



**UNIVERSIDADE  
E D U A R D O  
M O N D L A N E**

**FACULDADE DE LETRAS E CIÊNCIAS SOCIAIS**

**Departamento de Geografia**

**Curso de Licenciatura em Geografia (Laboral)**

**Orientação: Planificação e Desenvolvimento Regional (PDR)**

**Projecto de Fim do Curso**

**AVALIAÇÃO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES:  
CASO DE ESTUDO O MUNICÍPIO DA MATOLA**

**Evêncio Constantino Canze**

**Maputo, 2026**

Evêncio Constantino Canze

**AVALIAÇÃO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES:  
CASO DE ESTUDO O MUNICÍPIO DA MATOLA**

Projecto de pesquisa a ser apresentado em cumprimento parcial dos requisitos para obtenção do grau de Licenciatura em Geografia na Universidade Eduardo Mondlane.

Supervisora: Lic<sup>a</sup>. Tomazina Sithoe

<b>Oponente</b>	<b>Presidente do Júri</b>	<b>Supervisor</b>	<b>Data</b>
_____	_____	_____	___/___/___

## DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu **Evêncio Constantino Canze**, estudante de Geografia na Faculdade de Letras e Ciências Sociais (FLCS), da Universidade Eduardo Mondlane (UEM), declaro por minha honra que esta dissertação nunca foi antes apresentada, na essência, para obtenção de qualquer grau, e que constituiu o resultado da minha investigação pessoal, estando indicadas no texto e na bibliografia as fontes utilizadas.

---

*(Evêncio Constantino Canze)*

## DEDICATÓRIA

Dedico este projecto aos meus patrões, **Stélio Massunguine e Glória Jacinto Massunguine**, que ao longo desta jornada estiveram sempre ao meu lado para apoiar, e aos meus Pais **Constantino Pedro Soquisso e Nortina Daniel Chichongue** (em memória) pelos ensinamentos.

## AGRADECIMENTO

A Deus pelo dom da vida, pela sua presença em minha vida, que pela sua infinita bondade, sabedoria e misericórdia proporcionou-me saúde, força e acima de tudo fé, para superar todos os obstáculos durante a formação e na vida pessoal.

Aos meus patrões, **Stélio Massunguine e Glória Jacinto Massunguine**, pilares fundamentais desta conquista, expresso a minha profunda gratidão, ao Franterne (Frank) pelo incentivo incansável durante o percurso acadêmico.

Ao meu pai Constantino Pedro Soquisso e irmãos, Sebastião Constantino Pedro e Fagilto Constantino Canze, pela força e motivação prestada durante a formação.

A minha supervisora, Tomazina Sithoe, pela atenção, paciência, orientação e acompanhamento ao longo do desenvolvimento deste projecto.

O meu agradecimento vai também para todos os docentes do curso de licenciatura em geografia, que com dedicação, sabedoria, vontade e paciência, transmitiram seus conhecimentos que foram fundamentais para a minha formação acadêmica.

Aos meus colegas e amigos, Albino Teofilo Capitine, Angela Bambo, Filimone Carlos António, Afonso Bernardino e Anifo Abudo Mbaraca, que compartilharam comigo vários desafios e alegrias que marcaram esta caminhada acadêmica.

O meu muito obrigado a todos.

