



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

GABRIEL PEREIRA CRUZ

**VULNERABILIDADE SOCIAL À INUNDAÇÃO NO PERÍMETRO URBANO DO
MUNICÍPIO DE MUANÁ, MARAJÓ, PARÁ, BRASIL**

Belém - Pará
2025

GABRIEL PEREIRA CRUZ

**VULNERABILIDADE SOCIAL À INUNDAÇÃO NO PERÍMETRO URBANO DO
MUNICÍPIO DE MUANÁ, MARAJÓ, PARÁ, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres na Amazônia, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais da Amazônia.

Área de concentração: Minimização de Riscos e Mitigação de Desastres Naturais na Amazônia.

Linha de pesquisa: Vulnerabilidade de Populações em Áreas de Risco

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Márcia Aparecida da Silva Pimentel

Belém - Pará
2025

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

C955v Cruz, Gabriel Pereira.
Vulnerabilidade social à inundação no perímetro urbano do
município de Muaná, Marajó, Pará, Brasil / Gabriel Pereira Cruz, .
— 2025.
79 f. : il. color.

Orientador(a): Profª. Dra. Márcia Aparecida da Silva Pimentel
Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Programa
de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastre na
Amazônia, Belém, 2025.

1. inundações. 2. vulnerabilidade social. 3. Impacto. 4. indicadores. I. Título.

CDD 910.130811

GABRIEL PEREIRA CRUZ

**VULNERABILIDADE SOCIAL À INUNDAÇÃO NO PERÍMETRO URBANO DO
MUNICÍPIO DE MUANÁ, MARAJÓ, PARÁ, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres na Amazônia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais da Amazônia.

Área de concentração: Minimização de Riscos e Mitigação de Desastres Naturais na Amazônia.

Linha de pesquisa: Vulnerabilidade de Populações em Áreas de Risco

Data de aprovação: 26 / 02 / 2025

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **MARCIA APARECIDA DA SILVA PIMENTEL**
Data: 14/05/2025 13:52:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Márcia Aparecida da Silva Pimentel - Orientadora
Doutora em Geografia

Universidade Federal do Pará  **FLAVIO AUGUSTO ALTIERI DOS SANTOS**
Data: 14/05/2025 23:02:11-0300

Prof. Flávio Augusto Altieri dos Santos - Examinador interno
Doutor em Ciências Ambientais

Universidade Federal do Pará  **ALINE MARIA MEIGUINS DE LIMA**
Data: 15/05/2025 12:49:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Aline Maria Meiguins de Lima - Examinador interno
Doutora em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido
Universidade Federal do Pará

Documento assinado digitalmente
 **ALAN NUNES ARAUJO**
Data: 14/05/2025 14:07:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alan Nunes Araújo - Examinador externo
Doutor em Geografia
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Antonice Pereira e Genilson Cruz. Por todo o suporte e incentivos para que me dedicasse neste trabalho, e por toda a confiança a mim concedida.

À professora Dra. Márcia Aparecida da Silva Pimentel pela orientação e paciência nesta caminhada, assim como por todo o conhecimento compartilhado em experiências, pesquisas e muito trabalho. Eterna gratidão.

Ao meu irmão, Luan Cruz, pelo incentivo e o apoio na edição deste trabalho e resolver os problemas de programação dos softwares utilizados.

Aos meus familiares que sempre estiveram acompanhando a evolução deste trabalho, em especial os que residem no local de estudo, e auxiliaram na construção do mesmo.

Ao governo municipal de Muaná (2021-2024), que acolheu a pesquisa e contribuiu para sua evolução.

Aos docentes do PPGGRD, que contribuíram para a construção deste trabalho com todo o conhecimento compartilhando com excelência nas aulas.

Aos colegas da turma do PPGGRD de 2022, que sempre me apoiaram e incentivaram na continuidade do trabalho.

RESUMO

As inundações fluviais são consideradas um desastre natural que se enquadra como um perigo natural extremamente devastador, pois ocasionam grandes prejuízos e mortes a cada ano, e afetam de forma mais severa as populações mais pobres dada sua vulnerabilidade a este evento. Um dos meios de prevenir e mitigar esse tipo de desastre, assim como auxiliar o planejamento de ações, é avaliar a vulnerabilidade (ambiental e social) dos locais frente a esse evento. O presente trabalho avaliou a vulnerabilidade pautado em indicadores socioeconômicos (densidade demográfica, renda, idade, ocupação subnormal e educação) da população que ocupa as áreas de inundação no perímetro urbano do município de Muaná, Marajó, Pará. Para isso foi realizada a definição de indicadores, obtenção de fontes de informações socioeconômicas e trabalhos de campo para avaliar e registrar as áreas. Definição dos setores censitários, que compreendem o limite do perímetro urbano, como área de avaliação dos indicadores sociais. Foi elaborado o mapeamento de área suscetíveis a inundação, feito através do modelo HAND MODEL, com o objetivo de apresentar uma sobreposição com o mapa de vulnerabilidade social. Essa análise resultou em uma cartografia que apresenta a classificação de vulnerabilidade social de cada setor censitário, onde mais de 70% foram classificados como Muito Vulnerável, 3 setores foram classificados como vulnerável, 2 setores como medianamente vulnerável, 1 setor como pouco vulnerável e 1 como muito pouco vulnerável. Tal trabalho construiu o produto técnico, intitulado, Mapa de Vulnerabilidade Social do Perímetro Urbano do município de Muaná-Pa, com o intuito de subsidiar políticas que diminuam a vulnerabilidade, como o ordenamento territorial, ponto chave para a diminuição e exposição ao risco de inundação, pois apresentar as áreas mais vulneráveis que podem ser palco dessas ações.

Palavras-chave: inundações; vulnerabilidade social; impacto; indicadores.

ABSTRACT

River floods are considered a natural disaster that conforms as an extremely devastating natural hazard, as they cause great losses and deaths every year, and affect the poorest populations more severely due to their vulnerability to this event. One of the ways to prevent and mitigate this type of disaster, as well as to assist in planning actions, is to evaluate the vulnerability (environmental and social) of locations to this event. This study assessed the vulnerability based on socioeconomic indicators (population density, income, age, substandard occupation and education) of the population that occupies the flood areas in the urban perimeter of the municipality of Muaná, Marajó, Pará. To this end, indicators were defined, sources of socioeconomic information were obtained and fieldwork was carried out to assess and record the areas. The census sectors, which comprise the limit of the urban perimeter, were defined as the area for assessing social indicators. The mapping of areas susceptible to flooding was prepared using the HAND MODEL, with the aim of presenting an overlap with the social vulnerability map. This analysis resulted in a map that presents the social vulnerability classification of each census sector, where more than 70% were classified as Very Vulnerable, 3 sectors were classified as vulnerable, 2 sectors as moderately vulnerable, 1 sector as less vulnerable and 1 as very slightly vulnerable. This work constructed the technical product, entitled Social Vulnerability Map of the Urban Perimeter of the municipality of Muaná-PA, with the aim of supporting policies that reduce vulnerability, such as territorial rearrangement, a key point for reducing and exposing to the risk of flooding, as it presents the most vulnerable areas that can be the venue of these actions.

Keywords: floods; social vulnerability; impact; indicators.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Áreas de um canal fluvial	16
Figura 02 - Mortes por enchentes de 2001 a 2024 (maio)	18
Figura 03 – Fases para a determinação da consistência hidrológica do MDE: a) consistência hidrológica; b) determinação do caminho do fluxo; c) delimitação dos canais de drenagem	24
Figura 04 – Normalização do MDE através do modelo HAND	25
Quadro 01 - Pesos dos indicadores	26
Quadro 02 - Normalização educação	27
Quadro 03 - Normalização idade	28
Quadro 04 - Normalização de renda domiciliar Per Capita	28
Quadro 05 - Normalização de Favelas e Comunidades Urbanas	29
Quadro 06 - Normalização de Densidade Demográfica.....	29
Quadro 07 - Notas das classes de vulnerabilidade.....	30
Quadro 08 - Construção de nota do indicador de Densidade Demográfica	33
Quadro 09 - Quadro de Alfabetizados e Não Alfabetizados por setor censitário	34
Quadro 10 - Quadro de Público Vulnerável (idade) por setor censitário	35
Mapa 01 - Mapa de Setores Censitários do perímetro urbano do município de Muaná-PA....	31
Figura 05 - Prioridades de Ação do Marco de Hyogo 2005-2015	37
Figura 06 - Sete Metas Globais, Marco de Sendai 2015-2030.....	38
Mapa 2 - Localização do perímetro urbano do município de Muaná-PA	44
Mapa 3 - Mapa Hipsométrico do perímetro urbano do município de Muaná-PA	45
Figura 07 - A várzea durante estações hidrológicas diferentes	48
Mapa 4 - Hidrografia do perímetro urbano do município de Muaná-PA.....	49
Mapa 5 - Suscetibilidade à inundação do perímetro urbano do município de Muaná-PA.....	50
Mapa 6 - Pontos de localização dos registros fotográficos	51
Imagem 1 - Área de palafitas na passagem nova 7, canal de maré do Rio Patauateua	52
Imagem 2 - Área de ocupação às margens do igarapé furo do Meio	52
Imagem 3 - Área de ocupação sob o leito do Igarapé do Curro	53
Imagem 4 - Ocupações sob o leito de Igarapé do Curro, Ponte da Tv. Lira de Azevedo	53
Imagem 05 - Casa em madeira sob o leito de Igarapé do Curro	54

Mapa 7 - Mapa de vulnerabilidade social à inundação do perímetro urbano do município de Muana��-PA	58
Quadro 12 - Classificação de vulnerabilidade social por setores censitários	59
Imagem 06 - Registro Fotográfico de moradias em área de várzea, inserida nos setor classificado como Muito Vulnerável	60
Imagem 07 - Registro Fotográfico de moradias em área de várzea, inseridas nos setores classificados como Muito Vulnerável.....	61
Imagem 08 - Fotografias de ocupações na área de várzea, do Furo Buiu��u e furo do Meio, setor 150490105000048.....	62
Imagem 09 - Fotografias de tipos de vias na localidade da Rocinha II, setor 150490105000048	63
Imagem 10 - Fotografia de ocupações em área de várzea no final da passagem Ot��c��lio Cavalcante, setor 150490105000049	64
Imagem 11 - Registro Fotográfico de área de alagamento inserido nos setores classificados como Medianamente Vulnerável	66
Imagem 12 - Residências em área de várzea na rua Dr. Sérgio Mota, setor 150490105000038.	67
Imagem 13 - Residências em área de várzea na comunidade Nsa. de Fátima, setor 150490105000028.....	6

LISTA DE SIGLAS

COMPDEC- Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil

CPTEC- Centro de Previsão de Tempo e de Estudos Climáticos

DD- Densidade Demográfica

DEPLAN- Departamento de Planejamento de Muaná

EDU- Educação

FCU- Favelas e Comunidades Urbanas

HAND- Height Above the Nearest Drainage (altura acima da drenagem mais próxima)

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDA- Idade

IDHM- Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

MDE- Modelo Digital de Elevação

PMSB- Plano Municipal de Saneamento Básico

REN- Renda

SEDEC- Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil

S2ID- Sistema Integrado de Informações sobre Desastres

SIG ou GIS- Sistema de Informação Geográfica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 Inundações e Vulnerabilidade.....	15
3.2 Suscetibilidade a Inundação.....	20
3.3 Abordagens Metodológica	21
3.3.1 Metodologia do mapeamento de áreas suscetíveis a inundação	23
3.3.2 Metodologia do Índice de Vulnerabilidade Social à Inundação - IVULSI.....	25
3.3.3 Construção e Análise dos Indicadores de vulnerabilidade Social à inundação	31
3.4 Cenário de Evolução das Políticas sobre Riscos de Desastres	35
3.5 Estado da arte da discussão sobre inundações no Marajó	39
3.6 Caracterização socioambiental da área de estudo	40
4 SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO DO PERÍMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE MUANÁ-PA.....	47
4.1 Elaboração da cartografia das áreas suscetíveis a inundação	47
4.2 Resultado e Discussão da Suscetibilidade a Inundação do Perímetro Urbano do Município de Muaná - Pa	47
5 VULNERABILIDADE SOCIAL À INUNDAÇÃO DO PERÍMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE MUANÁ-PA.....	56
5.1 Elaboração Cartográfica do IVULSI	56
5.2 Resultado e Discussão do IVULSI do perímetro urbano do município de Muaná-PA 	57
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

As inundações constituem o desastre natural mais frequente em nações desenvolvidas e emergentes, representando cerca de 40% do total de catástrofes naturais registradas globalmente. Existe uma tendência global de crescimento no número de indivíduos expostos e impactados por esses eventos.

Várias razões podem levar à ocorrência de inundações, incluindo alterações climáticas, aquecimento global, chuvas torrenciais e localizadas, descarte impróprio de resíduos, expansão da agricultura, construção de barragens e hidrelétricas, erosão do solo e desertificação (Freitas; Ximenes, 2012).

As inundações fluviais geram diversos impactos como a contaminação da água, solo e alimentos, compromete os serviços locais, ocasiona danos a estruturas físicas públicas e privadas, alteração no ciclo ecológico, perdas de vidas e o aumento da exposição humana a riscos ambientais (Freitas; Ximenes, 2012).

No cenário de impactos em decorrência de inundações, o Brasil se destaca, através de recentes incidentes, com isso resultando em prejuízos econômicos e perda de vida em grande escala (Rodriguez *et al.*, 2009). Apesar de ser reconhecido que é economicamente e tecnicamente inviável eliminar completamente o perigo de inundações, é crucial implementar uma variedade de soluções estruturais e não estruturais para prevenir, se preparar, atenuar, reagir e se recuperar desses eventos. A meta é diminuir tanto a chance de inundações quanto os prejuízos causados por elas, através de estratégias que permitam à sociedade gerir esses eventos de forma mais eficiente (Garrote *et al.*, 2019).

De acordo com as Nações Unidas (2021), a frequência de eventos climáticos extremos provocam o aumento da média da temperatura global, em relação ao ciclo da água, é previsto maior intensidade das chuvas e inundações associadas, devido ao aumento da precipitação em algumas regiões.

No Brasil, o relatório do Painel de Mudanças Climáticas de 2021, infere que algumas regiões podem ter alteração nos índices pluviométricos e de temperatura provocados pelo aquecimento global, tendo as mudanças nos padrões anuais de chuva, ou mesmo onde não houver alteração, devem ocorrer eventos mais críticos.

De acordo com o estudo técnico da Confederação Nacional dos Municípios (2024), no período de 2013 a 2022, catástrofes naturais como tempestades, inundações, enxurradas e inundações afetaram 5.199 municípios no Brasil, o que equivale a 93% do total de 5.570. Em tais situações, os gestores municipais foram obrigados a registrar situações de emergência ou

estado de calamidade pública. Esses desastres impactaram a vida de mais de 4,2 milhões de indivíduos, que foram obrigados a deixar suas residências.

A região amazônica sofre com eventos de inundações atreladas ao período mais chuvoso o que provoca a cheia dos grandes rios, para Santos; Junior e Rocha (2020) o inverno amazônico é motivo de grande atenção e preocupa a Amazônia paraense, a razão disso é a sua capacidade de provocar danos e prejuízos às populações vulneráveis, gerando diversas ocorrências de situações de emergência ou de calamidade pública com potencial de se tornar uma verdadeira catástrofe. De acordo com Lima *et. al.* (2020) há uma vulnerabilidade socioambiental da região do Delta Amazônico frente a variabilidade climática, dando como exemplo a população do município de Ponta de Pedras (Sudeste do Marajó) está exposta a inundações devido a ocupação imprópria em terras baixas, somado a escassez de investimentos e serviços direcionados a infraestrutura na área de saneamento básico.

Nos relatórios do S2iD¹, do ano de 2017 a 2024, foi feito o reconhecimento de desastre classificado como inundações em 6 municípios da região do Marajó, sendo esses, Cachoeira do Ariri, Chaves, Soure, Santa Cruz do Ariri, Ponta de Pedras e Salvaterra, gerando um total de 12 episódios registrados. Esses municípios que tiveram registros de inundações, possuem rios que são impactados pelo fenômeno La Niña² e se situam em regiões de alta pluviosidade (Lima *et. al.* 2005).

Os impactos do La Niña em uma área naturalmente úmida e a exposição da população, especialmente dos ribeirinhos, é uma realidade alarmante. Isso suscita dúvidas sobre o quanto a vulnerabilidade climática dos residentes da área pode intensificar os problemas socioeconômicos locais (Gomes; Beltrão; Dias, 2023). Portanto, o reconhecimento das áreas mais vulneráveis à inundações, principalmente no aspecto social, é essencial para a gestão do risco e auxiliar na preparação e prevenção do desastre.

Ao se falar em vulnerabilidade é importante pontuar sua definição levada em consideração neste trabalho, para Adger (2006) a vulnerabilidade consiste em um estado de susceptibilidade a danos oriundos da exposição a estresses associados às mudanças de cunho ambiental e social e conjunto com a ausência de capacidade de adaptação. Sendo assim

¹ O S2iD (Sistema Integrado de Informações sobre Desastres), é uma plataforma online do governo brasileiro que tem o objetivo de otimizar a gestão de riscos e desastres no país, através da informatização dos processos. Essa ferramenta é essencial para a Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC), assim como para estados e municípios na resposta e recuperação de desastres. (SEDEC, 2025)

² O La Niña é um fenômeno oceânico que se caracteriza pelo arrefecimento das águas superficiais do Pacífico Equatorial central e leste, juntamente com alterações na circulação atmosférica tropical. Isso afeta os padrões de temperatura e precipitação em diversas regiões do mundo, incluindo a América do Sul. (INMET, 2023)

a vulnerabilidade pode ser analisada, através do nível de adaptação de uma atividade ou população de uma local frente a evento, a fragilidade e a relação existente entre a exposição a um determinado risco (Farias, 2012).

A análise da vulnerabilidade pode ser feita através de indicadores que apontam variáveis importantes como a idade, perfil de saúde e condições sociais, pois elas contribuem diretamente nas respostas humanas em relação às variações climáticas. De acordo com IPCC (2007) o crescimento populacional, pobreza e degradação ambiental são fatores que aumentam a vulnerabilidade aos problemas climáticos.

Este trabalho consiste em uma análise da vulnerabilidade social que se apresenta no perímetro urbano do município de Muaná, estado do Pará, Amazônia, Brasil, para a construção de uma cartografia que será produto técnico deste trabalho. O perímetro urbano apresenta ocupações em áreas de várzea, até mesmo sobre o leito de igarapés, são áreas densamente ocupadas e com ausência parcial ou total de infraestruturas de saneamento básico e mobilidade urbana. Portanto, com o cenário descrito, o trabalho buscou responder às seguintes perguntas:

1) Quais áreas estão mais suscetíveis à inundação? 2) Quais as áreas apresentam maior vulnerabilidade social à inundação?

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a Vulnerabilidade Social à Inundação no perímetro urbano do município de Muaná, e elaborar um mapa que será o produto técnico (Mapa do Índice de Vulnerabilidade Social) deste trabalho.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Definir a vulnerabilidade social dos setores e realizar uma cartografia que espacialize os resultados das análises.
- b) Elaboração de um modelo de suscetibilidade à inundação para identificar os setores mais afetados por inundações.
- c) Construção do mapa de vulnerabilidade social a inundação, este produto técnico final deste trabalho, que irá demonstrar as áreas de vulnerabilidade do perímetro urbano do município de Muaná.
- d) Contribuir para a gestão pública municipal na elaboração de políticas, ações e diretrizes que visem conter a ocupação nas áreas de risco de inundação (área de várzea).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta a base teórica desse estudo em cinco tópicos, apresentando os principais conceitos que envolvem vulnerabilidade à inundação, uso de geotecnologias na identificação e monitoramento das áreas vulneráveis, caracterizando os processos sociais e ambientais dos locais.

O processo de levantamento bibliográfico foi realizado durante a formação da pós-graduação, com o objetivo de dar clareza aos conceitos utilizados no presente estudo, assim como contextualizar a temática para que o leitor entenda com facilidade as interligações dos componentes apresentados durante o estudo, suas exigências e descrever suas relações, direcionando o leitor ao estudo dos principais conceitos de vulnerabilidade e inundação.

3.1 Inundações e Vulnerabilidade

Os desastres naturais configuram fenômenos intensos com ocorrência em locais de ocupação humana, ocasionando prejuízos (socioeconômicos) e danos (humanos e materiais). A origem desses fenômenos está associada a dinâmica interna da terra (terremoto, maremoto, vulcanismo e tsunamis) ou a dinâmica externa da terra (inundações, escorregamentos, secas, furacões, entre outros) que sofrem influências das características da cada região, como a geologia, solo, topografia, vegetação e condições meteorológicas. Os desastres naturais afetam a população em formas e maneiras diferentes, tendo efeitos de curto a longo prazo dependendo da vulnerabilidade e características do ambiente. Portanto, as decorrências dos impactos dos desastres naturais podem ser visualizados em tempos desiguais, demonstrando-se em períodos que podem variar entre horas a anos (Kobiyama *et al.*, 2006).

