



UNIVERSIDADE  
E D U A R D O  
MONDLANE

**FACULDADE DE CIÊNCIAS**  
**Departamento de Matemática e Informática**

---

Trabalho de Licenciatura em  
Ciências de Informação Geográficas

**Susceptibilidade À Inundações Na Periferia Da Cidade De Maputo:  
Análise Geo-espacial Do Dano Potencial Em Infra-estruturas de  
Ensino e Aprendizagem**

**Autor:** Érico Joaquim Da Conceição Mathe

Maputo, Abril de 2025



UNIVERSIDADE  
EDUARDO  
MONDLANE

**FACULDADE DE CIÊNCIAS**  
**Departamento de Matemática e Informática**

Trabalho de Licenciatura em  
Ciências de Informação Geográfica

**Susceptibilidade À Inundações Na Periferia Da Cidade De Maputo:**  
**Análise Geo-espacial Do Dano Potencial Em Infra-estruturas de**  
**Ensino e Aprendizagem**

**Autor:** Érico Joaquim Da Conceição Mathe

**Supervisor:** Lic. Mário Chelengo, UEM

Maputo, Abril de 2025

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus pais Joaquim e Joana Mathe.*

## **Declaração de Honra**

Eu Érico Joaquim da Conceição Mathe, declaro por minha honra que o presente Trabalho de Licenciatura é resultado da minha investigação e que o processo foi concebido para ser submetido apenas para a obtenção do grau de Licenciado em Ciências de Informação Geográfica, na Faculdade de Ciências da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, Abril de 2025

---

(Érico Joaquim Da Conceição Mathe)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, sabedoria e força concedidas ao longo de toda a minha formação. Foi pela Sua graça que alcancei mais esta etapa da minha jornada.

Expressa a minha sincera gratidão ao meu orientador, Lic. Mário Azarias Chelengo, pelo acompanhamento, pelas orientações valiosas e pela dedicação demonstrada em todas as fases deste trabalho. A sua contribuição foi essencial para a concretização deste trabalho.

À Universidade Eduardo Mondlane, e em particular lic.Raimundo Bandeira, pelo apoio e suporte e a criação de um ambiente de aprendizagem e crescimento académico que me proporcionaram, ao e ao corpo docente do curso de Ciências de Informação Geográfica, pela excelência no ensino, pelo empenho e pelo conhecimento transmitido ao longo destes anos, deixo o meu mais profundo reconhecimento.

Aos meus pais, Joaquim Mathe e Joana Mathe, agradeço profundamente pelo amor, apoio incondicional e por sempre acreditarem em mim. A vós, dedico com carinho cada conquista alcançada. Aos meus irmãos, Jackson Hélder Machai, Dioclécio Mathe e Sídia Mathe, sou grato pelo companheirismo e encorajamento ao longo deste percurso.

Aos parceiros, amigos e colegas de quarto, Generosa da Graça, Eliana Luís Cumbane, Vado Carvalho, Carmone Massingue e Elves Macamo, deixo o meu reconhecimento pela amizade, convivência harmoniosa e apoio durante os momentos mais exigentes da vida académica.

Aos pastores Júlio Matável e Ivan Bombe, agradeço pelas orações, palavras de fé e incentivo espiritual que me sustentaram em muitos momentos.

Aos colegas de turma, em especial Júlio Banze e Diana Sozinho, a minha gratidão pela partilha de conhecimentos, pela colaboração e por toda a jornada trilhada juntos ao longo do curso.

A todos os que, de alguma forma, contribuíram directa ou indirectamente para a realização deste trabalho, o meu muito obrigado.

## RESUMO

Este trabalho descreve a criação de um modelo de susceptibilidade a inundações para a periferia da Cidade de Maputo. O modelo foi desenvolvido utilizando dados de topografia (altitude e declividade), rede hidrográfica, dados históricos de temperatura e precipitação, dados sobre o solo e os seu uso e cobertura. O método de Análise Hierárquica de Processos (AHP) foi crucial para ponderar as variáveis de forma consistente na criação do modelo de susceptibilidade a inundações. A validação do modelo foi realizada com dados das áreas inundadas no ano de 2024. O modelo revelou que aproximadamente 49% da periferia da cidade de Maputo apresenta um alto grau de susceptibilidade à inundações, devido principalmente as características naturais como a baixa altitude, declividade, proximidade a rede hidrográfica e ao tipo de solo. Estes factores tendem a ser exacerbados pela intervenção humana, que contribui significativamente para a impermeabilização dessas áreas através da construção. A validação do modelo de susceptibilidade, foi realizada através da confrontação do modelo com pontos levantados em áreas afectadas por inundações. O dano potencial, foi considerado como sendo o impacto que as inundações têm durante a vigência das aulas no ensino básico e médio, neste sentido, constatou-se que mais de 45% (o que corresponde a cerca de 63 escolas) destas infra-estruturas se localizam em áreas com um grau de susceptibilidade a inundações muito alto. Este trabalho demonstra a sua relevância ao permitir conhecer o grau de susceptibilidade a inundações na periferia de Maputo, podendo servir de apoio para a tomada de decisões estratégicas no planeamento urbano e na redução dos impactos causados por inundações.

**Palavras-chave:** Inundações, SIG, Análise Multicritério, AHP, Dano Potencial, Infra-estruturas Sociais

## **ABSTRACT**

This study describes the development of a flood susceptibility model for the periphery of Maputo City. The model was created using data on topography (altitude and slope), the hydrographic network, historical temperature and precipitation data, and data on soil and its use and coverage. The Analytical Hierarchy Process (AHP) method was crucial for consistently weighting the variables in the creation of the flood susceptibility model. The model was validated with data from the areas flooded in the year 2024. The model revealed that approximately 49% of the periphery of Maputo City has a high degree of susceptibility to flooding, mainly due to natural characteristics such as low altitude, slope, proximity to the hydrographic network, and soil type. These factors tend to be exacerbated by human intervention, which significantly contributes to the waterproofing of these areas through construction. Potential damage was considered as the impact that floods have during school lessons in basic and secondary education. In this sense, it was found that more than 45% (which corresponds to about 63 schools) of these infrastructures are located in areas with a very high degree of flood susceptibility. This study demonstrates its relevance by enabling the understanding of the degree of flood susceptibility in the periphery of Maputo, and can serve as support for strategic decision-making in urban planning and the reduction of the impacts caused by floods.

**Keywords:** Floods, GIS, Multi-Criteria Analysis, AHP, Potential Damage, Social Infrastructures

## **Abreviaturas**

AHP Analytic Hierarchy Process (Processo Analítico Hierárquico)

APA Agência Portuguesa do Ambiente

CENACARTA Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção

CMM Conselho Municipal de Maputo

ESA European Space Agency

IC Índice de Consistência

IR Índice Randômico

MDE Modelo Digital de Elevação

ONU Organização das Nações Unidas

OSM Open Street Map

QGIS Quantum Geographic Information System

RC Razão de Consistência

SIG Sistema de Informação Geográfica

SRTM Shuttle Radar Topography Mission

UEM Universidade Eduardo Mondlane

UNFPA Fundo de População das Nações Unidas

WORLDCLIM World Climate Data

## Índice

|   |     |
|---|-----|
| DEDICATÓRIA.....  | i   |
| Declaração de Honra.....                                | ii  |
| AGRADECIMENTOS.....                                     | iii |
| RESUMO.....   | iv  |
| ABSTRACT.....   | v   |
| Abreviaturas.....                                       | vi  |
| 1 Lista de Figuras.....                                 | ix  |
| 2 Lista de Tabelas.....                                 | x   |
| Introdução.....   | 1   |
| 1.1. Contextualização.....                              | 1   |
| 1.2. Definição do problema.....                         | 2   |
| 1.3. Perguntas de pesquisa.....                         | 2   |
| 1.4. Relevância.....                                    | 2   |
| 1.5. Objectivos.....                                    | 3   |
| 1.5.1. Objectivo geral.....                             | 3   |
| 1.5.2. Objectivos específicos.....                      | 3   |
| Revisão de Literatura.....                              | 4   |
| 2.1. Área de Estudo.....                                | 4   |
| 2.1.2. Clima.....                                       | 5   |
| 2.2. Eventos Hidrológicos Extremos.....                 | 5   |
| 2.2.1. Cheias e Inundações.....                         | 5   |
| 2.2.2. Tipos de Inundações.....                         | 6   |
| 2.2.3. Inundações Urbanas.....                          | 7   |
| 2.2.4. Inundações na Periferia da Cidade Maputo.....    | 8   |
| 2.3. Terminologias de Estudo de Inundações Urbanas..... | 9   |
| 2.3.1. Risco de Inundação.....                          | 9   |

|                                  |  |    |
|----------------------------------|--|----|
| 2.3.2.                           | Vulnerabilidade a Inundação .....  | 9  |
| 2.3.3.                           | Susceptibilidade à Inundação .....   | 10 |
| 2.4.                             | Danos por Inundações .....   | 11 |
| 2.4.1.                           | Danos Tangíveis e Intangíveis .....  | 11 |
| 2.4.2.                           | Danos Directos e Indirectos .....  | 12 |
| 2.5.                             | Análise Multicritério .....  | 12 |
| 2.5.1.                           | Análise Hierárquica de Processos .....   | 13 |
| 2.6.                             | Sistemas de Informação Geográfica no Mapeamento de Susceptibilidade à Inundações.....            | 17 |
| Material e Métodos .....         |  | 19 |
| 3.1.                             | Material .....   | 19 |
| 3.2.                             | Método.....  | 20 |
| 3.2.1                            | Fluxograma .....   | 21 |
| 3.2.2                            | Pré-processamento dos Dados.....   | 22 |
| 3.3.                             | Processamento.....   | 32 |
| 3.3.1.                           | Ponderação das variáveis pelo Método AHP .....   | 32 |
| 3.3.2.                           | Modelo de Susceptibilidade à Inundações.....   | 35 |
| Resultados e Discussão .....     |  | 36 |
| 4.1.                             | Susceptibilidade à Inundações na Periferia da Cidade de Maputo.....                              | 36 |
| 4.1.1.                           | Distribuição Espacial da Susceptibilidade à Inundações ao longo da Periferia da Cidade de Maputo | 37 |
| 4.2.                             | Validação do Mapa de Susceptibilidade.....   | 39 |
| 4.3.                             | Análise espacial do Dano Potencial em Infra-estruturas.....                                      | 39 |
| Conclusões e Recomendações ..... |  | 42 |
| 5.1.                             | Recomendações.....   | 42 |
| .....                            |  | 44 |
| Referencias Bibliográficas ..... |  | 44 |
| Anexos.....                      |  | 48 |

## 1 Lista de Figuras

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1:</b> Localização da área de estudo. Fonte: Autor .....  | 4  |
| <b>Figura 2:</b> Esquema de enchentes e inundações. Fonte: (Prochmann e Bonumá, 2014) .....                       | 6  |
| <b>Figura 3:</b> Inundações na Periferia da Cidade de Maputo (Fonte: O PAÍS, 2024). .....                         | 9  |
| <b>Figura 4:</b> Estruturação do Problema (adaptado de Ouma e Tateishi, 2014). .....                              | 14 |
| <b>Figura 5:</b> Modelos Dados SIG .....  | 18 |
| <b>Figura 6:</b> Fluxograma Metodológico .....  | 21 |
| <b>Figura 7:</b> Mapa de declividade ao longo da cidade de Maputo. Fonte: Autor.....                              | 23 |
| <b>Figura 8:</b> Mapa reclassificado de Hipsometria na Periferia Cidade de Maputo. Fonte: Autor .....             | 25 |
| <b>Figura 9:</b> Mapa reclassificado de uso e cobertura do solo na periferia da Cidade Maputo. Fonte: Autor ..... | 27 |
| <b>Figura 10:</b> Mapa Reclassificado de Temperatura .....  | 28 |
| <b>Figura 11:</b> Mapa reclassificado de Precipitação. ....   | 29 |
| <b>Figura 12:</b> Mapa Reclassificado de Distancia até cursos de água.....  | 30 |
| <b>Figura 13:</b> Mapa reclassificado de tipos de solo ao longo da Periferia cidade de Maputo.....                | 32 |
| <b>Figura 14:</b> Mapa de susceptibilidade à inundações na Periferia cidade de Maputo.....                        | 36 |
| <b>Figura 15:</b> Distribuição espacial da susceptibilidade à inundações.....                                     | 37 |
| <b>Figura 16:</b> Proporção dos graus de inundaçã .....   | 38 |
| <b>Figura 17:</b> Situação de Inundações na Periferia da cidade de Maputo.....                                    | 39 |
| <b>Figura 18:</b> Distribuição de instituições de ensino ao longo da cidade de Maputo.....                        | 40 |
| <b>Figura 19:</b> Dano potencial em infra-estruturas de ensino.....   | 41 |
| <b>Figura 20:</b> Locais visitados .....  | 48 |

## 2 Lista de Tabelas

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 1:</b> Grau de importância das variáveis. Fonte: (Leal et al., 2020).....  | 14 |
| <b>Tabela 2:</b> Matriz quadrada de comparação dos critérios .....   | 15 |
| <b>Tabela 3:</b> Matriz Normalizada.....   | 15 |
| <b>Tabela 4:</b> Índice de Consistência Randômico. ....  | 16 |
| <b>Tabela 5:</b> Classificação da Declividade.....   | 23 |
| <b>Tabela 6:</b> Reclassificação da hipsometria. <b>Fonte:</b> (Gossler,2023).....   | 24 |
| <b>Tabela 7:</b> Reclassificação de uso e Cobertura do solo. ....  | 26 |
| <b>Tabela 8:</b> Reclassificação da distância até cursos de água.....  | 30 |
| <b>Tabela 9:</b> Reclassificação dos tipos de solo na Periferia da cidade Maputo. Fonte: (Pereira Toniolo et al., 2022; Vargem, 2024)..... | 31 |
| <b>Tabela 10:</b> Matriz de comparação das variáveis.....  | 33 |
| <b>Tabela 11:</b> Matriz normalizada.....  | 33 |
| <b>Tabela 12:</b> Determinação de pesos. ....  | 34 |
| <b>Tabela 14:</b> Abrangência espacial das classes de riscos nas regiões Suscetíveis à inundações na Periferia da cidade de Maputo.....    | 38 |

## Introdução

Neste capítulo são apresentados os principais fundamentos que servem de base para a realização da pesquisa em questão

### 1.1. Contextualização

De acordo com o relatório situação da população Mundial produzido pela UNFPA (2023), a população mundial aumentou para 8 bilhões até novembro de 2022, e cerca de 56% habitam nas cidades ou zonas urbanas (ONU, 2022). Dados do relatório nacional elaborado pelo fórum de habitação das Nações Unidas em Moçambique (2023), indicam que cerca 38% dos cerca de 33.7 milhões de habitantes vivem em zonas urbanas.

Tucci (2007), afirma que o aumento da densidade populacional nos centros urbanos permite mudanças paisagísticas, mas, ainda mais importante, alteram significativamente o ciclo hidrológico natural, criando um ciclo hidrológico urbano, com uma nova dinâmica, em função das alterações do uso do solo e a sua crescente impermeabilização. Com a consequente impermeabilização dos solos e remoção dos cobertos naturais, a infiltração e a retenção são menores, logo alteram-se os factores de resistência, concretizando maiores volumes de escoamento e conduzindo ao aumento da velocidade do fluxo, diminuindo, assim, o tempo de concentração, isto é, o período temporal para concluir a trajectória entre qualquer ponto e a foz da bacia hidrográfica.

Estas mudanças dos fluxos à superfície induzem a inundações e fortes impactos nos meios urbanos. Portanto, sendo conhecidos os processos e suas consequências, torna-se possível planear a ocupação do espaço urbano com a infraestruturas e condições que evitem impactos económico-sociais sobre a sociedade(Tucci, 2007).

Diversos trabalhos científicos têm sido desenvolvidos utilizando-se de geotecnologias como ferramentas para o mapeamento das áreas de ocorrências de eventos extremos como é o caso das inundações(Zerger e Wealands, 2004). Dentre as ferramentas de destaque em geotecnologias, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) oferecem capacidades únicas na automatização, gestão e análise de dados espaciais para avaliação de riscos, apresentando um papel muito importante na análise de problemas de decisão multicritério (Ramos et al., 2022). Em termos de ferramentas SIG, os métodos multicritérios podem ser

aplicado por meio da álgebra de mapas com camadas em formato matricial (raster), por serem mais adequadas às análises de combinação matemática (Ribeiro, 2018).

Os mapas que resultam da análise espacial multicritério, são de grande importância para, pois estes podem servir de base para o desenvolvimento de planos de gestão de riscos de inundações, comunicando de forma eficiente a várias camadas da sociedade (incluído os tomadores de decisão, e os gestores municipais), promovendo deste modo um planeamento urbano sustentável (Ouma e Tateishi, 2014).

## **1.2. Definição do problema**

A cidade Maputo é ciclicamente afectada por cheias e inundações, que tem causado danos socioeconómicos e ambientais (Rodrigues, 2024). De acordo com o jornal da Agência de Informação de Moçambique (AIM), escrito por Come (2024), só em março de 2024, mais de nove mil famílias foram afectadas por inundações na cidade Maputo, os bairros da periferia, como Magoanine, Hulene, Zimpeto, Chamanculo, Inhagoia, Maxaquene, Romão e Polana Caniço são os que mais tem sido afectadas por inundações, e tem causado danos avultados como o deslocamento das famílias, perda de infra-estruturas públicas, o enceramento de vias de acesso, entre outros. A interrupção de serviços essenciais, como transporte público, abastecimento de água e energia eléctrica, agrava ainda mais as condições de vida da população. Deste modo, para periferia da Cidade de Maputo, urge conhecer o grau de susceptibilidade, bem como o dano potencial a que as infra-estruturas estão sujeitas.

Neste sentido, surgem as seguintes perguntas de pesquisa:

## **1.3. Perguntas de pesquisa**

1. Qual é o grau de susceptibilidade à inundações na periferia da cidade de Maputo?
2. Quais os danos socio-económicos potenciais associados à susceptibilidade as inundações na periferia?

## **1.4. Relevância**

O mapeamento das áreas susceptíveis às inundações é de capital relevância para o planeamento territorial, pois é uma ferramenta que subsidia a prevenção e controle de desastres naturais decorrentes da expansão urbana e rural, que está directamente associada ao grau de susceptibilidade e prejuízos causados por estes eventos (Victor e Uaila, 2023).

Este estudo faz a análise de susceptibilidade à inundações ao longo da periferia da cidade de Maputo, e permite a análise da distribuição do dano potencial, possibilitando deste modo, conhecer as zonas com maior susceptibilidade e os possíveis danos em infra-estruturas sociais (de ensino e aprendizado particularmente), servindo deste modo como uma ferramenta para tomada de decisão no âmbito do desenvolvimento sustentável, bem como na mitigação de possíveis danos em infra-estruturas sociais.

## **1.5. Objectivos**

### **1.5.1. Objectivo geral**

Modelar a susceptibilidade à inundações na periferia da Cidade de Maputo recorrendo a análise multicritério para diagnosticar o dano potencial em infra-estruturas sociais.

### **1.5.2. Objectivos específicos**

- Identificar as variáveis naturais e antrópicas que influenciam para a ocorrência de inundações na periferia da Cidade de Maputo;
- Implementar o método de análise hierárquica de processos, na ponderação das variáveis de acordo com a sua importância relativa;
- Modelar com base na análise multicritério a susceptibilidade às inundações periferia da Cidade Maputo;
- Analisar a distribuição geo-espacial do dano potencial em infra-estruturas baseado no modelo de Susceptibilidade a inundações na periferia da Cidade Maputo.