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

**SIG** – Sistemas de Informação Geográfica

**INGC** – Instituto Nacional de Gestão de Calamidades

**DPOPH** – Direcção Provincial de Obras Públicas e Habitação

**ODS** - Objectivos de Desenvolvimento Sustentável

**SRTM** – Shuttle Radar Topography Mission

**CMCM** – Conselho Municipal da Cidade da Matola

**CENACARTA** – Centro Nacional de Cartografia e Teledeteccção

**UTM** – Universal Transversal Mercator

**INIA** – Instituto Nacional de Investigação Agraria

**USGS** – United State Geological Survey

**DINAGECA** – Direcção Nacional de Geografia e Cadastro

**AHP** – Analytic Hierarchy Process

**IIAM** – Instituto de Investigação Agrária de Moçambique

## RESUMO

As inundações constituem um dos fenómenos naturais mais devastadores que afectam o Município da Matola, causando anualmente danos materiais significativos e impactando negativamente a vida das comunidades locais. O presente estudo propõe-se avaliar as áreas susceptíveis à ocorrência de inundações no Município da Matola através da aplicação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e análise multicritério. A metodologia baseia-se na integração do Processo de Análise Hierárquica (AHP) em ambiente SIG, considerando factores condicionantes como a altimetria, declividade, precipitação, tipo de solo, profundidade do solo, uso e cobertura da terra, e proximidade à rede de drenagem. Os dados serão obtidos a partir de imagens SRTM, cartas topográficas do CENACARTA, dados pluviométricos do INAM e cartografia pedológica do IIAM. O processamento será realizado no software ArcGIS Pro, utilizando a ferramenta Weighted Overlay para sobreposição ponderada dos factores reclassificados. A validação dos resultados será efectuada através de trabalho de campo, comparação com registos históricos de inundações e análise estatística utilizando matriz de confusão e coeficiente Kappa. Espera-se produzir um mapa de susceptibilidade a inundações na escala 1:50.000, classificado em cinco níveis (Muito Baixa, Baixa, Moderada, Alta e Muito Alta), que servirá como instrumento técnico de apoio ao planeamento territorial e gestão de riscos no município. Este estudo contribuirá para o fortalecimento da capacidade institucional de prevenção de desastres e para o cumprimento dos objectivos do Quadro de Sendai e dos Objectivos de Desenvolvimento Sustentável 11 e 13.

**Palavras-chave:** Inundações; Susceptibilidade; Sistemas de Informação Geográfica; Análise Multicritério; AHP; Matola.

## ÍNDICE

Conteúdo	Pág.
<b>DECLARAÇÃO DE HONRA</b> .....	<b>i</b>
<b>DEDICATÓRIA</b> .....	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMENTO</b> .....	<b>iii</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>v</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 PROBLEMA.....	1
1.2 JUSTIFICATIVA.....	2
1.3 HIPÓTESES.....	4
1.4 OBJECTIVOS.....	4
1.4.1 Objectivo Geral.....	4
1.4.2 Objectivos Específicos .....	4
<b>CAPÍTULO 2: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Inundações: Conceito, Causas e Consequências .....	5
2.1.1 Definição e Natureza das Inundações .....	5
2.1.2. Causas das Inundações .....	6
2.1.3. Consequências das Inundações .....	6
<b>2.2. Evolução das Metodologias de Avaliação de Susceptibilidade a Inundações</b> .....	<b>7</b>
2.2.1. Métodos Tradicionais: Cartografia e Análise Hidrológica Clássica .....	7
2.2.2. Modelos Hidrológicos e Hidráulicos.....	7
2.2.3. Sistemas de Informação Geográfica e Análise Espacial .....	8
2.2.4. Análise Multicritério e o Processo de Análise Hierárquica (AHP).....	8
2.3. Estudos de Referência e Experiências Aplicadas.....	9

2.3.1. Experiências Internacionais .....	9
2.3.2. Experiências no Contexto Africano.....	10
2.3.3. Experiências em Moçambique e na Região de Maputo .....	10
<b>CAPÍTULO 3: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>11</b>
3.1 Localização.....	11
3.1.1 Divisão administrativa .....	12
3.2 Demografia.....	13
3.3 Clima .....	13
3.4 Solos.....	13
3.5 Variação altimétrica .....	15
3.6 Precipitação .....	16
3.7 Uso e cobertura da terra .....	17
<b>CAPÍTULO 4: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>19</b>
4.1 PREPARAÇÃO METODOLÓGICA .....	20
4.2 REVISÃO DA LITERATURA.....	20
4.3 PONDERAÇÃO E OBTENÇÃO DE DADOS .....	20
4.3.1 Dados Altimétricos (SRTM).....	20
4.3.2 Cartografia Topográfica Base .....	21
4.3.3 Uso e Cobertura da Terra.....	21
4.4 PROCESSAMENTO DOS FACTORES CONDICIONANTES.....	21
4.4.1 Derivação das Curvas de Nível.....	21
4.4.2 Cálculo da Declividade .....	22
4.4.3 Processamento dos Dados de Precipitação .....	22
4.4.4 Caracterização Pedológica .....	22
4.4.4.1 Textura do Solo.....	22