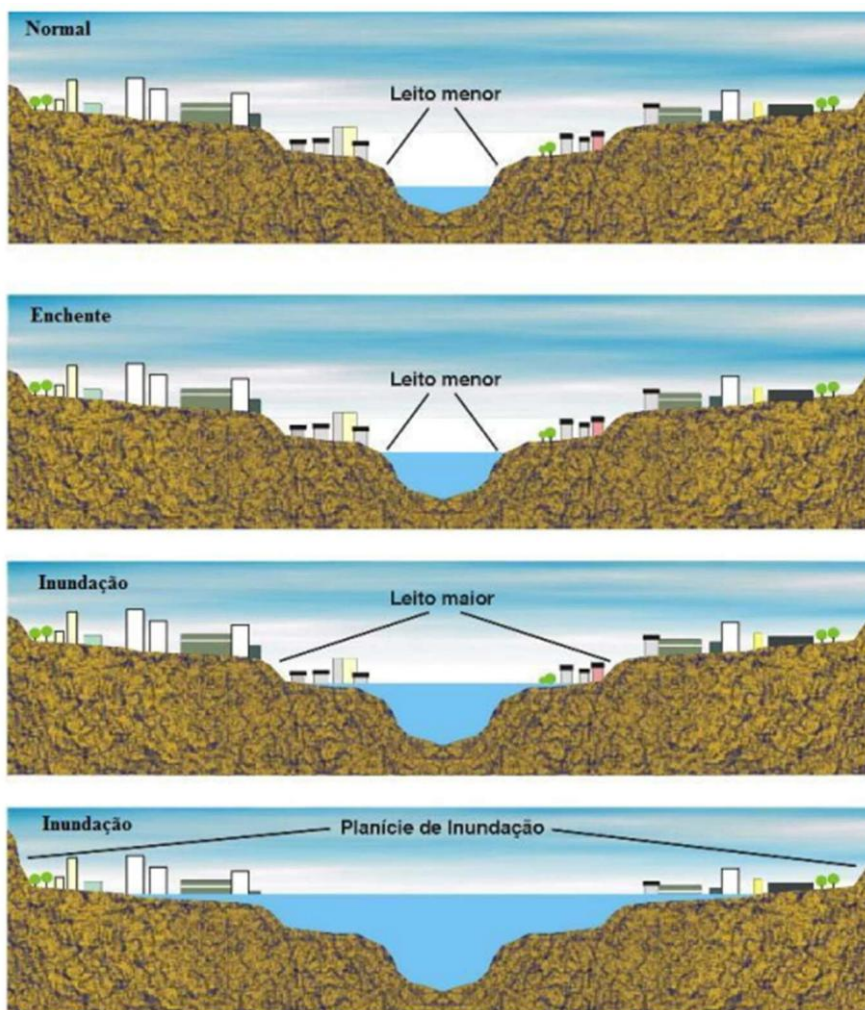
Segundo o Emergency Disasters Data Base (EM-DAT), houve um aumento do número de registros de desastres naturais e consequentemente prejuízos associados a estes nos últimos anos, em uma ordem cronológica, esses eventos passaram de 50, na década de 70, para 350 em 2008, chegando a 500 em 2009, tendo passado o valor de prejuízos estimados, de 5 bilhões de dólares em 1975, para 180 bilhões em 2008 (Tominaga; Santoro; Amaral, 2009).

Diversos motivos influenciaram no aumento dos prejuízos associados aos desastres naturais, sendo, principalmente, o aumento da população, a ocupação desordenada e o intenso processo de urbanização e industrialização. Há vários fatores que contribuem para desencadear estes desastres nas áreas urbanas como a impermeabilização do solo, o adensamento das construções, a conservação de calor e a poluição do ar. Enquanto nas áreas rurais, se apresenta

a compactação dos solos, o assoreamento dos rios, os desmatamentos e as queimadas (Kobiyama *et al.*, 2006).

Dentre os tipos de desastre natural se destaca as inundações fluviais, que são provocadas por grandes precipitações acima da média histórica (Piazza *et al.*, 2016), sendo uma das mais frequentes em áreas urbanizadas e rurais pelo mundo (Hora; Gomes, 2009). Esse tipo de desastre natural, está entre os perigos naturais com maior potencial de destruição e custam muitas vidas a cada ano (Dilley *et al.*, 2005).

Figura 01 - Áreas de um canal fluvial.



Fonte: Eckhardt (2008).

Para Tucci (1993), a inundação é produto de uma intensa precipitação, que é quando a quantidade de água que chega concomitantemente no rio, é maior que a sua capacidade de drenagem. O autor aponta ainda que os problemas associados à inundação, irão depender da condição de ocupação da várzea pela população, e depende também, da frequência de ocorrência das inundações.

Conforme Castro (2003), as inundações se configuram como um transbordamento de água originária de um rio, lago ou açudes, derivado de uma grande tempestade que provoca uma precipitação que não é suficientemente drenada pelo solo ou por outros sistemas de escoamento.

Conforme a Cobrade³ (2012), às inundações (1.2.1.0.0) se referem à "inundação de áreas além dos limites normais de um curso de água, em áreas que normalmente não estão submersas". Em termos gerais, uma inundação acontece quando um curso de água excede sua capacidade, seja um rio, um lago, uma lagoa ou um oceano.

Inundação é um conceito amplo, que possui diversas tipologias de definição, sendo uma delas a inundação fluvial, que consiste em um aumento de nível de um rio, para sua área de inundação natural, tal fenômeno também é conhecido como cheias. Há uma outra tipologia de inundação, a marítima, associada a ações de ondas e ressacas do mar, e por último a inundação artificial que esta ocorre devido a ação antropológica. O fenômeno das cheias é definido como eventos excepcionais nos quais um curso de água ultrapassa seus limites normais, ocupando zonas que normalmente não se encontram submersas. Normalmente as inundações são ocasionadas por precipitações intensas e concentradas, pela ampliação do regime sazonal de chuvas, quando ocorre o aumento do período chuvoso ou saturação do lençol freático, que impede a água de infiltrar no solo, aumentando o escoamento superficial (Brasil, 2017).

É visível nas últimas décadas, uma mudança na natureza das inundações fluviais, apresentando aumento na frequência e intensidade das precipitações e inundações rápidas, sejam elas em áreas urbanas ou rurais (Dartmouth Flood Observatory, 2004). Somado a isso, ocorre também o desenvolvimento dos centros urbanos, selando a superfície do solo, que acarreta na diminuição da capacidade de infiltração e aumenta o volume do escoamento superficial, gerando como consequência o aumento do pico das vazões de cheia. E fechando a soma de fatores que provocam as inundações, está a ocupação inadequada das planícies de inundações, cuja área tem a função natural de serem áreas de extravasamento naturais dos cursos d'água, seja por áreas industriais, comerciais ou áreas residências, diminuição da área de deslocamento das cheias. A soma desses efeitos contribuem para o aumento dos problemas causados pelas enchentes (Vendrame; Lopes, 2005; Kundzewicz, *et al.*, 2019).

³ O Sistema Brasileiro de Classificação e Codificação de Desastres (COBRADE) foi estabelecido pela Instrução Normativa do Ministério da Integração Nacional Nº 01, de 24 de agosto de 2012. Com base nessa categorização e codificação, a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) começou a categorizar os desastres naturais e tecnológicos, utilizando como referência o Banco de Dados Internacional de Desastres (EM-DAT), mantido pelo Centro de Pesquisa em Epidemiologia de Desastres (CRED) da Organização Mundial da Saúde (OMS/ONU). (Brasil, 2012)

As inundações fluviais geram diversos impactos como a contaminação da água, solo e alimentos, compromete os serviços locais, ocasiona danos a estruturas físicas públicas e privadas, alteração no ciclo ecológico, perdas de vidas e o aumento da exposição humana a riscos ambientais (Freitas; Ximenes, 2012). Freitas *et al.* (2014) aponta as principais consequências das inundações, evidenciando a contaminação biológica e química da água para consumo humano, alimentos e solo; danos que ocasionam deficiência dos serviços de coleta e disposição do lixo, da rede de serviço de coleta e tratamento de esgoto, da rede fontes alternativas de abastecimento de água; e a mudança nos ciclos dos vetores, hospedeiros e reservatórios de doenças e nas formas de exposições ambientais dos humanos.

Figura 02 - Mortes por enchentes de 2001 a 2024 (maio).

Posição	País	Mortes	Registros de enchentes
1º	Índia	32.899	187
2º	China	12.652	210
3º	Paquistão	9.951	87
4º	Indonésia	4.161	197
5º	Afeganistão	3.985	89
6º	Rep. Democ. do Congo	3.912	38
7º	Brasil	3.522	111
8º	Bangladesh	3.437	38
9º	Haiti	3.232	44
10º	Nepal	3.126	34
11º	Nigéria	2.629	44
12º	Vietnã	2.454	81
13º	Tailândia	2.336	65
14º	Quênia	2.217	54
15º	Rep. Democ. do Congo	2.187	21
Total Geral		126.079	3.914

Fonte: Camarinha (2024).

No cenário de impactos em decorrência de inundações, o Brasil se destaca, através de recentes incidentes, com isso resultando em prejuízos econômicos e perda de vida em grande escala (Rodriguez *et al.*, 2009). Como visto em 2024, no Rio Grande do Sul, ocorreu inundações que provocaram 181 mortes, 32 desaparecidos e 2,3 milhões de pessoas afetadas, segundo a base de dados (EM-DAT) do Centro de Pesquisa em Epidemiologia de Desastres (CRED), 2024. Ainda de acordo com o CRED (2024), entre os anos de 2001 até maio de 2024, tiveram 3.522 mortes relacionadas a enchentes e inundações, o que culminou na no 7º lugar no ranking internacional por mortes causadas por inundações.

Apesar de ser reconhecido que é economicamente e tecnicamente inviável eliminar completamente o perigo de inundações, é crucial implementar uma variedade de soluções estruturais e não estruturais para prevenir, se preparar, atenuar, reagir e se recuperar desses eventos. A meta é diminuir tanto a chance de inundações quanto os prejuízos causados por elas,

através de estratégias que permitam à sociedade gerir esses eventos de forma mais eficiente (Garrote *et al.*, 2019).

De acordo com Tucci (2005), as ações de controle de inundações visam reduzir o perigo para as comunidades vulneráveis, reduzindo os danos causados. Essas ações podem ser classificadas como estruturais ou não estruturais. As ações estruturais são baseadas em projetos de engenharia, cuja aplicação diminui a probabilidade de inundações na área. No entanto, esse tipo de ação costuma ser bastante custosa, o que complica a sua execução.

Segundo Porto (2007), a vulnerabilidade relacionada a desastres pode ser compreendida com uma característica de um sistema socioambiental. Trata-se do nível de um sistema ou unidade em exposição pode sofrer danos devido a uma perturbação ou estresse. Além disso, refere-se à incapacidade de lidar com, recuperar ou se adaptar estruturalmente, resultando na perda de certas características e na aquisição de outras, ou seja, o sistema se transforma em algo novo.

A vulnerabilidade simboliza a exposição ao risco e a inabilidade de prevenir ou absorver possíveis danos (Pelling, 2003), sinalizando o grau de danos que um elemento pode sofrer devido à sua exposição, considerando sua habilidade de recuperação ou resistência a circunstâncias desfavoráveis (Adger, 2006). Assim, a vulnerabilidade pode ser definida como o nível de vulnerabilidade de um sistema, ou seja, a sua exposição ao risco e a sua incapacidade de gerir consequências negativas. Ela é composta por elementos que englobam a exposição e sensibilidade a perturbações ou tensões externas, além da habilidade de adaptação (Adger, 2006).

Indivíduos e comunidades são afetados de maneiras distintas por inundações, devido a fatores socioeconômicos, eco-ambientais e humanos, tais como riqueza, educação, raça, etnia, religião, gênero, idade, classe social, condições de saúde e moradia, entre outros. Isso acontece porque a vulnerabilidade a inundações e as adaptações estão intrinsecamente ligadas ao ambiente natural e aos elementos socioeconômicos de uma região específica (Cardona, 2003).

Uma sociedade é composta por diversos grupos sociais ou classes que apresentam riscos distintos, tanto na possibilidade de um evento de inundação severa quanto na capacidade de recuperação após o mesmo (Cardona 2003; Nethengwe, 2007).

Conforme Hill e Cutter (2001), existe uma vasta variedade de tipos de vulnerabilidade em relação aos riscos de catástrofes naturais. No entanto, os três tipos mais relevantes são: individual, social e biofísico. A vulnerabilidade individual refere-se à possibilidade de um indivíduo ou estrutura sofrer um dano potencial, enquanto a vulnerabilidade social está

relacionada às características demográficas de grupos sociais, enquanto a vulnerabilidade biofísica indica a propensão de um local ou região a sofrer um risco natural.

Outros escritores mencionam três categorias de vulnerabilidade: humana, ecológica e socioeconômica. A vulnerabilidade eco-ambiental destaca áreas críticas onde habitats naturais, ecossistemas e sistemas biofísicos estão sob ameaça (Smit *et al.*, 2000; Nguyen; Liou; Terry, 2016; Liou; Nguyen; Li, 2017). Por outro lado, a vulnerabilidade socioeconômica foca mais na avaliação quantitativa de estruturas físicas, setores econômicos ou comunidades sociais impactadas (Kitano, 2002; Berkes *et al.*, 2003; Turner e colaboradores, 2003).

Portanto, a vulnerabilidade serve como fundamento empírico para a formulação de políticas de minimização de riscos, por meio do desenvolvimento de métodos e índices que possam avaliar a susceptibilidade de uma região a inundações (Cutter, 2003). Portanto, é um instrumento analítico eficaz para retratar situações de dano e incapacidade dos sistemas físico e social, além de direcionar as diretrizes de ações para a diminuição do risco (Adger, 2006). As pesquisas acerca da vulnerabilidade a inundações são essenciais, pois fornecem dados suficientes para diminuir os prejuízos causados pelas inundações à bacia e à comunidade. Assim, analisar a vulnerabilidade de uma área é a etapa inicial para a criação de políticas públicas e planos de ação, com o objetivo de minimizar ou amenizar os efeitos das inundações no meio ambiente e na população.

3.2 Suscetibilidade a Inundação

A suscetibilidade é a possibilidade da ocorrência de processos geodinâmicos condicionada pela existência de elementos predisponentes naturais do meio físico, podendo em alguns casos ter como fator adicional as práticas do uso e ocupação. (Sobreira; Souza, 2012). Para Dantas (2018), as características físicas do ambiente, como a hidrografia, a morfometria, a topografia e o tipo de terreno, podem definir as áreas como naturalmente suscetíveis a inundação.

Menegasso (2019) aponta que mesmo o termo suscetibilidade induzir as características físicas do ambiente, as mudanças e intervenções antrópicas vão intensificar/aumentar a suscetibilidade às inundações. As enchentes e inundações são fenômenos naturais que acontecem nos rios, com um período de retorno devido a precipitações intensas e rápidas ou prolongadas. No entanto, as ações humanas contribuem para a maior incidência, especialmente quando combinadas com fatores sociais como o aumento expressivo da urbanização

desordenada, o avanço industrial, a expansão do agronegócio, a utilização intensiva do solo e a ocupação das áreas ribeirinhas. Esses fatores são ainda intensificados pelas mudanças climáticas e pelo aquecimento global (Borges, 2013). De acordo com Tucci (2009), áreas com cotas altimétricas mais baixas são mais suscetíveis à ocorrência de inundações. Isso se dá pelo comportamento da água nas regiões mais baixas e planas, em situações de baixa ou nula declividade, o escoamento superficial tem menor velocidade, baixa capacidade de transporte, limitando-a à vazão de escoamento, o que aumenta a possibilidade de ocorrer inundações (Magalhães *et al.* 2011)

De acordo com Pereira (2019), o aumento da urbanização em áreas mais suscetíveis à inundação modifica o percurso natural da água, aumenta as superfícies impermeáveis que diminuem a infiltração da água da chuva e estrangula a capacidade dos sistemas naturais de drenagem, devido o aumento das vazões superficiais.

3.3 Abordagens Metodológica

Existem várias metodologias para analisar a vulnerabilidade de uma região a inundações, incluindo as abordagens indutivas e dedutivas. Através da metodologia indutiva, são identificados os níveis de risco e vulnerabilidade, com base na identificação de relações estatísticas relevantes entre um conjunto de possíveis indicadores. Em outras palavras, a metodologia indutiva procura padrões estatísticos na base de dados que possam ser generalizados.

Nas metodologias dedutivas, as hipóteses são testadas estatisticamente a partir de pressupostos extraídos de um quadro teórico consistente. Em outras palavras, a metodologia dedutiva verifica os pressupostos conceituais através da coleta de dados adequados e da análise das conexões entre as medidas que implementam tais conceitos (Maskey, 1998, Adger *et al.*, 2004).

Em ambas as metodologias, empregam-se índices e indicadores para elucidar uma realidade abstrata subjetiva. Os indicadores são um parâmetro que espelha as condições do sistema em análise, modelos simplificados da realidade através da utilização de dados quantificáveis e os índices são agrupamentos de indicadores que atuam como ferramentas para a tomada de decisões (Brasil, 2011).

Conforme Pine (2008), um índice representa graficamente um fenômeno e pode ser empregado para compreender a habilidade de uma comunidade específica em absorver, lidar ou se recuperar após um desastre. Assim, o índice de vulnerabilidade se sobressai na

classificação das áreas de risco relacionadas ao fenômeno das inundações. Os índices de vulnerabilidade têm sido amplamente utilizados e preferidos pelos criadores de políticas públicas devido à sua capacidade de espacializar a vulnerabilidade, permitindo a priorização de ações para a diminuição dos riscos e a orientação da resposta para as áreas mais vulneráveis. No entanto, esses métodos se baseiam em índices compilados, com ou sem ponderação, de uma ampla variedade de indicadores.

Portanto, lidam com consideráveis complexidades ligadas a métodos de padronização, ponderação e agregação (Nasiri; Mohd Yusof; Mohammad Ali, 2016). Na literatura, encontramos várias maneiras de calcular o índice de vulnerabilidade, desde programas específicos para pesquisadores até métodos estatísticos básicos. A Análise de Decisão Multicritério (MCDA) (Hu *et al.*, 2017; Souissi *et al.*, 2019) é uma técnica que emprega diversas estratégias para atribuir pesos, tais como a avaliação de especialistas, a hierarquia analítica ou técnicas estatísticas de ponderação para destacar a relevância dos indicadores (Mahmoud; Gan, 2018; Tang *et al.*, 2018).

A metodologia do (IVULSI), consiste em uma série de etapas que buscam identificar as áreas socialmente vulneráveis à inundação de uma bacia. Tendo em vista que a área estudada não compreende uma área de uma bacia, foi necessário adaptações em alguns indicadores, mas, mantendo a qualidade dos dados e seguindo os mesmos processos. Trata-se de uma análise multicritério para determinar a vulnerabilidade social à inundação, em um formato simples, utilizando dados de fácil acesso, o que permite seu uso pelo público não especializado, e dispensa ferramentas mais sofisticadas de modelagem matemática na sua elaboração.

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é uma das ferramentas empregadas para agrupar as variáveis e parâmetros ambientais (indicadores), permitindo a síntese de diversos dados e a álgebra entre mapas para a criação do mapa de vulnerabilidade (Eastman *et al.*, 1995). As áreas suscetíveis à inundação podem ser mensuradas através da modelagem, sendo possível também identificar e quantificar as manchas de inundação, isso ocorre através de métodos e técnicas empregadas na análise espacial e executada nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) utilizando dados oriundos do sensoriamento remoto. Um desses recursos do sensoriamento remoto é o Modelo Digital de Elevação (MDE), que foi consolidado como uma fonte de informação sobre as cotas de altitude, através deles é possível (quando aplicado em modelos hidrológicos), medir a previsão do fluxo e verificar a direção do escoamento da água. Portanto, o emprego e utilização desses modelos e tecnologias contribuem no desenvolvimento de políticas públicas e ações, que visam a implementação do zoneamento de áreas de riscos e planos de adaptação e mitigação de áreas suscetíveis à inundação (Mengue *et al.*, 2016).

Um método comumente usado para agrupar os indicadores e calcular o índice de vulnerabilidade de uma região é a combinação linear ponderada (Kourgualas; Karatzas, 2011). Este método multiplica cada indicador pelo seu peso, resultando em um índice que representa a vulnerabilidade final a inundações (Drobne; Lisec, 2009).

A seleção da metodologia pode e deve ser ajustada para cada região, devido às suas especificidades, seja por obstáculos na obtenção de dados, pela hidrodinâmica do rio, diferentes usos e ocupações do solo, ou pela ausência de registros históricos de eventos (Sadeghi-Pouya *et al.*, 2017). A seleção da abordagem adotada precisa espelhar adequadamente a natureza espacialmente contínua e acumulativa dos indicadores que impactam as inundações (Vojtek; Vojteková, 2019).

3.3.1 Metodologia do mapeamento de áreas suscetíveis a inundação

Para Mengue *et al.* (2016), as áreas suscetíveis à inundação podem ser reconhecidas através da modelagem, sendo possível também identificar e quantificar as manchas de inundação, isso ocorre através de métodos e técnicas empregadas na análise espacial e executada nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) utilizando dados oriundos do sensoriamento remoto.

O modelo HAND, que é um modelo construído na linguagem C++, assim, contém procedimentos pré-definidos para o processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE), o software extrai automaticamente a rede de drenagem, e partindo do processamento da rede de drenagem do MDE, é gerada a topologia HAND (Rennó *et al.*, 2008; Nobre *et al.*, 2011; Momo *et al.*, 2016).