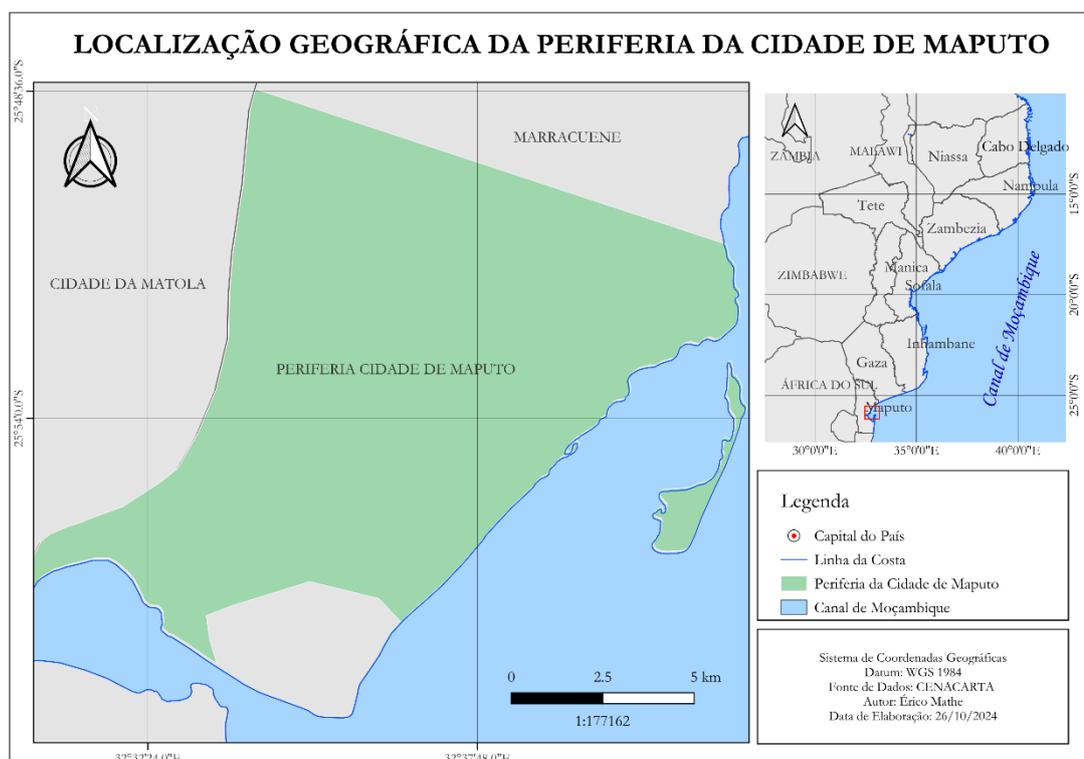
**Revisão de Literatura**

Esta secção apresenta os fundamentos que fornecem suporte teórico e conceitual das principais técnicas e processos compreendidos para a realização desta pesquisa.

**2.1. Área de Estudo**

O Município da Cidade de Maputo localiza-se a Oeste da Baía de Maputo onde desagüam os rios Tembe, Umbeluzi, Matola e Infulene, a uma altitude média de 47 metros e os seus limites correspondem às latitudes 25° 49' 09" S (extremo norte) e 26° 05' 23" S (extremo sul) e às longitudes 33° 00' 00" E (extremo leste considerada a ilha de Inhaca) e 32° 26' 15" E. A Norte, a Cidade de Maputo faz fronteira com o distrito de Marracuene, a Noroeste e Oeste com o Município da Matola, a Oeste com o distrito de Boane, e a Sul com o distrito de Matutuíne, todos pertencentes à província de Maputo (CMM, 2021).

O Município da Cidade de Maputo conta com uma área de 346,65 km<sup>2</sup>, e até 2019 a cidade de Maputo contava com uma população de cerca de 1 122 607 habitantes, incluindo os territórios da Catembe e Ilha de Inhaca (CMM, 2021). A Cidade de Maputo tem uma área de aproximadamente 173.67 Km<sup>2</sup>.



**Figura 1:**Localização da área de estudo. Fonte: Autor

A divisão administrativa em vigor, o Cidade de Maputo subdivide-se em 5 Distritos (Unidade Administrativa Autárquica) e 61 bairros, sendo o distrito municipal kaMpfumu o que representa a zona mais urbana do Município, constituindo o centro da cidade de Maputo. Os distritos municipais de Nhlamankulu, kaMaxakeni, kaMavota e kaMubukwana localizam-se na zona mista, constituindo a cintura imediata do núcleo urbano da Cidade de Maputo, delimitando-a das áreas mais suburbanas e de expansão municipal mais recente (Cumbene, 2015).

### **2.1.2. Clima**

O Clima de Maputo é influenciado pelo sistema de anticlones tropicais do Oceano Índico, com ventos predominantes de Este, Sul e Oeste, o que torna num clima com certas características tropicais, mais propriamente um clima subtropical. Durante a maior parte do ano, de Setembro a Maio, a temperatura média é geralmente superior a 20°C, situando-se nos restantes meses entre os 10°C os 20°C. A estação seca, mais fresca, corre de Junho a Agosto, enquanto os meses de Setembro á Maio predomina a estação quente e chuvosa onde a precipitação pode atingir os 1.000 mm (CMM, 2019).

## **2.2. Eventos Hidrológicos Extremos**

Os eventos hidrológicos extremos são uma realidade que de forma recorrente e sistemática tem agravado a vulnerabilidade de várias comunidades em Moçambique, pois estes são responsáveis pela ocorrência de desastres naturais como as cheias e inundações (Nipassa et al., 2023). Os eventos hidrológicos extremos estão consequentemente ligados à ocorrência de precipitações extremas. Essas precipitações, aliados aos problemas típicos das cidades, causam cheias, inundações, ou seja, o transbordamento do nível do rio (Hoffmann e Mendonça, 2012).

### **2.2.1. Cheias e Inundações**

É comum o uso de palavras como enchente (ou cheias) e inundação relacionadas ao nível de água atingido num período chuvoso ou por ocasião de uma chuva isolada. É importante ressaltar a diferença existente entre estes dois fenómenos.

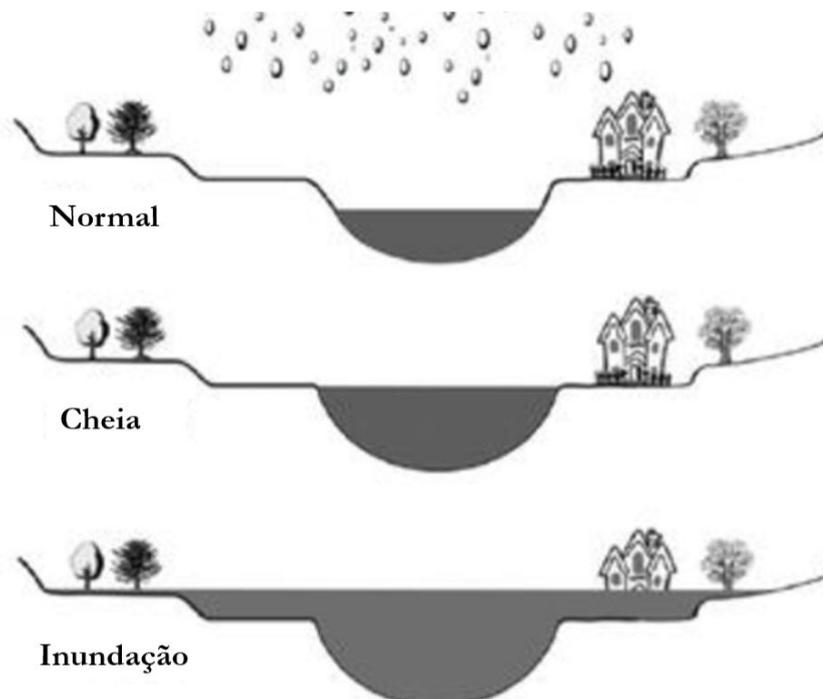
Entende-se por cheia, como a elevação acentuada do nível de água, mantendo-se esta dentro do próprio leito normal do curso de água natural, enquanto a inundação consiste em uma elevação incomum do nível água de tal modo que a água transborda podendo gerar prejuízos matérias e riscos de vida (Prochmann e Bonumá, 2014, citando Barbosa Júnior, 2014).

Farias e Mendonça ( 2019), afirmam que inundações ocorrem principalmente pelo processo natural no qual o rio ocupa seu leito maior, de acordo com os eventos chuvosos extremos. Por outro lado, a inundação pode ser definida como o extravasamento das águas do canal de drenagem principal de rios e

córregos para as áreas adjacentes tais como várzeas e leito maior (Prochmann e Bonumá, 2014 citando Ribeiro, 2009).

Farias e Mendonça (2019) citando Tucci (2007), definem enchentes ou cheias como o fenômeno que ocorre devido ao aumento gradual ou repentino da vazão em decorrência de processo natural do ciclo hidrológico ou alterações feitas na bacia hidrográfica.

A figura 2 ilustra ou representa três níveis de água atingidos por um curso de água.



**Figura 2:**Esquema de enchentes e inundações. Fonte: (Prochmann e Bonumá, 2014)

Pode-se concluir a partir do esquema acima apresentado que as cheias podem causar inundações, no entanto é importante referir que nem todas as inundações são decorrentes das cheias. De acordo com Ramos (2022) citando Chow (1956), as cheias são fenômenos hidrológicos temporários, enquanto as inundações ainda que na sua maioria sejam temporárias, estas podem ser definitivas (à escala de uma vida humana), podendo isto ser ocasionado pela submersão de terrenos costeiros devido a ao aquecimento global, ou mesmo a subida acentuada do nível do mar.

### 2.2.2. Tipos de Inundações

As inundações podem ser decorrentes de várias causas, e desta forma originando-se vários tipos de inundações como poderemos ver a seguir. De acordo com Agência Portuguesa do Ambiente- [APA] (2015) e Ngovene (2019), as inundações podem ser classificadas como:

- a) **Inundações costeiras:** estas são resultantes da elevação do nível médio do mar acima do seu estado normal, devido à acção combinada de forças oceânicas e atmosféricas. Estas ocorrem, com maior frequência, em zonas costeiras e estuarinas regiões onde rios desaguam no mar, sendo que, nestes casos, o escoamento fluvial pode intensificar o grau de inundação. Três factores principais influenciam directamente este tipo de evento, sendo estes a maré alta, a elevação do nível da água causada por condições meteorológicas extremas (como tempestades) e a acção das ondas. A maré alta contribui para o aumento do nível básico da água junto à costa, sendo que a pressão atmosférica baixa e os ventos intensos associados às tempestades provocam a chamada maré de tempestade, elevando ainda mais o nível das águas; e, adicionalmente, as ondas transportam energia que empurra a massa de água para o interior, promovendo a intrusão do mar sobre a terra firme. A actuação conjunta destes factores pode desencadear inundações significativas, sobretudo em áreas de baixa altitude e elevada exposição costeira
- b) **Inundações derivadas da ocorrência de precipitações intensas:** também por vezes designadas por inundações pluviais, são provocadas directamente pelo escoamento superficial ou são resultantes da excedência das redes de drenagem em locais naturais ou construídas.
- c) **Inundações fluviais:** são tipicamente associadas a cheias na rede de drenagem natural que transborda para o leito de cheia. Sendo um processo natural com períodos de retorno mais elevados que resulta particularmente em inundações quando os leitos de cheia são ocupados sem ter em devida consideração este processo.
- d) **Inundações urbanas:** são causadas pelas chuvas intensas, sobrecarga dos sistemas de drenagem artificiais, cheias, subida do lençol freático e chuvas com défice de capacidade de drenagem superficial.

### 2.2.3. Inundações Urbanas

De acordo com Tucci (2007) as inundações em centros urbanos ocorrem desde a antiguidade. As inundações urbanas ocorrem quando as águas dos rios saem do leito de escoamentos devido á falta de capacidade de transporte de um destes sistemas e ocupam áreas onde a população utiliza para moradia, transporte, comércio, entre outros. As inundações urbanas podem ser ocasionadas pelo comportamento natural dos rios, bem como podem ser ampliados pelo efeito das alterações produzidas pelo Homem na urbanização, tais como a impermeabilização das superfícies através da pavimentação de ruas, construção de edifícios, etc. Desta forma, segundo Rodrigues, (2019) citando Sousa et al. (2016), a análise de inundações urbanas deve levar em consideração a forma pela qual esta ocorrem, podendo ser:

- **Antrópicos:** Sistema de drenagem, ocupação da área de várzea, presença de resíduos sólidos na drenagem, assoreamento do canal de drenagem, impermeabilização dos terrenos, retirada da vegetação e urbanização.
- **Naturais:** clima (pluviosidade), nível da maré, baixa topografia, estrangulamento da drenagem, vegetação na área, permeabilidade do solo na área (agentes de origem natural).

#### 2.2.4. Inundações na Periferia da Cidade Maputo

Em Moçambique, os centros urbanos são cada vez mais atractivos por concentrar infra-estruturas de serviços, emprego, educação entre outros. Contudo, a oferta limitada de terra, o alto custo de vida e a falta ou a ignorância de políticas efectivas de gestão e ordenamento territorial e de habitação para responder ao crescimento populacional resultam no surgimento de bairros cujas suas infra-estruturas na maior parte não apresentam boa qualidade, e estas servem a uma grande densidade populacional. É importante referenciar que esses espaços muitas vezes estão em áreas susceptíveis a eventos extremos, em que a inundação se afigura como um dos mais evidentes (Victor e Uaila, 2023).

Neste sentido é importante referir que cidade Maputo é ciclicamente assolada por inundações, com uma precipitação média que varia entre 800 e 1200 milímetros, esta que por sua vez tem causado danos socio-económicos e ambientais, com destaque para a destruição de infra-estruturas públicas e privadas, deslocações forçadas de pessoas e bens, entre outros (Rodrigues, 2024).

A zona periférica da Cidade de Maputo é a que mais se ressentem quando das inundações, e isto dá-se devido a alguns factores, como o facto de esta apresentar a topografia baixa e plana, o que segundo alguns autores aumenta a predisposição de uma área para ocorrência de inundações. Nipassa (2023) acrescenta que, a ocupação desordenada do solo, a construção em zonas de cursos de água e o crescimento acelerado da cidade, como principais causas de eventos de inundação com consequências desastrosas a curto, médio e longo prazo.

Deste modo podemos afirmar que a situação de inundações ao longo da periferia da cidade de Maputo nos últimos anos, é ocasionada pela predisposição natural da periferia, devido a sua topografia, acrescido de factores antrópicos, como o aumento da densidade populacional, construções desordenadas, entre outros.



**Figura 3:** Inundações na Periferia da Cidade de Maputo (Fonte: O PAÍS, 2024).

### **2.3. Terminologias de Estudo de Inundações Urbanas**

Em estudos relacionados à inundações urbanas é importante indicar e diferenciar as terminologias usadas e os conceitos aplicados, por existirem terminologias variadas e por vezes podem apresentar-se incoerentes. Nesta subsecção, serão apresentadas e discutidas algumas terminologias ligadas ao estudo ou análise das inundações, destas destacam-se por sua vez: Risco, Vulnerabilidade e Susceptibilidade (Fernández, 2015).

#### **2.3.1. Risco de Inundação**

De acordo com Fernandez (2015), conceito de risco tem vários significados e apresenta múltiplas dimensões relacionadas com as questões de segurança socio-económicas e ambientais. Esses significados diferentes, reproduzem as necessidades de determinados decisores e como resultado, não existe uma definição específica para o risco. O termo risco é um termo utilizado para relacionar potenciais consequências, positivas ou negativas, ligadas a uma decisão, acto, facto específico.

No contexto de análise das inundações, pode-se definir risco como a probabilidade de perdas e prejuízos decorrentes das inundações.

#### **2.3.2. Vulnerabilidade a Inundação**

Fernandez (2015), apresenta o termo vulnerabilidade como sendo um termo muito utilizado em trabalhos relacionados a avaliação de risco. Neste sentido a vulnerabilidade refere-se à propensão dos elementos expostos, tais como os seres humanos, os seus meios de subsistência e o seu património, para sofrer os efeitos adversos dos eventos, que neste caso são as inundações.

Para Cardona (2003), citado por Queiroga, (2018), a vulnerabilidade representa a susceptibilidade ou predisposição económica, política, física e social de uma comunidade sofrer danos caso ocorra um fenómeno natural (ou de origem antrópica) que a desestabilize.

Importa também referir que a vulnerabilidade opera apenas quando o risco está presente, sem risco, vulnerabilidade não tem efeito, razão pela qual é importante fazer a distinção entre estes dois termos,

pois o risco está ligado a probabilidade de ocorrência de um evento, e a vulnerabilidade está ligado as propensão ou fraquezas decorrentes de um dado evento.

### **2.3.3. Susceptibilidade à Inundação**

Susceptibilidade significa algo ou alguém passível de receber impressões, modificações ou adquirir qualidades, ou seja, a predisposição natural, não só, mas também podem ser levados em conta factores externos ou antrópicos à ocorrência de um evento. Assim, a susceptibilidade a inundações de uma área está directamente relacionada à sua predisposição em ser atingida por inundações, desta forma, o modelo de susceptibilidade fornece informações para definir áreas potenciais de ocorrência de inundações (Prochmann e Bonumá, 2014). Rodrigues (2019), citando Santos (2012) e Santagelo *et al* (2011), acrescenta que no conceito de susceptibilidade como sendo a predisposição que uma área possui para ocorrência de um determinado processo, baseada nas condições locais do terreno, não considerando probabilidade temporal do evento, como tempo de retorno<sup>1</sup> ou frequência<sup>2</sup>.

A análise de susceptibilidade à inundações é de grande importância para o planeamento territorial<sup>3</sup>, uma vez que nos últimos tempos este tem se tornado uma ferramenta eficaz para a prevenção e controle de desastres naturais provenientes da expansão urbana. E com base nestes modelos de susceptibilidade, os gestores públicos, podem tomar decisões ou medidas que visam a prevenção de maiores danos no caso de ocorrência de inundações, estabelecendo critérios rigorosos de uso e ocupação do solo (P. Rodrigues, 2019).

Em estudos de Susceptibilidade à inundação, são feitas análises pela combinação entre os condicionantes naturais e antrópicos. De acordo com Sousa (2009) condicionantes naturais destacam-se:

- I. Formas do relevo;
- II. Características da rede de drenagem da bacia hidrográfica;
- III. Intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas;
- IV. Características do solo e o teor de humidade;
- V. Presença ou ausência da cobertura vegetal.

O estudo destas condicionantes naturais permite compreender a dinâmica do escoamento da água nas bacias hidrográficas (vazão), de acordo com o regime de chuvas conhecido.

---

<sup>1</sup> Tempo de Retorno: é o tempo médio que decorre entre duas realizações consecutivas de um acontecimento ou evento (Guerreiro, 2015)

<sup>2</sup> Frequência: refere-se ao número de vezes que esse evento ocorre dentro de um determinado período de tempo ou em um conjunto de observações.

<sup>3</sup> Planeamento Territorial: é um instrumento interdisciplinar que avalia e orienta todos tipos de intervenções no meio físico, estejam elas ligadas à urbanização, agro-pecuária, exploração mineira, e de águas subterrâneas, entre outras actividades importantes para manutenção da existência do Homem (Neto, 1994).