4.4.4.2	Profundidade do Solo.....	23
4.4.5	Análise da Rede de Drenagem.....	23
4.5	PONDERAÇÃO E RECLASSIFICAÇÃO DOS FACTORES .....	23
4.6	ATRIBUIÇÃO DE PESOS.....	24
4.6.1	Escala Fundamental de Saaty.....	24
4.6.2	Hierarquização e Justificação dos Factores .....	25
4.6.3	Matriz de Comparação Paritária .....	26
4.6.4	Procedimento de Normalização e Cálculo dos Pesos .....	26
4.7	Análise de Consistência .....	27
4.7.1	Procedimento de cálculo.....	27
4.7.2	Índice de Consistência (CI) .....	28
4.8	ANÁLISE WEIGHTED OVERLAY.....	30
4.9	CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA E MAPA FINAL .....	32
4.10	VALIDAÇÃO E VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS.....	32
4.10.1	Validação e Avaliação de Precisão.....	32
4.10.2	Trabalho de campo.....	33
4.10	TESTE DAS HIPÓTESES.....	33
4.11	RESULTADOS ESPERADOS.....	34
<b>5.</b>	<b>Cronograma de actividades .....</b>	<b>35</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>37</b>

## ÍNDICE DE MAPAS

<b>Mapa 1:</b> Localização da área de estudo .....	12
<b>Mapa 2:</b> Solos.....	14
<b>Mapa 3:</b> Variação altimétrica.....	15
<b>Mapa 4:</b> Distribuição da precipitação .....	16
<b>Mapa 5:</b> Uso e cobertura da terra.....	18

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Divisão administrativa da área de estudo.....	12
<b>Tabela 2:</b> Escala Fundamental de Saaty (Resumida).....	25
<b>Tabela 3:</b> Matriz de Comparação Paritária e Cálculo dos Pesos.....	26
<b>Tabela 4:</b> Matriz Normalizada e Cálculo dos Pesos .....	27
<b>Tabela 5:</b> Cálculo do Vector Ponderado .....	27
<b>Tabela 6:</b> Cálculo dos Valores $\lambda_i$ .....	28
<b>Tabela 7:</b> Índice Aleatório (RI) segundo Saaty (1980).....	29
<b>Tabela 8:</b> Critérios de Aceitabilidade do Rácio de Consistência.....	30
<b>Tabela 9:</b> Pesos Finais para Aplicação no ArcGIS Pro.....	30
<b>Tabela 10:</b> Configuração Weighted Overlay no ArcGIS Pro .....	31

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUÇÃO

As inundações constituem um dos fenómenos naturais mais devastadores a nível mundial, afectando milhões de pessoas anualmente e causando perdas económicas significativas (Abrão, 2019). Em Moçambique, este fenómeno representa uma das principais ameaças naturais, particularmente durante a época chuvosa, que decorre de Novembro a Abril (INGC, 2012). O município da Matola, não é excepção a esta realidade, tendo registado ao longo dos anos diversos episódios de inundações que causaram danos materiais consideráveis e afectaram significativamente a vida das comunidades locais (Mavume et al., 2009, p.28).

A crescente urbanização e o desenvolvimento populacional acelerado no município da Matola têm contribuído para o aumento da vulnerabilidade da região às inundações (Cumbe, 2019, p.78). A expansão urbana descontrolada, muitas vezes em áreas inadequadas para habitação, aliada à deficiente infraestrutura de drenagem urbana, tem agravado os impactos destes eventos extremos (CIP, 2024). Segundo Webster et al. (2005), as alterações climáticas têm intensificado a frequência e magnitude dos eventos pluviométricos extremos na região austral de África, tornando ainda mais urgente a necessidade de identificar e mapear áreas de risco.