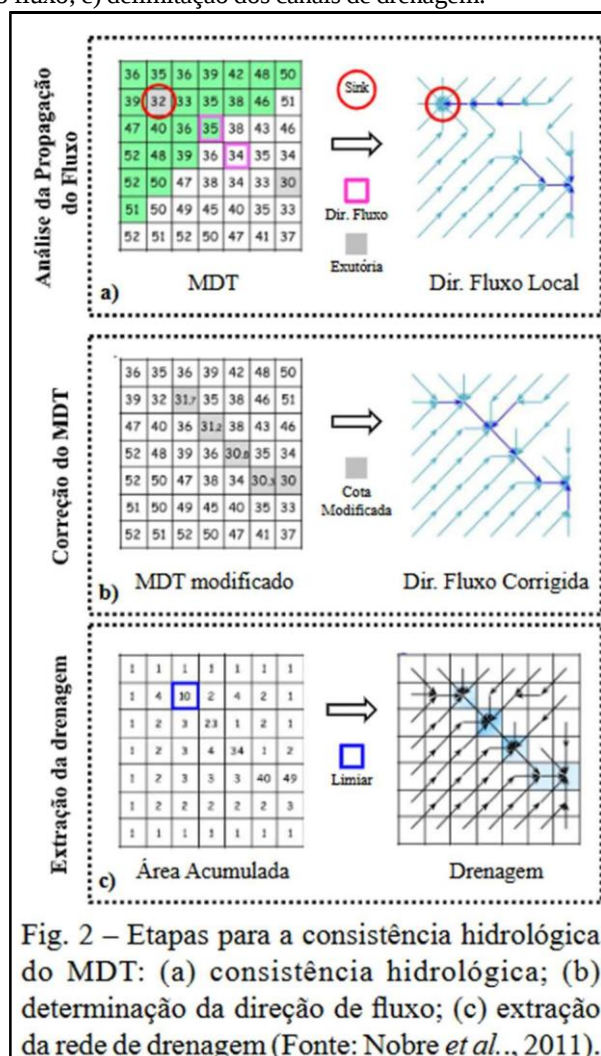
O HAND tem como entrada um MDE, dessa forma, para realizar o mapeamento das áreas suscetíveis à inundação na sede municipal de Muaná-Pa, foi utilizada a imagem do radar ASTER-GDEM, que tem resolução espacial de 30 metros, corrigida por pares estereoscópicos em sua terceira versão, o que acentuou a qualidade radiométrica da imagem. O modelo apresenta uma variação de 284 metros e é informação essencial para a produção dos produtos finais deste trabalho.

O modelo Hand funciona através de um processamento que ocorre em três etapas, as duas primeiras utilizando métodos pré-estabelecidos por O'Callaghan e Mark (1984), Jenson e Domingue (1988). Na terceira etapa utiliza-se a nova metodologia para o HAND, desenvolvido por Nobre *et al.* (2011).

Na primeira etapa é realizada a correção do MDE, que consiste na eliminação das imperfeições (sinks) para garantir o fluxo de água em todas as células do MDE. Após o processo de correção, é determinada a direção dos fluxos de drenagem de cada célula (Goerl; Michel; Kobiyama, 2017).

O método Deterministic Eight-Neighbors aplica a regra da maior declividade para determinar a direção do fluxo d'água, este método gera grade de pontos denominada de Direção do Fluxo de Drenagem (DFD), do inglês Local Drain Direction (LDD) (Momo *et al.*, 2016).

Figura 03 – Fases para a determinação da consistência hidrológica do MDE: a) consistência hidrológica; b) determinação do caminho do fluxo; c) delimitação dos canais de drenagem.



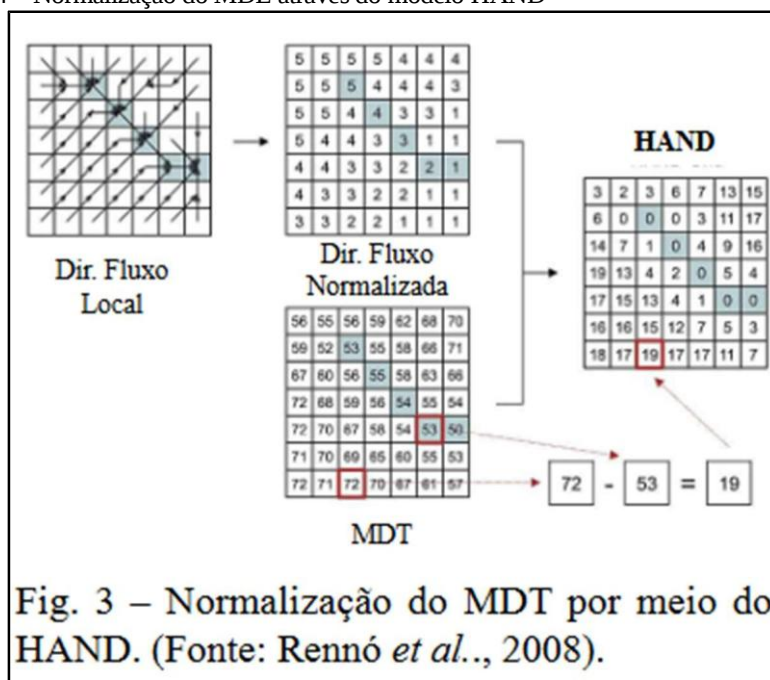
Fonte: Goerl; Michel; Kobiyama (2017)

A segunda etapa se inicia após a correção hidrológica do MDE e do DFD, que vão fornecer dados que serão calculados, para cada célula de grade, valores dos fluxos recebidos, na qual as células com maiores valores, indicam um maior gradiente de concentração do fluxo acumulado, gerando a rede de drenagem.

Na terceira etapa, o modelo classifica todos os pontos de malha de entrada através das distâncias verticais referentes ao curso d'água mais próximo, ao longo dos percursos superficiais de fluxo, e assim gerando a topologia HAND. Essa etapa gera um resultado, que consiste em um MDE normalizado (Figura 07), que corresponde a um processo onde cada ponto da malha ganha um novo valor altimétrico referenciado topograficamente à rede de drenagem (Goerl; Michel; Kobiyama, 2017).

Posteriormente, em ambiente do Quantum GIS, o MDE foi reclassificado na qual foram determinados classes por cotas, por exemplo: Muito Alta (0m a 1m), Alta (1m a 5m), Média (5 a 10 m), Baixa (10m a 25 m) e Muito Baixa (25m a 100m).

Figura 04 – Normalização do MDE através do modelo HAND



Fonte: Goerl; Michel; Kobiyama (2017)

3.3.2 Metodologia do Índice de Vulnerabilidade Social à Inundação - IVULSI

Este trabalho é um estudo de caso do perímetro urbano do município de Muaná-Pa, com base na metodologia IVULSI, será feita sua uma avaliação de indicadores sociais pré estabelecidos que serão normalizados, para a construção do índice vulnerabilidade para cada setor censitário.

A construção de índices é essencial para verificar as relações entre os indicadores, de acordo com Zonensein (2007, apud, Pereira, 2019), a formulação dos indicadores é feita por uma equação matemática que torna possível visualizar as relações entre os indicadores que o

integram. Portanto, o índice se configura por ser algo composto de vários indicadores, onde cada indicador apresenta um impacto e isso se representa através do seu peso. A definição de pesos se dá por uma variação de 0 – 100% (0-1), para cada variável, diferenciando seu grau de importância e correlacionando com o fenômeno. Sendo assim, o índice é calculado a partir da soma ponderada de indicadores, previamente normalizados com notas de 1(mínimo) a 5 (máximo). (Pereira, 2019)

Quadro 01 - Pesos dos indicadores.

Indicadores	Peso (0-1)
Educação	0,05
Idade	0,05
Renda	0,15
Favelas e comunidades urbanas	0,25
Densidade demográfica	0,50

Fonte: Adaptado de (Pereira, 2019)

Como indicadores foram escolhidos a renda, educação, idade, favelas e comunidades urbanas e densidade demográfica, e como base para a compilação e análise de dados foi obtido dados do Censo Demográfico de 2022 e também a base do Cadastro Único do município de Muaná. Ainda seguindo o caminho metodológico proposto por Pereira (2019), a distribuição de pesos (Quadro – 01) se deu pelo grau de importância, sendo assim a **densidade demográfica** recebeu 50% do peso total, pois ela demonstra a população exposta. Os outros 50% foram divididos da seguinte maneira:

- **Ocupação por Favela ou comunidades urbanas 25%**
- **Renda 15%**
- **Educação 5%**
- **Idade 5%**

Os indicadores elencados são elementos típicos dos estudos e pesquisas de vulnerabilidade, onde a densidade demográfica demonstra a população exposta ao fenômeno, ocupação subnormal que apresenta a questão da situação das estruturas urbanas presentes, a

renda que aponta o poder aquisitivo da população, a educação e idade que está relacionado a capacidade de resposta da população e seu grau de fragilidade.(Pereira, 2019)

O indicador **Educação** está relacionado à escolaridade da população do local vulnerável, a avaliação deste indicador uma maior ou menor capacidade de resposta, portanto, irá demonstrar maior capacidade de defesa e autoproteção (Pereira, 2019). Para a construção da nota deste índice, foi feita a aquisição de dados de alfabetização por faixa etárias de 15 a mais de 60 anos por setor censitário, oriundos do Censo Demográfico (2022), os dados de alfabetização foram especializados nos setores censitários e atribuído nota com base na porcentagem de alfabetizados do número de moradores de cada setor. De acordo com os resultados do processo de espacialização, foi feita a atribuição de nota, onde foi realizada através da lógica binária (sim ou não), de acordo com o Quadro 03.

Quadro 02 - Normalização educação.

NOTAS	DESCRIÇÃO
1	Alfabetizado
5	Não Alfabetizado

Fonte: Adaptado de (Pereira, 2019)

Para a construção do indicador **Idade** foi utilizado dados da idade de moradores por setor censitário do Censo Demográfico (2022), esses dados fornecem informações das idades em faixas etárias, que vão de 0 a 4 anos até 70 ou mais, o que possibilitou no estudo um melhor detalhamento da idade da população em cada setor.

No âmbito da Proteção e Defesa Civil, o grupo vulnerável é composto por "crianças, gestantes, idosos e pessoas com deficiência", tal como define a Lei 12.608, de abril de 2012, e no Glossário de Defesa Civil (1998), isso se deve às características de cada item do grupo vulnerável, que consiste em limitações funcionais que aumentam a vulnerabilidade em situações de desastres, já que o comprometimento de variáveis como percepção de risco, estado de alerta, atenção, agilidade e mobilidade dificultam a resposta deste grupo frente ao desastre(Bodstein; Lima; Barros, 2014).

Portanto, foi extraído através do indicador idade, (2) dois públicos do grupo de vulnerabilidade, sendo eles, crianças e idosos, esses dados foram avaliados em cada setor censitário para a classificação de nota por setor, que irá influenciar no índice de Vulnerabilidade Social (IVULSI).

Quadro 03 - Normalização idade.

NOTAS	DESCRIÇÃO
1	20 a 49 anos
3	15 a 19 anos e 50 a 59 anos
5	<15 anos e/ou >60 anos

Elaboração: Adaptado de (Pereira, 2019)

Para a elaboração do indicador **Renda**, que seguiu de acordo com Pereira (2019), onde adota-se o rendimento médio mensal domiciliar per capita como referência. A elaboração das variáveis de renda partiu das faixas salariais do IBGE, que determinam a classe social da população brasileira. Isso consiste em um cálculo fácil e objetivo baseado no número de salários mínimos (unidade de referência brasileira) e dividido em cinco faixas de renda. No quadro 5, são representadas as classes de renda e sua normalização.

Quadro 04 - Normalização de renda domiciliar Per Capita.

VARIÁVEL	NOTAS	CLASSE DE VULNERABILIDADE SOCIAL
Mais de 10 salários mínimos	1	Vulnerabilidade muito baixa
5 a 10 salários mínimos	2	Vulnerabilidade baixa
2 a 5 salários mínimos	3	Vulnerabilidade média
Até 2 salários mínimos	4	Vulnerabilidade alta
Sem Rendimento	5	Vulnerabilidade muito alta

Fonte: Adaptado de (Pereira, 2019)

No censo demográfico de 2022, o IBGE, realizou a mudança dos termos Aglomerados Subnormais para **Favelas e Comunidades Urbanas**, que são caracterizadas por áreas com ausência completa ou parcial dos serviços públicos, arruamento e construções autoproduzidos e sem orientação adequada, localização em áreas com restrição a ocupação e, isso transforma bairros inteiros em locais impróprios para morar. Portanto, a população que vive nesse tipo de local está mais vulnerável a danos causados por inundação. Neste caso foi adotada uma lógica binária, de acordo com o Quadro 5.

Quadro 05 - Normalização de Favelas e Comunidades Urbanas.

VARIÁVEL	NOTAS	CLASSE DE VULNERABILIDADE SOCIAL
Não é favela ou comunidades urbanas	1	Vulnerabilidade muito baixa
Favela ou comunidades urbanas	5	Vulnerabilidade muito alta

Fonte: Adaptado de (Pereira, 2019)

Para a construção do indicador Densidade Demográfica, foram utilizados informações e dados relacionados ao número de moradores de cada setor censitário que compreender a área da sede municipal de Muaná-Pa, contido no censo demográfico de 2022, a área em km² dos setores censitários oriundas da base de dados espaciais do IBGE (2022), caracterizando uma excelente escala para o presente estudo. As classes foram elaboradas com base na densidade demográfica da sede municipal de Muaná, que é de 1.752 hab./km², que se dividiu em 5 notas com um intervalo médio de 350 hab./km².

Sendo assim, para chegar a nota de densidade demográfica foi analisada a variável moradores de cada setor censitário, e concomitantemente, foi obtido a área de cada setor em ambiente do software Quantum Gis 3.34, através da tabela de atributos da base vetorial. Após a obtenção das informações de moradores por setor censitário e sua área, foi realizado o cálculo da Densidade Demográfica através da fórmula:

$$DD = P/A$$

$$\begin{aligned} DD &= \text{Densidade Demográfica} \\ P &= \text{População} \\ A &= \text{Área} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Quadro 06 - Normalização de Densidade Demográfica.

VARIÁVEL	NOTAS	CLASSE DE VULNERABILIDADE SOCIAL
0 - 350 hab./km²	1	Vulnerabilidade muito baixa
351 - 700 hab./km²	2	Vulnerabilidade baixa
701 - 1.050 hab./km²	3	Vulnerabilidade média
1.051 - 1.400 hab./km²	4	Vulnerabilidade alta
Mais de 1.400 hab./km²	5	Vulnerabilidade muito alta

Elaboração: Adaptado de (Pereira, 2019)

Após o processo de sistematização dos dados dos indicadores é realizada a aplicação do Índice de Vulnerabilidade Social a Inundação (IVULSI) que se dá pelo cálculo da média ponderada de indicadores específicos e possui relação direta e/ou indireta com as populações vulneráveis à inundação. (Pereira, 2019)

$$IVULSI = DD * 0,50 + FCU * 0,25 + REN * 0,15 + IDD * 0,05 + EDU * 0,05$$

(3.2)

Para analisar os dados do cruzamento espacial, subdividiu-se em cinco graus de vulnerabilidade, apresentados na Figura 2. Foram definidas faixas de notas para cada grau de vulnerabilidade, guardando relação com as notas originais, de modo que quanto maior a nota, maior a vulnerabilidade, conforme o quadro a seguir:

Quadro 07 - Notas das classes de vulnerabilidade.

NOTAS	DESCRIÇÃO
1 - 1,8	Muito pouco vulnerável
1,8 - 2,6	Pouco vulnerável
2,6 - 3,4	Medianamente vulnerável
3,4 - 4,2	Vulnerável
4,2 - 5	Muito vulnerável

Fonte: Adaptado de (Pereira, 2019)

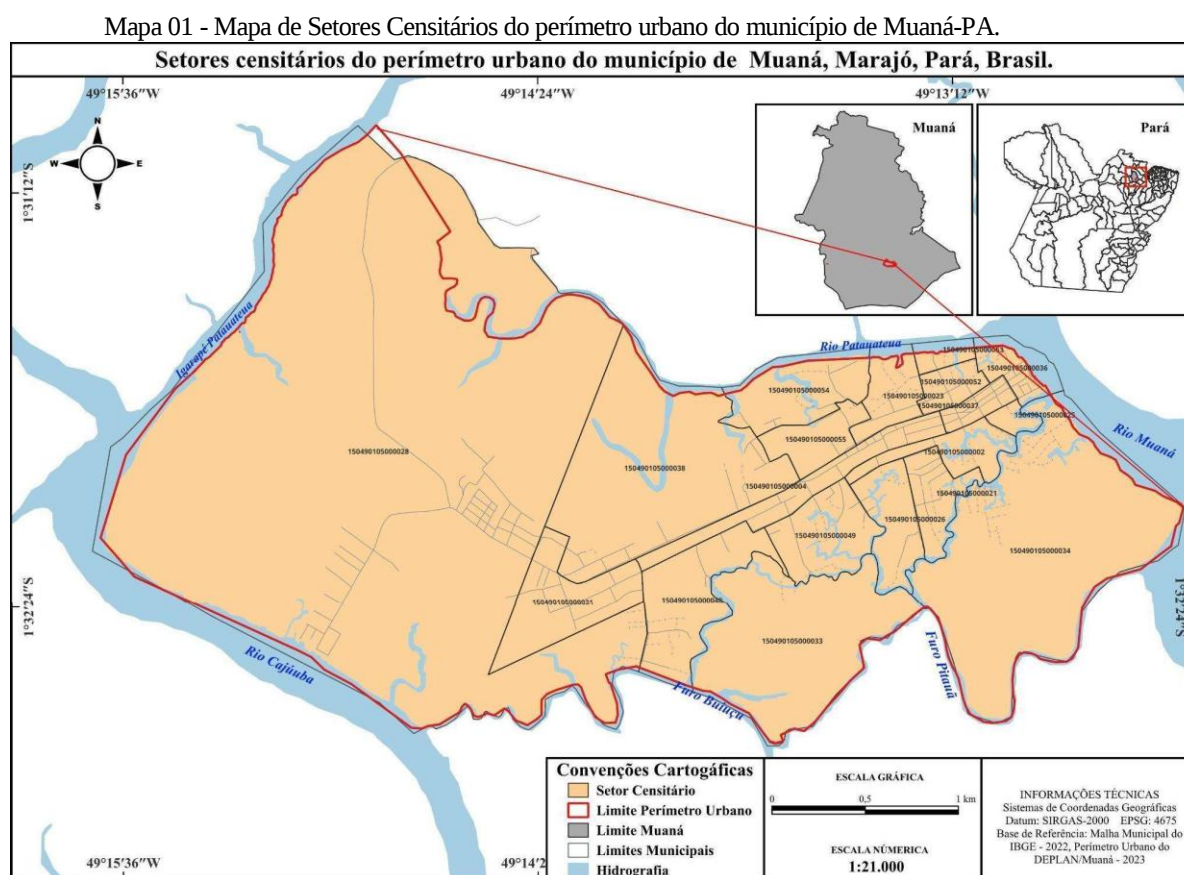
A elaboração da cartografia (produto final) vai demonstrar a localização das áreas de vulnerabilidade social, consistirá na espacialização das informações do índice, através das análises dos pesos, que são relacionadas aos graus de vulnerabilidades pré definidos (Quadro 08) que geram uma nota final, apontado a maior e menor vulnerabilidade, e após isso, será feita a comparação ao modelo de suscetibilidade a inundação (HAND), resultado do geoprocessamento.

3.3.3 Construção e Análise dos Indicadores de vulnerabilidade Social à inundação

Diante da necessidade de informações e dados sobre educação, idade, renda, Favelas e Comunidades Urbanas e densidade demográfica, do local de estudo. Foi escolhida a utilização de setor censitário, como limite territorial capaz de fornecer dados para a construção dos indicadores, assim como será o limite base para a classificação da vulnerabilidade social. Destaco que a utilização do setor censitário se deu devido o perímetro urbano do município

não ter divisão oficial de bairros, fato comprovado pela utilização de um único CEP para todos os endereços do município.

O setor censitário é a menor porção territorial para análise, coleta, planejamento e disseminação de informação (IBGE, 2022), além de ser uma importante ferramenta de disseminação de informação social para qualquer localidade do Brasil. A sede do município de Muaná possui 19 setores censitários, que apresentam características diferentes e dados importantes com informações necessárias para ações de pesquisa tanto acadêmica quanto dos órgãos públicos.



Fonte: Autor (2025)

A construção da normalização do indicador Densidade Demográfica, foi realizado com base na variável V01006 (Moradores), que corresponde ao número de moradores de cada setor censitário, com base no Censo Demográfico de 2022. Após a aquisição dos dados dos setores foi realizado o filtro, no software Excel 2016, nas colunas de setor censitário (CD_Setor) e moradores (V01006), para obter o número real de moradores por setor do perímetro urbano de Muaná.

Após conhecer o número de moradores por setor, era necessário mensurar a área em km² de cada setor censitário, para cálculo da densidade demográfica (Equação 01). O cálculo da área foi feito através do software Quantum GIS 3.34, que permite acesso aos dados da base vetorial dos setores censitários. Em ambiente software, foi feito o acesso a tabela de atributos do shapefile de setores censitários, logo após, é ativado o acesso à calculadora de campo, onde será feito o cálculo de área com base no código “\$area”. Os resultados da mensuração no software Quantum GIS é dado em m², portanto, foi realizada a conversão para km² e assim possibilitando o cálculo da densidade demográfica.

Os dados de moradores e áreas foram organizados de acordo com a quadro 09, e depois da aplicação da Equação 02, foi atribuído a nota de normalização de Densidade Demográfica para cada setor censitário, e posteriormente influenciará na classificação das áreas, pois a DD é o indicador de maior peso no Índice de Vulnerabilidade Social (IVULSI). Os setores 150490105000002, 150490105000004, 150490105000023, 150490105000021, 150490105000025, 150490105000026, 150490105000031, 150490105000036, 150490105000037, 150490105000048, 150490105000049, 150490105000052, 150490105000053, 150490105000054 e 150490105000055, apresentaram maiores índices de Densidade Demográfica, isso se dá por fatores históricos de ocupação desses locais, e são as regiões centrais e marginais ao centro de serviços da cidade de Muaná.

