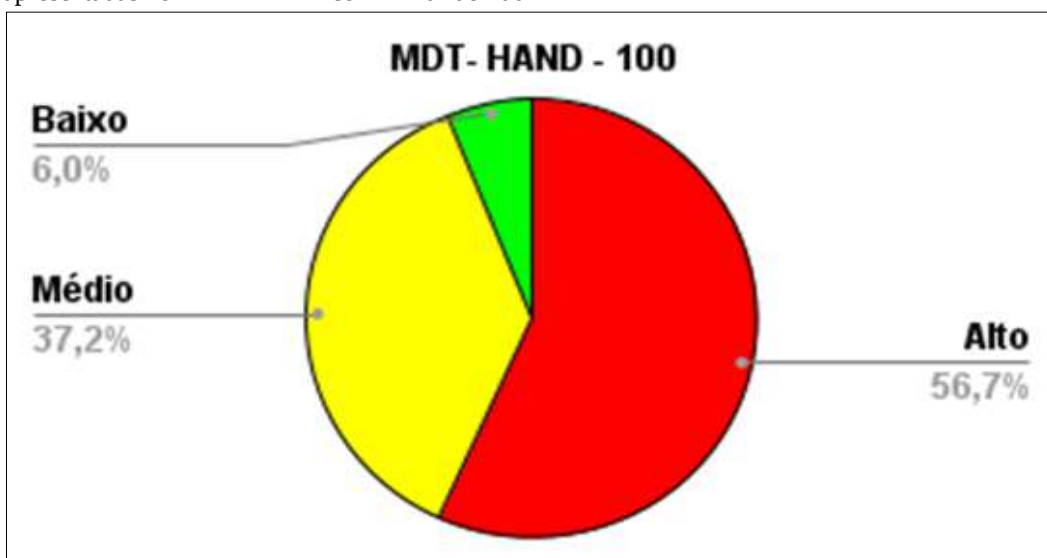
Fonte: Crédito do autor (2024).

Ao analisarmos a figura 18, verificamos que quanto menor o limiar utilizado maior se torna a representação das áreas de alto grau de susceptibilidade a inundações. É possível notar que no MDT-HAND-100 apresentou mais áreas de alto grau quando comparado com os outros limiares aplicados, visto que foram criados mais trechos de drenagem.

O método HAND se baseia na classificação do grau de susceptibilidade inundações do produto final a partir da proximidade de pontos dentro da área de estudo em relação a rede de drenagem e a variação altimétrica do terreno (Goerl *et. al.*, 2017). A altimetria do terreno influencia diretamente na ocorrência de inundações em uma determinada região, pois, à ação da gravidade direciona a água para as regiões mais baixas (Conceição e Simões, 2021).

O MDT-HAND-100 apresentou mais áreas de alto grau de susceptibilidade a inundações, porque foi gerado mais trechos de drenagem comparado os outros testes de limiares, logo, mais pontos próximos aos trechos de drenagem foram criados, consequentemente mais áreas suscetíveis a inundações.

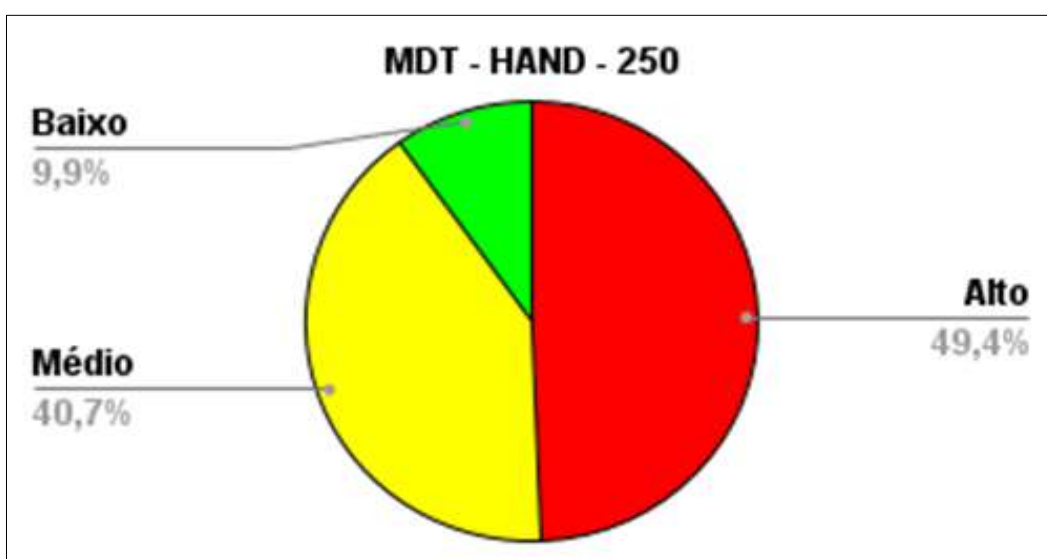
Gráfico 2 - Representação das extensões das áreas de alto, médio, baixo grau de susceptibilidade à inundação apresentadas no MDT-HAND com limiar de 100.



Fonte: Crédito do autor (2024).

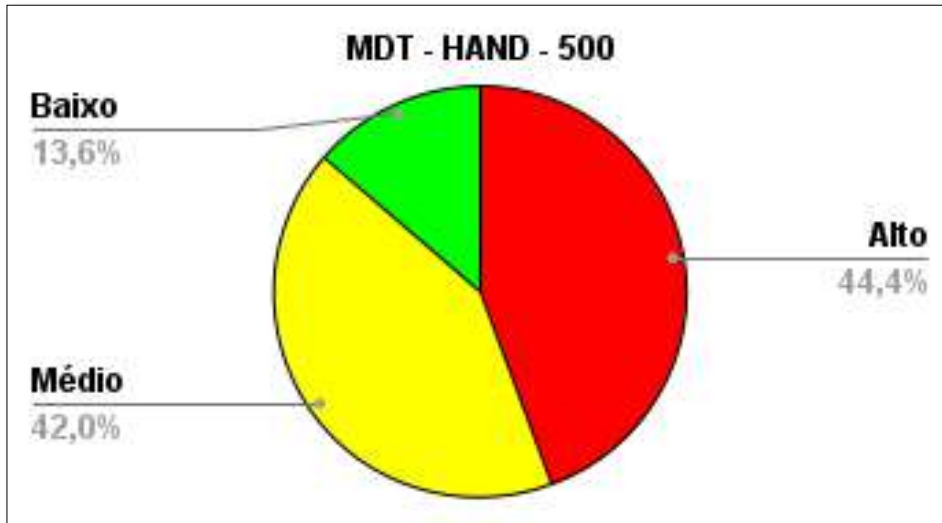
Ao comparar o MDT-HAND-100 com o MDT-HAND-250 exibiu 7,3% a menos de áreas de alto grau de susceptibilidade e o MDT-HAND-500 apresentou 12,3% a menos. Em paralelo as áreas de grau de médio e baixo obtiverem acréscimos em suas respectivas representações, onde foi constatado no MDT-HAND-250 um crescimento de 3,5% de médio grau e 3,9% baixo grau. No MDT-HAND-500 o adicional foi de 4,8% de médio grau e 7,6% baixo grau. Na comparação entre o MDT-HAND-250 e MDT-HAND-500, foi possível observar no MDT-HAND-500 a diminuição de 5% nas áreas de alto grau de susceptibilidade e nos graus de médio e baixo, indicou respectivamente o aumento de 1,3% e 3,7%.

Gráfico 3 - Representação das extensões das áreas de alto, médio, baixo grau de susceptibilidade à inundação apresentadas no MDT-HAND com limiar de 250.



Fonte: Crédito do autor (2024).

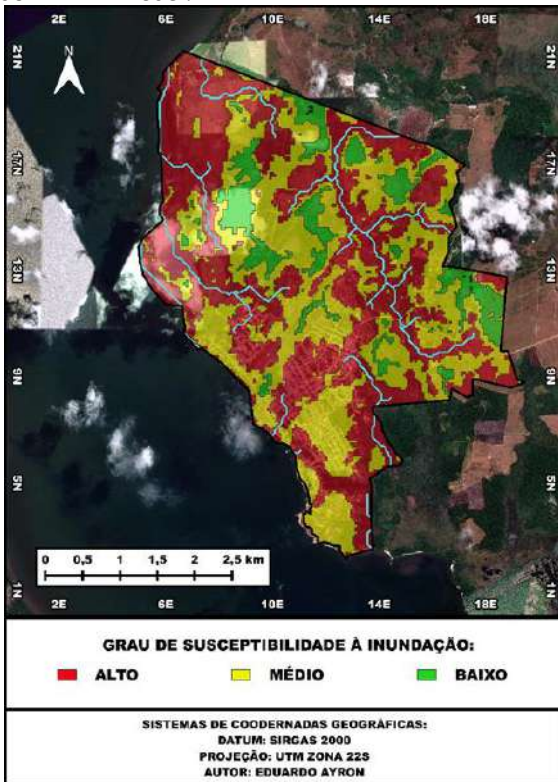
Gráfico 4 - Representação das extensões das áreas de alto, médio, baixo grau de susceptibilidade à inundação apresentadas no MDT-HAND com limiar de 500.



Fonte: Crédito do autor (2024).

Conforme os resultados obtidos é possível observar que o MDT-HAND com limiar de 500 apresentou menor representação na extensão de áreas de alto grau de susceptibilidade à inundação comparados aos outros testes. Portanto, adotou-se o limiar de 500 para produzir o mapa final de suscetibilidade à inundação do município de Porto de Moz, disposto na figura 19.