Entre os condicionantes antrópicos citam-se:

- I. Uso e ocupação irregular nas planícies e margens de cursos de água;
- II. Disposição irregular de lixo nas proximidades dos cursos de água;
- III. Alterações nas características da bacia hidrográfica e dos cursos de água (vazão, retificação e canalização de cursos de água, impermeabilização do solo, entre outras);
- IV. Intenso processo de erosão dos solos e de assoreamento dos cursos de água.

Para a análise de susceptibilidade à inundações, vários autores apontam a diversas variáveis importantes ou impactantes a serem consideradas para o estudo, pois a ocorrência de inundações é resultante da combinação de diversos factores ou condicionantes sejam estes naturais ou antrópicos, ou mesmo a combinação de ambas (Leal et al., 2020).

Para Prochmann e Bonamá (2014) citando Santos (2010), destacam que os factores determinados como importantes e que influenciam directamente no nível da água alcançado por uma inundaçã, independentemente da precipitaçã incidente sã: hipsometria, declividade, uso da terra e tipo do solo. No entanto dependendo da área de estudo, podem ser consideradas outras variáveis como a distância euclidiana até aos cursos de água, a precipitaçã e em algumas vezes a temperatura, embora esta última não exerça muita influência para a ocorrência ou não de precipitaçã.

Neste sentido, para este trabalho foram seleccionadas 7 variáveis, nomeadamente: Temperatura e precipitaçã, tipos de solo, uso e cobertura do solo, corpos/cursos de água, declividade e hipsometria, e a sua influência na análise de susceptibilidade à inundações será discutida na próxima secçã.

## **2.4. Danos por Inundações**

A ocorrência de inundações urbanas é causa de várias mudanças, de tal modo que, as características socioeconômicas da área exposta, o padrão de uso e ocupação do solo, a ocorrência do evento e as características das inundações definam a magnitude dos estragos da inundaçã na área atingida. Baseado nisso, os danos ocasionados pelas inundações sã classificados como tangíveis, intangíveis, e diretos ou indiretos (Luiz e Listo, 2022).

### **2.4.1. Danos Tangíveis e Intangíveis**

Os danos tangíveis sã perdas expressas em termos monetários. Sã danos aos quais a sociedade é capaz de atribuir um valor económico. Por outro lado os danos intangíveis resultam da perda de bens não transacionáveis, isto é, não se pode estimar o seu valor monetário. Para este tipo de danos dificilmente é associado um valor monetário, o valor económico da perda é subjectivo e difícil de avaliar, por exemplo a perda de vidas ou a ocorrência de traumas psicológicos.

## **2.4.2. Danos Directos e Indirectos**

Os danos directos devem-se a todos os efeitos causados pelo contacto imediato da inundação com os seres humanos, os bens ou o ambiente. Esses impactos são facilmente sentidos pelos elementos expostos ao evento porque implicam prejuízos socio-econ micos directos. Os danos indirectos incluem a perda de produ o para um determinado período de tempo após o evento de inunda o.

Os danos indirectos podem ser devido a causas distintas:

- i) Serem uma consequência dos danos directo que provocaram uma altera o no funcionamento dos sistemas, por exemplo, a interrup o do fornecimento de electricidade, água potável ou paralisa o de aulas;
- ii) Estarem ligados às medidas adoptadas para reduzir os danos directos, por exemplo os serviços de socorro. Este dano não pode ser sentido e quantificado imediatamente após a inunda o.

### **2.4.2.1. Danos Tangíveis Directos e Indirectos**

Os danos tangíveis directos são os resultantes do contacto directo com a água da inunda o e referem-se basicamente   deteriora o física de bens. Por outro lado, danos tangíveis indirectos, por sua vez, são resultado dos danos tangíveis directos, isto  , a ocorrência de perturba es físicas e econ micas do sistema productivo, além de custos emergenciais por causa da inunda o e podem afectar áreas significativamente maiores do que aquela directamente afectada pela inunda o. Incluem custos de limpeza e de serviços de emergência, transtornos ao tráfego de veículos, interrup o de serviços diversos e perda de valor da propriedade (Rodrigues e Luz, 2022).

A periferia da cidade de Maputo tem registrado danos decorrentes da ocorrência de inunda es em sua época chuvosa, tem sido reportados casos de abandono em massa em algumas zonas, o encerramento de algumas vias de acesso, escolas, igrejas, postos policiais, entre outras infra-estruturas de úteis para a popula o.   notável a quando da ocorrência de inunda es, o aumento de doenças de origem hídrica, a perda na produ o de insumos agrícolas.

## **2.5. Análise Multicritério**

A análise multicritério tem-se mostrado fundamental em diversas áreas de conhecimento e tem também auxiliado a profissionais de diversas áreas em questões em que seja necessário tomar uma decisão em meio a vários factores ou critérios por tomar em conta. Para análise de susceptibilidade   inunda es, vários factores contribuem para a forma o de áreas susceptíveis   inunda es, e para identificar essas

áreas, esses factores serão chamados de critérios que serão usados para fazer o mapeamento de áreas mais susceptíveis (Vargem, 2024).

Ao longo do tempo, vários métodos de análise multicritério tem sido desenvolvidos, e estes tem sido amplamente utilizados para análises de susceptibilidade inundações, dos quais mencionamos alguns, como por exemplo a lógica de *fuzzy*, a lógica booleana e AHP.

### **2.5.1. Análise Hierárquica de Processos**

O método de multicritério denominado Processo Analítico Hierárquico (*Analytic Hierarchy Process-AHP*) foi proposto por Tomas Saaty em meados da década de 70, este método visa auxiliar no processo de tomada de decisões complexas, identificando a melhor opção dentre possíveis alternativas e ajudando na determinação das prioridades.

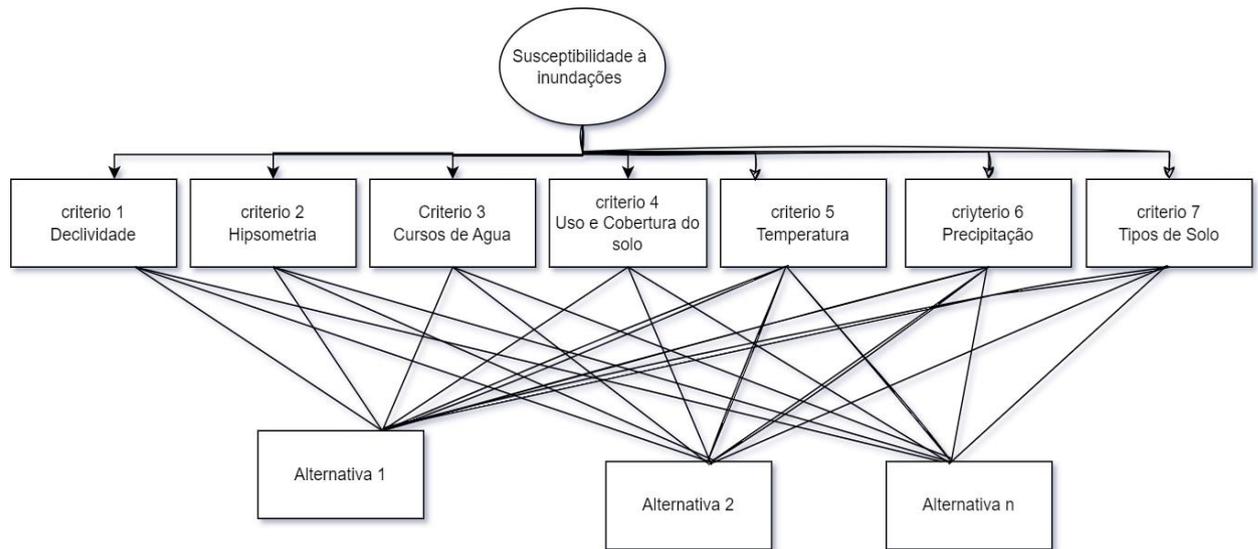
O AHP facilita a compreensão do problema por parte do tomador de decisão, pois o decompõe em uma série de comparações simples, podendo ser baseado na opinião ou avaliação de especialistas, para posteriormente estruturá-lo hierarquicamente. Este método também possibilita realizar uma avaliação do grau de inconsistência dos julgamentos realizados, permitindo deste modo, assegurar a coerência das avaliações realizadas.

O método AHP consiste em três fases principais a serem apresentadas a seguir:

#### **I. Estruturação do problema**

A primeira fase consiste na construção de resultados através de uma hierarquia lógica, no qual são avaliados factores metodicamente par-a-par e um critério de importância relativa é atribuído ao relacionamento entre estes factores. Segundo Nogueira et al. (2009), o que pode influenciar e que determina a importância para os pesos de determinados critérios, vai ocorrer pela tomada de decisão, cuja opinião humana está atrelada ao senso crítico, experiência, domínios, habilidades e conhecimento preciso acerca do problema, que podem levar a um resultado subjectivo. Porém, o método AHP propõe que o especialista determine a importância dos critérios através da comparação binária, ao invés de estabelecer de forma directa um valor total sobre os critérios, o que acontece em avaliações directas.

A figura 4 apresenta a estrutura da primeira fase de hierarquização.



**Figura 4:** Estruturação do Problema (adaptado de Ouma e Tateishi, 2014).

O esquema ilustra a estruturação do problema pelo método AHP onde a hierarquia é composta por três níveis: no topo encontra-se o objectivo principal da análise, que orienta toda a estrutura decisória. No nível intermédio estão os critérios que influenciam esse objectivo, os quais são seleccionados com base em conhecimentos técnicos e científicos, sendo avaliados segundo a sua importância relativa. Já na base da hierarquia estão as alternativas possíveis, que correspondem às diferentes cenários a serem julgados ou avaliados.

## II. Julgamentos Comparativos

A segunda fase consiste no processo do julgamento comparativo entre os critérios, para determinar o peso que cada um possui sobre a decisão e dentre as opções, de forma a avaliar o desempenho relativo da alternativa para cada um dos critérios. Tal relação pode ser realizada através de uma simples pergunta: Com relação a determinado critério x é mais importante do que um Y? Para o Julgamento dos pares de critérios é utilizada a escala desenvolvida por Saaty (1990), através de valores que variam de 0 a 9, conforme ilustra a tabela:

**Tabela 1:** Grau de importância das variáveis. Fonte: (Leal et al., 2020)

| Escala | Definição   |
|--------|---|
| 1      | Importância igual: os dois critérios contribuem igualmente para o objectivo.                                    |
| 3      | Importância moderada: um critério é ligeiramente mais importante que o outro.                                   |
| 5      | Importância essencial: um critério é claramente mais importante que o outro.                                    |
| 7      | Importância demonstrada: um critério é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática. |

|           |   |
|-----------|---|
| 9         | Importância extrema: a evidência que diferencia os critérios é da maior ordem possível. |
| 2,4,6 e 8 | Valores intermediários entre julgamentos: possibilidade de compromissos adicionais.     |

Os resultados obtidos a partir das comparações são colocados em uma matriz quadrada de ordem  $n$ , onde  $n$  é o número de critérios comparados. Cada elemento representa a comparação entre os critérios ou a importância relativa entre eles.

**Tabela 2:** Matriz quadrada de comparação dos critérios. Fonte: Adaptado de (Leal et al., 2020).

| <b>Crítérios</b>        | <b><math>C_1</math></b> | <b><math>C_2</math></b> | <b><math>C_3</math></b> | <b><math>C_4</math></b> | <b><math>C_5</math></b> | <b><math>C_6</math></b> | <b><math>C_7</math></b> |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b><math>C_1</math></b> | 1                       | $C_{12}=1/C_{12}$       | $C_{31}=1/C_{13}$       | $C_{41}=1/C_{14}$       | $C_{51}=1/C_{15}$       | $C_{61}=1/C_{16}$       | $C_{71}=1/C_{17}$       |
| <b><math>C_2</math></b> | $C_{12}$                | 1                       | $C_{32}=1/C_{23}$       | $C_{42}=1/C_{24}$       | $C_{52}=1/C_{25}$       | $C_{62}=1/C_{26}$       | $C_{72}=1/C_{27}$       |
| <b><math>C_3</math></b> | $C_{13}$                | $C_{23}$                | 1                       | $C_{43}=1/C_{34}$       | $C_{53}=1/C_{35}$       | $C_{63}=1/C_{36}$       | $C_{73}=1/C_{37}$       |
| <b><math>C_4</math></b> | $C_{14}$                | $C_{24}$                | $C_{34}$                | 1                       | $C_{54}=1/C_{45}$       | $C_{64}=1/C_{46}$       | $C_{74}=1/C_{47}$       |
| <b><math>C_5</math></b> | $C_{15}$                | $C_{25}$                | $C_{35}$                | $C_{45}$                | 1                       | $C_{65}=1/C_{56}$       | $C_{75}=1/C_{57}$       |
| <b><math>C_6</math></b> | $C_{16}$                | $C_{26}$                | $C_{36}$                | $C_{46}$                | $C_{56}$                | 1                       | $C_{76}=1/C_{67}$       |
| <b><math>C_7</math></b> | $C_{17}$                | $C_{27}$                | $C_{37}$                | $C_{47}$                | $C_{57}$                | $C_{67}$                | 1                       |

### III. Síntese das Prioridades

Feito o julgamento comparativo dos critérios, a fase a seguir consiste na obtenção dos vectores de prioridade. O processo da alteração dos pesos de cada critério é realizado dividindo-se os elementos de cada coluna pela soma daquela coluna (normalização), e posteriormente somando-se os elementos em cada linha resultante e dividindo-se esta soma pelo número de elementos na linha (Ramos et al., 2022, citando SAATY, 1991).

**Tabela 3:** Matriz Normalizada. Fonte: Adaptado de (Leal et al., 2020).

| <b>Crítérios</b>        | <b><math>C_1</math></b> | <b><math>C_2</math></b> | <b><math>C_3</math></b> | <b><math>C_4</math></b> | <b><math>C_5</math></b> | <b><math>C_6</math></b> | <b><math>C_7</math></b> |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b><math>C_1</math></b> | $1/\sum C_1$            | $C_{21}/\sum C_2$       | $C_{31}/\sum C_3$       | $C_{41}/\sum C_4$       | $C_{51}/\sum C_5$       | $C_{61}/\sum C_6$       | $C_{71}/\sum C_7$       |
| <b><math>C_2</math></b> | $C_{12}/\sum C_1$       | $1/\sum C_2$            | $C_{32}/\sum C_3$       | $C_{42}/\sum C_4$       | $C_{52}/\sum C_5$       | $C_{62}/\sum C_6$       | $C_{72}/\sum C_7$       |
| <b><math>C_3</math></b> | $C_{13}/\sum C_1$       | $C_{23}/\sum C_2$       | $1/\sum C_3$            | $C_{43}/\sum C_4$       | $C_{53}/\sum C_5$       | $C_{63}/\sum C_6$       | $C_{73}/\sum C_7$       |
| <b><math>C_4</math></b> | $C_{14}/\sum C_1$       | $C_{24}/\sum C_2$       | $C_{34}/\sum C_3$       | $1/\sum C_4$            | $C_{54}/\sum C_5$       | $C_{64}/\sum C_6$       | $C_{74}/\sum C_7$       |
| <b><math>C_5</math></b> | $C_{15}/\sum C_1$       | $C_{25}/\sum C_2$       | $C_{35}/\sum C_3$       | $C_{45}/\sum C_4$       | $1/\sum C_5$            | $C_{65}/\sum C_6$       | $C_{75}/\sum C_7$       |
| <b><math>C_6</math></b> | $C_{16}/\sum C_1$       | $C_{26}/\sum C_2$       | $C_{36}/\sum C_3$       | $C_{46}/\sum C_4$       | $C_{56}/\sum C_5$       | $1/\sum C_6$            | $C_{76}/\sum C_7$       |
| <b><math>C_7</math></b> | $C_{17}/\sum C_1$       | $C_{27}/\sum C_2$       | $C_{37}/\sum C_3$       | $C_{47}/\sum C_4$       | $C_{57}/\sum C_5$       | $C_{67}/\sum C_6$       | $1/\sum C_7$            |

A realização de muitas comparações par-a-par pode gerar algumas inconsistências, razão pela qual, faz-se necessária a verificação da consistência dos valores julgados para realizar decisões baseadas nos resultados. O processo analítico hierárquico incorpora uma técnica efectiva para verificar a consistência dos julgamentos na elaboração da matriz de comparação. O teste é realizado com base no conceito de que quando se tem uma quantidade suficiente de dados, os outros podem ser obtidos logicamente a partir deste (Junior, 2015).

A razão de consistência define quão consistente foi o julgamento dos critérios quando realizadas as comparações par-a-par. Os Valores de ordem maior determinam uma maior inconsistência, sendo assumido como limite de inconsistência o valor de 0,10, fazendo-se necessário a reconsideração dos valores julgados se assumido um valor maior (Gossler, 2023).

A razão de consistência pode ser calculada através da equação:

$$RC = IC / IR \quad (1)$$

Onde:

IC é o Índice de consistência e IR é o índice de consistência randômico.

O IC mede o quanto o autovalor máximo ( $\lambda_{\text{máx}}$ ) da matriz se afasta da ordem (n) dessa matriz e pode ser calculado pela equação a seguir:

$$IC = (\lambda_{\text{máx}} - n) / (n - 1) \quad (2)$$

Onde: n- corresponde ao número de variáveis

Quanto mais próximo o autovalor máximo for de n, maior a coerência das comparações. Ainda, o IR foi obtido experimentalmente com base na escala fundamental proposta por Saaty.

O índice de consistência randômico é extraído da tabela de valores para matrizes quadradas de ordem n estabelecida pelo *Oak Ridge National Laboratory*, EUA, conforme orientado por Saaty (1980).

**Tabela 4:** Índice de Consistência Randômico. Fonte: (Prochmann e Bonumá, 2014).

|              |   |   |      |     |      |      |      |      |      |      |
|--------------|---|---|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| <b>Ordem</b> | 1 | 2 | 3    | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 10   | 11   |
| <b>IR</b>    | 0 | 0 | 0.58 | 0.9 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.49 | 1.51 |

Deste modo, constatado que o valor de RC está dentro do limite previsto adotado, é possível comparar as alternativas e selecionar a melhor opção.

O AHP possibilita-nos destacar a importância que um determinado elemento exerce sobre todo o contexto. No contexto dos SIG e análise de susceptibilidade à inundações, ele é aplicado como uma ferramenta auxiliar para que seja possível reclassificar as variáveis e posteriormente combiná-las em um

processo de álgebra de mapas (soma ponderada) para a confecção de uma superfície representativa da realidade(Lyrrio, 2022).

O AHP apresenta-se relevante para contribuir e embasar o mapeamento de áreas susceptíveis à inundações ao longo da periferia da Cidade de Maputo, utilizando-se das literaturas e de dados existentes.