Quadro 08 - Construção de nota do indicador de Densidade Demográfica.

CD_setor	V01006 (Moradores)	AREA/KM²	Nota (DD)
150490105000002	1274	0,121	5
150490105000004	905	0,182	5
150490105000023	1382	0,123	5
150490105000021	1476	0,125	5
150490105000025	308	0,032	5
150490105000026	984	0,162	5
150490105000028	1024	5,61	1
150490105000031	478	0,269	5
150490105000033	1028	0,719	4
150490105000034	1334	1,282	3
150490105000036	1147	0,106	5
150490105000037	270	0,054	5
150490105000038	729	0,926	3
150490105000048	651	0,304	5
150490105000049	1425	0,209	5
150490105000052	1057	0,069	5
150490105000053	282	0,045	5
150490105000054	980	0,242	5
150490105000055	751	0,119	5

Fonte: Autor (2025)

Para a análise do indicador de tipo de território, Favelas e comunidades urbanas, foram realizados levantamentos de campo, para avaliação dos locais de acordo com a classificação dada pelo IBGE (2022), que diz que são áreas caracterizadas com ausência completa ou parcial dos serviços públicos, arruamento e construções autoproduzidos e sem orientação adequada, localização em áreas com restrição a ocupação e, isso transforma bairros inteiros em locais impróprios para morar.

O indicador renda foi realizado com base nos dados do Cadastro Único da área de estudo, foi feita a análise do número de pessoas no cadastro, que totalizou 12.574 pessoas, de acordo com a base do cadastro de janeiro de 2025, esse número representa quase 72% da população da sede municipal. De acordo com o Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome (MDS, 2025), “o Cadastro Único para Programas Sociais identifica e caracteriza as famílias de baixa renda residentes em todo território nacional. Ele permite que o governo conheça melhor a realidade dessa população ao registrar informações como: endereço, características do domicílio, quem faz parte da família, identificação de cada pessoa, escolaridade, situação de trabalho e renda, deficiência, entre outras.”

O público presente neste cadastro é de famílias que vivem com renda mensal de até meio salário-mínimo por pessoa, assim como famílias que recebem até 3 salários mínimos de renda mensal total. Portanto, com tais informações foi realizado a análise de renda domiciliar per capita através da identificação dos endereços das pessoas correlacionado com os setores censitários, posteriormente foi tirado a porcentagem de pessoas do cadastro único para o total de moradores de cada setor censitário, e assim construído a nota para cada faixa salarial com base no IBGE (2022).

Para o indicador educação foi realizado o tratamento de dados da tabela de agregados por setor censitário de alfabetização, onde foi selecionado as variáveis de faixas etárias alfabetizados do Censo Demográfico 2022, esses dados foram somados, gerando um total de alfabetizado no intervalo de idade de 15 anos a mais de 80 anos. O valor da soma de alfabetizados foi subtraído do todo de moradores na faixa etária alfabetizada, de cada setor censitário, gerando o número de não-alfabetizados, como exemplifica o quadro 10.

Quadro 09 - Quadro de Alfabetizados e Não Alfabetizados por setor censitário.

CD_setor	Alfabetizados	Não Alfabetizados	(%)	NOTA
150490105000002	893	86	9%	1
150490105000004	706	32	5%	1
150490105000021	980	14	2%	1
150490105000023	884	199	19%	5
150490105000025	240	13	5%	1
150490105000026	672	59	8%	1
150490105000028	671	70	10%	1
150490105000031	315	21	6%	1
150490105000033	709	10	1%	1
150490105000034	850	97	10%	1
150490105000036	784	51	6%	1
150490105000037	223	3	1%	1
150490105000038	482	38	7%	1
150490105000048	421	46	10%	1
150490105000049	865	174	17%	5
150490105000052	772	88	10%	1
150490105000053	194	27	12%	5
150490105000054	597	65	10%	1
150490105000055	527	22	4%	1

Fonte: Autor (2025)

Após quantificar o número de Alfabetizados e Não Alfabetizados foi calculada a porcentagem de pessoas Não Alfabetizados, isso foi crucial para a nota de cada setor, a classificação seguiu uma regra onde setores com porcentagem de não alfabetizados ultrapassa 10% seria atribuído a nota 5, essa regra foi baseado no quantitativo de não alfabetizados em relação a população total de cada setor. Os setores 150490105000023, 150490105000049 e 150490105000053, apresentaram os maiores números de pessoas não alfabetizadas, e receberam nota 5 para cálculo do índice.

Quadro 10 - Quadro de Público Vulnerável (idade) por setor censitário.

CD_setor	V01006 (Moradores)	Público Vulnerável (Idade)	Percentual do Público Vulnerável (%)	NOTA
150490105000002	1274	462	36%	3
150490105000004	905	289	32%	1
150490105000023	1382	520	38%	3
150490105000021	1476	813	55%	5
150490105000025	308	108	35%	1
150490105000026	984	348	35%	1
150490105000028	1024	365	35%	1
150490105000031	478	172	36%	3
150490105000033	1028	386	37%	3
150490105000034	1334	486	36%	3
150490105000036	1147	443	39%	3
150490105000037	270	98	36%	3
150490105000038	729	260	36%	3
150490105000048	651	225	34%	1
150490105000049	1425	514	36%	3
150490105000052	1057	360	34%	1
150490105000053	282	93	33%	1
150490105000054	980	379	38%	3
150490105000055	751	252	34%	1

Fonte: Autor (2025)

O indicador idade está associado ao público vulnerável que é composto por "crianças, gestantes, idosos e pessoas com deficiência", tal como define a Lei 12.608, de abril de 2012. Para apresentar esse público foi realizado o levantamento de faixa etária de idade por setor censitário. Dos 19 setores do perímetro urbano, apenas um apresentou nota de peso 5, o setor 150490105000021, neste foi quantificado cerca de 813 pessoas em idade do público vulnerável analisado, totalizando 55% do total de moradores do setor. Portanto, em um evento adverso, no indicador idade, o setor 150490105000021 seria o mais vulnerável a sofrer danos e perdas. Além disso, cerca de 10 setores receberam nota 3, que apresenta uma preocupação mediana em relação à vulnerabilidade, sendo assim, setores que necessitam de monitoramento e atenção.

3.4 Cenário de Evolução das Políticas sobre Riscos de Desastres

A construção das políticas voltadas a riscos de desastres nasce de ações de assistências e resposta aos atingidos por impactos de desastres, como consta na Resolução 2034: Assistência em casos de desastre natural, da Assembleia Geral da ONU⁴, de 7 de setembro de 1965.

⁴ A Assembleia Geral tem a representação de todos os Estados-membros das Nações Unidas, sendo o principal órgão deliberativo da ONU. Seu objetivo é definir as políticas da Organização e é o único órgão da ONU com representação universal.

As resoluções da ONU, é uma das primeiras políticas com caráter de orientação mundial. A resolução 2717 de 1971, atribui a questão do planejamento, orientado para ações de mitigação dos efeitos dos desastres, como o planejamento institucional pré-desastre e as iniciativas ligadas à pesquisa científica e implementação de tecnologias, com o objetivo de promover expansão da colaboração internacional relacionada à compreensão das causas desencadeantes de catástrofes e à criação de sistemas de aviso antecipado. Ainda em 1971 a resolução 2816, apontou ao Secretário Geral da ONU, a nomeação de um Coordenador de Assistência a Desastres, o que culminou na criação do Escritório das Nações Unidas de Assistência a Desastres (UNDRO). (Brasil, 2022)

Os episódios de desastres que ocorreram no mundo na década de 80, como os tufões nas Filipinas, infestações de gafanhotos na África, furacões na América Latina e na região do Caribe as inundações no Sudão e Bangladesh, gerou um cenário de grandes impactos. Logo, evidenciou a necessidade de reduzir o impacto dos desastres, nesse sentido, a Assembleia Geral da ONU, elaborou um quadro de ações. Em 1989, foi determinado o Dia Internacional para Redução de Risco de Desastres, no dia 13 de outubro. Neste mesmo ano, é publicada a resolução 44/236 que definiu que o ano de 1990 marcaria o início da Década Internacional para Redução dos Desastres Naturais (DIRD), concomitante a isso, foi criada a secretaria da DIRD, órgão que visa garantir a implementação do quadro de ação da resolução 44/236 (Brasil, 2022). No ano de 1994, foi realizada a I Conferência Mundial sobre Redução de Desastres Naturais, na cidade de Yokohama, no Japão, tendo como resultado a publicação da **estratégia e plano de ação de Yokohama para um Mundo Mais Seguro**. Esse documento cita a relação entre a manutenção do meio ambiente e as ações de redução de riscos e de desastres, a conferência trouxe características voltadas às ações de gestão de riscos e desastres, sendo o primeiro marco internacional voltado a ações de Redução de Riscos e Desastres, com o objetivo principal de seu Plano de Ação sendo, salvar vidas humanas e proteger o patrimônio físico, social e econômico (Brasil, 2022).

Em 1999, no fim da Década Internacional para Redução dos Desastres Naturais, foi realizado, pela secretaria do DIRD, o Fórum do Programa DIRD, onde foi tratado assuntos relacionados à prevenção de desastres naturais, tais debates originaram a resolução Ecosoc 1999/63 de 30 de julho de 1999, que enfatizou a:

“...a promoção do crescimento econômico e do desenvolvimento sustentável não pode ser alcançada sem medidas adequadas para prevenir e reduzir o impacto dos desastres

naturais e que existem ligações estreitas entre as perdas devido aos desastres naturais e a degradação ambiental”. Resolução Ecosoc 1999/63 (1999)

Para atender a Resolução Ecosoc 1999/63, a Assembleia Geral publicou a resolução 54/219, no dia 3 de fevereiro de 2000, que originou a formação de um secretariado interagências das Nações Unidas da Estratégia Internacional de Desastres (EIRD), direcionado para redução dos impactos dos desastres. Em 2005, na cidade de Kobe, em Hyogo, no Japão, foi realizada a II Conferência para Redução de Riscos de Desastres (Brasil, 2022). O Marco de Ação de Hyogo 2005-2015, trouxe abordagens relacionadas a ações de prevenção aos riscos, estabelecendo cinco prioridades de ação expostas na figura 02.

Figura 05 - Prioridades de Ação do Marco de Hyogo 2005-2015.

- 1.** Garantir que a redução de risco de desastres (RRD) seja uma prioridade nacional e local com uma sólida base institucional para sua implementação;
- 2.** Identificar, avaliar e observar de perto os riscos dos desastres, e melhorar os alertas prévios;
- 3.** Utilizar o conhecimento, a inovação e a educação para criar uma cultura de segurança e resiliência em todos os níveis;
- 4.** Reduzir os fatores fundamentais do risco;
- 5.** Fortalecer a preparação em desastres para uma resposta eficaz a todo nível.

Fonte: Brasil (2022)

A III Conferência Mundial das Nações Unidas sobre Redução do Risco de Desastres, foi realizada no ano de 2015, em Sendai, no Japão, nesta foi avaliada todas as experiências com a gestão de desastres da última década, que contribuíram para a elaboração do Marco de Sendai para Redução de Risco de Desastres 2015-2030. Neste momento foram elaboradas quatro áreas prioritárias de ação, sendo elas: 1ª) Compreensão do risco de desastres; 2ª) Fortalecimento da

governança de risco de desastres para gerenciar o risco de desastres 3ª) Investir na redução do risco de desastres para resiliência; 4ª) Aumentar a preparação para desastres para uma resposta eficaz e “reconstruir melhor” na recuperação, reabilitação e reconstrução (Brasil, 2022).

Com objetivo de auxiliar a avaliação do progresso global da implementação do Marco de Sendai, além das quatro ações prioritárias, foram pactuadas as Sete Metas Globais (figura 03) relacionadas a ações de Redução de Riscos de Desastres. Em 3 de junho de 2015, a Assembleia Geral, através da resolução 69/284, criou um grupo de trabalho de especialistas intergovernamentais para construir um conjunto de indicadores, visando acompanhar cada uma das sete metas definidas (Brasil, 2022).

Figura 06 - Sete Metas Globais, Marco de Sendai 2015-2030.

a) Reduzir substancialmente a mortalidade global por desastres até 2030;	e) Aumentar substancialmente o número de países com estratégias nacionais e locais de redução do risco de desastres até 2020;
b) Reduzir substancialmente o número de pessoas afetadas globalmente até 2030;	f) Melhorar substancialmente a cooperação internacional com os países em desenvolvimento para a implementação do Marco de Sendai até 2030;
c) Reduzir as perdas econômicas diretas por desastres em relação ao produto interno bruto (PIB) global até 2030;	g) Aumentar substancialmente a disponibilidade e o acesso a sistemas de alerta precoce de múltiplos perigos e informações e avaliações de risco de desastres para as pessoas até 2030.
d) Reduzir substancialmente os danos causados por desastres à infraestrutura crítica e a interrupção dos serviços básicos, inclusive por meio do desenvolvimento de sua resiliência até 2030;	

Fonte: Brasil (2022)

3.5 Estado da arte da discussão sobre inundações no Marajó

Na região do estuário amazônico, mas precisamente entre as bacias do Amazonas e do Tocantins-Araguaia, banhada a norte pelo Oceano Atlântico, se localiza a Ilha do Marajó, maior arquipélago fluviomarinho do mundo, que tem cenário composto por campos naturais, planícies alagadas e densas florestas (Gonçalves, 2016). A ilha apresenta características que vão dar dinâmica aos eventos de inundação desde a hidrologia, geomorfologia e climatologia, de acordo com Dantas; Teixeira (2013):

Na porção sul-sudoeste (...), com maior influência fluvial, predominam planícies aluviais e áreas de colmatação lacustre. Destaca-se, nesse contexto, um vasto domínio de terras baixas e inundáveis pontilhadas por formações de lagos de distintas dimensões (com destaque para o lago do Arari, na porção centro-oriental da ilha de Marajó), com o recobrimento espraído de formações de campos higrófilos de várzea – os “Campos do Marajó”. Já na porção centro-ocidental (...) domina uma unidade de baixos tabuleiros embasados por rochas sedimentares inconsolidadas, de idade terciária- quaternária, denominadas sedimentos pós-Barreiras (Dantas; Teixeira, 2013, p. 30).

A ilha do Marajó, em contextos climáticos, está na região amazônica que é uma área de floresta equatorial de clima quente e úmido, e apresenta precipitação média anual de 2300mm. O clima é classificado tropical chuvoso e com dois sub-tipos: Af nas áreas com mais de 3000 mm de precipitação anual e Am nas áreas com precipitação anual entre valores baixo de 2500 mm e 3000 mm, de acordo com a classificação de Köppen, com isso a temperatura média anual chega a 27,3 °C. Ademais, é caracterizado um período menos chuvoso entre os meses de junho a novembro e mais chuvoso compreendido entre os meses de dezembro a maio.(Lima *et al.*, 2005)

Segundo. Espinoza *et. al.* (2022), as inundações históricas que ocorreram no rio Amazonas no ano de 2021 estão relacionados com o fenômeno La Niña. Na ilha do Marajó durante os anos de La Niña, os maiores acumulados de chuva variaram entre os valores de 4.055 mm registrado em 1988 e 4.020 mm registrado em 2018, ambos com La Niña moderada (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), (2022).

Lima *et. al.* (2020) estudaram os riscos climáticos na região estuarina do Marajó, e apontaram uma vulnerabilidade socioambiental da região do Delta Amazônico frente a variabilidade climática, dando como exemplo a população do município de Ponta de Pedras (Sudeste do Marajó) está exposta a inundações devido a ocupação imprópria em terras baixas, somado a escassez de investimentos e serviços direcionados a infraestrutura na área de saneamento básico.

Em breve levantamento dos eventos de inundação no Marajó, foi possível identificar situações de inundação nos anos de 1825, 1826, 1856, 1872 e 1875, com destaque às inundações do ano de 1872, que gerou grandes impactos para os criadores de gado, com a morte de muitos animais, o nível da água ficou um metro acima do nível de costume das inundações periódicas, e tal evento foi atrelado ao período de inverno, ou seja, de muita precipitação na região (Penna, 1875).

Ainda de acordo com Penna (1875), a inundação que ocorreu no ano de 1872, apresentou três causas, como as extensas superfícies planas de terra das ilhas, as obstruções das partes superior e média dos escoadouros naturais (rios) por vegetações e as precipitações volumosas e prolongadas que tiveram na região.

Nos relatórios do Sistema Integrado de Informações de Desastres (S2iD), do ano de 2017 a 2024, foi feito o reconhecimento de desastre classificado como inundações em 6 municípios da região do Marajó, sendo 5 episódios em Cachoeira do Ariri (2017,2018, 2019,2020 e 2022), 1 episódio em Chaves no ano de 2019, Soure, 1 episódio em Santa Cruz do Ariri no ano de 2019, 1 episódio em Ponta de Pedras no ano de 2023 e Salvaterra no ano de 2021, gerando um total de 12 episódios registrados. Esses municípios que tiveram registros de inundações, possuem rios que são impactados pelo fenômeno La Niña e se situam em região de alta pluviosidade (Lima et. al. 2005).

Os impactos do La Niña em uma área naturalmente úmida e a exposição da população, especialmente dos ribeirinhos, é uma realidade alarmante. Isso suscita dúvidas sobre o quanto a vulnerabilidade climática dos residentes da área pode intensificar os problemas socioeconômicos locais (Gomes *et. al.* 2023). Portanto, os cenários de inundações da região do Marajó, está associada com o período mais chuvoso, e tem agravantes nos períodos de La Niña. Ademais, as estações hidrológicas das marés (enchente, vazante), podem influenciar em episódios de inundação, dada a condição que a várzea está sendo ocupada.

3.6 Caracterização socioambiental da área de estudo

O município de Muaná possui 3.763,337 km², com uma população total de 45.368 mil pessoas, está inserido na mesorregião do Marajó e na região de integração do Marajó, no sudeste do arquipélago do Marajó. O município possui 2 distritos sendo, o distrito de São Francisco da Jararaca, localizado em uma região de ilhas no sudoeste do município, e São Miguel do Pracuúba, no extremo oeste do município na divisa com o município de São Sebastião da Boa Vista. Nestes distritos estão inseridas as vilas e comunidades que se especializam ao longo dos rios. No norte do município, está a região do Alto rio Atua, que possui grande extensão territorial e uma dinâmica particular devido aos períodos chuvosos, algo que influencia em seu contato com a sede municipal. A sede municipal está localizada às margens do rio Muaná, cortada por igarapés, possui maior ocupação de características urbanas e com mais aparelhos de serviço público. (PMSB, 2023)

Com suas características particulares de ocupação, o município de Muaná tem na área da sede municipal um local com moradias em madeira e alvenaria, tanto em áreas de terra firme quanto na várzea (área de inundação). A cidade de Muaná recebeu unidades habitacionais localizadas em

ambiente mais adequado, assim como ocorre no município o processo de regularização fundiária e ordenamento territorial. Ressalto que a região do Marajó, segundo levantamento realizado pela FAPESPA em 2019, possui um déficit de habitação de mais de 25 mil habitações, sendo 16.579 mil nas áreas rurais.

A taxa de crescimento populacional apresentou média de 2,38% entre 2010 e 2020, e uma população por faixa de idade de 40,54% (até 19 anos), 52,77% (de 19 a 59 anos) e 6,69 (mais de 60 anos). O último levantamento realizado em 2020, pelo IBGE, indica taxa de mortalidade de 26,71 óbitos por mil nascidos vivos no município.

De acordo com dados do Censo demográfico de 2022, no município de Muaná há maior número de pessoas do sexo masculino com cerca de 22.997 mil, contra 22.371 pessoas do sexo feminino. Ao analisar as informações municipais de afirmações sobre cor ou raça, os dados censo demográfico de 2022 demonstram 37.166 mil pessoas se declararam pardas, 6.048 mil pessoas se declararam branca, 2.149 mil pessoas se declararam pretas, 4 pessoas se declararam amarelas e 1 pessoa se declarou indígena.

Com suas características particulares de ocupação, o município de Muaná tem na área da sede municipal um local com moradias em madeira e alvenaria, tanto em áreas de terra firme quanto na várzea (área de inundação). A cidade de Muaná recebeu unidades habitacionais localizadas em ambiente mais adequado, assim como ocorre no município o processo de regularização fundiária e ordenamento territorial. Ressalto que a região do Marajó, segundo levantamento realizado pela FAPESPA em 2019, possui um déficit de habitação de mais de 25 mil habitações, sendo 16.579 mil nas áreas rurais.

Muaná possui uma população de 45.368 habitantes, sendo que mais de 17 mil habitantes vivem na área urbana (sede municipal) do (Censo-IBGE, 2022). Em 2010, segundo o Censo 2010, Muaná possui um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,547, um valor considerado baixo segundo a metodologia adotada (Baixo – IDHM entre 0,500 e 0,599). Apesar disso, o IDHM municipal tem melhorado a cada censo, passando de 0,305 em 1991 para 0,350 em 2000 e 0,547 em 2010. Apresenta taxa de crescimento populacional de 1,81% entre 2010 e 2020, e uma população de por faixa de idade de 40,54% (até 19 anos), 52,77% (de 19 a 59 anos) e 6,69 (mais de 60 anos). O último levantamento realizado em 2020, pelo IBGE, indica taxa de mortalidade de 26,71 óbitos por mil nascidos vivos no município.

Quadro 11 - IDHM nos anos de censo do município de Muaná.