A avaliação da susceptibilidade a inundações constitui uma ferramenta fundamental para o planeamento territorial e gestão de riscos, permitindo a implementação de medidas preventivas e mitigadoras adequadas. O presente estudo propõe-se avaliar as áreas susceptíveis à ocorrência de inundações no município da Matola, utilizando técnicas de análise espacial e Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Esta abordagem metodológica permitirá identificar zonas de maior risco e fornecer subsídios técnicos para o planeamento urbano sustentável e gestão eficaz dos recursos hídricos da região.

### 1.1 PROBLEMA

O município da Matola tem enfrentado recorrentemente problemas relacionados com inundações, especialmente durante a época chuvosa, quando se registam precipitações intensas e concentradas (DPOPH, 2018). Estas inundações têm causado impactos socioeconómicos significativos, incluindo a destruição de habitações, infraestruturas públicas, interrupção de actividades económicas e, em casos mais graves, perda de vidas humanas (INGC, 2012).

A problemática das inundações no município da Matola é exacerbada por diversos factores interligados. Primeiro, a topografia predominantemente plana da região, com altitudes que variam entre 10 a 50 metros acima do nível do mar, favorece a acumulação de águas (DPOPH, 2018). Segundo, a crescente impermeabilização do solo devido à urbanização acelerada reduz a capacidade de infiltração natural da água, aumentando o escoamento superficial (Cumbe, 2019). Terceiro, o sistema de drenagem urbana existente apresenta deficiências significativas, sendo inadequado para drenar eficientemente os volumes de água gerados durante eventos pluviométricos intensos (DPOPH, 2018).

Adicionalmente, a ocupação irregular de zonas baixas e áreas próximas a cursos de água tem aumentado a vulnerabilidade da população às inundações (Hoguane, 2007, p.75). A falta de planeamento urbano adequado e a ausência de mapas detalhados de risco de inundação dificultam a implementação de medidas preventivas eficazes e o ordenamento territorial sustentável (INGC, 2012).

A ausência de estudos técnicos aprofundados sobre a susceptibilidade a inundações no município da Matola constitui uma lacuna significativa no conhecimento científico local, limitando a capacidade das autoridades locais em tomar decisões informadas sobre o planeamento territorial e gestão de risco (INGC, 2012). Embora o problema das inundações seja estrutural e de longa data, a realização deste estudo neste momento específico justifica-se pela convergência de factores determinantes: o acelerado crescimento urbano registado na última década com a população a mais do que duplicar entre 2007 e 2017, atingindo 1.616.267 habitantes (INE, 2017), o avanço recente das tecnologias de SIG e dados de acesso livre como o SRTM, que tornam viável a execução de mapeamentos de susceptibilidade com maior rigor e menor custo, e o contexto institucional favorável criado pelo Quadro de Sendai 2015-2030 e pelos Objectivos de Desenvolvimento Sustentável, que conferem prioridade estratégica aos estudos de risco de desastres (UNDRR, 2015). Trata-se, portanto, do momento oportuno para produzir bases científicas que apoiem o planeamento territorial e a gestão preventiva dos riscos de inundação no município.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

A realização deste estudo justifica-se pela necessidade urgente de compreender e mapear as áreas susceptíveis a inundações no município da Matola, contribuindo para o fortalecimento da

capacidade de gestão de riscos e planeamento territorial sustentável da região. A relevância deste trabalho manifesta-se em várias dimensões fundamentais.