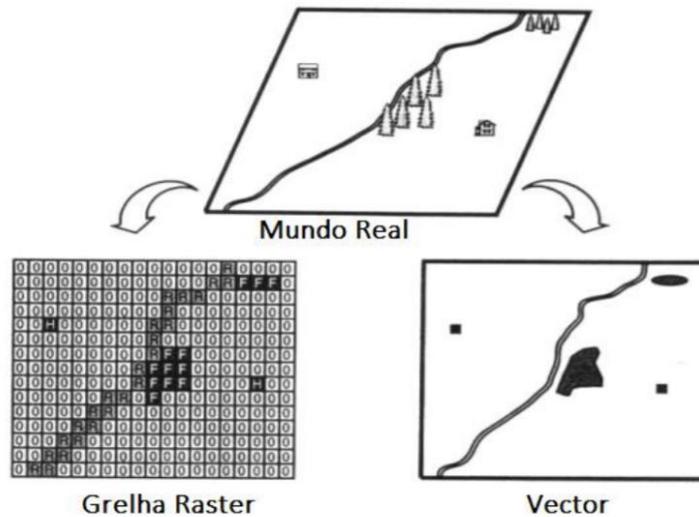
## **2.6. Sistemas de Informação Geográfica no Mapeamento de Susceptibilidade à Inundações**

Identificar onde determinado fenômeno ocorre é extremamente importante, visto que as decisões têm consequências geográficas, e neste contexto, os Sistemas de Informação Geográfica são uma classe especial de sistemas de informações que controlam não apenas eventos e atividades, mas também a localização dessas ocorrências (Reis, 2015).

Os Sistemas de Informação Geográfica tem sido utilizados para descrever sistemas computacionais pautados em dados com referências geográficas. Esse sistema é um conjunto de ferramentas utilizadas para captura, gestão (incluindo armazenamento e manutenção), processamento (análise e manipulação) e apresentação de dados relacionados à superfície terrestre, permitindo a sobreposição de diversos tipos de dados como por exemplo o Uso e cobertura do solo, tipos de solo, infra-estruturas, entre outros, através da visualização, análise e compreensão mais facilitada de como estas informações se relacionam no espaço, possibilitando deste modo a resolução de diversos tipos de problemas do mundo real (Bezerra, 2020).

Os modelos construídos e ou utilizados para análises nos SIG, são construídos a partir de dois tipos principais de modelos de dados:

- Modelo Matricial (*raster*)- a representação é feita em grade e cada célula contém um valor. Estes dados são caracterizados por representar a área em quadrículas de grades regulares ou em células (*pixels*) com tamanho e escala padronizados para especificar atributos. Uma estrutura matricial simples restringe cada nível a um atributo simples limitado a valores com intervalo entre 0 e 255 (Reis, 2015).
- Modelo Vectorial- Em uma representação vetorial, o fenômeno geográfico ou espacial é abstraído de três primitivas gráficas, sendo ponto, linha e polígono. Qualquer entidade pu fenômeno é reduzido a uma destas formas (Reis, 2015).



**Figura 5:** Modelos Dados SIG

De acordo com Gossler (2023) análise da susceptibilidade à inundações geralmente considera uma série de variáveis geográficas interrelacionados, deste modo, o uso de SIG possibilita uma análise simultânea destas variáveis, reduzindo as chances de erro. A sobreposição dos dados baseados em métodos de análise multicritério tem sido amplamente utilizados no mapeamento de susceptibilidade, à inundações, demonstrando resultados satisfatórios e evidenciando que o modelo é um importante produto cartográfico para contribuir como ferramenta de planejamento e gestão urbana.

A seguir são apresentados os procedimentos metodológicos e os recursos tecnológicos utilizados no desenvolvimento do trabalho de Licenciatura.

### 3.1. Material

Para a realização deste trabalho foram utilizados os seguintes dados: Modelo Digital de Elevação obtido por meio de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com uma resolução espacial de até 30 metros, pelo sítio da *NASAEarthdata* (<https://dwtkns.com/srtm30m/>), de 30m do qual foram extraídos os dados de declividade, Hipsometria e cursos de água da área de estudo; Os dados sobre tipos solo e divisão administrativa foram disponibilizados pelo Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção (CENACARTA), dados referentes ao uso e cobertura do solo são produto da ESA *WorldCover*, gerados a partir de imagem de satélites Sentinel 2B, com a resolução espacial de 10m, referentes ao ano de 2021, obtidos no sítio da ESA *WorldCover* (<https://viewer.esa-worldcover.org/worldcover/>); os dados de históricos de temperatura e precipitação foram disponibilizados pela *WORLCLIM* pela hiperligação: ([https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html#google\\_vignette](https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html#google_vignette)).

**Tabela 5:**Dados à Usar. Fonte: Adaptação de(Cea et al., 2024).

| Dados                  | Modelo de dados | Formato   | Fonte          |
|------------------------|-----------------|-----------|----------------|
| Divisão Administrativa | Vectorial       | Shapefile | CENACARTA      |
| Tipos de Solo          |                 |           |                |
| Temperatura            | Matricial       | GeoTIF    | WorldClim      |
| Precipitação           |                 |           |                |
| Uso e Cobertura        |                 |           | ESA worldcover |
| MDE                    |                 |           | NASAEarthdata  |

**Tabela 6:** equipamentos Computacionais.

| <b>Programa</b>         | <b>Função</b>  |
|-------------------------|--|
| MS Office word 2013     | Redação do Relatório   |
| QGIS 3.36 e ArcGIS 10.8 | Pré-Processamento, processamento e validação dos dados Geográficos |
| MS Office Excel 2013    | Ponderação das variáveis   |
| Google Earth Pro        | Identificar infra-estruturas em áreas altamente susceptíveis       |

### **3.2. Método**

Para a realização deste trabalho, aplicou-se o método de análise multicritério (AHP) para a ponderação de critérios, bem como análise comparativa das várias que influenciam para a ocorrência de inundações. A metodologia foi desenvolvida seguindo as etapas:

- I. Revisão de literatura sobre inundações;
- II. Aquisição de Dados;
- III. Pré-processamento dos dados de entrada;
- IV. Aplicação do método AHP para determinação da influência de cada uma das variáveis no fenómeno de inundação;
- V. Processamento dos dados em um ambiente SIG;
- VI. Álgebra de Mapas nos dados processados e classificação do resultado final;
- VII. Validação dos resultados;
- VIII. Analisar a distribuição espacial do dano potencial recorrendo ao mapa de Susceptibilidade e imagens de satélite.

### 3.2.1 Fluxograma

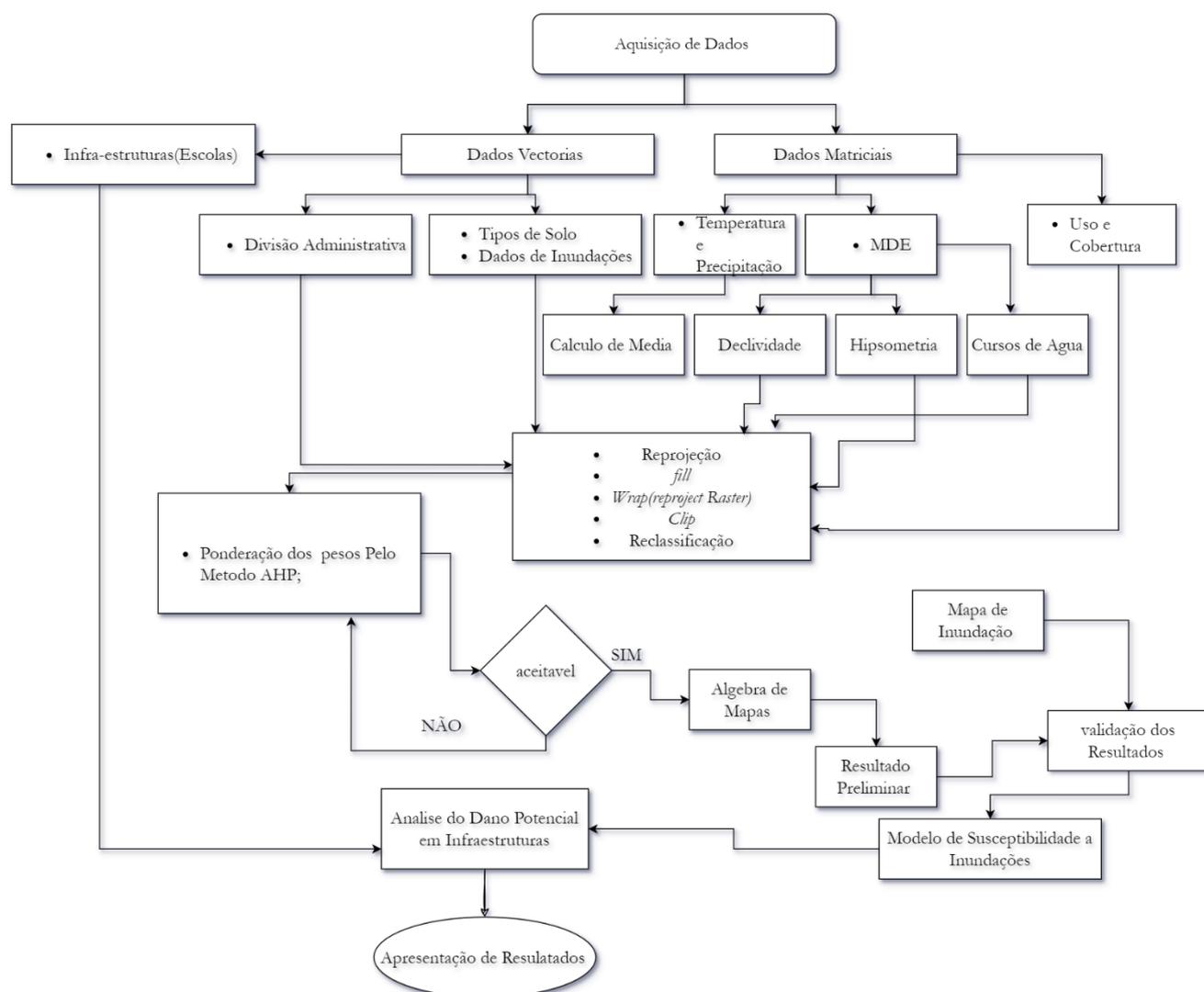


Figura 6: Fluxograma Metodológico

O presente fluxograma descreve a metodologia adoptada para a análise da susceptibilidade a inundações e do dano potencial em infra-estruturas, com base em técnicas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e análise multicritério. O processo inicia-se com a aquisição de dados, os quais são classificados em dados vectoriais e dados matriciais. Os dados vectoriais englobam informações sobre infra-estruturas (tais como escolas), divisão administrativa, tipos de solo e ocorrências históricas de inundações. Por outro lado, os dados no modelo matricial incluem variáveis ambientais como temperatura, precipitação, modelo digital de elevação (MDE) este que permitiu derivar parâmetros como declividade, hipsometria e cursos de água, e por fim uso e cobertura do solo.

Estes dados foram sujeitos a procedimentos de reprojecção, incluindo operações de *fill*, *wrap* (*reproject raster*), *clip* e reclassificação, assegurando a uniformização espacial e a compactibilidade entre os dados. Em seguida, procedeu-se ao cálculo da média ponderada com base nos critérios seleccionados.

A atribuição de pesos a cada critério é realizada através do método AHP, permitindo a quantificação da importância relativa de cada factor. Após esta etapa, verificou-se a consistência dos pesos atribuídos. Se os resultados forem inaceitáveis, o processo retorna à etapa de ponderação. Caso contrário, os pesos são aplicados por meio da álgebra de mapas, originando um resultado preliminar.

Com base neste resultado, é elaborado o Modelo de Susceptibilidade à Inundações para a periferia da cidade de Maputo, o qual é submetido a um processo de validação, conduzindo à construção do modelo final de susceptibilidade a inundações. Por fim, realiza-se a análise do dano potencial em infra-estruturas, considerando a sobreposição das áreas susceptíveis com os elementos previamente mapeados. O processo conclui-se com a apresentação dos resultados.

### **3.2.2 Pré-processamento dos Dados**

#### **3.2.2.1 Modelo digital de Elevação**

Um Modelo Digital de Elevação (MDE) especifica a elevação de qualquer ponto em uma área específica com uma resolução espacial definida, como um arquivo digital, que é usado para caracterizar a topografia. Para isso, um MDE é necessário para análises hidrológicas baseadas em *raster* em um SIG (Osman e Das, 2023).

Neste trabalho utilizou o MDE SRTM com a resolução espacial de 30m, para extrair a declividade, Hipsometria e cursos de água.

#### **3.2.2.2 Declividade**

A declividade é uma variável crucial na determinação de áreas susceptíveis à inundações, pois, influencia directamente no acúmulo de água no terreno. Assim sendo, as áreas planas tendem a apresentar maior grau de susceptibilidade à inundações do que áreas escarpadas, por estas não permitirem que o escoamento superficial de forma mais rápida ou eficaz, permitindo deste modo que as águas permanecem no mesmo lugar por mais tempo (Leal et al., 2020).

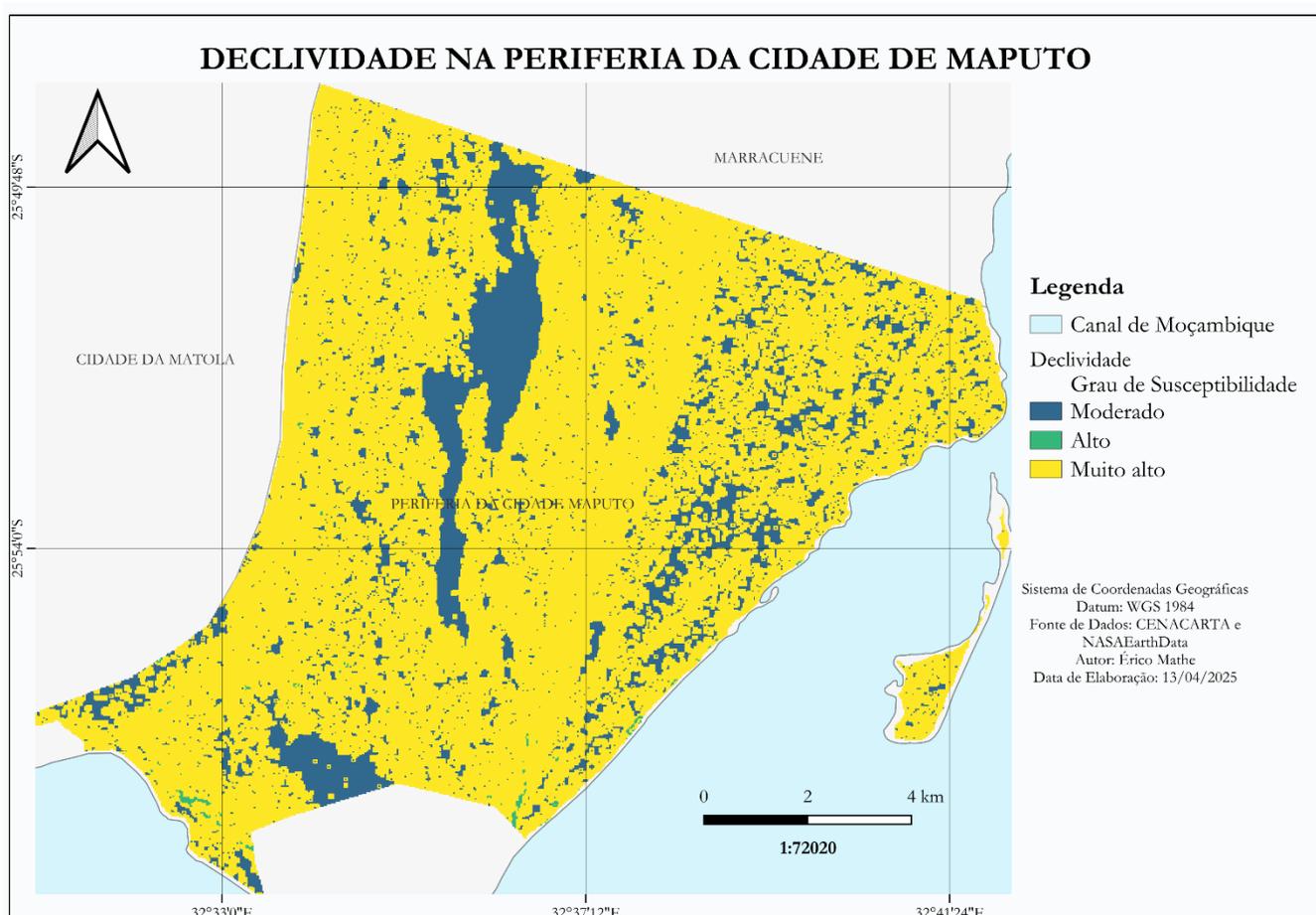
Toniolo (2022), baseado na classificação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agro-pecuária (EMBRAPA, 1979), que classifica o grau de declividade e os seus graus de susceptibilidade do seguinte modo:

**Tabela 5:** Classificação da Declividade.

| Declividade (%) |                     | Nota | Grau de Susceptibilidade |
|-----------------|---------------------|------|--------------------------|
| 0-3             | Plano               | 10   | Muito Alto               |
| 3-8             | Suavemente Ondulado | 9    | Alto                     |
| 8-20            | Ondulado            | 5    | Moderado                 |

Com os dados de declividade reclassificados, é possível constatar que na periferia da Cidade de Maputo, a declividade é na sua maior parte plana, ou seja a declividade varia entre 0 a 3%. É possível observar também em uma certa extensão da periferia mais a noroeste, um relevo suavemente ondulado, no entanto, devido a sua maior área apresentar-se plana, a periferia da Cidade de Maputo acaba apresentando a declividade com um grau de susceptibilidade à inundações muito alto, conforme ilustra o mapa reclassificado da declividade.

A seguir passo a apresentar o mapa temático da reclassificação da declividade ao longo da periferia da cidade Maputo.



**Figura 7:** Mapa de declividade da periferia da cidade de Maputo. Fonte: Autor

### 3.2.2.3 Hipsometria

As informações desta variável são importantes, uma vez que os terrenos com baixa altitude tendem a ser mais planos e mais propensos a serem inundados do que em regiões mais elevadas e, neste sentido, os locais com maior altitude receberam uma nota menor em relação a susceptibilidade à inundação, enquanto as áreas com menor altitude receberam uma pontuação maior, isto porque Regiões mais baixas tendem a acumular mais água do que em regiões mais altas(Gossler, 2023).