EVOLUÇÃO DO IDHM - CENSOS (Parâmetros: IDHM entre 0,500 e 0,599 - Baixo)		
CENSO 1991	CENSO 2000	CENSO 2010
0,305	0,350	0,547

Fonte: IBGE (2023)

Elaboração: Autor (2023)

De acordo com dados do Censo demográfico de 2010, no município de Muaná há maior número de pessoas do sexo masculino com cerca de 17.906 mil, contra 16.298 pessoas do sexo feminino. Na área urbana havia presente 7.380 mil homens e 7.141mil mulheres, totalizando 14.521 mil.

Na área rural tinham um total de 19 683 mil, sendo 10 526 mil homens e 9 157 mil mulheres. Ao analisar as informações municipais de afirmações sobre cor ou raça, dados ao censo demográfico de 2010, no município 24.880 mil pessoas se declararam pardas, 6.993 mil pessoas se declararam branca, 2.114 mil pessoas se declararam pretas e 3 pessoas se declararam indígena.

O município de Muaná está inserido na região amazônica que é uma área de floresta equatorial de clima quente e úmido, e tem uma precipitação média anual de 2300mm. O clima do município é classificado tropical chuvoso e com dois sub-tipos: Af nas áreas com mais de 3000 mm de precipitação anual e Am nas áreas com precipitação anual entre valores baixo de 2500 mm e 3000 mm, de acordo com a classificação de Köppen, com isso a temperatura média anual chega a 27,3 °C. Ademais, é caracterizado um período menos chuvoso entres os meses de junho a novembro e mais chuvoso compreendido entre os meses de dezembro a maio.(Lima *et al.*, 2005)

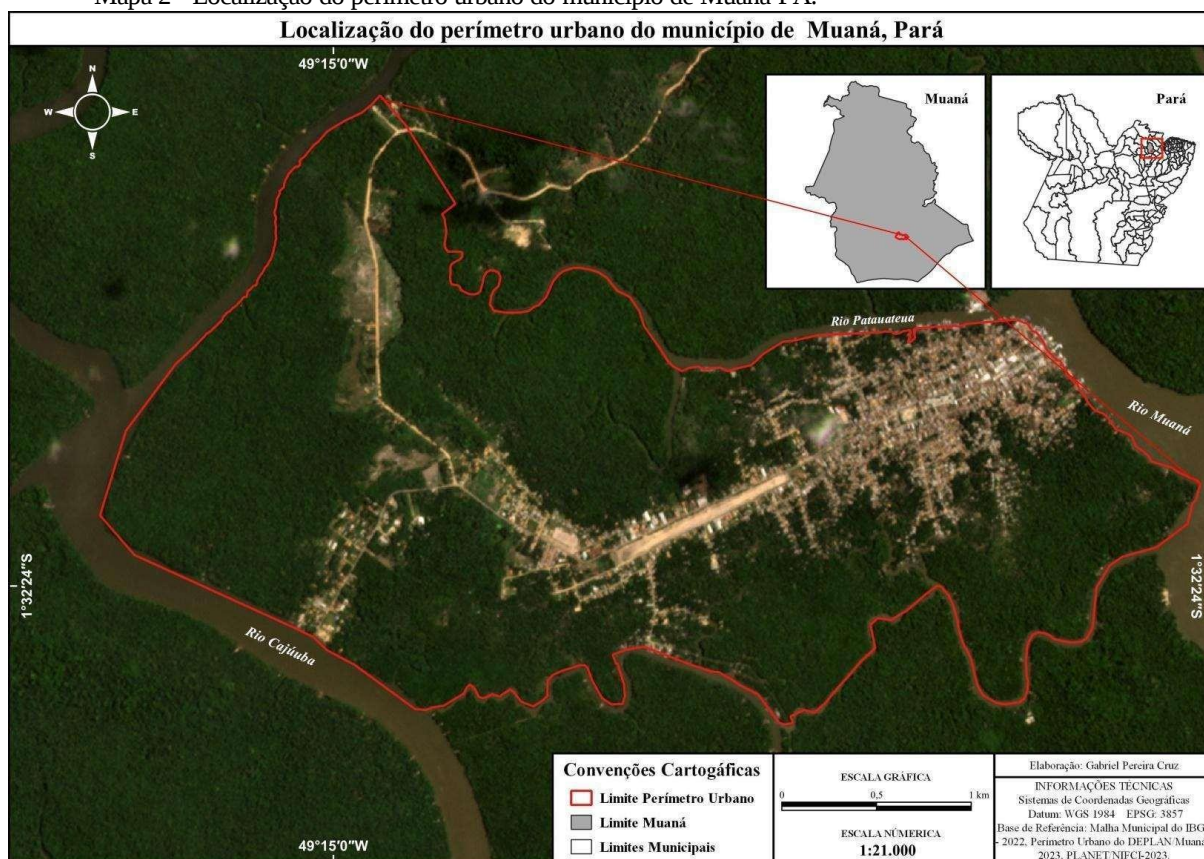
Muaná possui um sistema hidrográfico composto por inúmeros rios e igarapés sob influência de maré, configurando bacias hidrográficas conectadas. Nas partes sudeste e sul do município, a rede de drenagem é caracterizada por um entrelaçado de furos e igarapés, como visto na região de vila de São Francisco do Jararaca e no furo do Atatá Grande. Na parte norte do município, a rede de drenagem é constituída por rios em sua maioria de caráter temporário e inúmeros lagos que funcionam como principal receptor da precipitação pluvial, durante os meses de janeiro a maio.

A geologia local e embasada em sedimentos do Pós-Barreiras do Plioceno, e Depósitos Aluvionares Holocênicos, são formações mais recentes dentre o tempo geológico. Tem seu processo de formação ligada às variações de nível do mar e o transporte sedimentar oriundo disso. Essas coberturas se constituem de areias, pelitos e cascalhos de depósitos fluviais recentes

(depósitos aluvionares) e areias argilosas, friáveis a semiconsolidadas, finas a médias, amareladas ou esbranquiçadas e apresenta planície de maré (sedimentos Pós-Barreiras) (Vasquez et. al. 2008). Ademais, o município possui um conjunto de falhas sentido NE-SW e NW-SE. Fraturas no sentido NE-SW, NW-SE e N-S. Essas falhas e fraturas controlam a dinâmica dos cursos de drenagem da região, originando rios e igarapés.

O município está inserido nos domínios morfoestruturais dos Depósitos Sedimentares do Quaternário, tendo como sua unidade geomorfológica os Tabuleiros Paraenses com características de áreas planas e de inundação periódica. Há a ocorrência de 2 tipos de solos, sendo eles o Gleissolo Háptico encontrado nas áreas de várzea úmidas, topograficamente baixas, mal ou muito mal drenadas. Áreas de Floresta Ombrófila Densa e com relevo plano (IBGE, 2008).

Mapa 2 - Localização do perímetro urbano do município de Muaná-PA.



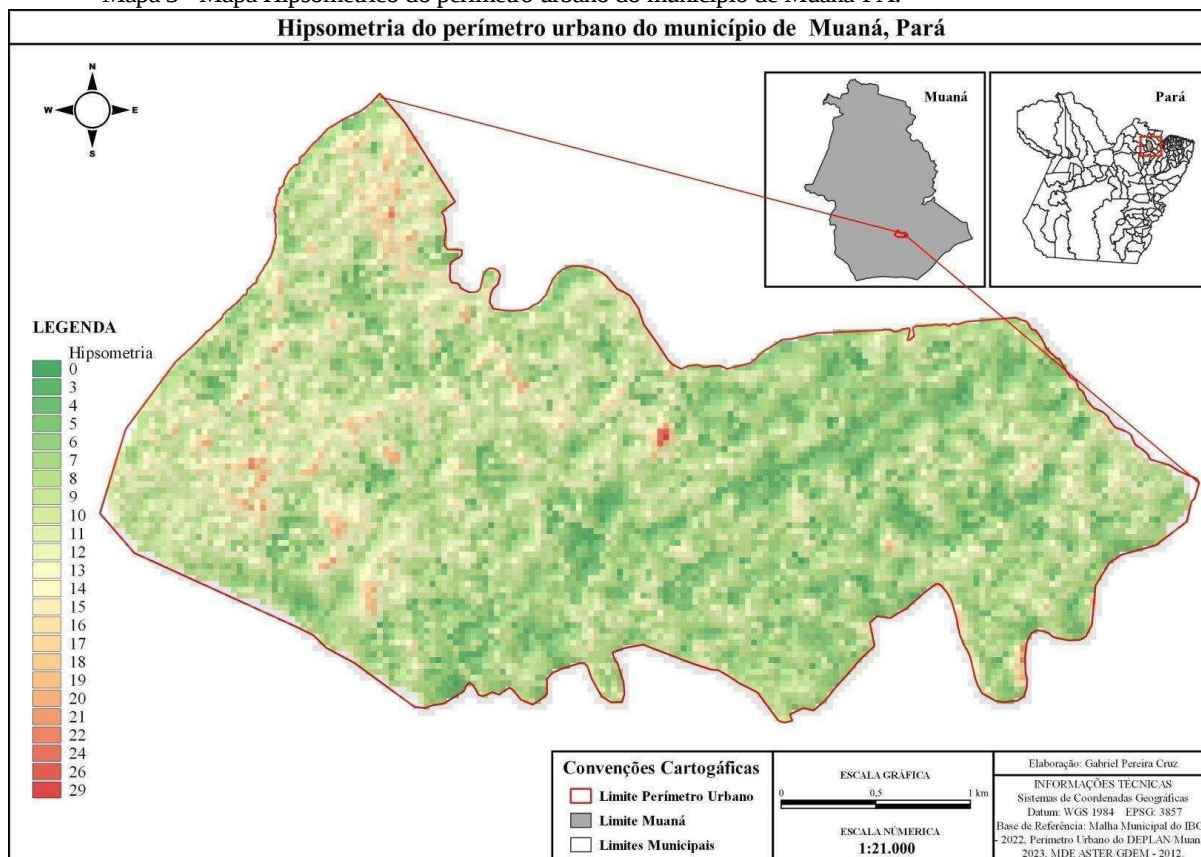
Fonte: Autor (2024)

O perímetro urbano do município de Muaná, será nosso campo de estudo para esse trabalho, neste local, está a maior concentração urbana do município e com maior concentração demográfica, com uma área de 9,98 km² e uma população de 17.485 pessoas, abriga a sede

municipal, centro administrativo do município, serviços de saúde, comércio e outros serviços. Essa característica, é um atrativo para as populações de regiões ribeirinhas, que buscam mais acesso a serviço, como de saúde por exemplo, fazendo muitas famílias saírem de regiões do interior do município e indo morar na cidade. Esse movimento reflete dinâmicas características das regiões centrais, uma delas é alvo neste estudo, as ocupações espontâneas, que neste caso se dá em áreas de inundações. Este perímetro urbano é recortado por igarapés e rios, e grande parte desse limite são áreas de inundação desses rios e igarapés, a parte de terra firme é muito menor e se encontra densamente ocupado e com valores de aquisição mais altos, dada a oferta de estrutura públicas em volta. Com tal dificuldade de acesso a terra, e com o intuito de se manter mais próximo do centro da cidade, a população acaba ocupando as áreas de inundação e margens dos rios e igarapés, construindo estruturas em palafitas e casas em madeira vão moldando e influenciando no aumento das ocupações diante das áreas de inundação.

A caracterização física do perímetro urbano de Muaná, é um passo fundamental para o reconhecimento das áreas alagáveis ou não, assim como conhecer as altitudes que podem sofrer com inundações. Devido tal necessidade, foi elaborado o mapa hipsométrico, que demonstra a altimetria do terreno através de cotas. O terreno do perímetro urbano apresenta elevações que vão de 0 a 29 metros, tendo morfologia de planícies aluviais, apresentando recortes feitos por igarapés e canais de marés. Ainda com base no mapa hipsométrico, podemos verificar que as áreas com altimetria mais baixa, correspondem com as áreas dos setores censitários classificados como Muito Vulnerável, assim como, através da imagem de drone, foi possível verificar que são as áreas mais densamente ocupadas. As áreas com maior altimetria, apresentam pouca ocupação, e essas poucas ocupam grandes áreas, como fazenda, sítios, clubes e latifúndios, que começam a ser loteados para a habitação.

Mapa 3 - Mapa Hipsométrico do perímetro urbano do município de Muaná-PA.



Fonte: Autor (2024)

A altimetria do terreno influenciou na classificação das manchas de inundação, obtidas na elaboração do mapa de suscetibilidade à inundação. O mapa foi elaborado através do modelo HAND, onde foi utilizado um limiar de 1000, que deixou mais detalhado as manchas de inundação, adotando as seguintes classes: 0 - 1m (Muito alta), 1-5m (Alta), 5-10m (Média), 10- 25m (Baixa) e de 25 - 100m (Muito baixa).

De acordo com Lima *et al.* (2020) a população do município de Ponta de Pedras, município limítrofe com Muaná, está exposta a inundações devido a ocupação imprópria em terras baixas, somado a escassez de investimentos e serviços direcionados a infraestrutura na área de saneamento básico. Este cenário se assemelha ao que está presente no perímetro urbano do município de Muaná, logo, dispondo das mesmas características, é possível afirmar que as populações que habitam as regiões de várzea no perímetro urbano de Muaná, estão expostas a inundações.

Diante do problema exposto, este trabalho busca definir a vulnerabilidade social desta área, pautada em indicadores sociais como, densidade demográfica, renda, idade, ocupação subnormal e educação, e realizar uma cartografia que espacializa os resultados das análises,

com o intuito de subsidiar políticas de ordenamento territorial, ponto chave para a diminuição e exposição ao risco de inundação.

4 SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO DO PERÍMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE MUANÁ-PA

4.3 Elaboração da cartografia das áreas suscetíveis a inundação

Para a elaboração da cartografia de áreas suscetíveis, foram adquiridos bases de dados vetoriais de setores censitários, limite municipal e limite estadual do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a imagem do radar ASTER-GDEM, que tem resolução espacial de 30 metros, corrigida por pares estereoscópicos em sua terceira versão, o que acentuou a qualidade radiométrica da imagem. O modelo apresenta uma variação de 284 metros e é informação essencial para a produção do MDE que compreende a área da sede municipal de Muaná-Pa, e assim auxiliar na elaboração do mapa de suscetibilidade à inundação. Esta imagem foi obtida no site da Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço-NASA.

O processamento do modelo digital de elevação (MDE) e o tratamento das informações cartográficas foi realizado com o auxílio dos softwares Quantum Gis 3.34 e Google Earth Pro, onde foi realizado o processo de recorte da do arquivo MDE pela área de estudo, concomitantemente, a compilação de arquivos vetoriais adquiridos, que serão base para a produção cartográfica.

A elaboração da cartografia de áreas suscetíveis a inundação, foi utilizada a metodologia do Hand Model, que fez o processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE), o software extrai automaticamente a rede de drenagem, e partindo do processamento da rede de drenagem do MDE, é gerada a topologia HAND (Rennó *et al*, 2008; Nobre *et al.*, 2011; Momo *et al.*, 2016).

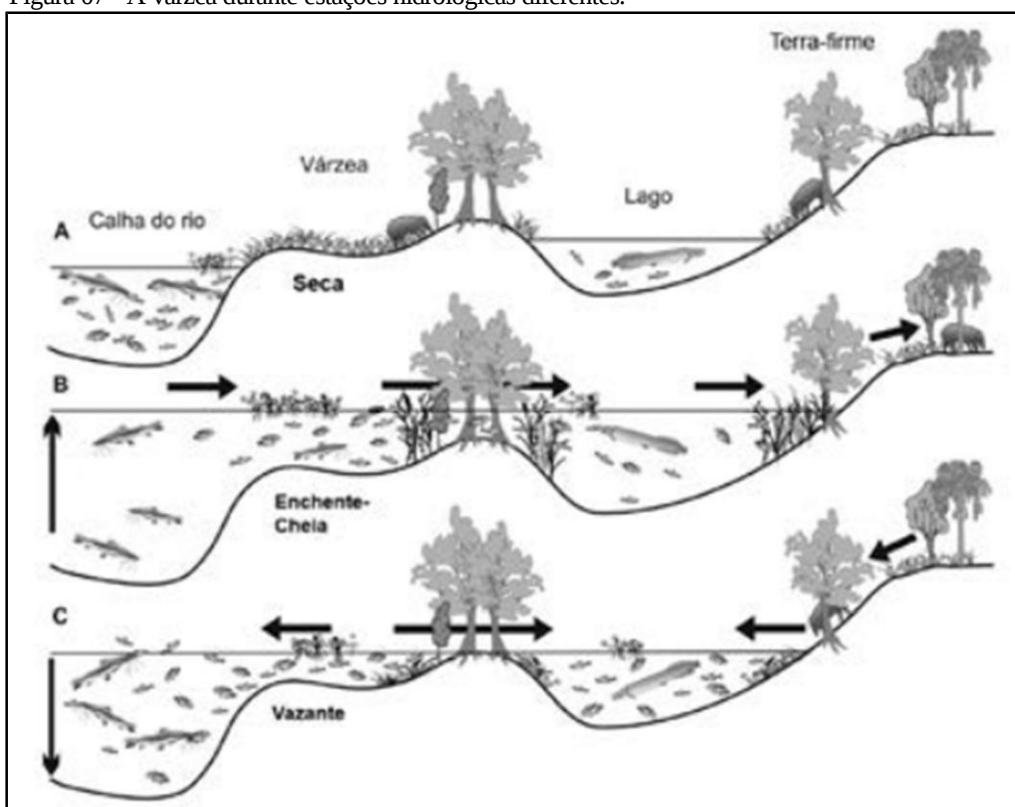
Portanto, o mapa de suscetibilidade à inundação do perímetro urbano do município de Muaná, foi elaborado através do modelo HAND, onde foi utilizado um limiar de 1000, que deixou mais detalhado as manchas de inundação, em ambiente do software QuantumGIS 3.34, foi realizada a reclassificação do arquivo raster HAND, adotando as seguintes classes: 0 - 1m (Muito alta), 1-5m (Alta), 5-10m (Média), 10-25m (Baixa) e de 25 - 100m (Muito baixa), essas classes serão a legenda que irá demonstrar as classificações das áreas suscetíveis ao evento de inundação.

4.4 Resultado e Discussão da Suscetibilidade a Inundação do Perímetro Urbano do Município de Muaná - Pa.

As características físicas de determinado ambiente, já pode influenciar diretamente no seu grau de suscetibilidade a inundações, considerando o que expressa Tucci (2009) e Magalhães *et. al.* (2011), áreas com cotas altimétricas baixas, são mais suscetíveis, pois são áreas planas e baixa declividade, o que deixa o processo de escoamento superficial mais lento, possibilitando cenários de inundação.

As áreas identificadas com manchas de grau de suscetibilidade Muito Alta, são áreas úmidas (várzea), que se constituem ecossistemas que ficam na interface entre ambientes terrestres e aquáticos, continentais ou costeiros, artificiais ou naturais, periodicamente ou permanentemente inundados por águas rasas ou com solos encharcados, doces, salobras ou salgadas, com comunidades de plantas e animais adaptadas à sua dinâmica hídrica, a extensão dessas áreas é definida pelo limite da inundação rasa ou do encharcamento periódico ou permanente

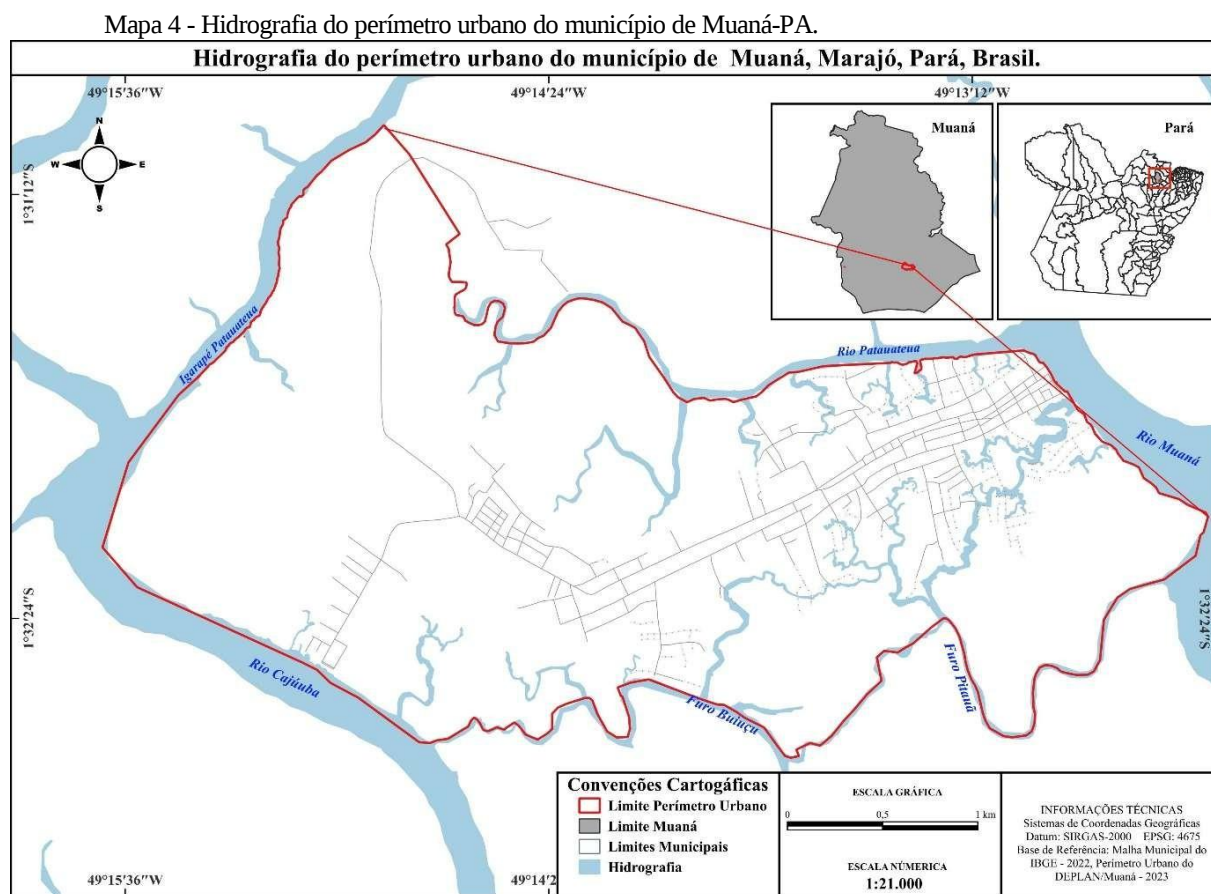
Figura 07 - A várzea durante estações hidrológicas diferentes.