Figura 19 - Mapa de suscetibilidade à inundação do perímetro urbano município de Porto de Moz produzido através do HAND Model.



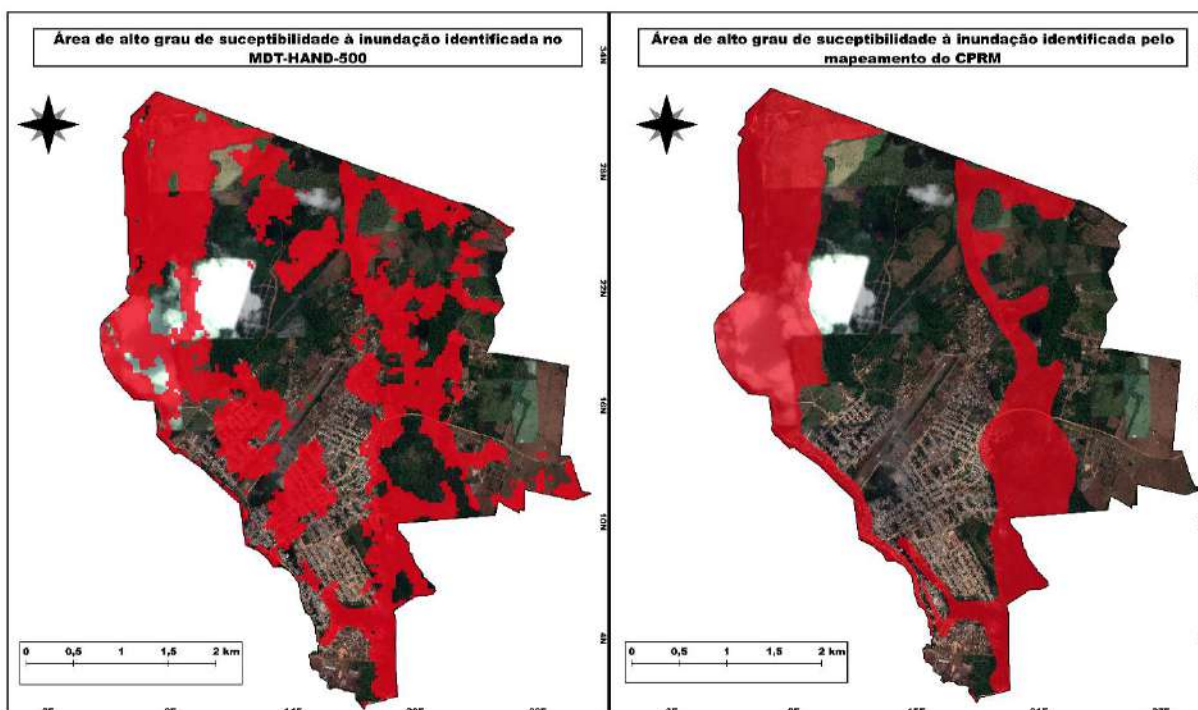
Fonte: Crédito do autor (2024).

5.1.5 Comparação das áreas susceptíveis a inundação identificadas HAND MODEL X CPRM

Inicialmente, cabe salientar que a comparação foi realizada apenas para áreas de alta susceptibilidade à inundação, visto que os dados obtidos pelo CPRM não identificaram no perímetro urbano de Porto de Moz trechos de médio ou baixo grau de susceptibilidade.

Conforme as comparações entre os dois produtos gerados é possível observar que ambos mapas em partes são similares nas representações das áreas susceptíveis a inundação, como indica a figura 20, onde o MDT-HAND-500 apresentou uma área de 9,18 km² de alta susceptibilidade, enquanto o mapeamento efetuado pelo CPRM indicou uma área de 6,34 km² de alta susceptibilidade

Figura 20 - Comparação do mapeamento produzido através do HAND Model com o mapeamento elaborado pelo CPRM.



Fonte: Crédito do autor (2024)

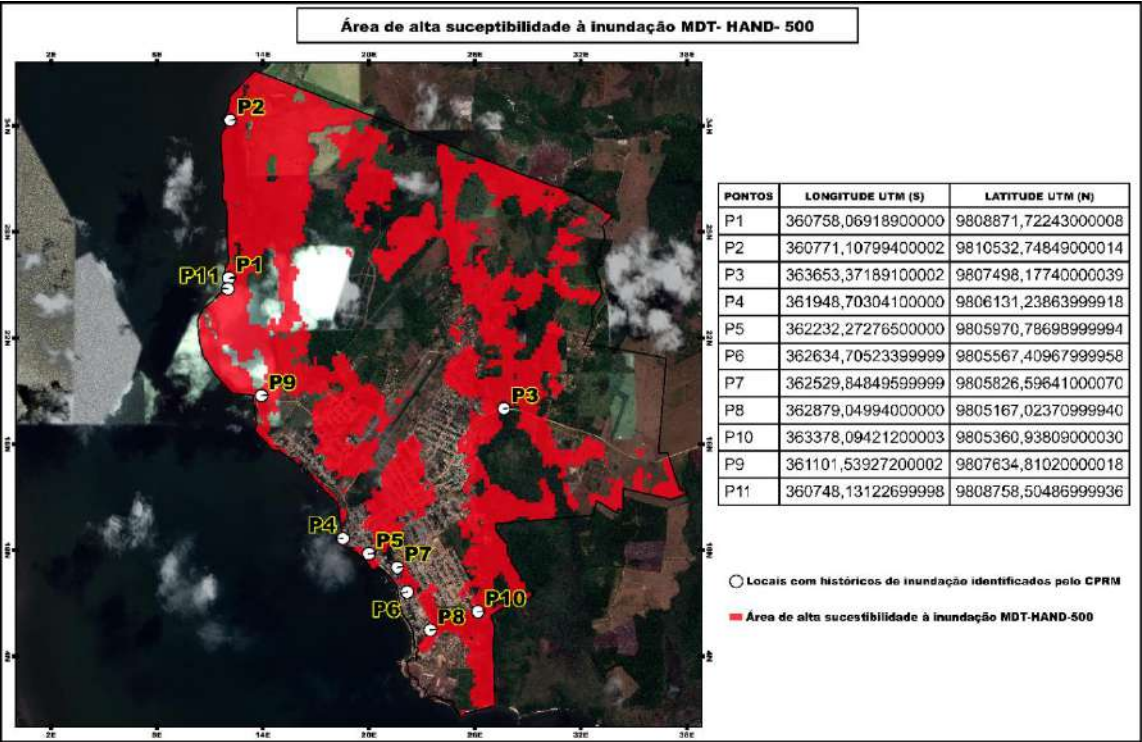
Ressalta-se que a fundamentação do mapeamento realizado pelo CPRM é baseado na utilização do sensoriamento remoto juntamente com aspectos observados nas atividades de campo, onde são analisados o histórico de desastres naturais do local e são avaliados *in loco* pontos que se enquadram nos critérios de classificação dos graus de risco a processos hídricos estabelecidos pelo Ministério das Cidades & IPT, 2004).

A diferenciação nas metodologias pode ser o fator que explica a diferença no tamanho das áreas de alta susceptibilidade indicadas na figura 20, onde o MDT-HAND-500 apresentou

áreas mais de alta susceptibilidade a inundações, pois, o fator determinante para a classificação são as cotas altimétrica do terreno, enquanto, o CPRM levou em consideração observações de campo e classificações técnicas.

Apesar da diferença na representação das áreas, os resultados obtidos partir do HAND Model foram positivos, visto que foram usados apenas técnicas de sensoriamento remoto e procedimentos metodológicos para obter os resultados. A plotagem no MDT-HAND-500 dos pontos de GPS das áreas de alto risco hidrológico identificadas dentro do perímetro urbano colabora com tal afirmação, pois, todos os pontos encontrados pelo CPRM de alto grau de susceptibilidade, estão dentro da macha de inundação produzida pelo HAND model, como revela a figura 21.

Figura 21 - Plotagem dos pontos dos locais com históricos de inundação identificados pelo CPRM no MDT-HAND-500



Fonte: Crédito do autor (2024)

Bandeira e Simões, (2017) responsáveis pela realização Setorização de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa, enchentes e inundações de Porto de Moz - PA, descreveram os fatores que fazem cada ponto indicado na figura 21, serem considerados de alto grau de susceptibilidade a inundações, a tabela 3 descreve os aspectos observados *in loco*.

Tabela 1 - Descrição dos pontos identificados pelo CPRM.

PONTOS	DESCRIÇÃO
P1	Fim das planícies de inundação dominadas por praias com alta suscetibilidade a inundação e início de extensa área alagada.
P2	Região pontual, onde desaparecem as áreas alagadas, que dão lugar a pequenas falésias, com suscetibilidade alta a inundação.
P3	Planície de igarapé, restrita, com suscetibilidade alta a inundação. A planície encontra-se parcialmente alagada.
P4	Régua da ANA, marcando nível de 2,02m. Foram vistas réguas até 6m. Há uma elevação de aproximadamente 3 metros entre o canal e a primeira rua que, segundo moradores, inunda na época de chuvas.
P5	A elevação entre o canal e a rua da margem pode variar entre 3 e 2 metros. As cotas aumentam em direção contrária a margem sendo que só a primeira rua inunda segundo moradores.
P6	Área alagada ocupada por palafitas. Em épocas de cheias intensas, o nível d'água supera as palafitas podendo entrar nas residências.
P7	Área alagada ocupada por palafitas. Em épocas de cheias intensas, o nível d'água supera as palafitas podendo entrar nas residências.

Fonte: Crédito do autor (2024).