Do ponto de vista científico, este estudo contribuirá para o avanço do conhecimento sobre a dinâmica das inundações em contextos urbanos tropicais, particularmente em regiões em rápida expansão demográfica. Douglas et al. (2008) demonstraram que as comunidades pobres em áreas urbanas africanas enfrentam problemas crescentes de inundações severas, exacerbados pela ocupação de planícies de inundação, aumento do escoamento superficial de áreas impermeáveis e gestão inadequada de resíduos. A aplicação de metodologias de análise espacial e técnicas de SIG para avaliação de susceptibilidade a inundações permitirá testar e validar abordagens metodológicas em contextos específicos de países em desenvolvimento analisados por Tehrany et al., 2015.

Sob a perspectiva socioeconómica, os resultados deste estudo fornecerão informações valiosas para a protecção das comunidades vulneráveis e redução dos impactos económicos das inundações. Segundo o INGC (2012), os custos associados aos danos causados por inundações em Moçambique representam uma percentagem significativa do PIB nacional, justificando investimentos em estudos preventivos. A identificação precisa das áreas susceptíveis permitirá direccionar recursos limitados para as zonas prioritárias, optimizando a eficácia das intervenções. Do ponto de vista do planeamento territorial, este trabalho fornecerá subsídios técnicos essenciais para o desenvolvimento de planos directores municipais mais robustos e orientados pela evidência científica.

Ambientalmente, o estudo contribuirá para a compreensão das interações entre os processos naturais e as actividades humanas na génese das inundações, fornecendo bases para o desenvolvimento de soluções baseadas na natureza e práticas de gestão sustentável dos recursos hídricos. Esta abordagem é consistente com as recomendações de Mubai et al. (2019) para a região metropolitana de Maputo. Finalmente, este trabalho alinha-se com as prioridades nacionais e internacionais de redução de riscos de desastres, contribuindo para o cumprimento dos objectivos do Quadro de Sendai para Redução de Riscos de Desastres 2015-2030 e dos Objectivos de Desenvolvimento Sustentável, particularmente o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e o ODS 13 (Acção Climática). O Quadro de Sendai estabelece como prioridade a compreensão do risco de desastres através de estudos científicos, enquanto o ODS 11 visa tornar as cidades

inclusivas, seguras e resilientes, e o ODS 13 promove acções urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos (UNDRR, 2015; ONU, 2015).

### **1.3 HIPÓTESES**

Com base na análise da problemática e revisão bibliográfica preliminar, formulam-se as seguintes hipóteses de investigação:

**Hipótese 1:** As áreas de menor altitude (< 40 metros) e localizadas a menos de 250 metros dos cursos de água no município da Matola apresentam susceptibilidade significativamente maior à ocorrência de inundações, devido às características topográficas favoráveis à acumulação de águas pluviais e ao transbordamento directo dos canais de drenagem.

**Hipótese 2:** As zonas com maior densidade de impermeabilização do solo, resultantes da expansão urbana, demonstram maior susceptibilidade a inundações devido ao aumento do escoamento superficial e redução da capacidade de infiltração natural.

**Hipótese 3:** A susceptibilidade a inundações no município da Matola varia espacialmente em função da combinação de factores físicos (topografia, hidrologia, solos) e antrópicos (uso do solo, densidade populacional, infraestruturas de drenagem), sendo que as áreas de confluência destes factores apresentam os níveis mais elevados de susceptibilidade.

### **1.4 OBJECTIVOS**

#### **1.4.1 Objectivo Geral**

Avaliar as áreas susceptíveis à ocorrência de inundações no município da Matola através da aplicação de Sistemas de Informação Geográfica

#### **1.4.2 Objectivos Específicos**

- Caracterizar os aspectos físicos e geográficos da área de estudo, especificamente relevo, hidrografia, clima, solos e uso actual do solo do município da Matola, com vista a identificar os factores condicionantes das inundações;

- Aplicar a metodologia AHP-SIG para ponderação e sobreposição dos factores condicionantes, produzindo o mapa de susceptibilidade a inundações do município da Matola na escala 1:50.000, classificado em cinco níveis;
- Validar os resultados obtidos através de trabalho de campo e comparação com registos históricos de inundações, fornecendo subsídios técnicos para o planeamento territorial e gestão de riscos no município.