Fonte: Junk *et al.* (2000)

Essas áreas de várzeas se apresentam nas cotas mais baixas do relevo, se estendendo às margens dos rios Patauateua, Muaná, Cajúuba e os furos, Buiucu, do Meio e do Curro, constituindo assim a malha hidrográfica do perímetro urbano do município. Ressalto também

os canais que são inundados de acordo com o regime das marés, que segue costurando o perímetro urbano até se finda em terra firme.

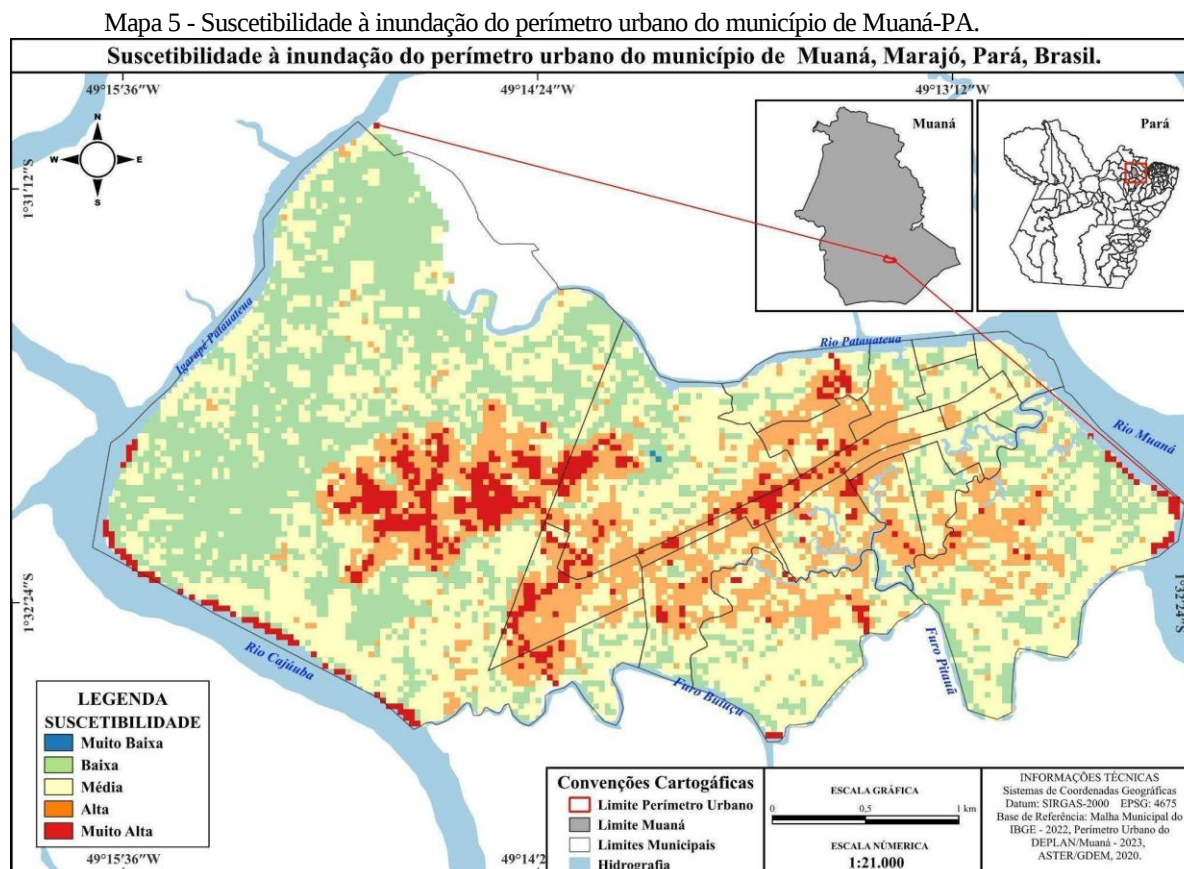


Fonte: Autor (2024)

A origem desses canais, são tanto naturais quanto antrópicas, pois, a atividade oleira vivenciada na sede do município no passado, deixou pequenas escavações no solo devido a retirada da argila. Essas escavações, próximas aos igarapés, começaram a ser inundadas em maré de enchente, construindo assim mais um canal de maré. Como visto, a ocupação das áreas de várzea no perímetro urbano é algo histórico, entretanto, mudando sua funcionalidade, antes, nas atividades oleiras e extrativista como do açai, e hoje, como área de moradias e comerciais.

Portanto, a análise da suscetibilidade à inundação é importante, pois identifica as áreas que necessitam de atenção no âmbito da prevenção e preparação de desastres. As manchas de inundação classificadas como Muito Alta, foram identificadas no setor censitário 1504901050000028, o maior setor em extensão (5,21 km²), neste setor é possível identificar áreas de várzeas com a presença de igarapés (sem nome oficial) e do Rio Patauateua, entretanto na área que apresenta a mancha de inundação, localidade conhecida como Nsa de Fátima, está ocorrendo intensa modificação antrópicas, como aterramento e pavimentação.

As manchas de vulnerabilidade Alta está presente em todos os setores, se concentra também no setor 1504901050000028, mas está ampliada também nos setores, 1504901050000031, 1504901050000054, 1504901050000055 e 1504901050000023, estes, compreendem as áreas de várzea das margens do Rio Patauateua, sofrem com regime de marés.



Fonte: Autor (2024)

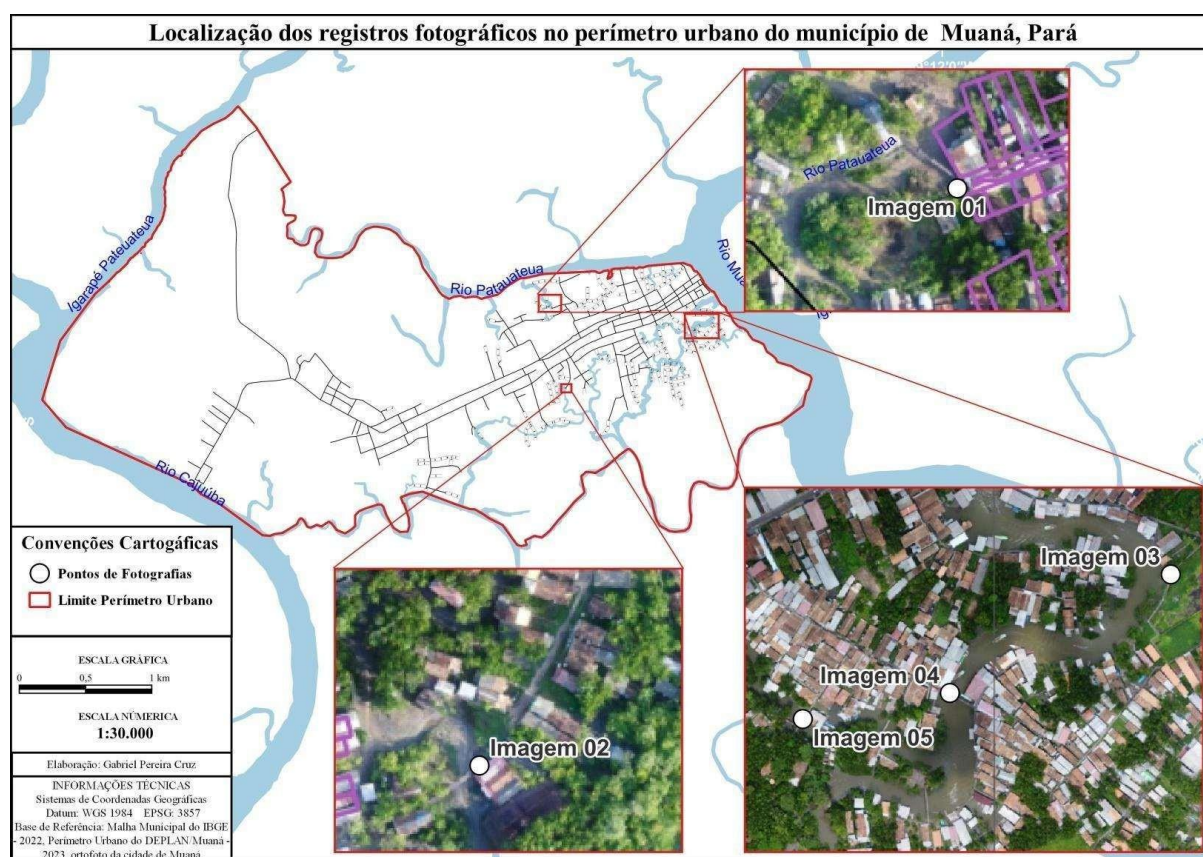
Pode-se pontuar que as manchas de suscetibilidade Média e Baixa, representam maiores áreas, compreendendo mais de 70% do setor 1504901050000028, se distribuem em todos os setores, e com uma área considerável no setor censitário classificado como Muito Pouco Vulnerável, precisamente sobre a região com maior ocupação no local. As áreas classificadas como Muito Baixa, possuem cerca de 1.800 m², e estão localizadas em uma região sem ocupação humana.

Concomitante a produção cartográfica, foi realizado verificações em campo, com o intuito de realizar registros fotográficos que demonstrasse as características dos locais, quanto a tipo de ambiente, em momentos na várzea, outro momento terra firme. Foi analisado também, no contexto da infraestrutura, como tipos de ocupação, tipo de via de acesso, se tinham acesso a rede água e esgoto, se tinham acesso a rede elétrica e sua localização em relação a mancha

de inundação. Para isso foi utilizado o aplicativo Timestamp Camera Free, que possibilitou registros fotográficos georreferenciados com data e hora visíveis e assim, auxiliando na localização da área para verificar sua vulnerabilidade.

Os registros fotográficos foram importantes para demonstrar as características das áreas estudadas. A imagem 1, está localizada na passagem nova 7, na comunidade Santos Mártires, setor Norte do perímetro urbano, correspondente ao setor censitário 150490105000054. É possível identificar um canal de maré que tem em suas margens ocupações em madeira, tendo como acesso uma passarela em madeira, popularmente conhecida como “pontes”. É uma área que sofre um processo de ocupação de maneira desorganizada, sobre a várzea e o leito do igarapé, no local há a rede de distribuição de água potável, mas não é um serviço de qualidade e funciona em determinados horários. O local também é usado para carga e descarga de materiais de construção, que se deslocam para outras áreas da cidade através de pequenas embarcações.

Mapa 6 - Pontos de localização dos registros fotográficos.



Fonte: Autor (2024)

Através do mapa X, pode verificar que a região da imagem 1 é um local com vários canais de marés que dividem a várzea em pequenas porções de terra que ficam sitiadas, tendo

acesso apenas pelas pontes. Isso é um fator que torna esses locais mais vulneráveis, devido a deficiência na mobilidade nessas áreas.

Imagem 1 - Área de palafitas na passagem nova 7, canal de maré do Rio Patauateua.



Fonte: Autor (2024)

Imagem 2 - Área de ocupação às margens do igarapé furo do Meio.



Fonte: Autor (2024)

A imagem 2, está localizada na passagem Bom Jesus, na Furo do Meio, lado Sul do perímetro urbano, no setor censitário 150490105000049, esse local é caracterizado por ser muito antigo e passou por diversas transformações ao longo dos anos, como o aterramento da rua e sua pavimentação asfáltica, que chegou sem obra de drenagem profunda. E presente também as ocupações às margens dos igarapés, assim como é possível ver uma estrutura em madeira para conter a erosão fluvial.

Imagem 3 - Área de ocupação sob o leito do Igarapé do Curro.



Fonte: Autor (2024)

Imagem 4 - Ocupações sob o leito de Igarapé do Curro, Ponte da Tv. Lira de Azevedo.



Fonte: Autor (2024)

As imagens 3, 4 e 5, estão localizadas no setor Leste do perímetro urbano, precisamente no Igarapé do Curro, setor censitário 150490105000034, foi um dos locais das primeiras ocupações sob igarapés, esse Igarapé tem fácil acesso ao Rio Muaná mesmo em momento de maré baixa (como visto na imagem), esse fator positivo tornou sua ocupação atrativo para a população que utiliza pequenas embarcações para sua locomoção. É evidente o tipo de ocupação predominante de estruturas de moradia em madeira.

Imagem 5 - Casa em madeira sob o leito de Igarapé do Curro.



Fonte: Autor (2024)

A imagem 4 e 5, está localizada lado Sul do perímetro urbano, na área de inundação e leito do Igarapé do Curro, setor censitário 150490105000002. É um local que apresenta uma maior ocupação das margens do Igarapé tanto por estruturas de moradia como de comércio. As imagens foram tiradas no dia 11 de Fevereiro de 2024, às 15:20 horas, após preamar, neste respectivo dia a cota de maré foi de 2,7 m (dados da tábua de maré para a localidade de Ponta Negra, Muaná). É possível identificar a proximidade do piso das estruturas de moradia para a lâmina d'água, indicando o risco de inundação em momentos de maré com maior cota e até mesmo de evento conjunto com alta pluviosidade.

O acesso a essas áreas é através de pontes em madeira, construídas tanto pela população quanto pelo poder público, o serviço de distribuição de água consegue assistir quase toda a totalidade da sede municipal, entretanto em muitas áreas a qualidade da água é duvidosa. O

serviço de coleta de esgoto é ausente nesses locais, portanto todo o esgoto sanitário é despejado no igarapé ou nas áreas de várzeas, poucas residências possuem fossa séptica. Os resíduos sólidos, são coletados diariamente, entretanto o descarte no leito do rio de resíduos domésticos e de caroços de açaí atribuem uma preocupação para o impacto ambiental dos igarapés que recortam a sede do município.

Portanto, fica evidente que para a análise da suscetibilidade à inundação do perímetro urbano de Muaná, é necessário uma análise nos aspectos físicos da área, principalmente da hidrografia e da altimetria do relevo. Além disso, avaliar as características de ocupação da área, tipo de estruturas, se há presença de infraestruturas de saneamento, assim como os aspectos sociais como renda, educação e idade das pessoas que lá estão.

5 VULNERABILIDADE SOCIAL À INUNDAÇÃO DO PERÍMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE MUANÁ-PA

Para a elaboração do índice de vulnerabilidade social será utilizado a metodologia do (IVULSI), que consiste em uma série de etapas que buscam identificar as áreas socialmente vulneráveis à inundação de uma bacia. Tendo em vista que a área estudada não compreende uma área de uma bacia, foi necessário adaptações em alguns indicadores, mas, mantendo a qualidade dos dados e seguindo os mesmos processos.

O processo de ocupação das regiões de várzea na área de estudo, é histórico, e se moldou ao longo dos anos, passando de áreas de extração de argila e vegetais, para áreas densamente ocupadas sem infraestrutura de saneamento básico e mobilidade. O novo formato de ocupação das áreas de várzea, o que a torna um ambiente vulnerável a sofrer com inundações, mesmo diante das moradias adaptadas (palafitas) a dinâmica das marés.

É neste capítulo que observamos a espacialização da Vulnerabilidade Social a Inundação - IVULSI, caracterizando os setores censitários quanto aos aspectos sociais, apresentados pelos indicadores, do perímetro urbano do município de Muaná-Pa. Este produto técnico corresponde a 2ª prioridade do Marco de Hyogo 2005-2005, que é “identificar, avaliar e observar de perto os riscos dos desastres, e melhorar os alertas prévios” (Brasil, 2022). É também relacionado à meta “Aumentar substancialmente a disponibilidade e o acesso a sistemas de alerta precoce de múltiplos perigos e informações e avaliações de risco de desastres para as pessoas até 2030”, uma das sete metas globais do Marco de Sendai 2015-2030.

5.1 Elaboração Cartográfica do IVULSI

Para a elaboração das cartografias de setores censitário e do Índice de Vulnerabilidade Social à Inundação, foram obtidas bases de dados vetoriais de setores censitários, limite municipal e limite estadual do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), imagem de drone e a base vetorial de vias, drenagem da sede e o limite sede municipal do Departamento Municipal de Planejamento de Muaná (DEPLAN) e base hidrográfica da Agência Nacional de Águas (ANA).

As bases vetoriais foram compiladas e processadas através do software Quantum GIS 3.34, sendo assim, para o mapa de Setores Censitários, foi utilizado os arquivos vetoriais do IBGE (2022), que corresponde ao limite dos setores censitário do município de Muaná. Após a inserção do vetor de setores no GIS, foi realizada a seleção de setores que correspondesse ao perímetro urbano do município, o que possibilitou o recorte dos setores necessários para

apresentar na cartografia. Finalizando, foi adicionado os demais vetores, como vias e hidrografia.

Para a construção da cartografia de Vulnerabilidade Social à Inundação, foi utilizado o shapefile que corresponde aos setores censitários do perímetro urbano. Nessa camada vetorial, de setores censitários do perímetro urbano, foi feita a mudança na simbologia dos setores, e assim permitindo adicionar a cor de classe para cada setor. A definição de cor foi com base nas classes definidas, seguindo a seguinte classificação:

- 1) Vermelho (#180000⁵) - Muito Vulnerável
- 2) Laranja (#ff7f00) - Vulnerável
- 3) Amarelo (#ffffff) - Medianamente Vulnerável
- 4) Verde Claro (#b2df8a) - Pouco Vulnerável
- 5) Verde Escuro (#2d8727) - Muito Pouco Vulnerável

Após a classificação de cores foi feita a adição dos shapefiles de limite do perímetro urbano, vias e hidrografia. Para validação do IVULSI, foi realizado levantamento de campo nos setores censitários, onde foram obtidos registros fotográficos que demonstram com clareza a situação das ocupações em áreas de inundação.

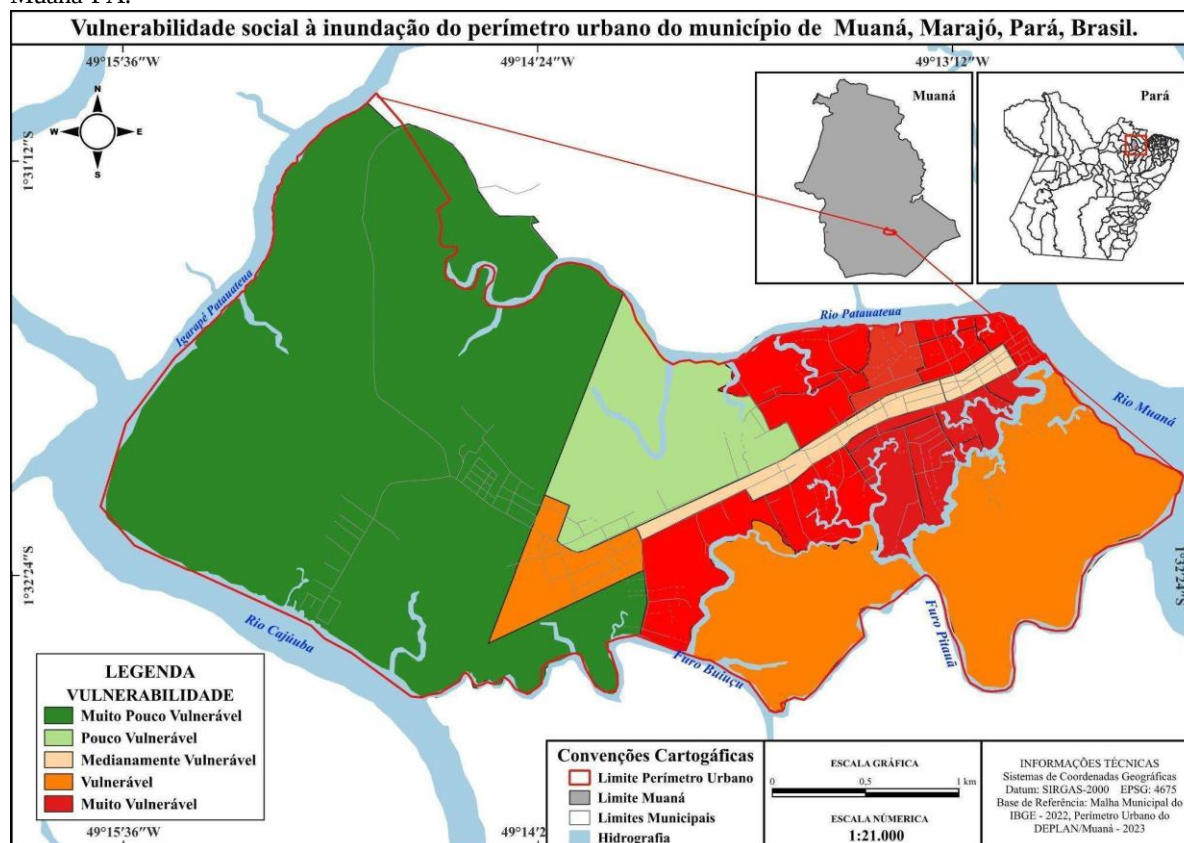
5.2 Resultado e Discussão do IVULSI do perímetro urbano do município de Muaná-PA

O IVULSI permitiu conhecer as seguintes situações: ausência de infraestrutura em saneamento, atribuição de um processo acelerado de urbanização sem planejamento e ordenamento nas áreas de várzeas, alta densidade demográfica, onde muitas regiões de ocupações apresentam grandes áreas residenciais típicos de palafitas que estão sujeito a inundações periódicas. Conhecendo as características apontadas anteriormente, e realizando sua avaliação, foi possível elaborar o mapa do Índice de Vulnerabilidade Social à Inundação, produto técnico deste trabalho.