A pesquisa de Silva *et al.*, (2023), também utilizou os pontos susceptíveis à inundação catalogados pelo CPRM para avaliar a confiabilidade das machas de inundação geradas pelo método HAND, a plotagem dos pontos também apresentou resultados coerentes, pois, todos os pontos catalogados estavam dentro de áreas susceptíveis a inundação produzida através do HAND Model.

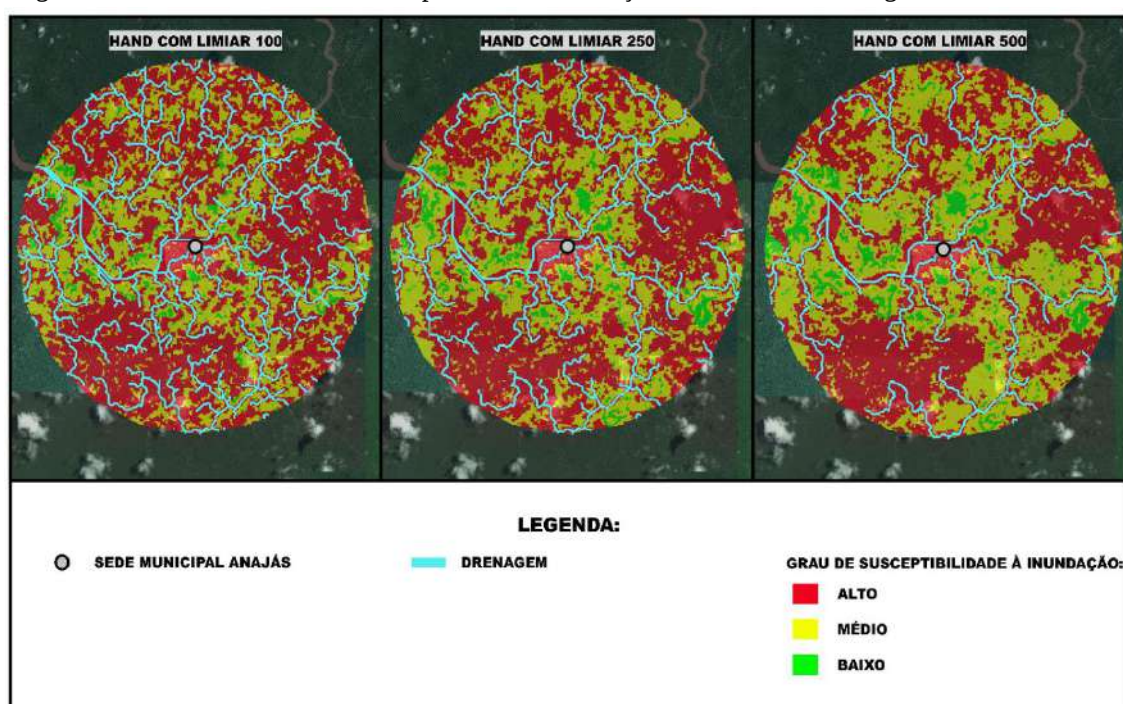
Portanto, tal resultado indica que o referido método possui potencial quando se trata na identificação de áreas susceptíveis a inundação tornando valido a replicação da metodologia com em locais com poucas informações sobre os históricos de inundação, pois, o mapeamento gerado poderá ser utilizado como os primeiros procedimentos para identificar pontos susceptíveis a inundação dentro de uma área que nunca foi mapeada objetivando esses fins.

5.2 Aplicação do Método HAND no município de Anajás

Inicialmente foi gerado um buffer com raio de 5km a partir da sede municipal de Anajás através do software Qgis com intuito de evitar erros de processamento no software TerraView Hydro 0.4.4, visto que a partir de testes foi notado que existem limitações no referido software quanto se aplica os procedimentos do HAND model com MDT de entrada de uma área pequena ele pode apresentar erros de funcionamento.

Posteriormente, foram realizados três testes utilizando limiares de 100, 250 e 500. Os resultados dos testes indicaram notáveis diferenças na intensidade dos trechos de drenagem produzidos como indica a figura 22. Na aplicação do método HAND no município de Anajás adotou-se o limiar de 500 para a produção do mapa de susceptibilidade a inundação, por não ter dados ou histórico de trechos inundáveis no município, foi definido o limiar que produziu os trechos de drenagens com menor intensidade para evitar a extrema generalização das áreas de alto grau de susceptibilidade à inundação, visto que tal parâmetro está diretamente ligado com a identificação dos trechos susceptíveis a inundação a partir do HAND MODEL.

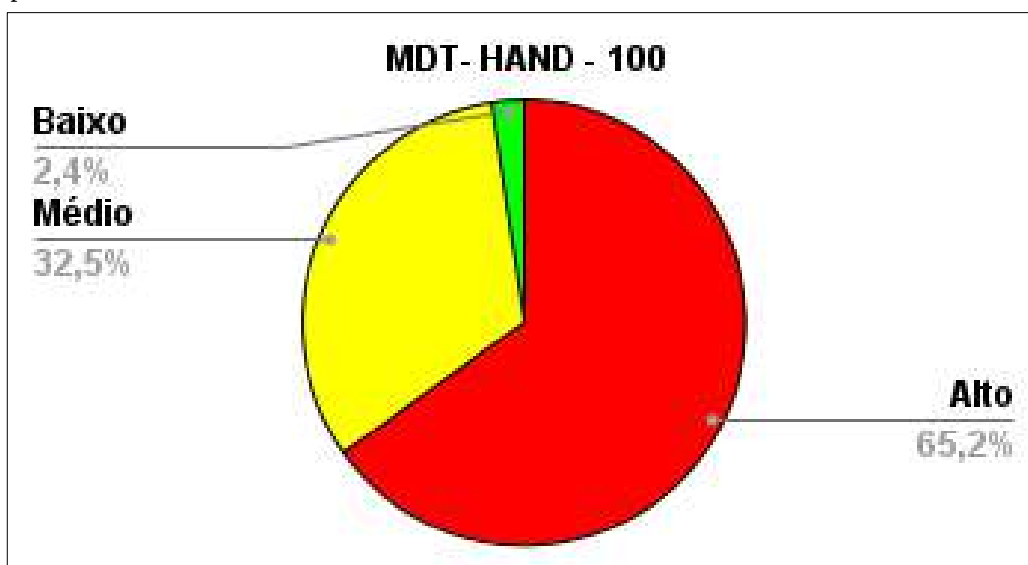
Figura 22 - Testes de limiares e o comportamento da criação dos trechos de drenagem dentro do raio de 5 km.



Fonte: Crédito do autor (2024).

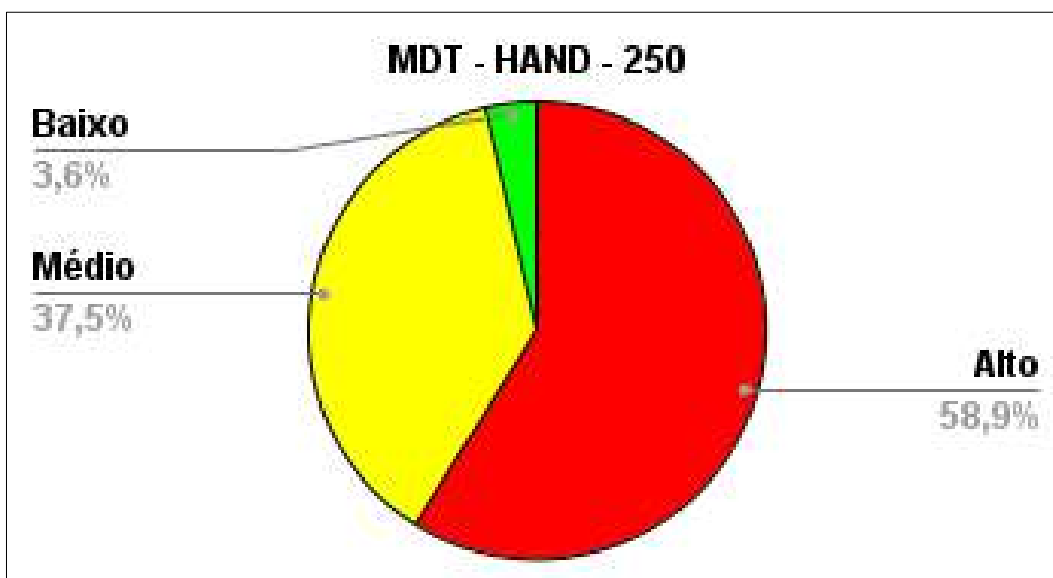
No mapeamento das áreas susceptíveis no município de Anajás foi necessário delimitar a área a ser mapeada, pois, o software TerraView Hydro apresenta limitações para mapear grande extensões, pois, o limiar necessário a ser utilizado é muito elevado, com isso, software não consegue produzir drenagens com limiares maiores que 50000, como citado anteriormente áreas maiores requerem limiares maiores que são avaliados conforme testes. Os produtos gerados (MDT-HAND) apresentaram diferenças na representação das classes de áreas susceptíveis à inundação, como indica os gráficos 5, 6 e 7.

Gráfico 5 - Representação das extensões das áreas de alto, médio, baixo grau de susceptibilidade à inundação apresentadas no MDT-HAND com limiar de 100.