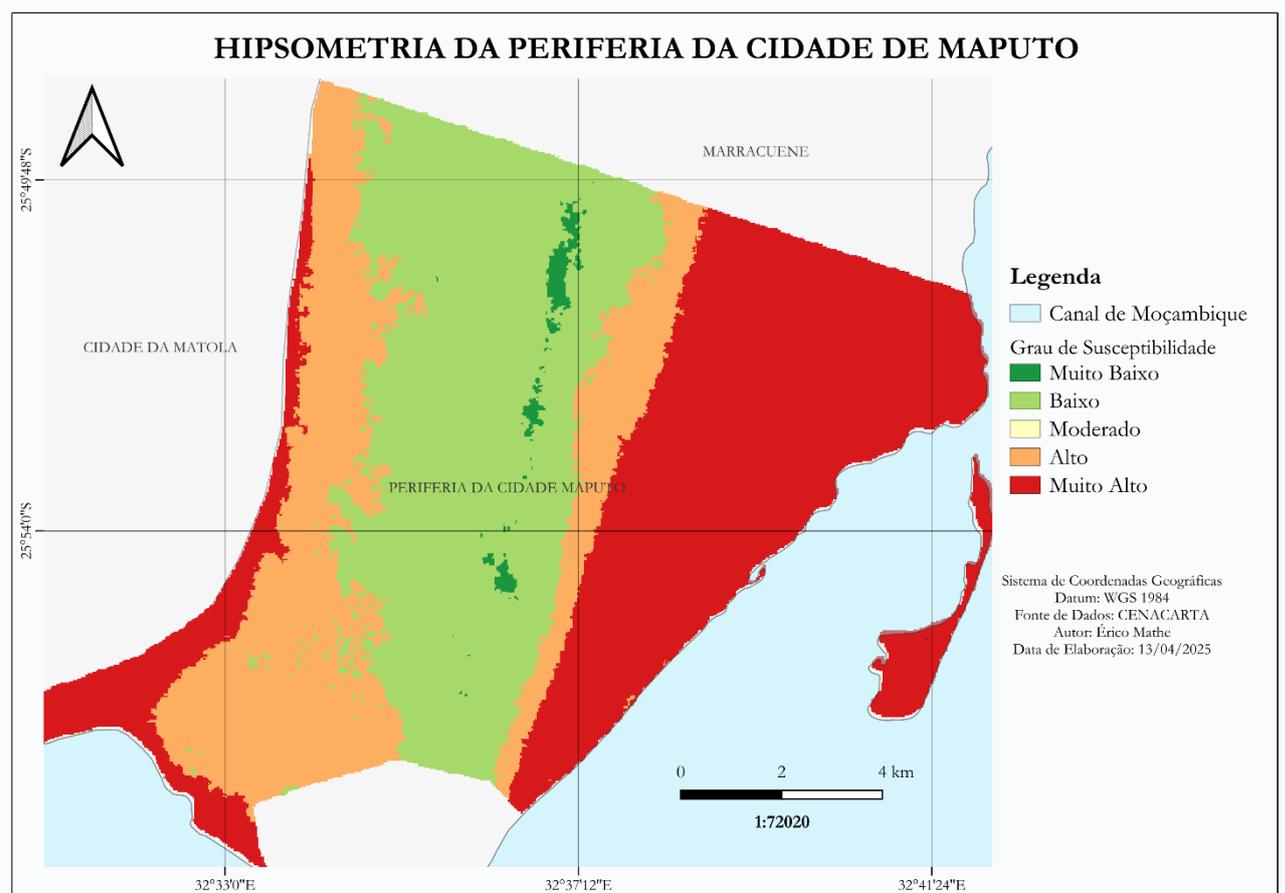
Para obter os dados referentes a hipsometria da periferia da Cidade de Maputo foi reclassificado o MDE-SRTM, no ARCGIS 10.8, obedecendo a tabela 8.

A Periferia da cidade de Maputo, apresenta uma altitude máxima de 75 metros, de acordo com os dados do MDT utilizado no presente trabalho, e esta foi reclassificada de acordo com a tabela a seguir:

**Tabela 6:** Reclassificação da hipsometria. **Fonte:** (Gossler,2023).

| <b>Hipsometria (m)</b> | <b>Nota</b> | <b>Grau de Susceptibilidade</b> |
|------------------------|-------------|---------------------------------|
| 0-20                   | 10          | Muito Alto                      |
| 20-40                  | 9           | Alto                            |
| 40-60                  | 7           | Alto                            |
| 60-75                  | 5           | Moderado                        |
| Maior do que 75        | 1           | Baixo                           |

A seguir é apresentado o Mapa reclassificado da Hpsometria ao longo da cidade de Maputo:



**Figura 8:** Mapa reclassificado de Hipsometria na Periferia Cidade de Maputo. Fonte: Autor

É notável ao longo da área de estudo, que esta apresenta nas proximidades a cursos ou corpos de água, altitudes mais baixas, tornando deste modo estas áreas muito susceptíveis à inundações. Entre tanato, é possível notar que devido a baixa altitude média da periferia, esta apresenta o grau de susceptibilidade moderada a muito alta em toda sua extensão. Deste modo conclui-se que a baixa altitude indica uma menor capacidade de drenagem natural e uma maior propensão ao acúmulo de água, mesmo em eventos de chuva não tão extremos como tem-se verificado em algumas áreas da periferia da cidade Maputo.

#### 3.2.2.4 Uso e Cobertura do solo

O uso e ocupação do solo é uma variável dinâmica e imprescindível para demonstrar de que maneira o espaço foi ocupado pelo homem e a interferência nos mecanismos de infiltração e escoamento superficial da água no terreno (Ouma e Tateishi, 2014). Deste modo, a forma como o solo é utilizada interfere directamente no processo de inundações, acelerando ou retardando a velocidade de infiltração no solo e o escoamento superficial. Áreas com maior densidade de ocupação e infra-estruturas urbanas tem maior índice de impermeabilização, acumulando mais água na superfície do solo, quando comparados a solos com presença de cobertura vegetal e menor compactação(Gossler, 2023).

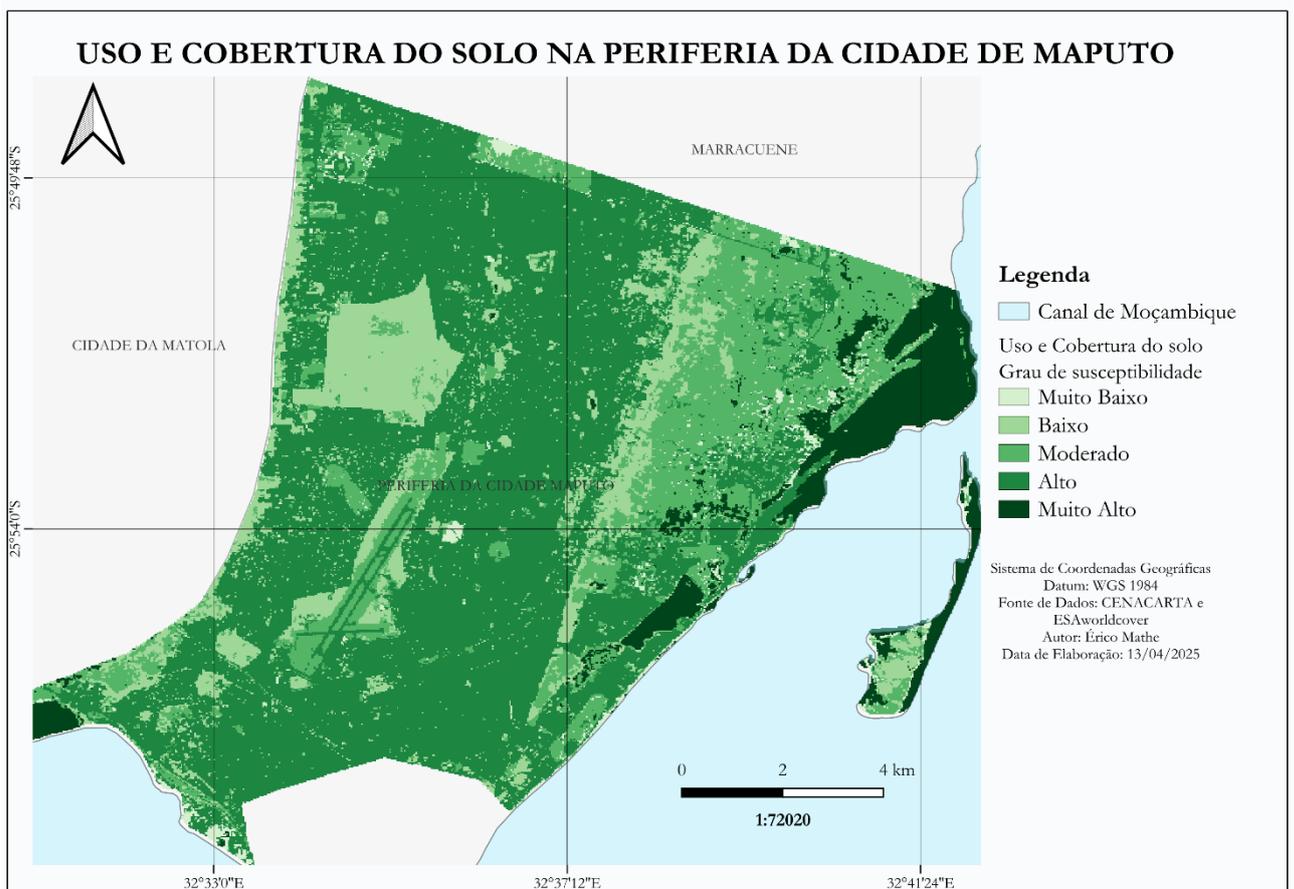
Com base nos dados de usos e cobertura de solo obtidos, a Periferia da Cidade de Maputo comporta as seguintes classes de uso e cobertura de solo e sua reclassificação quando ao grau de susceptibilidade à inundações:

**Tabela 7:** Reclassificação de uso e Cobertura do solo.

Fonte:(Cury et al., 2021; Pereira Toniolo et al., 2022)

| <b>Classe de Uso/Cobertura</b> | <b>Nota</b> | <b>Grau de Susceptibilidade</b> |
|--------------------------------|-------------|---------------------------------|
| Arbustos e vegetação           | 3           | Baixo                           |
| Pastagem                       | 5           | Moderado                        |
| Terras agrícolas               | 7           | Alto                            |
| Áreas urbanas                  | 8           | Alto                            |
| Áreas húmidas                  | 6           | Muito Alto                      |
| Corpos de água                 | 10          | Muito Alto                      |
| Solo exposto                   | 7           | Alto                            |
| Mangal                         | 10          | Muito Alto                      |

A seguir é apresentado o mapa reclassificado de uso e cobertura do solo ao longo da periferia da cidade Maputo.



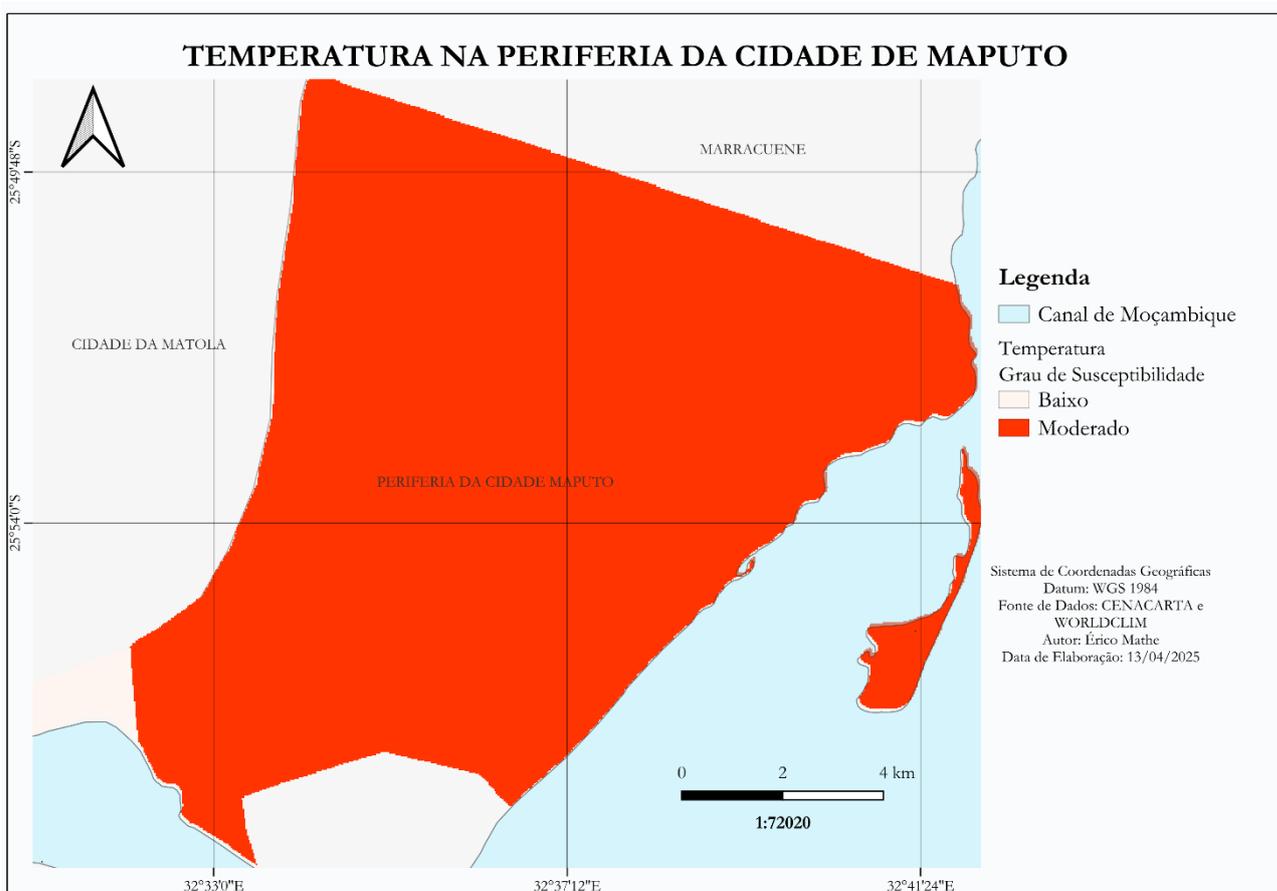
**Figura 9:** Mapa reclassificado de uso e cobertura do solo na periferia da Cidade Maputo. Fonte: Autor

A periferia da cidade de Maputo tem na sua maior parte uma área constituída por edificações ou área urbana, tornando deste modo esta área com um alto grau de susceptibilidade à inundações, o que acontece também as áreas de solo exposto. O mapa apresenta também uma área de susceptibilidade moderada e baixa, esta que são constituídas por áreas de pastagem, arbustos e vegetação respectivamente, e por fim, a menor área, ou seja com menor grau de susceptibilidade é composta pelos cursos de água e áreas húmidas.

### 3.2.2.5 Temperatura

A temperatura influencia a evapotranspiração, a umidade do solo e o ciclo hidrológico, afetando a infiltração e o escoamento da água. Temperaturas altas podem secar o solo, tornando-o menos permeável e aumentando o risco de inundações repentinas. Além disso, variações da temperatura podem intensificar chuvas fortes em climas tropicais (Baalousha et al., 2023).

Para este estudo, foram usados dados históricos do *WorldClim*, onde para a área de estudo apresentam uma leve variação entre 26°C e 29°. Tendo deste modo reclassificado os dados de temperatura em duas classes de grau de susceptibilidade, sendo moderado, onde os valores de temperatura variam de 20 até 25°C, e Baixo para valores maiores que 25°C.



**Figura 10:** Mapa Reclassificado de Temperatura

O mapa reclassificado da temperatura para a periferia da cidade de Maputo apenas apresentou duas classes dada pouca variação da temperatura, mostrando deste modo uma maior área apresentando um grau de susceptibilidade à inundações moderado.

### 3.2.2.6 Precipitação

A variável de precipitação é fundamental neste estudo, pois a ocorrência de precipitação pode provocar o transbordo dos rios, que leva a inundações. Como resultado, uma elevada profundidade de precipitação conduz a inundações graves, enquanto uma baixa profundidade de precipitação resulta em inundações ligeiras (Osman e Das, 2023).

A precipitação média anual registrada ao longo da periferia da cidade de Maputo varia entre os 600mm até 800mm, sendo que na sua época chuvosa que compreende os meses de Setembro a Maio, pode chegar a 1000-1200mm segundo os dados disponíveis no sítio do Conselho Municipal da Cidade de Maputo. Os dados de precipitação utilizados para este trabalho, são dados históricos dos anos de 1970 até 2000, obtidos no sítio do *WorldClim*.

Os dados de precipitação foram reclassificados em duas classes de susceptibilidade à inundações, sendo os valores que variam de 600 a 750 mm foram classificados com o grau baixo e valores maiores que 750 com o grau de susceptibilidade à inundações moderado.

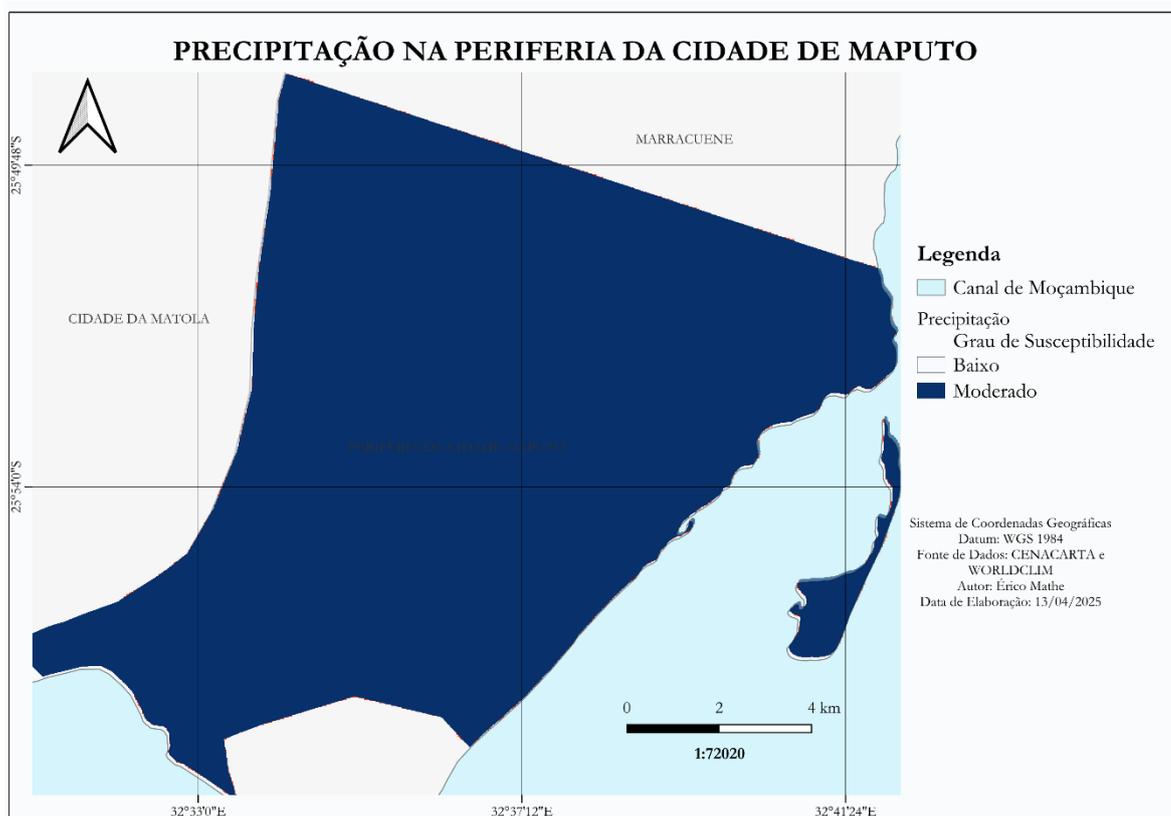


Figura 11: Mapa reclassificado de Precipitação.

A periferia da cidade de Maputo não apresentou grande variação nas suas classes de precipitação, visto que quase toda área apresentou o grau de susceptibilidade à inundações relativamente moderado. É importante destacar que este resultado é decorrente da média anual de precipitações, e os meses chuvosos tende a apresentar taxas de precipitação muito maiores, comparativamente a media anual.