A classificação de vulnerabilidade social à inundação, apresentou maior número de setores censitários com a classe Muito Vulnerável, tendo como maior peso para as classificações a densidade demográfica e se tinham características de Favelas ou Comunidades Urbanas.

⁵ Código correspondente à classificação de cores utilizadas em ambiente SIG.

Mapa 7 - Mapa de vulnerabilidade social à inundação do perímetro urbano do município de Muana  -PA.



Fonte: Autor (2025)

Dos dezenove setores censitários estudados, doze foram classificados com Muita Vulnerabilidade Social, e juntos somam 10.241 pessoas, isso implica em dizer que cerca de 58% da população da sede do município se encontra em situação muito vulnerável   inundação. Tais setores são caracterizados por alta densidade demográfica; características de Favelas e comunidades urbanas com ambientes sem ou precária infraestrutura de saneamento básico e mobilidade, com residências do tipo palafitas e vias em pontes de madeira; presença de rios e igarapés, como o Rio Patauateua e do Furo do Curro. Fatores que aumentam a vulnerabilidade da população local.

Quadro 12 - Classificação de vulnerabilidade social por setores censitários.

SETOR CENSITÁRIO	EDUCAÇÃO	IDADE	RENDIA	AGLOMERADOS SUBNORMAIS	DENSIDADE DEMOGRÁFICA	IVULSI	DESCRIÇÃO
150490105000002	1	3	3	5	5	4,4	Muito Vulnerável
150490105000004	1	1	3	1	5	3,3	Medianamente Vulnerável
150490105000021	1	5	4	5	5	4,6	Muito Vulnerável
150490105000023	5	3	4	5	5	4,7	Muito Vulnerável
150490105000025	1	1	3	5	5	4,3	Muito Vulnerável
150490105000026	1	1	4	5	5	4,4	Muito Vulnerável
150490105000028	1	1	4	1	1	1,4	Muito Pouco Vulnerável
150490105000031	1	3	3	1	5	3,4	Vulnerável
150490105000033	1	3	4	5	4	4	Vulnerável
150490105000034	1	3	4	5	3	3,5	Vulnerável
150490105000036	1	3	3	5	5	4,4	Muito Vulnerável
150490105000037	1	3	2	1	5	3,2	Medianamente Vulnerável
150490105000038	1	3	3	1	3	2,4	Pouco Vulnerável
150490105000048	1	1	3	5	5	4,3	Muito Vulnerável
150490105000049	5	3	4	5	5	4,7	Muito Vulnerável
150490105000052	1	1	3	5	5	4,3	Muito Vulnerável
150490105000053	5	1	4	5	5	4,6	Muito Vulnerável
150490105000054	1	3	4	5	5	4,5	Muito Vulnerável
150490105000055	1	1	4	5	5	4,4	Muito Vulnerável

Fonte: Autor (2025)

Do total de setores que se encontram no recorte do perímetro urbano, apenas 2 dois, não são atingidos por igarapés, rios ou canais de maré. Os outros 17, seguem com um ou mais corpo hídrico em sua área de abrangência. O setor 150490105000036, é onde se concentra portos hidroviários do município, que abrange a margem esquerda do Rio Muaná, tem a Norte a foz do rio Patauateua e a Sul a foz do igarapé do Curro. É um setor que apresenta alta densidade demográfica com um total de 1.147 moradores.

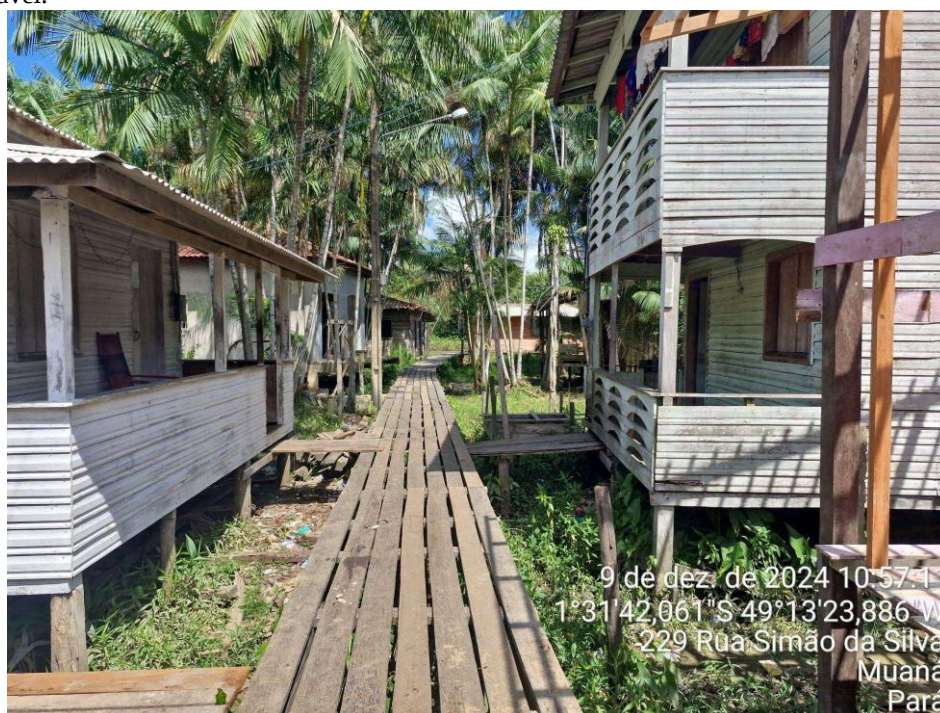
Imagem 6 - Registro Fotográfico de moradias em área de várzea, inserida no setor classificado como Muito Vulnerável



Fonte: Autor (2025)

A imagem 6, apresenta moradias em área de inundação do Furo do Curro, no setor 150490105000026 que teve classificação Muito Vulnerável. Essas áreas são inundadas durante as cheias de marés, é visível que as ocupações estão adaptadas a essa dinâmica, como exemplo a via de acesso em ponte de madeira, com cerca de 50 cm da lâmina d'água, em estado deteriorado, o que prejudica a evacuação em caso de saída do local com urgência, e o problema da mobilidade tem um peso maior para as crianças, idosos e gestantes que residem nessa área. Destaco também que o registro aponta uma densidade demográfica baixa, o que influenciou sua classificação. Neste setor, a população apresenta baixa renda, são pescadores e extrativistas que possuem renda proveniente de benefícios sociais e atividades de pesca e coleta do açaí.

Imagem 7 - Registro Fotográfico de moradias em área de várzea, inseridas nos setores classificados como Muito Vulnerável.



Fonte: Autor, 2025.

Na imagem 7, está localizada no setor 150490105000053, as características são semelhantes às da imagem 6, como residências em madeiras no estilo palafitas, com vegetação típica de regiões de várzea, com um agravante, essa área ainda está em expansão de ocupação, mesmo com infraestrutura de saneamento básico limitado a acesso a água encanada. Outro ponto de destaque são as vias de acesso a essa localidade, feitas com folhas de madeira sobre palafitas, isso é uma barreira a mais para a mobilidade do público mais vulnerável, como os idosos, crianças e deficientes físicos. Ao fundo da imagem é possível ver o rio Pataueteua, e com isso podemos afirmar que este registro foi feito na planície de inundação deste rio. O setor apresenta alta densidade demográfica e perfil de favelas e Comunidades Urbanas, o que contribuiu para receber a classificação de Muito Vulnerável.

Imagem 8 - Fotografias de ocupações na área de várzea, do Furo Buiucu e furo do Meio, setor 150490105000048.



Fonte: Autor (2025)

O processo de ocupação das áreas de várzea é contínuo e de modo acelerado, como pode ser visto na imagem 8, as fotografias A e B, apresentam áreas de ocupação recente na localidade da Rocinha II, setor 150490105000048, classificado como Muito Vulnerável. Essa localidade fica entre o furo Buiucu e furo do Meio, nele está instalado o porto da Rocinha, que recebe pequenas embarcações oriundas das comunidades do sudeste do município de Muaná, portanto sendo rota de acesso ao perímetro urbano.

Na fotografia A (imagem 8), podemos observar um caminho em madeira, funcionando como acesso às residências ao fundo da imagem, o local e área de inundação do furo Buiucu, como podemos verificar, a área alagada com uma concentração de vegetais típicos de área de várzea.

Na fotografia B (imagem 8), as características ambientais são semelhantes a da fotografia A, só que na área de inundação do furo do Meio. Tem um maior número de residências em madeiras de tipo palafitas, com uma passagem em pontes de madeiras. Essas áreas são o primeiro estágio de ocupação da várzea, logo após, devido os anseios dos moradores desses locais, o poder público começa o aterramento dessas áreas, o que era então ponte, se transforma em ruas. Entretanto, não é realizada canalização para a água oriunda dos rios, o que intensifica o acúmulo de água em algumas regiões.

Imagem 9 - Fotografias de tipos de vias na localidade da Rocinha II, setor 150490105000048.



Fonte: Acervo da COMPDEC-Muaná (2025)

Esse processo de aterramento e pavimentação nas áreas de inundação é observado nas fotografias A e B da imagem 9. Esse processo é realizado nos períodos com menor índice de chuvas, pois facilita a compactação e trabalhos das equipes. Na fotografia A (imagem 9), está em evidência a passagem Adaor Dias, localidade da Rocinha II, setor 150490105000048 (Muito Vulnerável). O local recebeu aterramento, e não apresenta nenhuma canalização subterrânea para trânsito da água de maré de enchente, pois está na área de inundação do Furo do Meio (agora à esquerda da foto A). Portanto a rua funciona como uma barreira para água, que em suas estações hidrológicas inunda essas áreas periodicamente.

A fotografia B (imagem 9), aponta a Travessa do Palheta, popularmente conhecida como estrada da Rocinha, é um local de ocupação antiga e já sofreu inúmeras intervenções do poder público ao longo dos anos. Como pode ser visto, a via está pavimentada em blocos de concreto, com linha de escoamento de água pluvial em suas margens. Entretanto, não apresenta canalização para trânsito da água de maré. É um local mais densamente ocupado, com residências em madeiras e alvenaria, nesta localidade há coleta de resíduos sólidos e distribuição de água encanada, dos serviços que chegaram em conjunto com as obras de pavimentação e aterramento.

O setor 150490105000049, foi classificado como Muito Vulnerável, apresenta elevada densidade demográfica, principalmente no trecho da Av. Manoel Izidro da Silva, e Pass. Bom Jesus, ambas vias importantes para o tráfego no perímetro urbano do município. Este setor apresenta também residências em palafitas sobre áreas alagadas, como visto na imagem 10, de

acordo com índice de educação, apontou um maior percentual de não alfabetizados, sendo 17% da população do setor, fator que acentua a vulnerabilidade social.

Imagem 10 - Fotografia de ocupações em área de várzea no final da passagem Otacílio Cavalcante, setor 150490105000049.



Fonte: Autor (2025)

A imagem 10, retrata residências em madeira no estilo palafitas em área de várzea, com a presença de vegetações típicas dessas áreas, é possível uma via de acesso em madeira que segue até um canal de maré que tem conexão com o furo do Meio. Esta área é inundada em momentos de maré cheia 2 vezes ao dia, fato que evidencia a classificação dada ao setor 150490105000049, de onde esta foto pertence.

É uma área pequena, dividida em lotes que variam entre 35 e 40 m², apresentando uma taxa de densidade alta. Em contexto de infraestruturas de saneamento básico e mobilidade, é visível que há a ausência e precariedade, são presentes formas de adaptação à região para continuar a ocupação.

Ademais, 3 setores censitários foram classificados como Vulnerável, 150490105000031, 150490105000033 e o 150490105000034, totalizando cerca de 2.840 pessoas, sendo pouca mais de 16% da população total do perímetro urbano, e são caracterizados por serem áreas extensas com ocupação localizada e concentrada em determinados pontos e possuem maior área de vegetação. O setor 150490105000034, é praticamente uma ilha, pois seus limites são o Furo do Curro, Rio Muaná e Furo Pitauã, assim como o setor

150490105000033, que se limita com o Furo do Meio a Norte, Furo Pitauã a Sudeste e Furo Buiçu a Sudoeste.

Portanto, são locais com importantes hidrografia, e que requerem atenção, pois é para onde está seguindo a expansão urbana, com novas moradias e comércio, induzidos por valores de terrenos mais baixos, sendo mais acessível à população de baixa renda, além da maior proximidade com o centro da sede municipal, que é uma região de comércio, principalmente de açai, e atividades portuárias.

2 setores receberam a classificação de Medianamente Vulnerável, sendo eles os setores 150490105000004 e 150490105000037, estes setores têm uma população, somada, de 1.175 pessoas, cerca de 6,7% da população da sede do município. Essa classificação se dá devido a área desses setores serem uma das mais estruturadas do município, é a região que se encontra em terra firme e é provida de pavimentação, acesso a rede de água, iluminação pública, onde se encontra as estruturas de serviços públicos, como o hospital, escolas e dos grandes comércios do município. Com isso, o acesso a terra nesses setores só é possível com um poder aquisitivo mais elevado, é uma das áreas da cidade mais valorizadas. As residências nesses locais são feitas de alvenaria e com mais de um pavimento, e possuem acesso às principais vias da cidade. É também uma região antiga em relação à ocupação, e já sofreu diversos tipos de aterramento para correção do relevo.

A imagem 11, setor 150490105000037, apresenta um alagamento que ocorreu na Rua Manoel Izidro durante uma precipitação com duração de 20 minutos, no dia 05 de dezembro de 2024, esse local está inserido em um setor medianamente vulnerável. Esse acontecimento ocasionou problemas para a locomoção de pedestres nesta parte da via. Destaco que no momento do registro as condições da maré se encontrava baixa, ou seja, o alagamento foi associado a ausência de drenagem da via.

Imagem 11 - Registro Fotográfico de área de alagamento inserido nos setores classificados como Medianamente Vulnerável.



Fonte: Autor (2025)

1 setor foi classificado como Pouco Vulnerável, setor 150490105000038, e nele há cerca de 729 pessoas morando, pouco mais de 4% da população da sede municipal, esse setor possuem uma grande área de vegetação preservada, possui pouca ocupação e estas se encontram (em sua maioria) em áreas de terra firme. Nesse setor estão localizados pequenos canais de maré que são atrelados ao Rio Patauateua.

A Imagem 12 está localizada no setor 150490105000038, na rua Dr. Sergio Mota, apresenta uma casa de 3 andares em área de várzea, é possível ver a vegetação ao fundo. Ao lado da casa há uma ponte em madeira, que atravessa o igarapé que ali se encontra, dando acesso às casas que estão mais adentro na região da vegetação. Portanto, mesmo o setor apresentando vulnerabilidade baixa, ele apresenta situação vulnerável, só que em menor disposição em relação aos demais setores.

Imagem 12 - Residências em área de várzea na rua Dr. Sérgio Mota, setor 150490105000038.



Fonte: Autor (2025)

Houve também um setor classificado como Muito Pouco Vulnerável, setor 150490105000028, que possui um total de 1.024 moradores, esse setor apresenta grande extensão territorial com uma área de 5,61 km², sendo o maior setor censitário do perímetro urbano. Apresenta igarapés e rios em suas bordas limítrofes, a norte com o rio Pataueteua, a sul com o furo Buiucu e a oeste com o rio Cajuúba. Entretanto, nas regiões de contato com os rios, o setor apresentou baixa ou nula ocupação, somado a isso, tem uma das menores densidades demográficas, esse setor apresenta uma grande especulação fundiária, pois é de terra firme e apresenta potencial habitacional, industrial e comercial. É também o setor que apresenta maior altimetria, assim como a maior mancha de inundação. Na imagem 12, é possível identificar moradias e construção próximo a áreas de várzea, além de um caminho em madeira, conhecida com “ponte” que segue para o meio do igarapé, indicando que há mais moradias para as áreas inundáveis.

Imagem 13 - Residências em área de várzea na comunidade Nsa. de Fátima, setor 150490105000028.



Fonte: Autor (2025)

A imagem 13, apresenta fotografias da comunidade Nsa. de Fátima, setor 150490105000028, classificado como Muito Pouco Vulnerável. Esta comunidade se formou nas redondezas do antigo lixão do município, tendo suas primeiras ocupações feitas por catadores e pessoas de baixa renda. Após a desativação do lixão, essa região começou a ser cobiçada por outras camadas populares que foram construindo casas em alvenaria, com mais de um pavimento, assim como foi local para construção de casas populares de programas habitacionais.

Na fotografia A (imagem 13), é possível verificar casas em ambiente de várzea, onde teve um aterramento para construção de uma rua, dá para perceber que o atual nível da rua está acima ou no mesmo nível do piso das casas, assim como na parede das casas na área não aterrada, a marca da água, derivada das marés de enchentes. Neste local a maioria das residências já são de alvenaria, e tem acesso a água e coleta de resíduos sólidos.

Na fotografia B (imagem 13), a visualização da região de vegetação começa a entrar em contraste com as residências e prédios que começam a ser construídos nesse setor. Essas construções são influenciadas pelas intervenções do poder público nessa área, como

aterramento de áreas alagadas para construção de vias, pavimentação asfáltica, iluminação pública, coleta de resíduos sólidos e abastecimento de água. Essas intervenções trazem benefícios e requalificam a localidade, entretanto, mesmo estando em um setor classificado como Muito Pouco Vulnerável, é necessário fazer intervenções nessas áreas que seja de acordo com as características do local, como drenagem profunda e superficial, que facilite o escoamento das chuvas e permita o processo natural de enchente das marés.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo teve por objetivo principal analisar a vulnerabilidade à inundação fluvial do perímetro urbano do município de Muaná-Pa, de modo a reconhecer áreas vulneráveis fornecendo como produto uma cartografia de vulnerabilidade social   inundação, além de informações para ações de prevenção e mitigação. Destaco também, que as cartografias elaboradas neste trabalho podem ser peças essenciais no que tange ao gerenciamento de riscos e desastres   inundação no município.

A metodologia utilizada (IVULSI), pode ser aplicada em qualquer área ou bacia, para identificar regiões que estão em situação de vulnerabilidade social   inundação, tendo como objetivo auxiliar no processo de orientação do planejamento urbano e subsidiar os passos de gestão de riscos. No que tange do mapa de suscetibilidade o produto foi útil para confirmar a vulnerabilidade das áreas dada a configuração hidrográfica da área de estudo, entretanto, para uma análise mais profunda e detalhada   necessário utilizar uma metodologia adequada a escala da área, tendo em vista que no trabalho o mapa de suscetibilidade não foi utilizado como indicador e sim como parte da caracterização da área, e para essa função a metodologia HAND MODEL cumpriu com os objetivos.

Os resultados deste trabalho mostram que nos setores censitários analisados mais de 70% foram classificados como Muito Vulnerável, 3 setores foram classificados como vulnerável, 2 setores como medianamente vulnerável, 1 setor como pouco vulnerável e 1 como muito pouco vulnerável.

Os indicadores socioeconômicos trabalhados mostram que os setores classificados como Muito Vulnerável, são os que apresentam maior densidade demográfica, perfil etária com mais crianças e idosos, população com renda mais baixa, ocupações com características de favelas ou comunidades urbanas e com os piores dados de educação relacionada à alfabetização. Além disso, estão localizados em áreas de várzea, como as do igarapé do Curro, Rio Muaná e Rio Patauateua.

Esses locais são ocupadas a décadas por pessoas de classes baixas, principalmente ribeirinhos que saem do interior do município e por mais facilidade ao acesso a terra nessa região dada a valor baixo, constroem suas moradias. Somado a isso, não há uma política de ordenamento territorial do município, que fiscalize as ocupações em área de várzea, tal fator corrobora para a continuação da exposição ao risco da inundação.

Os setores que apresentam classificação como Vulnerável, são áreas que estão em expansão urbana, com construções de casas em madeira e mista (madeira e alvenaria), estão

sendo aterradas, locais onde eram pontes em madeira estão sendo transformadas em ruas, com pavimentação. São áreas mais extensas e conseqüentemente ainda possuem grande parte vegetada, e com recortes feitos por igarapés e furos.

A classificação Medianamente Vulnerável foi dada a 2 setores, que possuem características como, ocupação urbana mais antiga, estruturas comerciais, estruturas de serviços públicos e melhor infraestrutura urbana. No entanto, se encontra em uma área que sofreu aterramento da rede de drenagem e de área de várzea.

As classificações Pouco Vulnerável e Muito Pouco Vulnerável foi dada 2 setores, sendo uma a cada, e apresentam características de pouco ocupação em grandes terrenos, assim como são áreas localizadas em terra firme, locais que não são atingidos por inundação fluvial, como maré alta e maré de sizígia.