## **CAPÍTULO 2: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Inundações: Conceito, Causas e Consequências**

#### **2.1.1 Definição e Natureza das Inundações**

As inundações constituem um dos fenómenos naturais mais recorrentes e devastadores à escala global, caracterizando-se pelo transbordamento temporário de água para áreas normalmente secas (Tucci, 2007). Kobiyama *et al.* (2006) definem-nas como a ocupação temporária pela água de áreas que normalmente não se encontram submersas, podendo resultar de precipitações intensas, degelo, rompimento de barragens ou marés excepcionalmente altas. Para efeitos deste estudo, adopta-se a definição do Instituto Nacional de Gestão de Calamidades (INGC, 2016), que reconhece tanto as causas naturais quanto as deficiências nos sistemas de drenagem urbana como factores determinantes, por ser a mais adequada ao contexto moçambicano.

A compreensão das inundações exige a distinção entre três conceitos fundamentais no âmbito da gestão de riscos. A susceptibilidade refere-se à predisposição físico-ambiental de uma área para ser afectada, baseada exclusivamente em factores naturais como a topografia, o tipo de solo, a precipitação e a proximidade a cursos de água (Varnes, 1984). A vulnerabilidade designa a capacidade reduzida de uma população ou sistema para antecipar, resistir ou recuperar-se dos impactos, incorporando dimensões socioeconómicas, demográficas e institucionais (Cardona *et al.*, 2012). O risco, por sua vez, resulta da combinação entre susceptibilidade, vulnerabilidade e exposição (Varnes, 1984). O presente estudo centra-se especificamente na avaliação da susceptibilidade, que constitui a componente físico-ambiental fundamental e o pré-requisito para qualquer análise integrada de risco.

### **2.1.2. Causas das Inundações**

As causas das inundações resultam da interacção entre factores naturais e antrópicos, sendo frequentemente o produto de ambos em simultâneo (Amaral & Ribeiro, 2009). Entre os factores naturais destacam-se as precipitações intensas e concentradas, a topografia plana que favorece a acumulação de águas, a baixa permeabilidade dos solos e a proximidade a cursos de água (Coelho, 2011; Lima, 2014). Em Moçambique, os ciclones tropicais constituem uma causa adicional e recorrente de inundações de grande magnitude o ciclone Idai e o ciclone Kenneth, ambos em 2019, são exemplos paradigmáticos da sua capacidade destrutiva (Mavume *et al.*, 2009; INGC, 2019).

Os factores antrópicos assumem crescente relevância em contextos de urbanização acelerada. A impermeabilização do solo por expansão urbana reduz a capacidade de infiltração natural da água e aumenta o volume e a velocidade do escoamento superficial (Tucci, 2008; Rodrigues, 2015). A este factor acresce a inadequação das infraestruturas de drenagem, o desmatamento e a ocupação irregular de planícies de inundação e zonas ribeirinhas problemas documentados na região metropolitana de Maputo por Araújo (2013) e Silva (2020), e directamente aplicáveis ao contexto do município da Matola.

### **2.1.3. Consequências das Inundações**

As consequências das inundações são multidimensionais, abrangendo impactos sociais, económicos, ambientais e de saúde pública (Freitas, 2014). Do ponto de vista social, as inundações causam perda de vidas, deslocamento forçado de populações e destruição de habitações; em Moçambique, este fenómeno desloca anualmente milhares de pessoas, criando situações de vulnerabilidade extrema (INGC, 2017). Economicamente, as perdas associadas a infraestruturas, agricultura e reconstrução representam aproximadamente 0,6% do PIB nacional por ano (Banco Mundial, 2019). Em termos ambientais, destacam-se a erosão do solo, a contaminação de recursos hídricos e a destruição de ecossistemas (Ribeiro, 2017). Na dimensão da saúde pública, as inundações propiciam surtos de cólera, malária e doenças diarreicas pela deterioração das condições sanitárias e contaminação de fontes de água potável (Machava, 2016; Costa, 2018).