### 3.2.2.7 Cursos de Água

A variável cursos de água é extremamente relevante para o estudo, pois todos os cursos de água colaboram para a ocorrência de cheias e inundações, pois o transbordo e consequente alagamento dos terrenos ribeirinhos compõem um processo natural, associado a todos os cursos de água (Cury et al., 2021). É importante levar em consideração a distância dos cursos de água no desenvolvimento do modelo de susceptibilidade de inundações, uma vez que as áreas próximas aos cursos de água possuem maior grau de susceptibilidade de ocorrência destes eventos. Nesta linha, os locais mais próximos aos cursos de

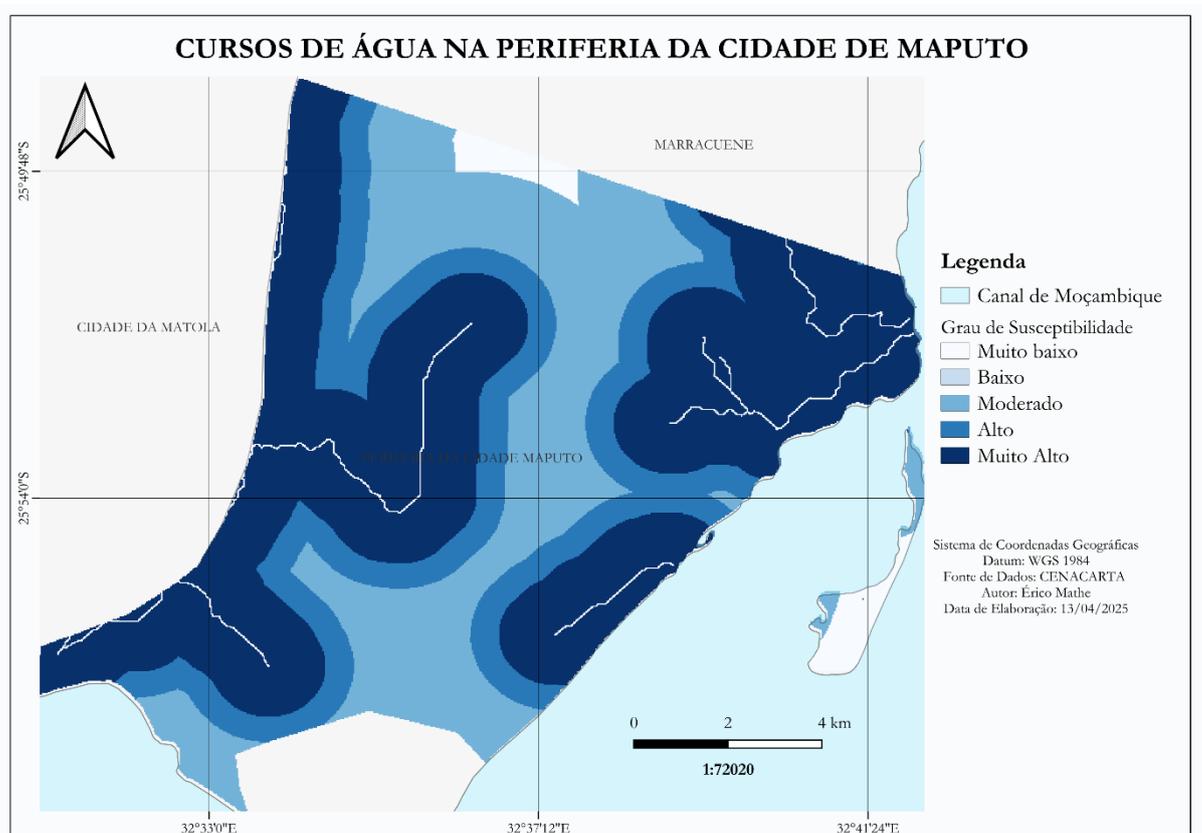
água receberam uma nota maior em relação à susceptibilidade às inundações. À medida que a distância aos cursos de água aumenta, a nota de susceptibilidade reduz.

Para obter os cursos de água ao longo da área de estudo foi utilizada a ferramenta do ArcGIS 10.8, *flowDirection* para gerar a direção do fluxo de água baseado no MDE SRTM de até 30 metros de resolução espacial, e também foi empregue a ferramenta *flowAccumulation* para identificar os locais de acúmulo de água. Obtidos os cursos de água ao longo da área de estudo, foi feito o cálculo de distâncias até cursos de água através do *Raster > Analysis > Proximity (Distance)*, tendo sido reclassificado de acordo com a tabela a seguir.

**Tabela 8:** Reclassificação da distância até cursos de água.

| Distância (m)  | Risco de Inundação | Nota |
|----------------|--------------------|------|
| 0 – 500        | Muito Alto         | 10   |
| 500 – 1000     | Alto               | 8    |
| 1000 – 2000    | Médio              | 5    |
| 2000 – 4000    | Baixo              | 3    |
| Maior que 4000 | Muito Baixo        | 1    |

A seguir é apresentado o mapa reclassificado da distância até os cursos de água:



**Figura 12:** Mapa Reclassificado de Distancia até cursos de água.

O mapa reclassificado das distâncias até cursos de água ao longo da periferia, ilustra primeiramente a passagem de alguns cursos de água por áreas habitadas, tornando estas áreas altamente susceptíveis. De modo geral, a variável apresenta grande influência ao longo da cidade, e visto que o grau de susceptibilidade de varia de moderado a muito alto.

### 3.2.2.8 Tipos de Solo

O tipo do solo reflete diretamente na taxa de infiltração da água na superfície e na capacidade de retenção de água, dependendo de variáveis como a porosidade e compactação características do solo, onde diferentes tipos de solo possuem diferente capacidade, o que resulta em um aumento no escoamento superficial se o mesmo não possuir boa capacidade de infiltração.

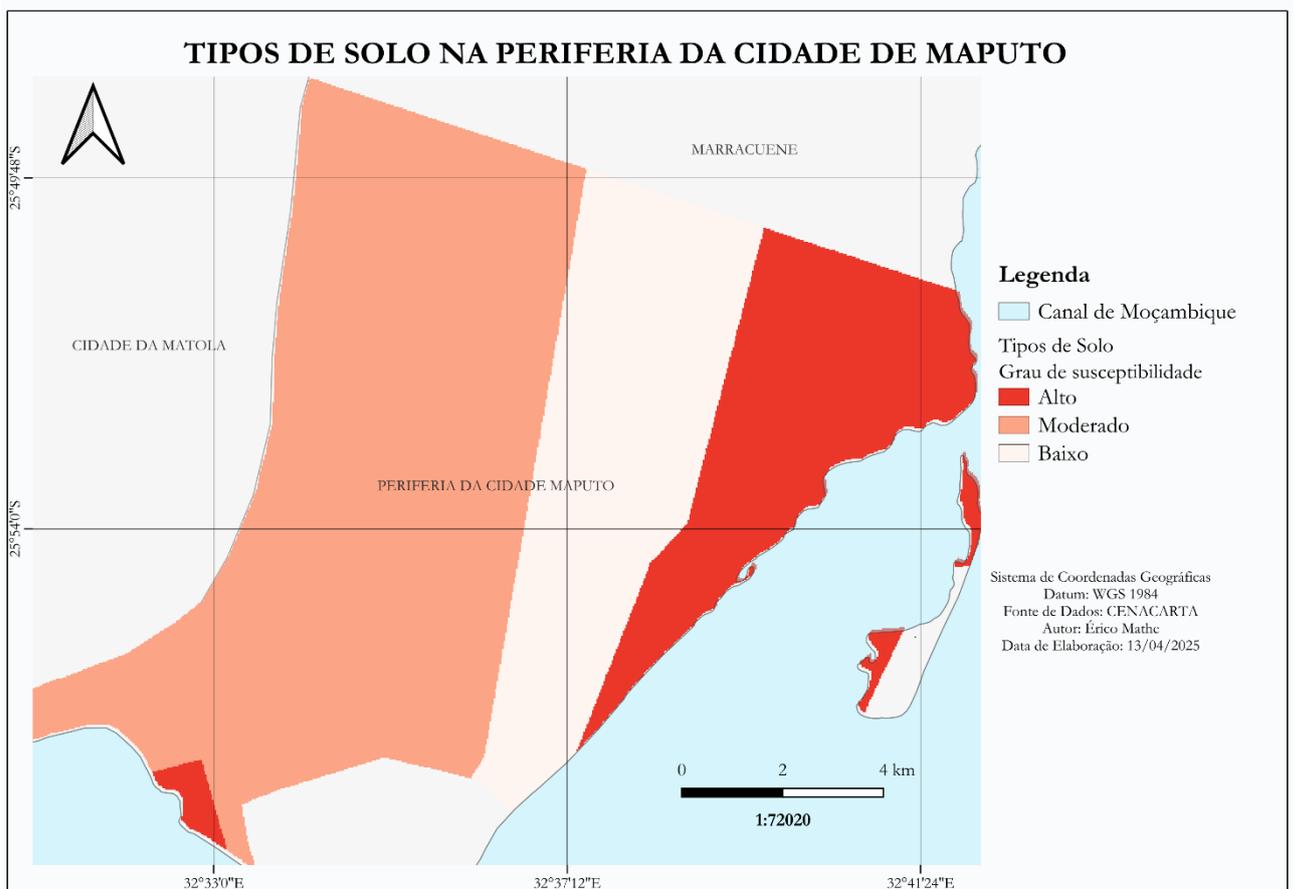
A variável tipo de solo possui a menor contribuição para a suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica, as diferentes classes pouco contribuirão para a diferenciação das classes hierárquicas (Rodrigues, 2019).

Os solos ao longo da zona periférica da Cidade de Maputo classificam-se em Solos de sedimentos marinhos estuarinos, Solos arenosos alaranjados, Solos derivados de Gres vermelho, Solos arenosos amarelados e Solos arenosos amarelados fase dunar.

Os dados de solo foram *rasterizados* e obedecendo os valores de reclassificação da tabela a seguir:

**Tabela 9:** Reclassificação dos tipos de solo na Periferia da cidade Maputo. Fonte: (Pereira Toniolo et al., 2022; Vargem, 2024).

| <b>Tipo de Solo</b>                     | <b>Grau de susceptibilidade</b> | <b>Nota</b> |
|---|---------------------------------|-------------|
| Solos de sedimentos marinhos estuarinos | Muito alto                      | 10          |
| Solos arenosos alaranjados              | Moderado                        | 5           |
| Solos derivados de Grés vermelho        | Baixo                           | 3           |
| Solos arenosos amarelados fase dunar    | Moderado                        | 5           |



**Figura 13:** Mapa reclassificado de tipos de solo ao longo da Periferia cidade de Maputo.

### 3.3. Processamento

#### 3.3.1. Ponderação das variáveis pelo Método AHP

A ponderação dos valores das variáveis hipsometria, declividade, uso e cobertura do solo, pedologia e precipitação, temperatura e cursos de água utilizados para mapear as áreas susceptíveis à inundações, foi realizada considerando a metodologia proposta por Cury et al. (2021) e Toniolo et al. (2022), que consiste na atribuição dos pesos às variáveis pelo método AHP.

De modo a definir a importância relativa dos critérios no que tange à susceptibilidade de inundações, realizou-se a comparação dois-a-dois dos critérios utilizando a escala proposta já apresentada na Tabela 1, onde o valor 1 equivale ao mínimo, e 9 o máximo de importância de uma variável sobre outra.

##### 3.3.1.1. Matriz de comparação

Essa é a parte mais importante, pois, os valores atribuídos a cada variável interferiram directamente no resultado obtido.

Para elaboração das matrizes de comparação e comparação normalizada, foi utilizado o *software Microsoft Excel 2013*.

**Tabela 10:**Matriz de comparação das variáveis.

| Variável        | Temperatura | Tipos de Solo | Uso e Cobertura | Hipsometria | Declividade | Precipitação | Cursos de Água |
|-----------------|-------------|---------------|-----------------|-------------|-------------|--------------|----------------|
| Temperatura     | 1           | 0.5           | 0.5             | 0.5         | 0.5         | 0.5          | 0.5            |
| Tipos de Solo   | 2           | 1             | 0.5             | 0.5         | 0.5         | 0.5          | 0.5            |
| Uso e Cobertura | 2           | 2             | 1               | 0.5         | 0.5         | 0.5          | 0.5            |
| Hipsometria     | 2           | 2             | 2               | 1           | 0.3         | 0.5          | 0.5            |
| Declividade     | 2           | 2             | 2               | 3           | 1           | 0.5          | 0.5            |
| Precipitação    | 2           | 2             | 2               | 2           | 2           | 1            | 0.3            |
| Cursos de Água  | 2           | 2             | 2               | 2           | 2           | 3            | 1              |
| Soma            | 13          | 11.5          | 10              | 9.5         | 6.8         | 6.5          | 3.8            |

### 3.3.1.2. Matriz de comparação Normalizada

Apos a criação da matriz de comparação, foi criada a matriz normalizada da matriz de comparação. Obteve-se os valores manualmente, apenas dividindo cada elemento pela somatória dos elementos da coluna a que ela pertence.

**Tabela 11:** Matriz normalizada.

| Variável      | Temperatura | Tipos Solo | U.Cobertura | Hipsometria | Declividade | Precipitação | Cursode Água |
|---------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Temperatura   | 0.077       | 0.043      | 0.050       | 0.053       | 0.073       | 0.077        | 0.130        |
| Tipos de Solo | 0.154       | 0.087      | 0.050       | 0.053       | 0.073       | 0.077        | 0.130        |
| U.Cobertura   | 0.154       | 0.174      | 0.100       | 0.053       | 0.073       | 0.077        | 0.130        |
| Hipsometria   | 0.154       | 0.174      | 0.200       | 0.105       | 0.049       | 0.077        | 0.130        |
| Declividade   | 0.154       | 0.174      | 0.200       | 0.316       | 0.146       | 0.077        | 0.130        |
| Precipitação  | 0.154       | 0.174      | 0.200       | 0.211       | 0.293       | 0.154        | 0.087        |
| Cursos        | 0.154       | 0.174      | 0.200       | 0.211       | 0.293       | 0.462        | 0.261        |
| Soma          | 1.000       | 1.000      | 1.000       | 1.000       | 1.000       | 1.000        | 1.000        |

### 3.3.1.3. Determinação de Pesos

Elaborada a matriz normalizada, de seguida foi feita a determinação dos pesos para cada variável. Este processo consistiu no cálculo da média de cada uma das colunas da matriz normalizada, obtendo deste modo os pesos ilustrados na tabela a seguir.

**Tabela 12:** Determinação de pesos.

| Variável        | Media (peso) | Peso (%) |
|-----------------|--------------|----------|
| Temperatura     | 0.072        | 7.19     |
| Tipos de Solo   | 0.089        | 8.91     |
| Uso e Cobertura | 0.109        | 10.87    |
| Hipsometria     | 0.127        | 12.70    |
| Declividade     | 0.171        | 17.10    |
| Precipitação    | 0.182        | 18.17    |
| Cursos de Água  | 0.250        | 25.05    |
| Soma            | 1            | 100      |

Através da comparação pareada das variáveis, pode notar-se que os factores cursos de agua e precipitação exercem maior influencia na análise de susceptibilidade à inundações.

### 3.3.1.4. Avaliação de Consistência

Para avaliar se realmente os pesos calculados são verídicos, foi necessário calcular a razão de consistências (RC), que de acordo com Gossler, (2023) deve apresentar um valor menor que 0,10. Para o cálculo da razão consistência, primeiro determinou-se o maior autovalor ( $\lambda_{máx}$ ) e de seguida o índice de consistência.

#### 3.3.1.4.1. Determinação do maior autovalor ( $\lambda_{máx}$ )

Para a determinação do maior autovalor ( $\lambda_{máx}$ ), multiplica-se o somatório dos valores de cada variável da matriz de comparação pelo valor do seu peso correspondente.

$$(\lambda_{máx}) = 13 \cdot 0.072 + 11.5 \cdot 0.089 + 10 \cdot 0.109 + 9.5 \cdot 0.127 + 6.8 \cdot 0.171 + 6.5 \cdot 0.182 + 3.8 \cdot 0.250$$

$$= 7.405089305$$

#### 3.3.1.4.2. Determinação do índice de consistência IC

Para determinação do índice de consistência (IC), utilizou-se a equação 2, obtendo o resultado de 0.060218685.

$$IC = (\lambda_{\text{máx}} - n) / (n - 1) \quad (3)$$

Onde:  $n = 7$  e  $\lambda_{\text{Max}} = 7.405089305$

$$\begin{aligned} IC &= (7.405089305 - 7) / (7 - 1) \\ &= 0.067514884 \end{aligned}$$

#### 3.3.1.4.3. Determinação de razão de consistência

Após a determinação do autovetor máximo e do índice de consistência, segue-se o cálculo do da razão de consistência, que é obtido pela equação 1.

$$RC = IC / IR \quad (4)$$

Onde:

IR é o índice randômico, que segundo a tabela 2, é igual a 1.32.

Deste modo a RC será:

$$RC = 0.067514884 / 1.32$$

$$RC = 0.051147639$$

$$0.051147639 < 10\%$$

#### 3.3.2. Modelo de Susceptibilidade à Inundações

Após o tratamento dos dados, reclassificação das variáveis e organização de suas prioridades pelo método AHP, passamos a considerar os dados de prioridade atribuídos para cada variável reclassificada, para a modelagem de susceptibilidade à inundações, através do comando *raster calculator* do software QGIS 3.36, conforme ilustra o modelo abaixo:

$$SI = (T * 7.19) + (Ts * 8.9) + (U * 10.87) + (H * 12.70) + (D * 17.10) + (P * 18.17) + (C * 25.05) \quad (3)$$

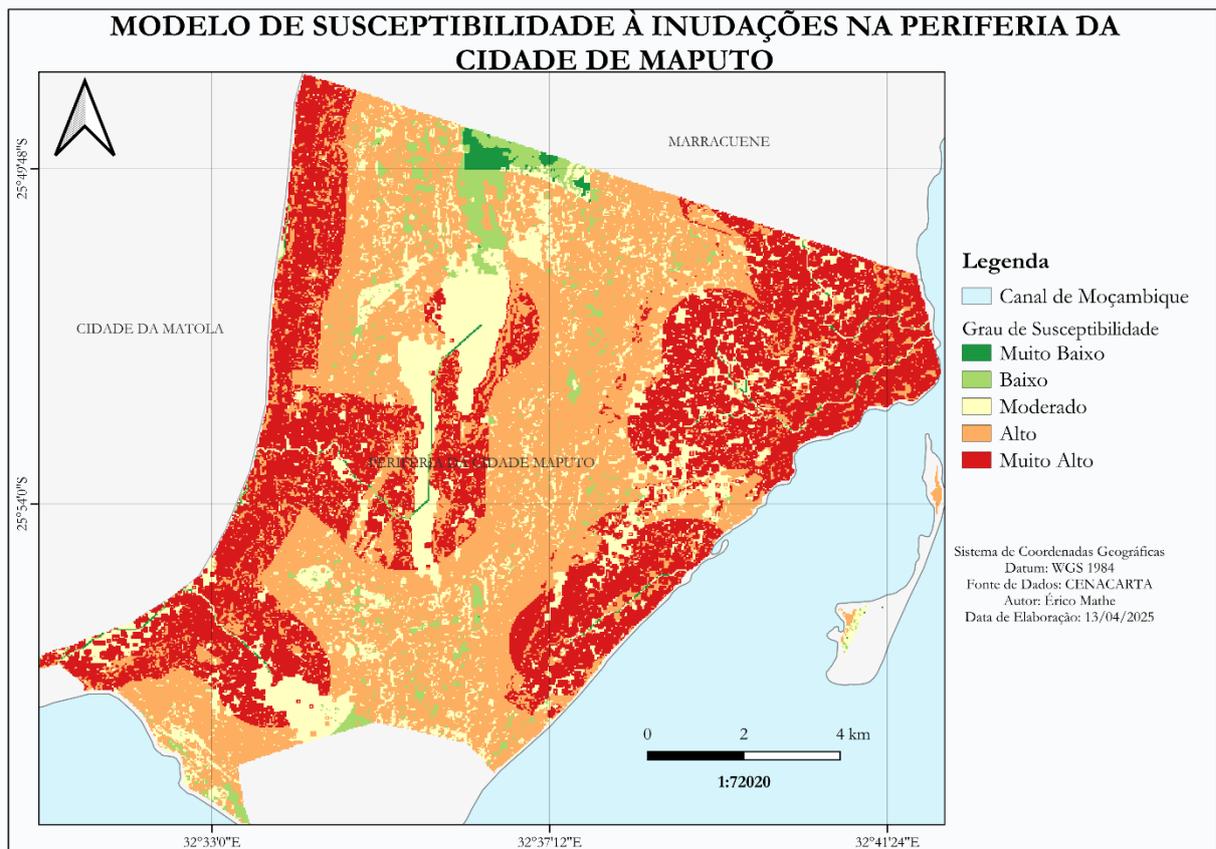
**Onde:** **H**-Hipsometria, **D**-Declividade, **U**-Uso e Cobertura, **Ts**-Tipos de Solo, **P**-Precipitação, **T**-Temperatura, **C**-Cursos de Água

**Resultados e Discussão**

Neste capítulo são apresentados os resultados alcançados na aplicação da metodologia proposta sob forma de tabelas, gráficos, imagens e mapas.