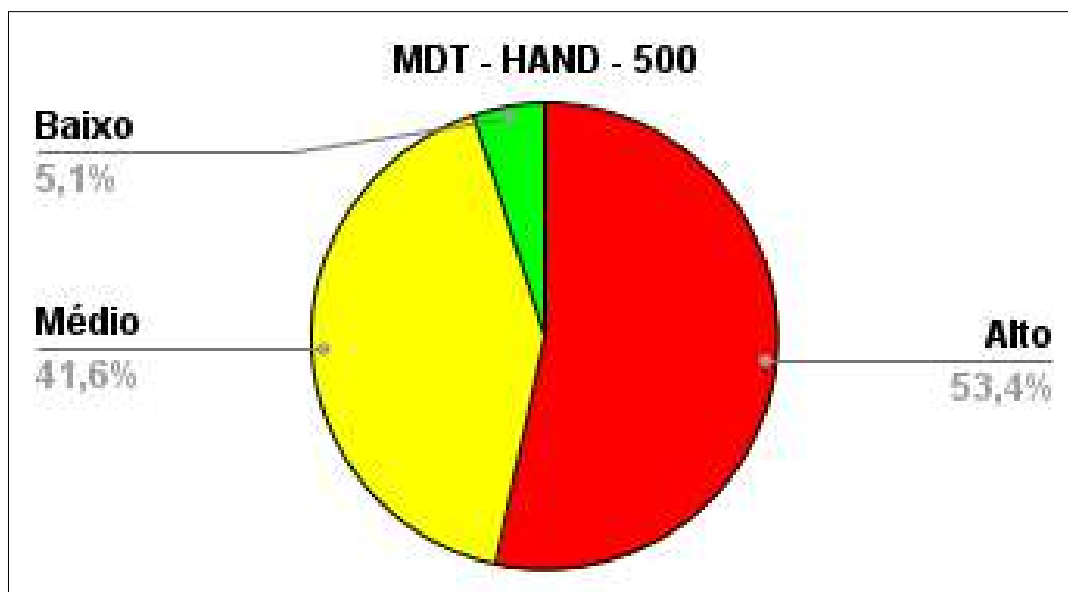
Fonte: Crédito do autor (2024).

Gráfico 6 - Representação das extensões das áreas de alto, médio, baixo grau de susceptibilidade à inundação apresentadas no MDT-HAND com limiar de 250.



Fonte: Crédito do autor (2024).

Gráfico 7 - Representação das extensões das áreas de alto, médio, baixo grau de susceptibilidade à inundação apresentadas no MDT-HAND com limiar de 500.

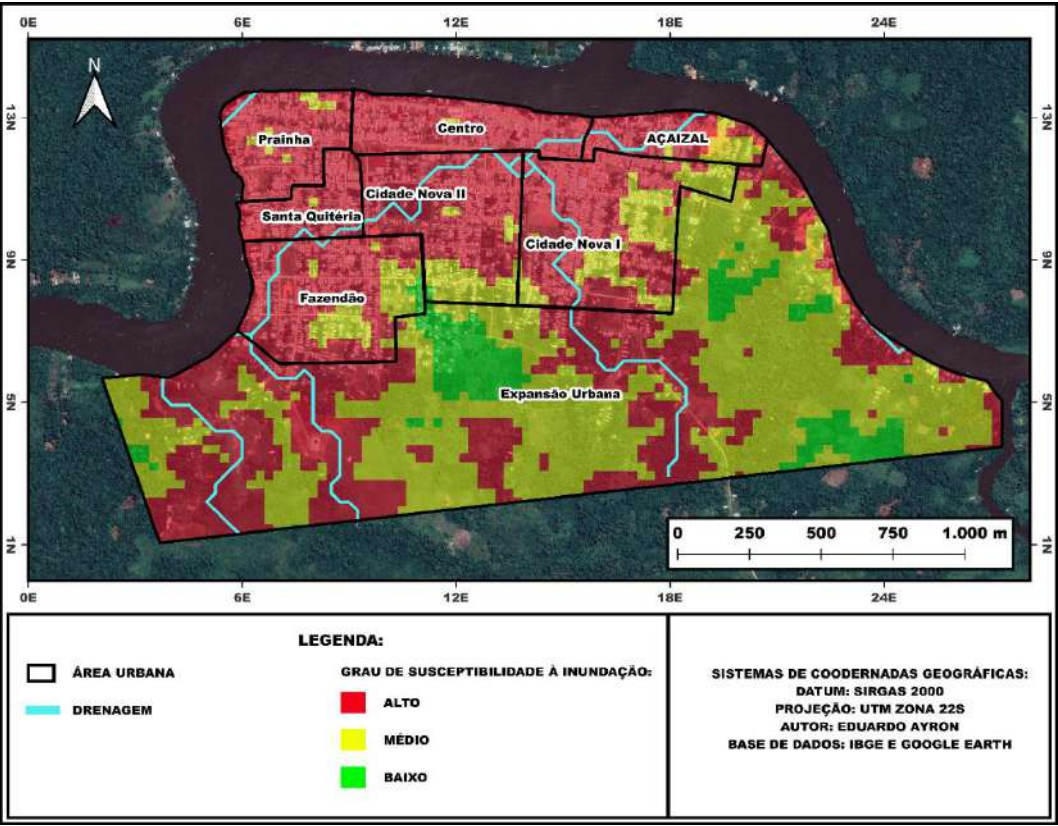


Fonte: Crédito do autor (2024).

Como indicou o gráfico 7 o MDT-HAND-500 apresentou menor generalização nas áreas de alta susceptibilidade, revelando uma diferença de 11,8% a menos quando comparado ao MDT-HAND-100. Tal fato explicitado demonstra como é crucial a realização de testes para definir qual limiar deve ser usado, isto pode ser considerado uma limitação do método, ressaltando ainda mais que o método HAND pode ser utilizado como uma ferramenta de mapeamento preliminar, tornando necessário à validação através de outras informações adicionais obtidas sem o uso do sensoriamento remoto, tais como: levantamento do histórico de inundação da área e observar aspectos em *in loco* objetivando o refino e precisão das áreas susceptíveis a inundação.

Após os testes foi elaborado o mapa final de suscetibilidade à inundação da área urbana de Anajás (figura 23). Conforme o mapa produzido foi possível observar que parte considerável da área urbana é altamente suscetível à inundação. Mesmo com limitações, o mapeamento produzido pelo HAND MODEL se apresenta como uma ferramenta de prevenção à inundação com potencial para municípios que não possuem oficialmente documentos oficiais que versem sobre o tema. Os produtos SIG gerados pelo HAND MODEL possibilitam que as autoridades públicas planejem estratégias prevenção os possíveis danos causados pelas inundações, facilitando a escolha das áreas que devem receber atenção com mais rapidez.

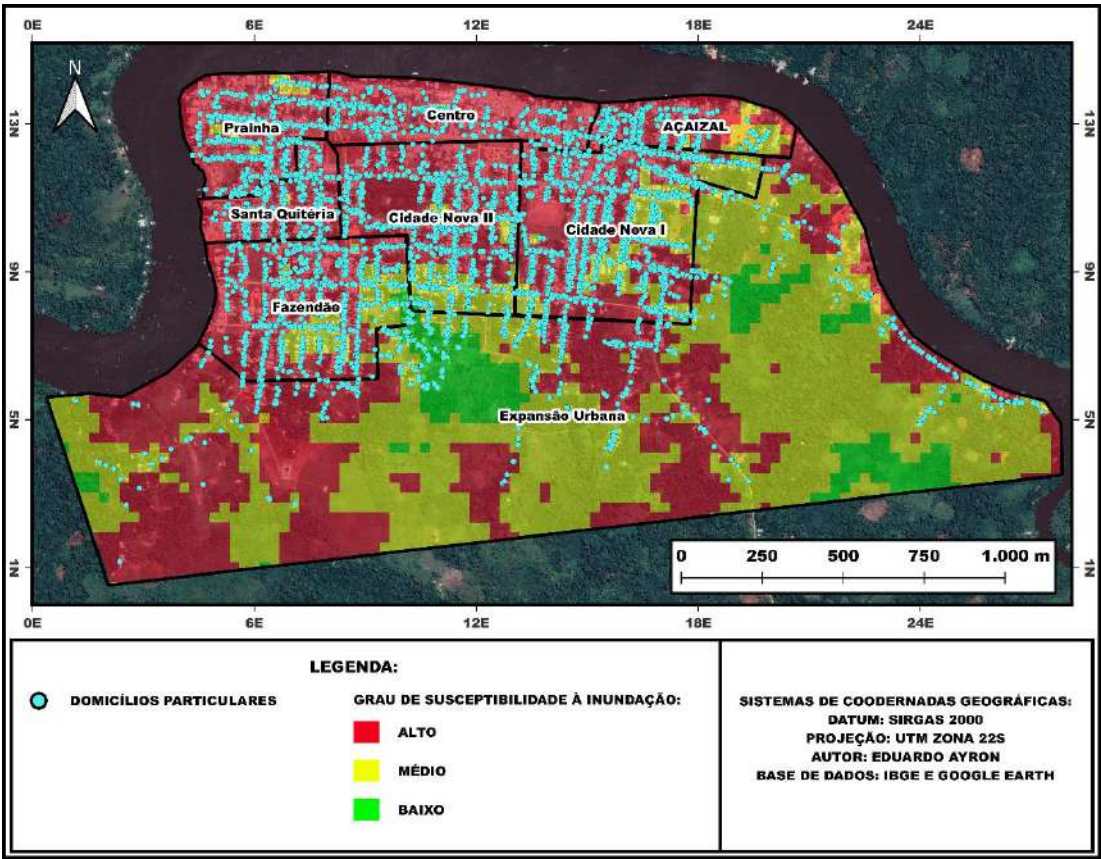
Figura 23 - Mapa de suscetibilidade à inundação da área urbana do município de Porto de Moz produzido através do HAND model.