O resultado do trabalho mostrou que a metodologia IVULSI atendeu as expectativas como metodologia de análise multicritério para determinar a vulnerabilidade social à inundação, em um formato simples, utilizando dados de fácil acesso, o que permite seu uso pelo público não especializado, e dispensa ferramentas mais sofisticadas de modelagem matemática na sua elaboração, confirmando a hipótese sobre as áreas mais vulneráveis do perímetro urbano do município de Muaná-Pa.

O IVULSI ainda permitiu conhecer as características dos locais em relação a ausência de infraestrutura em saneamento, o processo acelerado de urbanização sem planejamento e ordenamento nas áreas de várzeas, alta densidade demográfica, onde muitas regiões de ocupações apresentam grandes áreas residenciais típicos de palafitas que estão sujeito a inundações periódicas. Tais indicadores foram ponto chave para a elaboração do produto final deste trabalho.

O mapa do Índice de Vulnerabilidade Social à Inundação, apresenta os setores censitários e suas classes de vulnerabilidade, constituído de informações sociais e econômicas das pessoas que estão ocupando áreas de inundação. Tal mapa é um produto técnico para consulta da população local e poder público no âmbito do conhecimento das áreas de vulnerabilidade, e tem o objetivo de subsidiar as ações do poder público local para diminuição da vulnerabilidade nos locais identificados.

Destaco, que o produto final deste trabalho já está sendo utilizado pela gestão municipal do município para ações de reordenamento do território. Uma das ações será o remanejamento de moradores de áreas vulneráveis para um local que será produzido habitações populares, com toda infraestrutura de saneamento básico. As áreas desocupadas serão convertidas em áreas de proteção ambiental e serão geridas pelo município.

REFERÊNCIAS

ADGER, N.; BROOKS, N.; BENTHAM, G.; AGNEW, M.; ERIKSEN, S. **New indicators of vulnerability and adaptive capacity**. Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research Technical Report, n. 7, 2004.

ADGER, W.N. Vulnerability. **Global Environmental Change**. 16 (2006) 268–281.

AKSHA, S. K.; JURAN, L.; RESLER, L. M.; ZHANG, Y. **An Analysis of Social Vulnerability to Natural Hazards in Nepal Using a Modified Social Vulnerability**. Index. Int J Disaster Risk Sci. 2018.

ARTAXO, P. E. N. Mudanças Climáticas: Caminhos para o Brasil, 2023. **Revista Ciência e Cultura**. Disponível em: <https://revistacienciaecultura.org.br/?p=3633>. Acesso em: Set de 2023.

MINISTRY OF ECONOMY. **Aster Digital Global Elevation Model**. Trade and Industry of Japan (METI), 2022. Disponível em < <https://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/> > Acesso em: Mai. 2023.

BERKES, F.; COLDING, J.; FOLKE, C. (Eds.) **Navigating social ecological systems: building resilience for complexity and change**. Cambridge: Cambridge University Press. 2003.

BODSTEIN, A.; LIMA, V. V. A. DE; BARROS, A. M. A. DE. A vulnerabilidade do idoso em situações de desastres: necessidade de uma política de resiliência eficaz. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 2, p. 157–174, jun. 2014.

BORGES, N. S. **Gestão do risco de inundações urbanas**. 2013. 101f. Dissertação (Mestrado em Direito) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2013.

BRASIL. **Glossário de Defesa Civil: estudos de riscos e medicina de desastres**. 2. ed. Ministério da Integração Nacional. Brasília: MPO, Departamento de Defesa Civil, 1998.

BRASIL. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Saúde ambiental: Guia básico para construção de indicadores**. – Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2011.

BRASIL. **Lei Federal Nº 12.608, de 10 de abril de 2012**. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasília, 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm. Acesso em: 14 jan. 2025.

BRASIL. **Instrução Normativa - Ministério da Integração Nacional nº 1, de 24 de agosto de 2012**. Estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos Municípios, Estados e pelo Distrito Federal, e para o reconhecimento federal das situações de anormalidade decretadas pelos entes federativos e dá outras providências. Brasília, 2012. Disponível: <https://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/208?mode=full>. Acesso em: 13 jan. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil-SEDEC. **A P&DC e os 30 anos de desastres no Brasil (1991 – 2020)**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil, 2022.

CAMARINHA, P. Brasil é sétimo país com mais mortes por inundações no século. **Revista Valor Econômico**, 2024. Disponível em: <<https://valor.globo.com/brasil/noticia/2024/05/23/brasil-e-setimo-pais-com-mais-mortes-por-inundacoes-no-seculo.ghtml>>. Acesso em: 27 jan. 2025.

CANDIDO, D. H. **Inundações no município de Santa Bárbara d'Oeste, SP: condicionantes e impactos**, 2007. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

CARDONA, O. **A need for rethinking the concept of vulnerability and risk from a holistic perspective: A necessary review and criticism for effective risk management**. 2003.

CASTRO, A. L. C.. **Manual de Desastre: Desastres Naturais**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. 174p.

CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS (CRED). **Hydrological Disasters in South America**. 2024. Disponível em: <<https://files.emdat.be/2024/07/CredCrunch75.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2025.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC). **Condições atuais do enos: caracterização do el - niño**. São Paulo, 2022. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. **Panorama dos Desastres no Brasil de 2013 a 2023**. Brasília. 2024. Disponível em: https://cnm.org.br/storage/biblioteca/2024/Estudos_tecnicos/202405_ET_Panorama_Desastres_Brasil_2013_a_2023.pdf. Acesso em: 25 jan. 2025.

COSTA, M. L. G. **Mudanças Climáticas e Impactos Ambientais**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária), Universidade Federal de Santa Maria, campus Frederico Westphalen, Santa Maria. Frederico Westphalen, p. 24. 2023.

CUTTER, S.; BORUFF, B.; SHIRLEY, L. **Social Vulnerability to Environmental Hazards**. *Social Science* 84(1), 242-261. 2003. Disponível em: http://webra.cas.sc.edu/hvri/pubs/2003_SocialVulnerabilitytoEnvironmentalHazards.pdf

DANTAS, C. G. Experiências e aprendizado: Rio Aricanduva: prevenção, resposta e mitigação. In: SULAIMAN, S. N.; JACOBI, P. R. **Melhor prevenir: Olhares e saberes para a redução de risco de desastre**. São Paulo: IEE-USP, 2018.

DANTAS, M. E.; TEIXEIRA, S. G. Origem das paisagens. In: JOÃO, X. S. J.; TEIXEIRA, S. G.; FONSECA, D. D. F. (org.). **Geodiversidade do estado do Pará**. Belém: CPRM, 2013.

DARTHMOUTH FLOOD OBSERVATORY. **Atlas mundial de grandes eventos de enchente 1985-2002.** 2004. Disponível em: <
<https://floodobservatory.colorado.edu/archiveatlas/index.htm>>. Acesso em: 25 de Julho de 2024.

DILLEY, M.; CHEN, R.S.; DEICHMANN, U.; LERNER-LAM, A.L.;ARNOLD, M.; AGWE, J. **Natural disasters hotspots: a global risk analysis.** Washington, DC.: The World Bank; Hazard Management Unit; 2005. (Disaster risk management Series, 5).

DROBNE, S.; LISEC, A. **Multi-attribute decision analysis in GIS: Weighted linear combination and ordered weighted averaging.** Informatica, 2009, 33, 459–474.

EASTMAN, J.R.; WEIGEN, J.; KYEM, P.A.; TOLEDANO, J. Raster procedures for multi criteria/multi-objective decisions. **Photogram. Eng. Remote Sens.** v. 61, n. 5, p. 539–547, 2012.

ECKHARDT, R. R. **Geração de modelo cartográfico aplicado ao mapeamento das áreas sujeitas às inundações urbanas na cidade de Lajeado/RS.** Dissertação de Mestrado. LUME repositório digital: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS), 2008.

ESPINOZA J. C.; MARENGO, J. A.; SCHONGART J.;JIMENEZ, J. C. The new historical flood in the Amazon river compared to major floods of the 21st century: atmospheric features in the contexto of the intensification of floods. **Weather and Climate Extremes**, v. 35: p. 1- 12, 2022.

FAPESPA. **Região de Integração do Marajó: Perfil socioeconômico e ambiental.** Belém, Pará: [s.n.], 2021. Disponível em:
[gov.http://seplad.pa.gov.br/ppaonline/regiao/Apresentacao_Marajo.pdf](http://seplad.pa.gov.br/ppaonline/regiao/Apresentacao_Marajo.pdf). Acesso em: 11 jun. 2023.

FERREIRA, A. S. **Uso de Geoprocessamento e Geotecnologias no Mapeamento de Áreas de Vulnerabilidade à Inundação no Perímetro Urbano do Município de Humaitá, Sudoeste da Amazônia.** Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Amazonas, Amazonas, Humaitá, 2019.

FREITAS, C. M; XIMENES, E.F. Enchentes e saúde pública – uma questão na literatura científica recente das causas, consequências e respostas para prevenção e mitigação. **Revista Ciência e Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, 2012.

FREITAS, C. M. e et al. Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**. 2014, v. 19, n. 9, pp. 3645-3656. Rio de Janeiro, 2014.

FREITAS C. M; CARVALHO M. L; XIMENES E. F; ARRAES E. F; GOMES J. O.Vulnerabilidade socioambiental, redução de riscos de desastres e construção da resiliência - lições do terremoto no Haiti e das chuvas fortes na região Serrana, Brasil. **Cien Saude Colet**, Rio de Janeiro, v 17, p 1577-1586, 2012.

GARROTE, J.; BERNAL, N.; DÍEZ-HERRERO, A.; MARTINS, L. R.; BODOQUE, J. M. Civil engineering works versus self-protection measures for the mitigation of floods economic risk. A case study from a new classification criterion for cost-benefit analysis. **International Journal of Disaster Risk Reduction**. v 37, e101157, July 2019.

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**, v. 69, n.1, p. 61-69. 2017.

GONÇALVES, A. C. O. et al. Marajó. Em: IPEA (Ed.). **A função socioambiental do patrimônio da União na Amazônia**. Brasília: IPEA, 2016. p. 109–198.

GOMES, D. J. C.; BELTRÃO, N. E. S.; DIAS, Y. A. S. Cheias no Arquipélago do Marajó: Análise de Sazonalidade em Anos Extremos através de Processamento de Dados SAR no Google Earth Engine. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 20., 2023, Florianópolis. [**Anais eletrônicos**]. Florianópolis: INPE, 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/cheias-no-arquipelago-do-marajo-analise-desazonalidade-em-anos-extremos-atraves?lang=pt-br>. Acesso em: 24 Jan. 2025.

HILL, A. A.; CUTTER, S. L. Methods for determining disaster proneness. In: CUTTER, S. L. (ed). **American hazardscapes: the regionalization of hazards and disasters**. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 2002. p.13-36.

HORA, S.B.; GOMES, R.L. Mapeamento e avaliação do risco à inundação do rio Cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, MG, 2009.

HU, S.; CHENG, X.; ZHOU, D.; ZHANG, H. GIS-based flood risk assessment in suburban areas: A case study of the Fangshan District, Beijing. **Nat. Hazards** 2017, ed. 87, pág. 1525–1543.

JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, ed. 54, n.11, p.1593–1600. 1998.

JHA, R. K.; GUNDIMEDA, H. An integrated assessment of vulnerability to floods using composite index –A district level analysis for Bihar, India. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, ed.35, 2019.

JUNK, Wolfgang J. The Central Amazon river floodplain: concepts for the sustainable use of its resources. In: **The Central Amazon floodplain: actual use and options for a sustainable management**. [S.l.]: Backhuys Publishers, 2000. p. 75-94.

JUNK, W. J. et al. **Várzeas Amazônicas: desafios para um manejo sustentável**. Manaus: Editora do INPA. 2020. 310 p.

IBGE. **Censo Demográfico – 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

IBGE. **Censo Demográfico – 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

IBGE. **Cidades - Muaná**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

IBGE. **Monografias Municipais: Muaná**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

IBGE. **Mapa Geomorfológico do Estado do Pará**. Coordenação de Recursos Naturais e Ambientais. 1ª edição. Rio de Janeiro, 2008.

KITANO, H. Systems biology: a brief overview. **Science**, ed. 295, p. 1662–1664, 2002.

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

KOURGIALAS, N.N.; KARATZAS, G.P. Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas—A case study. **Hydrol. Sci. J.** 2011, 56, p. 212–225.

KUNDZEWICZ, Z. W.; SU B.; WANG, Y.; WANG, G.; WANG, G.; HUANG, J.; JIANG, T.

Flood risk in a range of spatial perspectives – from global to local scales. **Nat. Hazards Earth Syst. Sci.**, 19, p. 1319–1328, 2019.

LADWIG, N. I; ROSSO, E. P. Geoprocessamento aplicado no mapeamento de áreas de risco. In: LADWIG, N. I; SCHWALM H. (Org.). **Planejamento e Gestão Territorial: Experiências Sustentáveis**. Florianópolis: Insular, 2015, p. 57-76.

LIMA, A.; OLIVEIRA, L.; FONTINHAS, R.; LIMA, R. Ilha do Marajó: Revisão Histórica, Hidroclimatologia, Bacias Hidrográficas e Propostas de Gestão. **Holos Environment**. 5. 10.14295/holos.v5i1. 2005.

LIMA, A. C. B.; ALMEIDA, O.; PINEDO-VASQUES, M.; LEE T. M.; RIVERO, S.;

SCHRAMSKI, S.; MANSUR, A. V. Climate hazards in small and medium cities in the Amazon Delta and Estuary: challenges for resilience. **Environmental and Urbanization**, v. 32 (1): p. 195-212, 2020.

LIU, Y. A.; NGUYEN, A. K; LI, M.H. Avaliação da vulnerabilidade eco-ambiental espaço temporal vulnerabilidade por dados Landsat. **Ecol. Indico**, 80, p. 52-65 . 2017.

LUTGENS, F. K.; TARBUCK, E. J.; AND TASA, E. J. **Essentials of Geology**, 11e: New Jersey, Pearson Prentice Hall, 2012. 554 p.

MAHMOUD, S. H.; GAN, T. Y. **Multi-criteria approach to develop flood susceptibility maps in arid regions of Middle East**. J. Clean. Prod. 2018, 196, 216–229.

MAGALHÃES, I. L.; THIAGO, C. R.; AGRIZZI, D. V.; SANTOS, A. R. D. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos. **Cadernos de Geociência**, Salvador, v. 8, n. 2, p. 63 – 70. 2011.

MARENGO, J. A; JUNIOR, C. M. S.; THONICKE, K; BURTON, C; HALLADAY, K;

BETTS, R. A; ALVES, L. M; SOARES, W. R. Changes in Climate and Land Use Over the Amazon Region: Current and Future Variability and Trends. **Frontiers in Earth Science**, Curitiba. v.6, Dez. 2018. p.1-21.

MASKEY, A. **Navegando entre brumas: la aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgo en América Latina**. Ciudad de Panamá: Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina, Panamá, 1998.

MENEGASSO, J. D. **Mapeamento do risco de inundação na bacia hidrográfica do Rio Belo, Orleans, SC.** 2019. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc, Criciúma, 2019.

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

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

NASIRI, H., MOHD YUSOF, M. J, MOHAMMAD ALI, T. A. Uma visão geral dos métodos de avaliação de vulnerabilidade a inundações. **Sustentar**. 2016. Recursos de água. Manag. 2, 331-336. <https://doi.org/10.1007/s40899-016-0051-x>.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), 2023.** Disponível em: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm>. Acesso em: Mai de 2023.

NETHENGWE, NS. **Integrando GIS participativo e ecologia política para estudar vulnerabilidade das cheias na Província de Limpopo da África do Sul.** tese de doutoramento, Universidade da Virgínia, Departamento de Geologia e Geografia, Morgantown. 2007.

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

NGUYEN A.K., LIOU, Y. A ., TERRY, J. P. Vulnerability of Vietnam to typhoons: A spatial assessment based on hazards, exposure and adaptive capacity. **Science of the Total Environment**, 682 (2019) 31–46.

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

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONU. **News perspectiva global reportagens humanas** 2021. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2021/08/1759272>. Acesso em: Out. 2023.

ORGANIZAÇÃO DO TRATADO DE COOPERAÇÃO AMAZÔNICA (OTCA). **Gestão Integrada E Sustentável Dos Recursos Hídricos Transfronteiriços Na Bacia Do Rio Amazonas, Considerando A Variabilidade E Mudança Climática.** Belém, Pará, 2012.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DO CLIMA - IPCC. **Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima.** Brasília, 2021. Disponível em < https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/IPCC_mudanca2.pdf> Acesso em: Set. 2023.

PEREIRA, C. R. P. Índice de vulnerabilidade social a inundação como ferramenta de planejamento urbano. **Anais**, XVI Simpurb, p. 3702–3718, 2019.

PEREIRA, C. R. P. Planejamento Urbano e Gestão de Risco de Inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Bacanga – São Luís, MA. **Geoconexões**, v. 1, n. 18, p. 129–150, 2024.

PELLING, M. **The Vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience**. London: Earthscan, 2003. 256 p.

PENNA, D. S. F. A ilha do Marajó: relatório apresentado ao Exmº Snr. Dr. Francisco Maria Corrêa de Sá e Benevides. **Pará: Typographia do Diário do Gram Pará**, 1875. 81 p.

PIAZZA, G. A.; TORRES, E.; MOSER, P.; GOTARDO, R.; KAUFMANN, V; PINHEIRO,

A. Análise Espaço Temporal dos Dados Pluviométricos das Estações de Monitoramento Próximo à Bacia Hidrográfica do rio Concórdia, cidade de Lontras (Santa Catarina - Sul do Brasil) visando sua integração no contexto das mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia** , 31 (4, Supl. 1), 580-592. 2016.

PINE, J. C. **Natural Hazard Analysis: Reducing the impact of disasters**. Florida: Taylor & Francis Group, 2008. 314p.

PORTO, M. F. **Uma Ecologia Política dos Riscos**: princípios para integrarmos o local e o global na promoção da saúde e da justiça ambiental. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2007. 248p.

RADAMBRASIL, projeto. **Geomorfologia**. Departamento Nacional da Produção Mineral. Folhas: NA-21, NA-22, SA-21, AS-22, AS-23, SB-21, SB-22, SB-23, SC-21, SC-22. (Levantamento de Recursos Naturais).

RODRIGUEZ, J.; GUHA-SPIR, D.; VOS, F.; BELOW, R.; PONSERRE, S. **Annual disaster statistical review 2008: the numbers and trends**. Belo Horizonte:UFMG/CEDEPLAR. 2009.

SADEGHI-POUYA, A.; NOURI, J.; NABIOLLAH, M.; KIA-LASHAKI, A. **Developing na index for flood risk assessment in the western coastal region of Mazandaran, Iran**. Journal of Hydrology and Hydromechanics, vol. 65, p. 134-145, jun, 2017.

SANTOS, L. S; JUNIOR, O. M. S.; ROCHA, M. A. N. **Mapa de Múltiplas Ameaças: Um Sobreaviso à População Amazônica**. Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano, São Paulo. 2 edição, 2020. p.626-641.

SEDEC. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. **Manual de Proteção e Defesa Civil: Glossário de Proteção e Defesa Civil**. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, Departamento de Prevenção e Preparação. - Brasília : Ministério da Integração Nacional. 2017.

SEDEC. **Sistema Integrado de Informações sobre Desastres Naturais (S2iD)**. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Disponível: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>. Acesso: 24 jan. 2025.

SMIT, B.; BURTON, I.; KLEIN, R.; WANDEL, J. **An anatomy of adaptation to climate change and variability**. 2000. *Clim. Chang.* 45, 223–251.

SOBREIRA, F. G.; SOUZA, L. A. DE. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**. v. 2, n. 1, p. 79-97, 2012.

SOUISSI, D.; ZOUHRI, L.; HAMMAMI, S.; MSADDEK, M.H.; ZGHIBI, A.; DLALA, M.

GIS-based MCDM—AHP modeling for flood susceptibility mapping of arid areas, southeastern Tunisia. **Geocarto Int.** 2019, 1–25.

TANCREDI, A.C. **Hidrogeologia da região oriental da Ilha do Marajó**. Belém: IDESP. 1986.

TANG, Z.; ZHANG, H.; YI, S.; XIAO, Y. **Assessment of flood susceptible areas using spatially explicit, probabilistic multi-criteria decision analysis**. *J. Hydrol.* 2018, 558, 144–158.

TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (orgs). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre, ABRH/ ed. da UFRGS, 1993.

TUCCI, C. E. M. **Gestão das Inundações Urbanas**. Porto Alegre. Ministério das Cidades – Global Water Partnership - World Bank – Unesco 2005.

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas**. Porto Alegre: ABRH, 2007. 389 p.

TURNER, II, B.L.; KASPERSON, R.E.; MATSON, P.A.; MCCARTHY, J.J.; CORELL, R.W.;

CHRISTENSEN, L. **A framework for vulnerability analysis in sustainability science**. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100(14), 2003. 8074-8079.

VASQUEZ, M.L.; SOUSA, C.S.; CARVALHO, J.M.A. (orgs.). 2008. **Mapa geológico e de**

recursos minerais do Estado do Pará, escala 1:1.000.000. CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Belém, 2008. (Programa Geologia do Brasil (PGB), Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil, Mapas Geológicos Estaduais).

VENDRAME, I. F; LOPES, W. A. B. Análise do crescimento urbano e seus efeitos na mudança da dinâmica do escoamento superficial da bacia do Pararangaba. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO SBSR*, 12., Goiânia. **Anais[...]**. Goiânia: 2005. v. 1. p. 2555-2562.

VOJTEK, M.; VOJTEKOVÁ, J. **Flood Susceptibility Mapping on a National Scale in Slovakia Using the Analytical Hierarchy Process**. *Water* 2019, 11, 364; doi:10.3390/w11020364.