A amplitude e gravidade destes impactos justificam a necessidade de ferramentas científicas que permitam identificar, com antecedência, as áreas de maior susceptibilidade, orientando a gestão preventiva do território fundamento central deste estudo.

## **2.2. Evolução das Metodologias de Avaliação de Susceptibilidade a Inundações**

A construção do quadro metodológico deste estudo exige uma compreensão da trajetória histórica dos métodos de avaliação de susceptibilidade a inundações, desde as abordagens tradicionais até ao estado da arte representado pela integração AHP-SIG. Esta evolução não é meramente cronológica, pois cada geração de métodos respondeu às limitações da anterior, e a escolha do método utilizado neste estudo decorre directamente desse percurso.

### **2.2.1. Métodos Tradicionais: Cartografia e Análise Hidrológica Clássica**

Os primeiros métodos sistemáticos de avaliação de inundações baseavam-se na cartografia topográfica manual, na delimitação de planícies de inundação e na análise de registos históricos de cheias. Horton (1933) estabeleceu os fundamentos quantitativos da hidrologia de bacias, relacionando a morfologia do terreno com o comportamento do escoamento superficial trabalho que inaugurou a análise sistemática dos factores físicos condicionantes das inundações. Strahler (1964) aprofundou essa base com a geomorfologia quantitativa das redes de drenagem, introduzindo a ordenação hierárquica dos cursos de água como ferramenta de análise do potencial de escoamento. O'Callaghan & Mark (1984) sistematizaram os procedimentos de extracção de redes hidrográficas a partir de dados topográficos, que continuam a fundamentar os métodos modernos de análise em SIG.

Estes métodos, embora pioneiros, apresentavam limitações significativas: dependiam de trabalho de campo extensivo, de cartografia detalhada de difícil actualização, e tinham capacidade analítica restrita face à complexidade dos factores condicionantes (Tucci, 2005). Em contextos como o de Moçambique, com redes de monitorização hidrométrica escassas e cartografia base incompleta, estas limitações eram particularmente pronunciadas (INGC, 2012).

### **2.2.2. Modelos Hidrológicos e Hidráulicos**

Com o desenvolvimento das ciências hidrológicas e da computação, emergiram modelos matemáticos para simulação do comportamento das bacias hidrográficas. Tucci (2005; 2009) sistematiza esta geração em duas categorias: os modelos chuva-vazão, que simulam a transformação da precipitação em escoamento, e os modelos hidráulicos, que descrevem a propagação de cheias ao longo de canais e planícies de inundação. Ferramentas como o HEC-RAS (U.S. Army Corps of Engineers) e o SWMM (EPA) tornaram-se referências na delimitação de

manchas de inundação para diferentes períodos de retorno, permitindo estimativas espacializadas da extensão e profundidade das cheias.

Contudo, estes modelos apresentam uma exigência de dados que constitui o seu principal constrangimento: requerem séries longas e contínuas de dados hidrométricos e pluviométricos, levantamentos topográficos de alta resolução e calibração em campo, condições raramente reunidas em países em desenvolvimento (Cumbe, 2019). Esta limitação estrutural conduziu ao desenvolvimento de abordagens alternativas baseadas em análise espacial multicritério, mais adequadas a contextos com escassez de dados de campo.

### **2.2.3. Sistemas de Informação Geográfica e Análise Espacial**

A partir da década de 1990, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) emergiram como ferramentas centrais na avaliação de susceptibilidade a inundações (Câmara & Davis, 2001). Os SIG são sistemas computacionais que permitem a captura, armazenamento, análise e visualização de dados espaciais georreferenciados (Silva, 2013; Rosa, 2011), possibilitando a integração de múltiplas variáveis condicionantes numa única análise espacial (Oliveira & Silva, 2015).