Fonte: Crédito do autor (2024).

A partir dos produtos SIG gerados através do HAND MODEL juntamente com os dados do censo 2022 foi possível identificar quantos domicílios individuais, intuições de saúde e ensino estão inseridas em áreas de alta susceptibilidade a inundação. A figura 24 mostra os domicílios particulares inseridos em áreas suscetíveis a inundação na área urbana de Anajás.

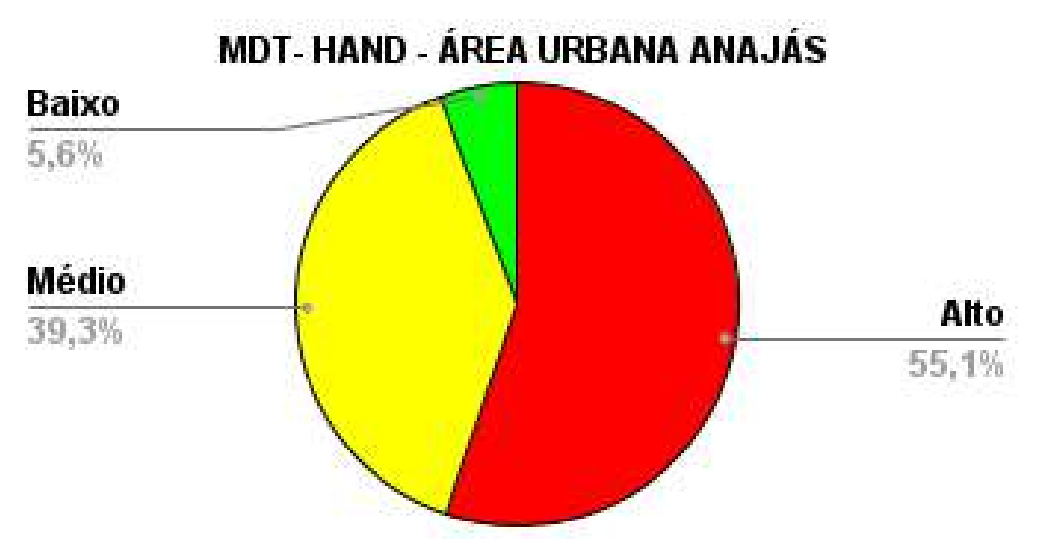
Figura 24 - Domicílios particulares localizados em áreas suscetíveis à inundação



Fonte: Crédito do autor (2024).

O gráfico 8 indica a extensão das áreas suscetíveis, onde é possível observar que metade da área urbana está suscetível a sofrer com inundações. Nesta situação o mapeamento produzido através do sensoriamento remoto possibilitou a verificação que área urbana de anajás precisa estar sobre a perspectiva de um olhar atencioso por parte dos representantes públicos municipal quanto a está problemática.

Gráfico 8 - Representação das extensões da área urbana de alto, médio, baixo grau de susceptibilidade à inundação apresentadas no MDT-HAND com limiar de 500



Fonte: Crédito do autor (2024).

Ao contabilizar o número de domicílios individuais por bairros facilita ainda mais a compreensão de quais áreas ser devem os alvos primários para realização de medidas de prevenção. A tabela 4 demonstra o número de domicílios individuais por bairro e quantos domicílios estão em áreas de alto grau de susceptibilidade à inundação. Os resultados indicam que aproximadamente 95% das residências que estão localizadas nos bairros, Centro, Prainha e Santa Quitéria estão em áreas de alta susceptibilidade a inundação e adicionalmente os referidos bairros estão localizados as margens do corpo hídrico que historicamente são áreas comumente inundáveis visto a ocupação urbana nas planícies de inundação

Tabela 2 - Número de domicílios total e o número de domicílios localizados em áreas de alta suscetibilidade à inundação.

Bairro	Nº Total de Domicílios	Nº de Domicílios em áreas de alta susceptibilidade à inundação.
Centro	287	276
Prainha	351	342
Açaizal	231	207
Cidade Nova I	889	715
Cidade Nova II	614	506
Santa Quitéria	223	219
Fazendão	548	415
Expansão Urbana	503	260

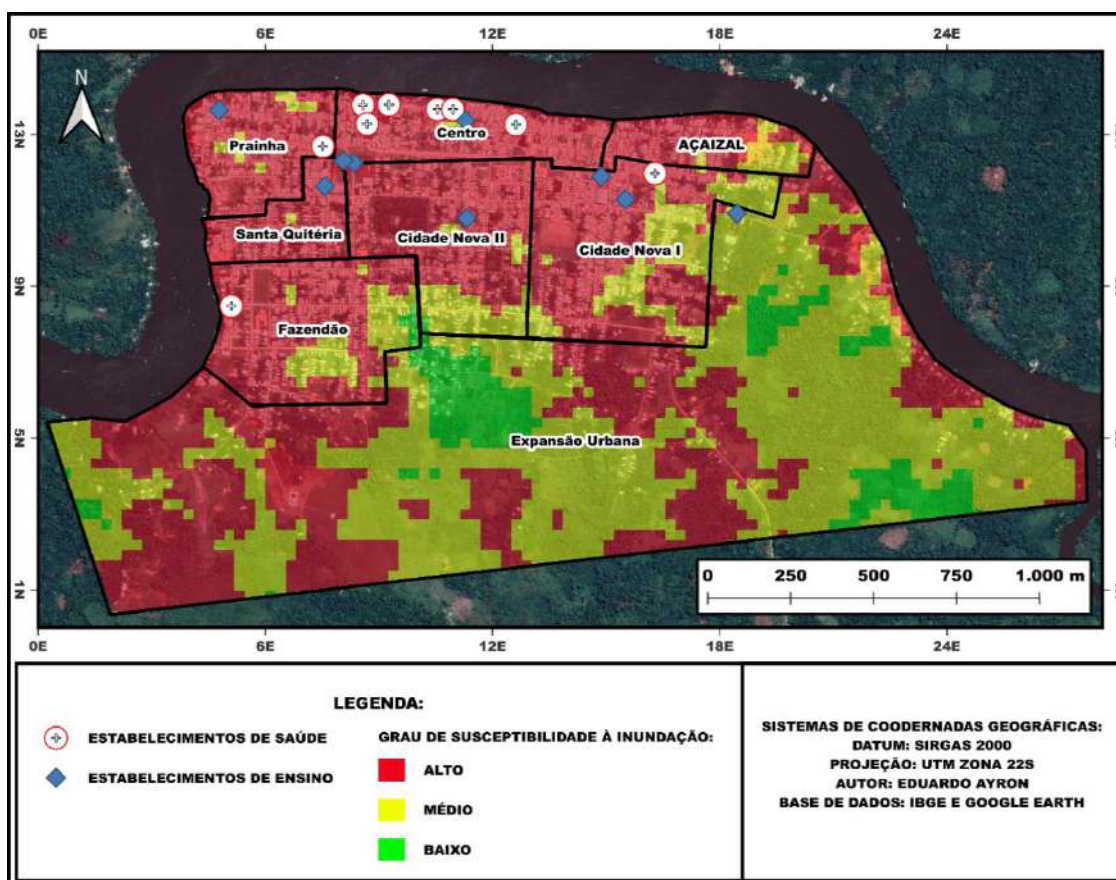
Fonte: Crédito do autor (2024).

A inserção nos produtos SIGs produzidos pelo HAND MODEL dos pontos das coordenadas geográficas das instituições de ensino e saúde fornecidas pelo IBGE favorece ainda mais delimitação dos bairros da área urbana de Anajás necessitam de atenção e preocupação por parte do poder público para implementação de estratégias e planos de prevenção contra inundações. Visto que entre os grupos que apresentam maior vulnerabilidade a desastres, estão as crianças e adolescentes, grupos esses que comumente frequentam os estabelecimentos de ensinos, como escolas e creches.

O trabalho de Marchezini, Muñoz e Trajber (2018) que avaliou dados históricos de ocorrência de desastres com impacto nas escolas dos anos 2012 a 2015 onde os resultados indicaram que são numerosos e recorrentes os casos de escolas danificadas e destruídas por fenômenos hidrológicos e geológicos no Brasil.

A figura 25 revela os estabelecimentos de ensino e saúde inseridos em áreas susceptíveis à inundação

Figura 25 - Estabelecimentos de ensino e saúde localizados em áreas susceptíveis à inundação



Fonte: Crédito do autor (2024).

5.3 O sensoriamento remoto e geoprocessamento como ferramenta de prevenção à inundação

Os resultados obtidos através do uso do método HAND foram positivos, mesmo que tenha sido utilizado apenas dados secundários os resultados encontrados indicam um grande potencial a ser explorado. Tal fato explicitado evidencia o sensoriamento remoto e o geoprocessamento como ferramentas palpáveis que podem produzir produtos que facilitem procedimentos relacionados a gestão de risco e prevenção a desastres.

Todavia, no contexto social e econômico da maioria dos municípios paraenses, as ferramentas supracitadas, não possuem os seus respectivos potenciais explorados ao máximo em municípios paraenses, visto que alguns desses municípios não possuem mão de obra técnica capacitada suficiente ou máquinas adequadas para o uso do sensoriamento remoto e geoprocessamento, pois, técnicas como HAND Model demandam computadores com configurações de qualidade para ser aplicado e assim processar o MDT.

O exposto, destaca uma problemática a ser explorada e discutida, evidenciando que prevenção à inundação começa com investimentos sendo realizados para realizar melhorias nos computadores e equipamentos utilizados, bem como promover a capacitação dos técnicos através de cursos e programas de pós-graduação e etc., com intuito de fortalecer e facilitar a ação dos órgãos públicos responsáveis pela gestão de risco a desastres.