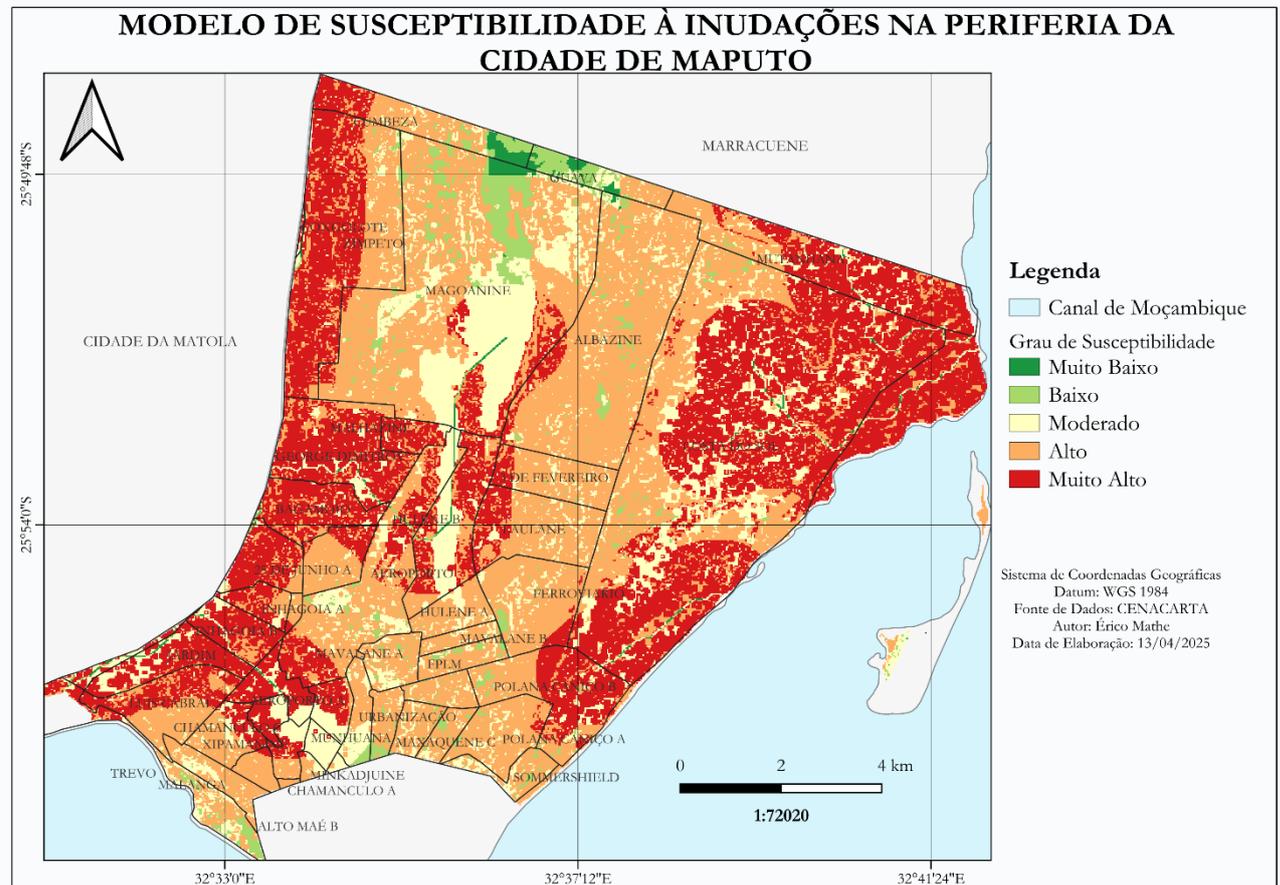
**4.1. Susceptibilidade à Inundações na Periferia da Cidade de Maputo**

Como resultados da aplicação do modelo construído obteve-se a distribuição espacial das áreas susceptíveis à inundações. O mapa final de suscetibilidade à inundação (Figura) gerado a partir do cruzamento das de hipsometria, declividade, uso e ocupação das terras, tipos de solos, distancia até cursos de água, temperatura e precipitação indicam quais são as áreas mais susceptíveis à ocorrência de inundações ao longo da periferia da Cidade de Maputo.



**Figura 14:** Mapa de susceptibilidade à inundações na Periferia cidade de Maputo

#### 4.1.1. Distribuição Espacial da Susceptibilidade à Inundações ao longo da Periferia da Cidade de Maputo



**Figura 15:** Distribuição espacial da susceptibilidade à inundações.

O Modelo de susceptibilidade à inundações ao longo da periferia da cidade de Maputo classifica a área de estudo em cinco categorias de susceptibilidade: Muito Baixa, Baixa, Moderada, Alta e Muito Alta. A análise espacial do Modelo mostra os seguintes padrões:

Áreas de alta e muito alta susceptibilidades preenchem cerca de 49.47% e 28.86% respectivamente, no mapa de susceptibilidade, apresentando um grau de susceptibilidade muito alto em bairros como Costa de Sol, algumas zonas adjacentes ao vale do Infulene, e Polana caniço. Zonas estas que apresentam a altitude e declividade baixa e são adjacentes a cursos de água, para além de facto de estas também serem densamente habitadas, factor que contribui para a interrupção de alguns cursos de água.

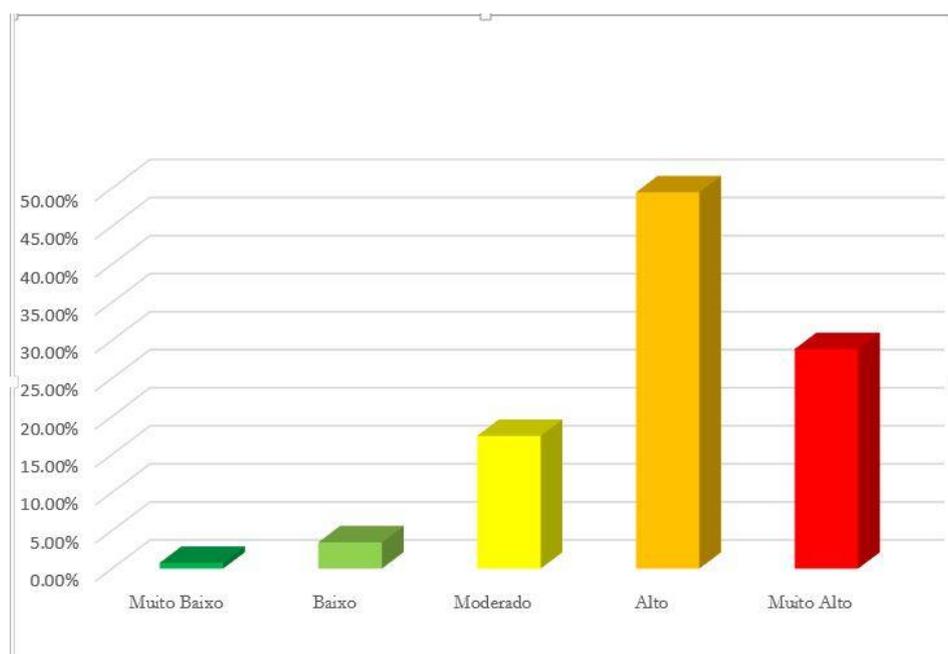
As Áreas com susceptibilidade moderada cobrem cerca de 17.45% da cidade, indicando transição entre áreas de susceptibilidade alta e zonas mais seguras, podendo destacar alguns bairros como Magoanine, Malhazine, Mavalane, Hulene e algumas zonas de Laulane, Ferroviário e Zimpeto. ainda que estes bairros apresentem na sua maioria uma área com o grau de susceptibilidade relativamente moderado, importa

ressaltar que estes podem ainda apresentar áreas inundadas, dada a sua disposição no que diz respeito as condições do relevo e a ocupação do solo, o que o torna cada vez mais impermeável.

As áreas de baixa e muito baixa ocupam cerca de 5% da área de estudo, e estas estão localizadas mais a norte da periferia da cidade de Maputo, dada a disposição do relevo e distância até os cursos de água, que são relativamente altos quando comparados a outras regiões, o que tornou estas áreas com baixo grau de susceptibilidade à inundações.v

**Tabela 13:** Abrangência espacial das classes de riscos nas regiões Susceptíveis à inundações na Periferia da cidade de Maputo.

| <b>Grau de Susceptibilidade</b> | <b>Percentagem</b> | <b>Área (km<sup>2</sup>)</b> |
|---------------------------------|--------------------|------------------------------|
| Muito Baixo                     | 0.76%              | 1.24                         |
| Baixo                           | 3.46%              | 5.64                         |
| Moderado                        | 17.45%             | 28.39                        |
| Alto                            | 49.47%             | 80.49                        |
| Muito Alto                      | 28.86%             | 46.97                        |
| <b>Total</b>                    | <b>100%</b>        | <b>162.72</b>                |



**Figura 16:** Proporção dos graus de inundação

Pode-se destacar que as zonas de susceptibilidade muito alta, na sua maioria estão pr oximas a cursos de água, e que apresentam solos com capacidade de infiltração não boa, dificultando desta maneira a drenagem de água da chuva. A declividade e a hipsometria contribuíram significativamente no resultado obtido, porquanto a zona periférica da Cidade de Maputo, por apresentar um relevo baixo e na sua maior parte plano, estes tornam uma parte significativa da periferia susceptível   inundações.

## 4.2. Validação do Mapa de Susceptibilidade

A validação foi realizada comparando os resultados com registros de inundações de Março de 2024, e também recorreu-se a visitas de campo onde foram capturadas imagens do actual cenário. Identificou-se que nas áreas classificadas como alta e muito alta coincidem com eventos de inundações registrados anteriormente, confirmando a coerência do modelo, no entanto é possível também notar que algumas áreas com a classificação moderada, apresentam alguns casos de inundações, conforme mostra a figura 20 (vide em anexo). Importa a seguir.

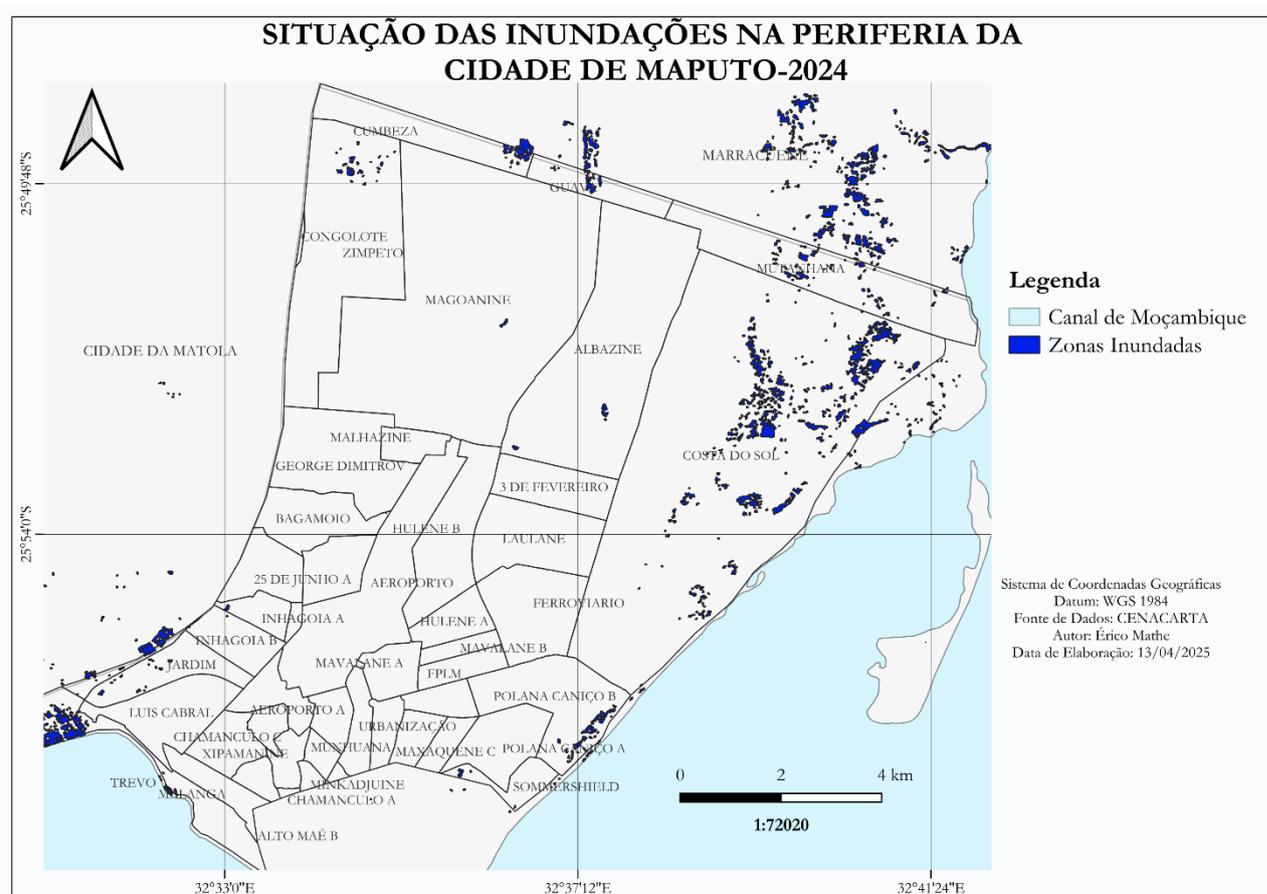


Figura 17: Situação de Inundações na Periferia da cidade de Maputo

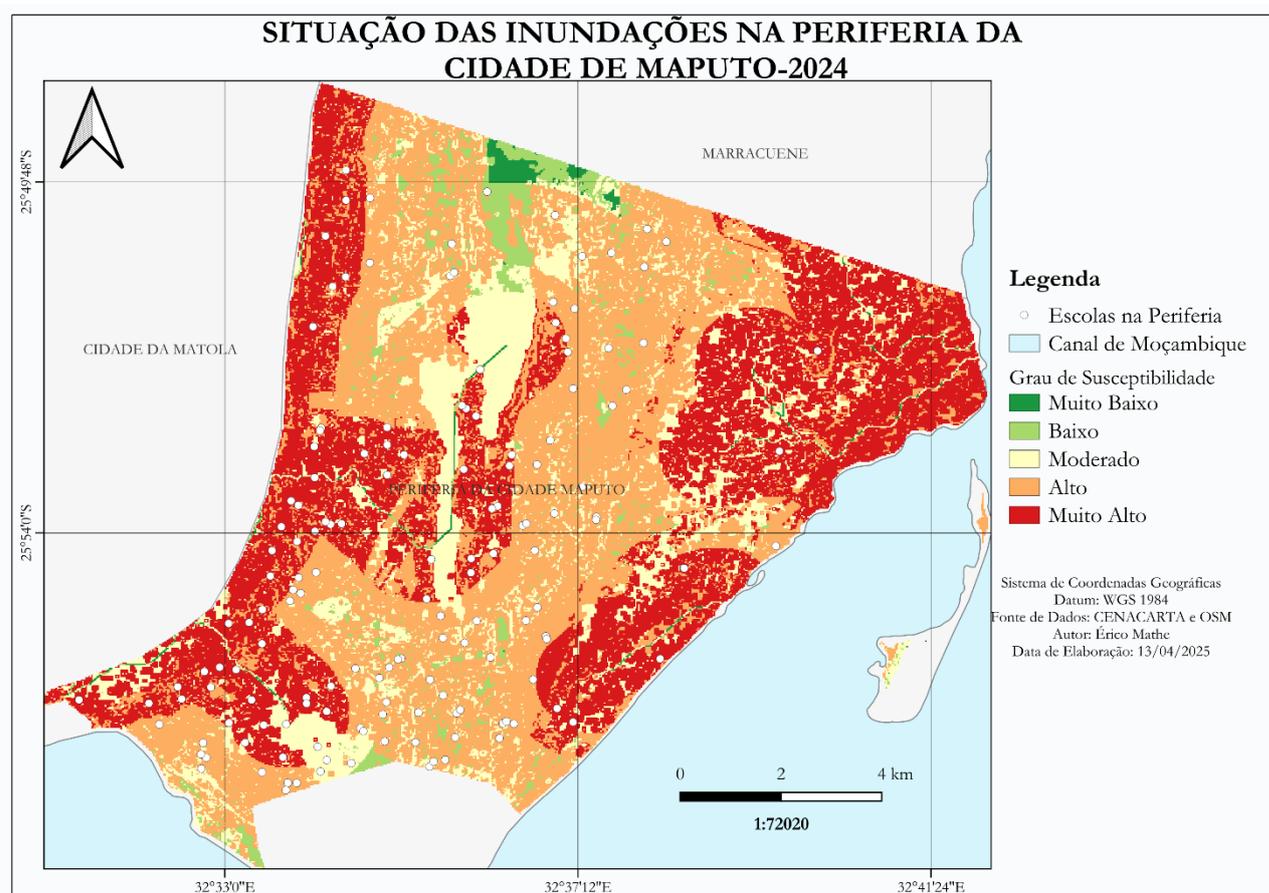
## 4.3. Análise espacial do Dano Potencial em Infra-estruturas

Apos validação do Modelo de Susceptibilidade à inundações para a periferia da Cidade de Maputo, de seguida fez-se análise do dano potencial por inundações em infra-estruturas sociais.

Vale ressaltar que consequências das inundações são inúmeras. As inundações danificam as construções de diversas formas, e os danos causados podem ser classificados em tangíveis e intangíveis, e, em um segundo nível, em directos e indirectos. Os danos que resultam do contato físico da água de inundação com bens e pessoas são considerados directos, e os outros, decorrentes de interrupções e perturbações

das actividades sociais e econômicas durante e após as inundações, são classificados como danos indirectos (Jonov et al., 2013).

Neste sentido, neste trabalho será feita a análise do potencial dano directo em infra-estruturas de ensino e aprendizagem do ensino fundamental até o nível médio e técnico profissional distribuído ao longo da periferia da cidade Maputo. Para tal foi feito um levantamento através do sítio da *OpenStreetMap* (OSM), tendo sido levantadas cerca de 153 instituições de ensino, distribuídas conforme ilustra a figura abaixo.