O eixo principal de discussão deve ser pautado na busca de alternativas que possibilitem uma gestão de risco mais autônoma para municípios paraenses como anajás frente aos desastres naturais que tendem a serem mais comuns e intensos devidos as mudanças climáticas.

Ao observar a gestão de riscos relacionadas as inundações no Brasil, comumente o CPRM é quem fornece os mapeamentos que identificam as áreas de riscos e assim possibilitando que os municípios mapeados iniciem os procedimentos direcionados a prevenção através da gestão de riscos, pois, os dados fornecidos pelo CPRM são baseados em setorização de risco que identificam dentro do município a ser mapeado áreas com maior cenário de vulnerabilidade.

O Brasil possui uma grande extensão territorial e alguns municípios susceptíveis a inundação ainda não foram mapeados pelo CPRM, a tendência é que continuem sem serem mapeados, pois, são muitos municípios ao quadro de funcionários do CPRM não é capaz de suprir toda a demanda existente.

Em observância a Política Estadual de Proteção e Defesa Civil (PEPDEC), instituída através da Lei Nº 9.207, de 13 de janeiro de 2021, na qual possui um dos objetivos de promover

a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres, a fim de evitar ou reduzir sua ocorrência. A PEPDEC expressa também que é competência dos municípios paraenses, identificar e mapear as áreas de risco de desastres.

Com isso, surge o questionamento o que pode ser feito para que esses municípios com poucos recursos não fiquem sem iniciarem qualquer tipo iniciativa de gestão de risco referentes à inundações, nesta toada o sensoriamento e o geoprocessamento devem serem considerados como instrumentos para atender esta demanda nestes municípios.

A exemplificar, os produtos do mapeamento de susceptibilidade à inundação na área urbana de Anajás gerados através deste estudo possibilitaram identificação do número de residências, instituições de saúde e ensino em localizadas áreas de alto grau de susceptibilidade à inundação. As informações obtidas podem subsidiar ou direcionar a criação de um plano de ação frente a problemática de possíveis ocorrências de inundações.

Salienta-se que a prevenção no contexto da gestão de desastres está conectada com o conceito de planejamento, pois, deve-se debater e promover a prevenção antes da ocorrência de qualquer desastre natural. A gestão de risco é formada com ajuda de mapas, históricos de ocorrência, análises fatores socioeconômicos e naturais e políticas públicas, que juntos possibilitam a criação de medidas de prevenção.

6 CONCLUSÃO

A pesquisa buscou destacar a importância e apresentar o sensoriamento remoto e do geoprocessamento como ferramenta palpável para a formulações de ação prevenção referente a problemática das inundações utilizando apenas dados secundários e softwares gratuitos.

Os resultados obtidos através do HAND Model no município de Porto de Moz, já mapeado pelo CPRM, foram satisfatórios quando comparados com os dados do mapeamento produzido pelo CPRM. O que destaca o método de HAND como uma alternativa viável para identificação de áreas suscetíveis a inundação, podendo ser aplicado em áreas ainda não mapeadas, mesmo apresentando algumas limitações quanto a falta de parâmetros para a escolha do limiar e erros nos processamentos de MDT de grandes áreas no software TerraView Hydro 0.4.4, a aplicação do referido método requer testes para identificar o limiar adequado.

O resultados do mapeamento de áreas suscetíveis a inundação do município de Anajás, ainda não mapeado pelo CPRM, possibilitaram identificação quais bairros da área urbana estão mais suscetíveis a sofrer com inundações e através dos dados do censo 2022 foi possível quantas residências individuais e estabelecimentos de saúde e ensino estão localizados em áreas de alta suscetibilidade à inundação, podendo servir como critério de escolha para áreas prioritárias para criação de planos da ação para implementação de estratégias de prevenção.

Destaca-se que todos os mapas produzidos foram produzidos com softwares e dados livres, apontando firmemente o sensoriamento remoto e o geoprocessamento como alternativas viáveis para o mapeamento de áreas susceptíveis à inundação, todavia, cabe enfatizar que a maior barreira dos municípios paraenses para possuírem autonomia para produzir seus próprios mapeamentos é a falta de mão de obra técnica capacitada. A falta da realização de cursos de capacitações devido à falta de investimentos é problemática que precisa ser resolvida urgentemente, visto que as mudanças climáticas tendem acentuar ainda mais as ocorrências de eventos extremos em todo o mundo e os municípios paraenses devem realizar a gestão de riscos de forma integral objetivando está pronto para reagir em relação a qualquer desastre natural e os mapeamentos contribuem para identificação das principais áreas que tendem a serem mais afetadas facilitando a criação e aplicação de medidas de prevenção.

REFERÊNCIAS

- ARRIGHI, C., BRUGIONI, M., CASTELLI, F., FRANCESCHINI, S., MAZZANTI, B., 2013. Urban micro-scale flood risk estimation with parsimonious hydraulic modelling and census data. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 13, p.1375-1391. DOI: 10.5194/nhess-13- 1375-2013
- BAPTISTA, G. M. M; BRITES, R. S. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília: Universidade de Brasília, 2012.
- BRASIL, Ministério da Integração Nacional. **Lei no 12.608, de 10 de abril de 2012**. Diário Oficial da União, Brasília - DF, 11 abr. 2012, Seção 1, p. 1. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/112608.htm. Acesso em 08 JAN. 2023.
- BRASIL, SEDEC – SECRETARIA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL. **Política Nacional de Defesa Civil**. Brasília – DF, MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, p.8., 2007. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/pndc.p df> Acesso em 23 FEV 2023
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Atlas de Vulnerabilidade a Inundações**. Brasília – DF Ministério do Meio Ambiente, p7.,2014. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br:/geonetwork/srv/api/records/2cfa808b-b370-43ef-8107-5c3bfd7a_cf9c/attachments/Atlas_de_Vulnerabilidade_a_Inundaes.pdf. Acesso em 08 JAN. 2023.
- BRASIL. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. **Setorização de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa, enchentes e inundações**. Porto de Moz – Pará, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, p 16., 2017. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/14995>. Acesso em 01/02/2023
- CÂMARA, G; DAVIS, C; MONTEIRO, A. M; D'ALGE, J. C. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 2º edição, (revisada e ampliada). São José dos Campos/SP: INPE – Instituto Nacional de Pesquisas espaciais. 2011.
- CARVALHO, C.S., MACEDO, E.S., OGURA, A.T. (Organizadores). **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.
- CARVALHO, M.B. **Mapeamento das suscetibilidades a inundações e movimentos de massa usando SIG no município de Itajubá, MG**. 2018. Dissertação(Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Itajubá. Itajubá.2018
- CASTRO, Antônio Luiz Coimbra; Glossário de Defesa Civil, Estudos de Riscos e Medicina de Desastres, 2 ed, Brasília, 1998. Disponível em: <https://www.defesacivil.mg.gov.br/images/documentos/Defesa%20Civil/manuais/GLOSSARIO-Dicionario-Defesa-Civil.pdf>. Acesso em 27 out. 2023.
- CEMADEN, Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Anuário da sala de situação do CEMADEN, 2018** - : Vol. 2, n. 1 (2021) . - São José dos Campos: CEMADEN, 2019.
- CRED/UNDRR (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters/ United Nations Office for Disaster Risk Reduction). 2020. Human Cost of Disasters: An Overview of the Last 20 Years, 2000–2019. www.undrr.org/publication/human-cost-disasters-overview-last-20-

years-2000-2019.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficinas de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. “Iniciação em Sensoriamento Remoto”. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. Considerações sobre as inundações no Brasil. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa. **Anais...** 2005.

GOERL, R. F.; MICHEL, G. P.; KOBIYAMA, 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. l.], v. 69, n. 1, 2017. DOI:

10.14393/rbcv69n1-44032. Disponível em:

<https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44032>. Acesso em: 30 jan. 2023.

HORA, S. B. da.; GOMES, R. L. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do Município de Itabuna/BA. **Sociedade & Natureza**, v. 21, n. Soc. nat., 2009 21(2), ago. 2009.

KAPLAN, Stanley; GARRICK, B. John. Sobre a definição quantitativa de risco. *Análise de risco*, v. 1, n. 1, pág. 11-27, 1981.

MARCHEZINI, V.; MUÑOZ, V. A.; TRAJBER, R. Vulnerabilidade Escolar frente a Desastres no Brasil. *Territorium*, v.25, n.II, p.161-177, 2018a.

MARCOS, P. H. T, et al. Curso astronáutica e ciência do espaço: Sensoriamento Remoto. Edição (se houver). Brasil, Ministério da Ciência e Tecnologia, 2008

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T.; ROSA, A. N. C. S.; SANO, E. E.; SOUZA, E. B.;

MERZ B., THIEKEN A., GOCHT M. 2007 Flood Risk Mapping At The Local Scale: Concepts and Challenges. In: Begum S., Stive M.J.F., Hall J.W. (eds) *Flood Risk Management in Europe. Advances in Natural and Technological Hazards Research*, vol 25. Springer, Dordrech.

MERZ, B., VOROGUSHYN, S., LALL, U., VIGLIONE, A., BLÖSCHL, G. 2015. Charting unknown waters—On the role of surprise in flood risk assessment and management, *Water Resour. Res.*, 51, doi:10.1002/2015WR017464.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. SECRETARIA DE PROGRAMAS URBANOS.

Capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco: curso de capacitação. Brasília, p22.,2006. Disponível em:

http://www.defesacivil.mg.gov.br/images/documentos/Defesa%20Civil/manuais/mapeamento/m_apeamento-grafica.pdf. Acesso em 08 JAN. 2023.

MOMO, M. R., PINHEIRO, A., SEVERO, D. L., CUARTAS, L. A., NOBRE, A. D.. (2016). Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta. Resolução espacial. *RBRH*, 21(RBRH, 2016 21(1)). <https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p200-208>

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; HODNETT, M. G.; RENNO, C. D.; RODRIGUES, G.; SILVEIRA, A.; WATERLOO, M.; SALESKA, S. Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model. **Journal of Hydrology**, v. 404, n. 1, p. 13-29, 2011.

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; MOMO, M. R.; SEVERO, D. L.; PINHEIRO, A.; NOBRE, C. A. HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent. **Hydrological**

Processes, v.30, n. 2, p. 320-333, 2016.

ONU - Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Disponível em : <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em 08 JAN. 2023.

PARÁ (Governo). SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA, EDUCAÇÃO TÉCNICA E TECNOLÓGICA - SECTET. Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas - Fapespa. **Estatística municipal**: Porto de Moz. Belém, PA, 2022. 12 p.

PARÁ (Governo). SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA, EDUCAÇÃO TÉCNICA E TECNOLÓGICA - SECTET. Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas - Fapespa. **Estatística municipal**: ANAJÁS. Belém, PA, 2022. 11 p.

PAUMGARTTEN, J. V. do V. V.; MAUÉS, L. M. F.; ROCHA, C. A. A. C. RISCO DE INUNDAÇÃO NA CIDADE DE BELÉM (PA): A PERCEPÇÃO TÉCNICA E SOCIAL DO RISCO. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, [S. l.], v. 17, n. 1, 2021. DOI: 10.54399/rbgdr.v17i1.6172. Disponível em: <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/6172>. Acesso em: 25 fev. 2024.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM; mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*, v. 112, p. 3469-3481, 2008.

RODRIGUES, T. E.; SILVA, R. C.; SILVA, B. N. R.; SILVA, J. M. L.; VALENTE, M. A.; DARIVA, T. A.; JESUS, A. A. S.; VENTURIERI, A. Caracterização, mapeamento e classificação dos solos da área de influência da BR-163 (Cuiabá-Santarém) e BR-230 (Transamazônica). In: VENTURIERI, A. Zoneamento Ecológico-Econômico da área de influência da rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém). Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. v. 2, p. 403-573.

RODRÍGUEZ, A. C. M. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados na análise da legislação ambiental no município de São Sebastião (SP). 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. doi:10.11606/D.8.2006.tde-07042006-150606. Acesso em: 2024-05-18.

SENGER, G. **Mapeamento de Mancha de Inundação no Vale do Itajaí: Uma comparação entre os métodos HAND e AHP.** 2021. Dissertação (Pós-Graduação em Desastres Naturais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2021.

SOUZA, Claudio Damasceno de; FERNANDES, Roberto José Amorim Rufino; MATOS, Artur Jose Soares. Mapeamento de manchas de inundação: Caxias/MA. Teresina: CPRM, 2021.

SPECKHANN, G. A. Uma proposta de mapeamento de risco de inundação na bacia do Rio Itajaí utilizando descritores de terreno. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2018.

TUCCI, C.E.M. Inundações Urbanas. Porto Alegre: ABRH/Rhama, 2007.

VAN WESTEN, C. J., 2013. Remote sensing and GIS for natural hazards assessment and disaster risk management. *Treatise on geomorphology* [online]. Disponível: <https://www.researchgate.net/publication/224201465>.

ZHOU, Q.; LENG, G., FENG, L., 2017. Predictability of state-level flood damage in the conterminous United States: the role of hazard, exposure and vulnerability. *Scientific Reports*, 7, 5354, p.1-11. DOI:10.1038/s41598-017-05773-4

APÊNDICE

Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação no município de Anajás-PA



EDUARDO AYRON GOMES SOARES



FICHA TÉCNICA

AUTORES: Eduardo Ayron Gomes Soares e Prof. Dr.
Gilmar Wanzeller Siqueira

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

REITOR: Emmanuel Zagury Tourinho

PROGRAMA: Pós-graduação em Gestão de Riso e
Desastres Naturais na Amazônia–PPGGRD

COORDENADOR DO PPGGRD: João de Athaydes
Silva Júnior



APRESENTAÇÃO



Este documento tem a finalidade de apresentar aos representantes do poder público do município de Anajás responsáveis pela defesa civil municipal, os produtos gerados da partir da dissertação com a titulação “SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA DE PREVENÇÃO DE RISCO: MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO EM MUNICÍPIOS PARAENSES”, do Programa de Pós-graduação em Gestão de Risco e Desastres Naturais na Amazônia, pela Universidade Federal do Pará.

O estudo consistiu em mapear áreas suscetíveis à inundação no município de Anajás, como produto da dissertação foram gerados mapas indicando as áreas de alto, médio, baixo grau de suscetibilidade à inundação da área urbana do município e utilizou-se dados do censo 2022 para identificar o N° de domicílios, estabelecimentos de ensino e saúde em áreas suscetíveis a inundação.

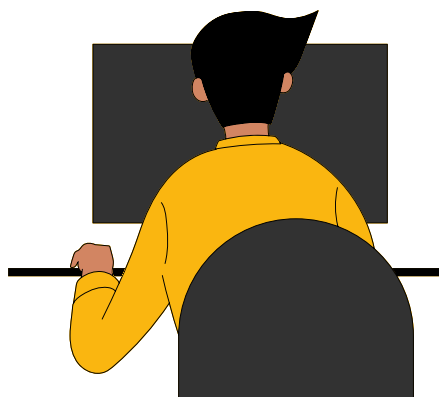
SUMÁRIO

Contextualização	1
Metodologia.....	3
Produtos.....	4
Considerações finais.....	6
Referências bibliográficas	7



CONTEXTUALIZAÇÃO

- **As ocorrências de inundações estão cada vez mais frequentes e intensas em todo o planeta devido as mudanças climáticas.** Em estudo produzido pela Agencia Nacional de Agua (ANA) foram identificados 13.948 trechos de rios inundáveis em todo o Brasil, onde 1088 trechos suscetíveis à inundação estão inseridos no estado do Pará. Diante deste cenário, surgiram demandas urgentes a serem atendidas com intuito de **prevenir e preparar os estados e municípios brasileiros frente a problemática das inundações.**
- Inicialmente, vale destacar a Lei 12.608/2012 que institui a **Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC)**, artigo 22, inciso I, **incentiva a elaboração do mapeamento contendo as áreas suscetíveis a inundações bruscas em municípios com áreas suscetíveis a eventos de grandes impactos.**



- Adicionalmente, a **Política Estadual de Proteção e Defesa Civil (PEPDEC)**, instituída através da Lei N° 9.207, de 13 de Janeiro de 2021, na qual possui um dos **objetivos de promover a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres, a fim de evitar ou reduzir sua ocorrência**. A PEPDEC expressa também que é **competência dos municípios paraenses, identificar e mapear as áreas de risco de desastres**.
- Em 2015 a **Organização das Nações Unidas (ONU)**, criou **17 Objetivos** de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para os países integrantes da ONU, no qual o Brasil é integrante, **com objetivo de acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade**.



- As problemáticas relacionadas a inundações estão inseridas dentro do objetivo 11 que dispõe sobre tornar as cidades e comunidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis. Contendo a meta de reduzir até 2030, o número de mortes e pessoas afetadas por catástrofes, incluindo os desastres relacionados à água, com o foco em proteger os pobres e as pessoas em situação de vulnerabilidade.
- Com isso, surge o questionamento, o que pode ser feito para todos os municípios do Brasil iniciem os mapeamentos de áreas susceptíveis à inundação, mesmo aqueles municípios com poucos recursos econômicos e técnicos. Nesta toada o sensoriamento remoto e o geoprocessamento podem serem utilizados como instrumentos para atender esta demanda.





METODOLOGIA

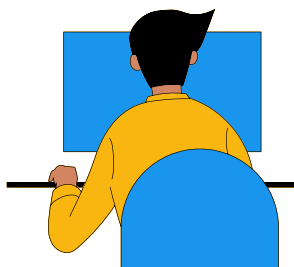
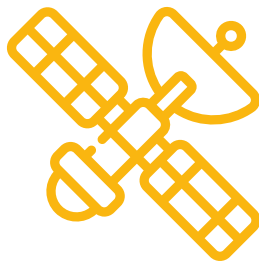
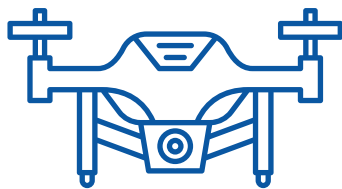
- O Sensoriamento Remoto é a tecnologia que permite obter imagens da superfície da terrestre, utilizando satélites, radares, balões, drones e entre outros. O Geoprocessamento é um conjunto de tecnologias que permite tratar dados para obter informações sobre diversos tópicos dentro de determinada área geográfica.
- Resumidamente o **sensoriamento remoto** é a metodologia de obtenção de dados da superfície da terrestre e o **geoprocessamento** possibilita tratar os dados obtidos para transformá-los em informações palpáveis e utilizá-las para diversas finalidades.
- As duas tecnologias foram utilizadas para produzir o mapeamento de áreas suscetíveis à inundação da área urbana do município de Anajás-PA, utilizando a metodologia **Height Above Nearest Drainage (HAND)** que consiste utilizar um modelo digital de elevação (MDT) com intuito de efetuar a normalização da altimetria do terreno com base nas cotas da drenagem, usando a diferença entre a altitude do terreno e a altitude do canal para prever o grau de susceptibilidade à inundação.

PRODUTOS

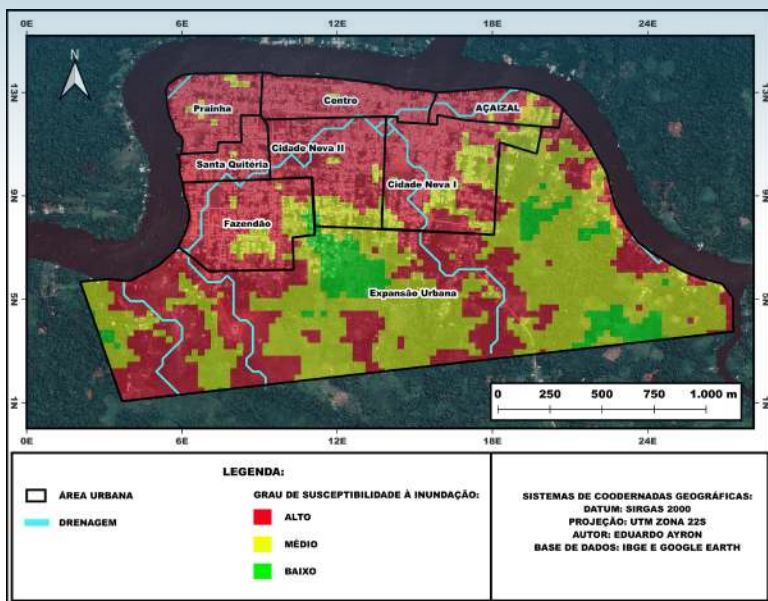
- Portanto, foi produzido **mapa 1** que descreve áreas as suscetíveis à inundação conforme aos graus de alto, médio, baixo suscetibilidade. **O mapa indicou que 53,4% da área urbana é altamente suscetível à inundação e 41,6% possui grau médio e 5,1% baixo grau de suscetibilidade à inundação.**
- Posteriormente, foi utilizado os dados do Censo 2022 que possibilitaram identificar a quantidade de domicílios, estabelecimentos de saúde ensino estão inseridos em locais suscetíveis à inundação.
- **O mapa 2 indica onde estão localizados os domicílios, resultados obtidos apontam que aproximadamente 2.940 domicílios estão em áreas altamente suscetíveis a inundação.**



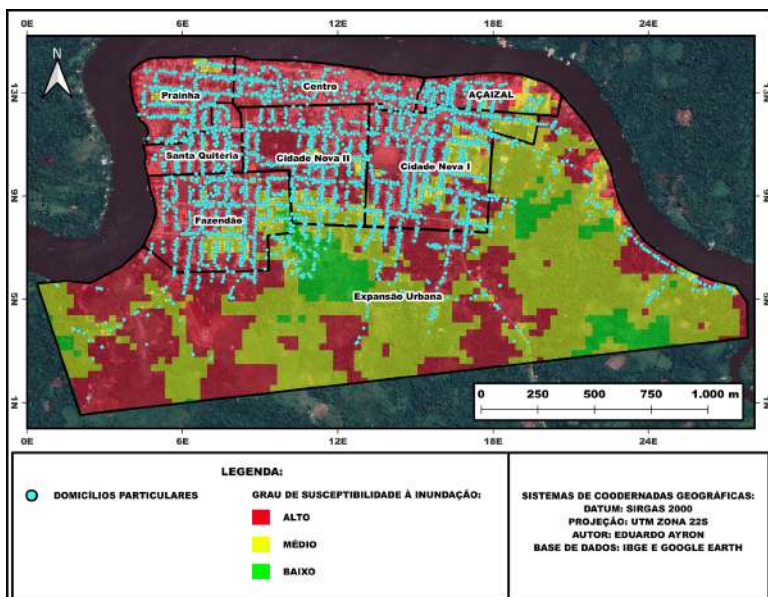
- O mapa 3 revela que todos os estabelecimentos de saúde da área urbana estão em locais de alto grau de susceptibilidade a inundação e as escolas também se encontram em áreas suscetíveis a tal fenômeno.
- Os mapas foram produzidos com foco de contribuir com o poder publico municipal de Anajás sobre a pauta dos desastres naturais identificando os locais mais suscetíveis à inundação e assim **possibilitando os gestores públicos criarem estratégias de prevenção através da gestão de riscos**, pois, existem escolas, estabelecimentos de saúde e uma grande numero de residências em áreas suscetíveis à inundação.



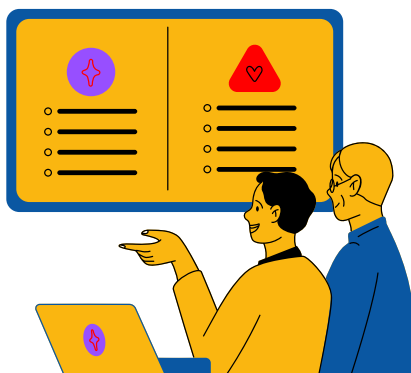
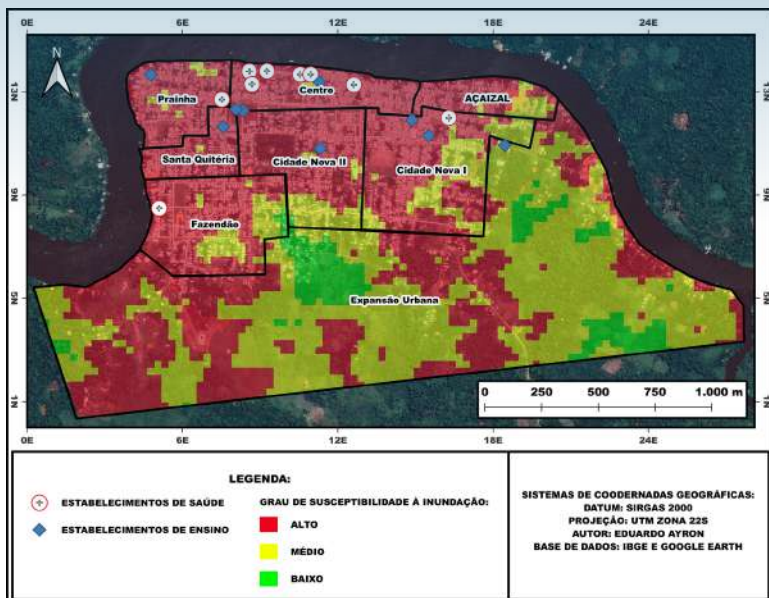
MAPA 1



MAPA 2



MAPA 3

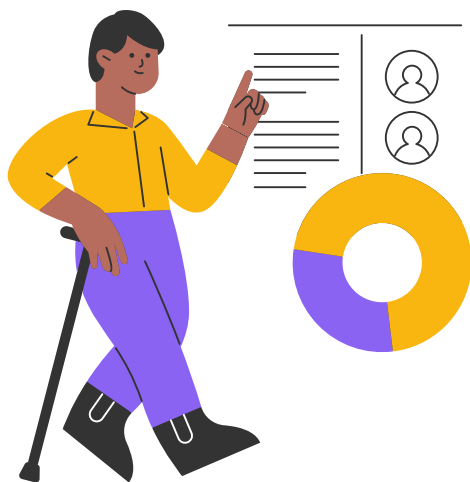


CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A pesquisa consistiu em apresentar o sensoriamento remoto e o geoprocessamento como ferramenta de prevenção de risco. Neste sentido foram utilizados apenas softwares e dados livres para produzir os mapas apresentados anteriormente, com intuito de revelar aos gestores municipais paraenses que é possível iniciar a gestão de riscos objetivando prevenir os municípios frente os desastres naturais como solicitam as PNPDEC, PEPDEC e os ODS.



- Vale destacar, o principal ponto positivo, **a viabilidade econômica, visto que as técnicas usadas não demandam investimentos econômicos elevados**, todavia, **é preciso a viabilidade técnica**. Tornando necessário que os gestores públicos **invistam na capacitação dos funcionários que compõem o corpo técnicos do órgão responsável pela defesa civil municipal**, com cursos na área de sensoriamento remoto e geoprocessamento, bem como, oferecer computadores com requisitos mínimos para rodar perfeitamente os softwares gratuitos.



REFERÊNCIAS

BRASIL, Ministério da Integração Nacional. Lei no 12.608, de 10 de abril de 2012. Diário Oficial da União, Brasília - DF, 11 abr. 2012, Seção 1, p. 1. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm. Acesso em 08 JAN. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. Atlas de Vulnerabilidade a Inundações. Brasília – DF Ministério do Meio Ambiente, p7.,2014. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/2cfa808b-b370-43ef-8107-5c3bfd7acf9c/attachments/Atlas_de_Vulnerabilidade_a_Inundacoes.pdf. Acesso em 08 JAN. 2023.

FLORENZANO, T. G. “Iniciação em Sensoriamento Remoto”. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

PARÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade, LEI N° 9.207, DE 13 DE JANEIRO DE 2021, DOE N° 34.460, DE 14/01/2021, Belém-PA. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/legislacao/normas/view/19213#:~:text=Institui%20a%20Pol%C3%ADtica%20Estadual%20de,1%20e%20VII%20do%20art>. Acesso em 01 jun. 2024.



NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; HODNETT, M. G.; RENNÓ, C. D.; RODRIGUES, G.; SILVEIRA, A.; WATERLOO, M.; SALESKA, S. Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model. *Journal of Hydrology*, v. 404, n. 1, p. 13-29, 2011.