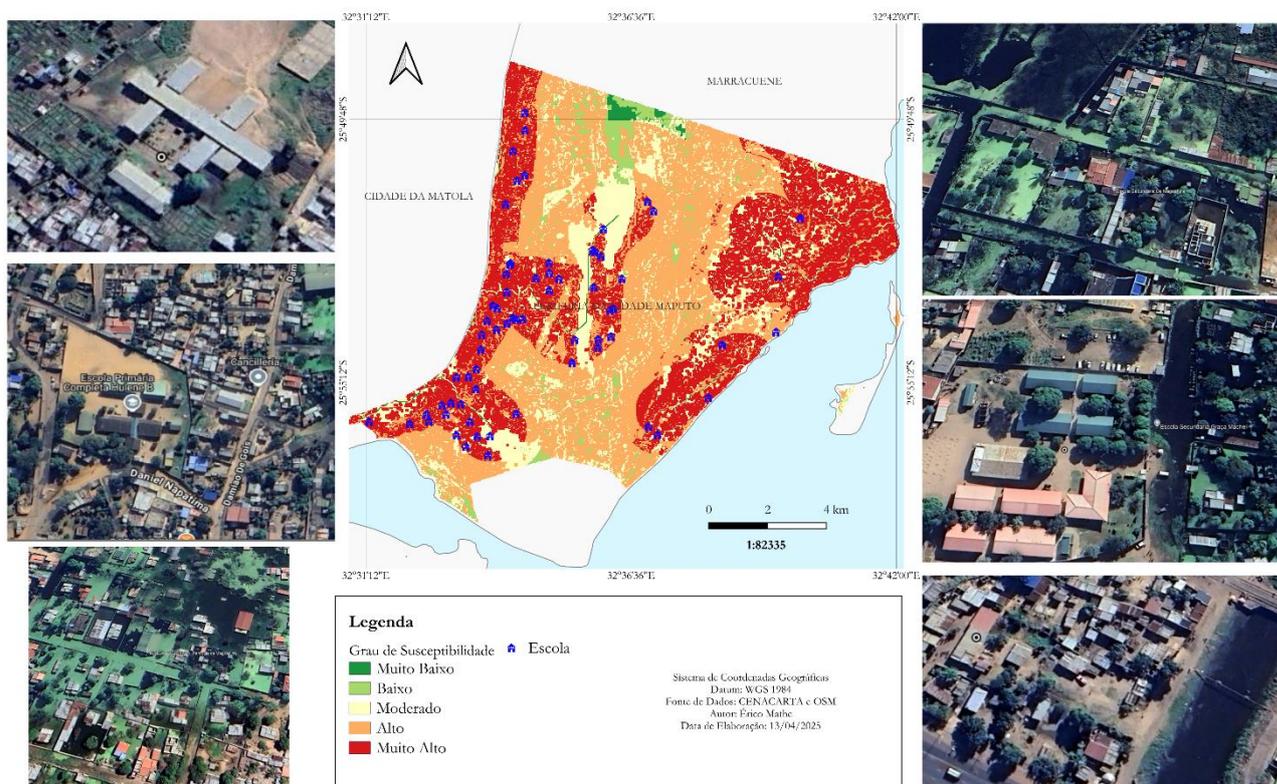


**Figura 18:** Distribuição de instituições de ensino ao longo da cidade de Maputo.

Destas instituições de ensino distribuídas ao longo da periferia da cidade Maputo, é notório que estas encontram-se distribuídas na sua maioria em áreas de susceptibilidade alta e muito alta. Também é possível observar através de imagens de satélite a disposição de algumas destas infra-estruturas, e pode-se constatar algumas já em situação de inundações, e outras devido a sua proximidade a locais inundados e ou cursos de água apresentam-se na eminência deste evento.

Apos análise do modelo e a distribuição das infra-estruturas de ensino, pode-se observar que cerca de 45% destas, encontram-se em zonas altamente susceptível à ocorrência de inundações conforme mostra a figura abaixo.

## DANO POTENCIAL E INFRA-ESTRUTURAS NA PERIFERIA DA CIDADE MAPUTO



**Figura 19:** Dano potencial em infra-estruturas de ensino.

Cerca de 63 infra-estruturas distribuídas em cerca de 14 bairros, encontram-se em zonas altamente susceptíveis à inundações, podendo-se constatar um dano potencial avultado para os habitantes da periferia da cidade de Maputo, significando a interrupção de actividades lectivas para milhares de crianças e jovens, para além do dano proveniente do contacto com as águas da chuva nas infra-estruturas, isto é, salas de aulas inundadas, a destruição de Material didático.

## Conclusões e Recomendações

Com este trabalho pode-se concluir da análise de susceptibilidade à inundações ao longo da periferia da cidade de Maputo que esta apresenta disposição natural a eventos de inundações, dado que, as condições do relevo, os tipos de solo, bem como a passagem de cursos de água. Esta disposição é agravada pela impermeabilização dos solos, pela construção de infra-estruturas, a pavimentação de ruas, e a consequente interrupção dos cursos de água.

A utilização do AHP para a realização deste trabalho mostrou-se eficaz, possibilitando a a ponderação de forma consistente das variáveis selecionadas para a análise de susceptibilidade, permitindo deste modo a construção de um modelo de susceptibilidade à inundações consistente, com o índice de consistência de 0.067514884. Feito isto, este modelo foi implementado em um ambiente SIG, através da álgebra de mapas. Feita a sobreposição, o modelo de susceptibilidade apresentou cinco classes, indicando áreas de Muito baixa susceptibilidade até Muito alta.

Destas classes obtidas, cerca de 49% da área de estudo apresentou-se altamente susceptível à inundações, e cerca de 28% da área periférica da cidade de Maputo apresenta um grau muito elevado de susceptibilidade à inundações. Assim sendo, concluímos que cerca de 80% da área da periferia da cidade de Maputo apresenta predisposição a eventos de inundações.

O modelo de susceptibilidade mostrou-se válido quando sobreposto a dados de inundações referentes ao ano de 2024, e com os pontos verificados em campo conforme mostra a figura 20 em anexo.

A análise geo-espacial do dano potencial em infra-estruturas foi centrada em infra-estruturas de ensino e aprendizagem, como escolas primárias, secundárias e ensino técnico profissional. A periferia da cidade de Maputo apresenta cerca de 153 infra-estruturas de ensino e aprendizagem, dos quais cerca de 63, o correspondente a cerca de 45% das escolas, apresentaram-se em zonas de susceptibilidade a inundações muito alta. Deste modo, concluiu-se a análise geo-espacial do dano potencial em infra-estruturas.

### 5.1. Recomendações

Uma das deficiências notórias ao longo da periferia da cidade de Maputo é a falta de vias de drenagem para as águas da chuva. A criação ou construção de vias de drenagem que possibilitem o escoamento rápido da água da chuva, pode ser uma alternativa para minimizar a ocorrência ou o impacto de as chuvas podem ter para ocorrência de inundações ao longo da periferia da cidade de Maputo.

É também notório que em algumas áreas com alto grau de susceptibilidade inundações, as construções são na sua maioria desordenadas, isto é, não obedecem a nenhuma ordem ou plano de ordenamento. Deste modo, importante recomendar primeiramente, a promoção ou divulgação de políticas de ordenamentos territorial, a consciencialização sobre o grau de susceptibilidade à inundações em zonas mais críticas.

- Baalousha, H. M., Younes, A., Yassin, M. A., & Fahs, M. (2023). Comparison of the Fuzzy Analytic Hierarchy Process (F-AHP) and Fuzzy Logic for Flood Exposure Risk Assessment in Arid Regions. *Hydrology*, 10(7), 136. <https://doi.org/10.3390/hydrology10070136>
- Bezerra, P. E. S. (2020). *MODELAGEM ESPACIAL DA VULNERABILIDADE À INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE MARABÁ-PA COM AVALIAÇÃO BASEADA EM LÓGICA FUZZY*. 82.
- Cea, L., Álvarez, M., & Puertas, J. (2024). Using integrated hydrological–hydraulic modelling and global data sources to analyse the February 2023 floods in the Umbeluzi Catchment (Mozambique). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 24(1), 225–243. <https://doi.org/10.5194/nhess-24-225-2024>
- Come, S. (2024, março 27). *Inundações afectam mais de 45 mil pessoas na cidade de Maputo*. <https://aimnews.org/2024/03/27/inundacoes-afectam-mais-de-45-mil-pessoas-na-cidade-de-maputo/>
- Cumbene, R. (2015). *Análise do Risco de Incêndios Urbanos no Município de Maputo em Moçambique*. [https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/18376/1/ulsd070905\\_td\\_Rodrigues\\_Cumbane.pdf](https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/18376/1/ulsd070905_td_Rodrigues_Cumbane.pdf)
- Cury, M., Ladwig, N. I., Debiasi Menegasso, J., Sutil, T., & De Conto, D. (2021). MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO COMO INFORMAÇÃO PARA O PLANEJAMENTO E A GESTÃO TERRITORIAL EM BACIA HIDROGRÁFICA. *Caminhos de Geografia*, 22(83), 160–175. <https://doi.org/10.14393/RCG228356231>
- de Luiz, D. F., & Listo, R. (2022). *VULNERABILIDADE FÍSICA E SOCIAL A INUNDAÇÕES E SUAS POSSIBILIDADES METODOLÓGICAS PARA O ENSINO DE GEOGRAFIA: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BEBERIBE, OLINDA (RMR-PE)*. 111.

- Farias, A., & Mendonça, F. D. A. (2019). Modelagem e mapeamento de áreas de perigo de inundação urbana na cidade de Francisco Beltrão (Brasil). *Physis Terrae - Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente*, 1(1), 73–91. <https://doi.org/10.21814/physisterrae.405>
- Fernandez, P. A. J. (2015). *AVALIAÇÃO DO RISCO DE INUNDAÇÃO EM ZONAS URBANAS COM A INTEGRAÇÃO DE DADOS LiDAR E CARTOGRAFIA A ESCALA GRANDE*.
- Gossler, D. L. (2023). *MÉTODO MULTICRITÉRIO APLICÁVEL A MAPEAMENTO DE ÁREAS COM SUSCEPTIBILIDADE À INUNDAÇÃO. ESTUDO DE CASO: ROLANTE-RS*. 153.
- Hoffmann, T. C. P., & Mendonça, F. de A. (2012). (TIPOS DE TEMPO E EVENTOS HIDROMETEÓRICOS EXTREMOS). *REVISTA GEONORTE*.
- Jonov, C. M. P., Nascimento, N. D. O., & Silva, A. D. P. E. (2013). Avaliação de danos às edificações causados por inundações e obtenção dos custos de recuperação. *Ambiente Construído*, 13(1), 75–94. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212013000100006>
- Leal, F. C. B. D. S., Barbosa, I. M. B. R., & Aquino, J. T. D. (2020). MAPEAMENTO DE ÁREAS VULNERÁVEIS À INUNDAÇÃO COM USO DO SIG E DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO: O CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UNA EM PERNAMBUCO. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 9(01), 20. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e01202020-40>
- Lyrío, P. H. B. (2022). *UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTE E GEODÉSIA ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA*. 72.
- Neto, A. P. (1994). PLANEJAMENTO TERRITORIAL A ABORDAGEM GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA E O CONCEITO DE TERRENO OU ABORDAGEM DA PAISAGEM. *Revista do Departamento de Geografia*, 8, 51–62. <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0005>
- Ngovene, C. A. (2019). *ANÁLISE DO CONTRIBUTO DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL PARA O INGC NA PREVENÇÃO DOS IMPACTOS SÓCIO-AMBIENTAIS DAS INUNDAÇÕES NA ZONA DO MINGUENE, CIDADE DE MAPUTO*. 66.

- Nipassa, O., Manhique, B., & Muianga, B. (2023). *Cheias e Inundações Urbanas em Moçambique: O caso da Cidade da Matola*.
- O PAÍS. (2024, abril 10). *Inundações em Maputo são resultado da falta plano de estruturação da cidade—O País—A verdade como notícia*. <https://opais.co.mz/inundacoes-em-maputo-sao-resultado-da-falta-plano-de-estruturacao-da-cidade/>
- Osman, S. A., & Das, J. (2023). GIS-based flood risk assessment using multi-criteria decision analysis of Shebelle River Basin in southern Somalia. *SN Applied Sciences*, 5(5), 134. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05360-5>
- Ouma, Y., & Tateishi, R. (2014). Urban Flood Vulnerability and Risk Mapping Using Integrated Multi-Parametric AHP and GIS: Methodological Overview and Case Study Assessment. *Water*, 6(6), 1515–1545. <https://doi.org/10.3390/w6061515>
- Pereira Toniolo, B., Collins Da Cunha E Silva, D., Sakihama Ventura, K., & Wagner Lourenço, R. (2022). Identificação de áreas suscetíveis a inundações com o auxílio de geotecnologias na Unidade de Negócio Oeste—Sabesp. *Revista DAE*, 70(235), 167–179. <https://doi.org/10.36659/dae.2022.028>
- Prochmann, J. R., & Bonumá, N. B. (2014). *Trabalho de Conclusão de 1Curso*.
- Queiroga, A. A. (2018). *VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL NA REGLÃO GEOGRÁFICA IMEDIATA DE CAMPINA GRANDE - PB*.
- Ramos, J. R. L., Elmiro, M. A. T., Nero, M. A., Temba, P. D. C., & Rosa, G. (2022). Lógica fuzzy associada ao risco de inundações no município de Nova Lima/MG. *Revista Geografias*, 14(2), 125–144. <https://doi.org/10.35699/2237-549X.2018.19369>
- Reis, P. (2015). *Identificação de áreas vulneráveis as enchentes e inundações em áreas urbanas através de modelos topográficos e hidráulicos* [Universidade Federal de Uberlândia]. <https://doi.org/10.14393/ufu.di.2015.382>
- Ribeiro, S. R. (2018). *INTEGRAÇÃO DE DADOS COM ANÁLISE MULTICRITÉRIOS E*.

- Rodrigues. (2024). Crimes Ambientais. *GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)*, 14, 165.  
<https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2003.123846>
- Rodrigues, J. E. C., & Luz, L. M. D. (2022). RISCO A INUNDAÇÃO: PERDAS E DANOS SOCIOECONÔMICOS NA BACIA DO TUCUNDUBA, BELÉM/PA. *REVISTA GEONORTE*, 13(41). <https://doi.org/10.21170/geonorte.2022.V.13.N.41.83.110>
- Rodrigues, P. (2019). ANÁLISE ESPACIAL DE SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TUCUNDUBA-BELÉM-PA. *UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA ENGENHARIA AMBIENTAL E ENERGIAS RENOVÁVEIS*, 83.
- Silva Junior, C. H. L. (2015). Lógica Fuzzy e Processo Analítico Hierárquico (AHP) aplicados ao zoneamento de áreas suscetíveis a deslizamentos: Uma revisão. *Revista Monografias Ambientais*, 14(3), 42–55. <https://doi.org/10.5902/2236130818976>
- Sobre Nós—CMM*. (sem data). Obtido 25 de fevereiro de 2025, de [http://www.cmmaputo.gov.mz/?page\\_id=119](http://www.cmmaputo.gov.mz/?page_id=119)
- Souza, C. R. D. G. (2009). *Desastres Naturais: Conhecer Para Prevenir*. IG Instituto Geológico.
- Tucci, C. E. M. (2007). *1 INUNDAÇÕES URBANAS*.
- Vargem, M. C. (2024). *IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A INUNDAÇÕES EM SOROCABA USANDO GIS E ANÁLISE MULTICRITÉRIO*.
- Victor, R. B., & Uaila, E. (2023). *Por Ringo Benjamin Victor, José João Passe; Dizimalta Miquitaio, Evaristo Uaila & Hélio Nganhane*. 2(7).
- Zerger, A., & Wealands, S. (2004). Beyond Modelling: Linking Models with GIS for Flood Risk Management. *Natural Hazards*, 33(2), 191–208.  
<https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000037040.72866.92>

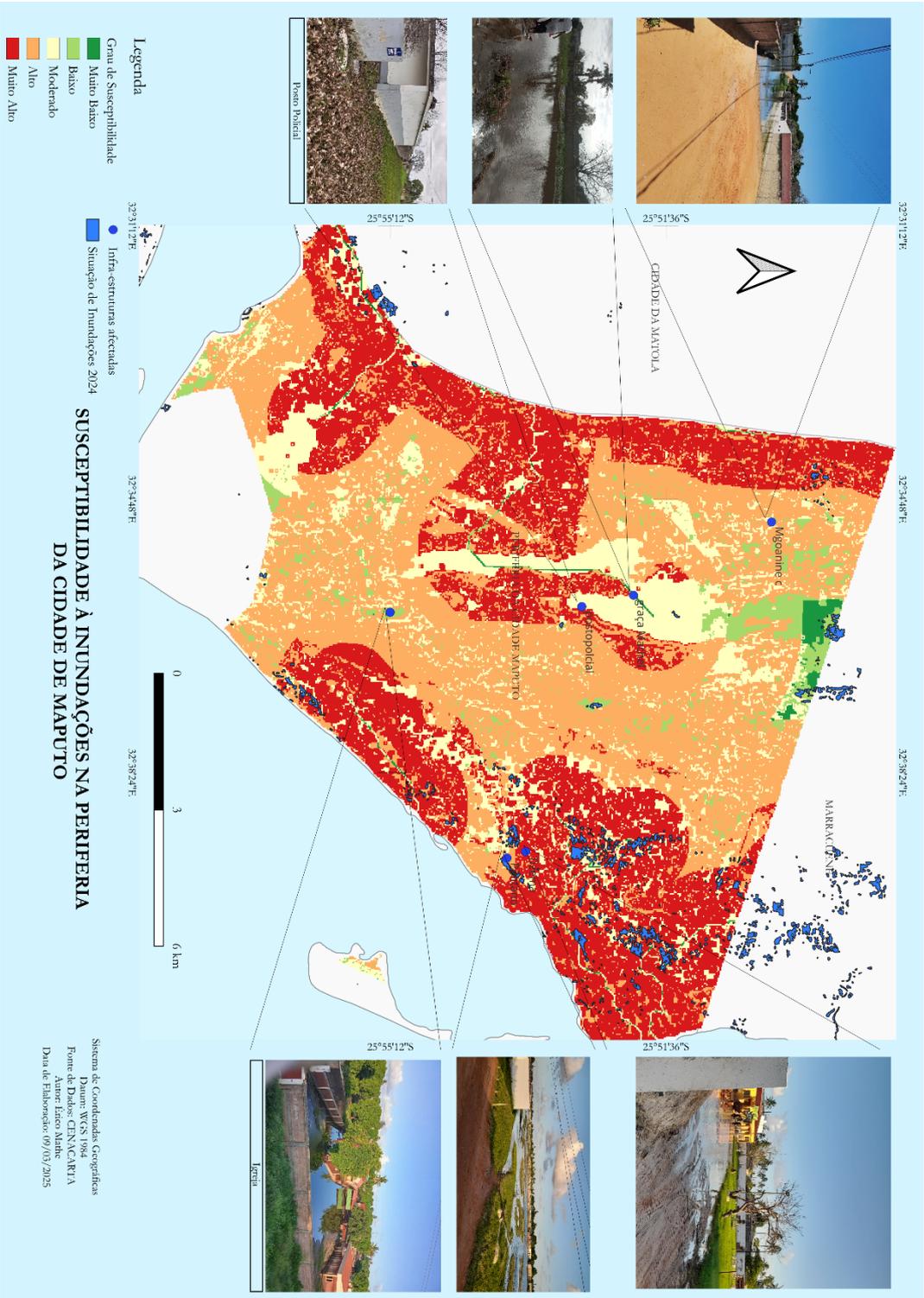


Figura 20: Locais visitados