Um avanço decisivo neste domínio foi a disponibilização pública dos dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) pela NASA/USGS em 2000, com resolução espacial de 30 metros (USGS, 2020). Esta missão democratizou o acesso a modelos digitais de elevação de qualidade para todo o planeta, eliminando uma das principais barreiras ao mapeamento de susceptibilidade em países em desenvolvimento. Algoritmos desenvolvidos por Tarboton *et al.* (1991) e Planchon & Darboux (2002) permitiram extrair automaticamente redes de drenagem e derivar índices hidrológicos a partir desses modelos de elevação digital, estabelecendo a base técnica sobre a qual os métodos multicritério integrados em SIG passaram a operar.

### **2.2.4. Análise Multicritério e o Processo de Análise Hierárquica (AHP)**

A análise multicritério constitui uma metodologia de apoio à decisão que permite avaliar alternativas considerando múltiplos critérios frequentemente conflituosos (Gomes *et al.*, 2009; Malczewski, 2006). No contexto da avaliação de susceptibilidade a inundações, a sua relevância decorre precisamente da natureza multifactorial do fenómeno: nenhum factor isolado nem a altitude, nem a precipitação, nem o tipo de solo é suficiente para explicar a susceptibilidade de

uma área; é a combinação ponderada de todos eles que determina o grau de risco (Kazakis *et al.*, 2015).

O Processo de Análise Hierárquica (AHP), desenvolvido por Saaty (1977; 1980), constitui a técnica multicritério mais amplamente adotada em estudos de susceptibilidade integrados com SIG (Rodrigues & Silva, 2018). O método baseia-se em três princípios: a decomposição hierárquica do problema em critérios e sub-critérios; as comparações paritárias entre critérios através de uma escala numérica de 1 a 9 (Saaty, 1987; 1994); e a síntese de prioridades através do cálculo do vector de pesos. A coerência dos julgamentos é verificada pelo Rácio de Consistência (RC), que deve ser inferior a 0,10 para garantir a validade dos resultados (Saaty, 2008). Malczewski (1999) sistematizou os fundamentos da integração AHP-SIG para problemas geoespaciais, tornando-a operacionalmente aplicável em ambiente de análise espacial.

A principal vantagem desta abordagem e a razão pela qual é adotada no presente estudo reside na sua capacidade de estruturar, de forma transparente e replicável, a ponderação de factores condicionantes espacialmente distribuídos, sem exigir os dados hidrométricos contínuos que os modelos hidráulicos clássicos requerem (Santos & Carvalho, 2020; Silva & Santos, 2021). Esta característica é decisiva num contexto como o do município da Matola, onde a rede de monitorização é limitada (INGC, 2012).

## **2.3. Estudos de Referência e Experiências Aplicadas**

### **2.3.1. Experiências Internacionais**

A eficácia da integração AHP-SIG na avaliação de susceptibilidade a inundações está documentada por um conjunto expressivo de estudos internacionais que constituem os modelos de referência metodológica para o presente trabalho. Tehrany *et al.* (2015), no Irão, combinaram SIG com *Support Vector Machine* (SVM) e frequência de razão para mapear susceptibilidade a inundações, validando os resultados através da curva ROC e alcançando precisão superior a 87% demonstrando que a validação estatística rigorosa é uma componente essencial da metodologia. Rahmati *et al.* (2016), também no Irão, aplicaram o método de frequência de razão integrado em SIG na bacia do rio Kashkan, identificando a altitude, a declividade e a distância à rede de drenagem como os factores de maior peso preditivo resultado convergente com os factores adoptados no presente estudo.

Kazakis *et al.* (2015) constituem a referência metodológica mais directa para este trabalho. Os autores desenvolveram, na Grécia, um índice multicritério de susceptibilidade a inundações baseado em SIG e AHP, combinando sete factores condicionantes como a precipitação, morfologia fluvial, litologia, uso do solo, declive, altitude e proximidade à rede hídrica e validando os resultados com registos históricos de cheias. A estrutura metodológica deste estudo, a selecção dos factores condicionantes e o processo de validação são directamente inspirados nesta abordagem e adaptados ao contexto da Matola.

### **2.3.2. Experiências no Contexto Africano**

No contexto africano, Dano *et al.* (2019) aplicaram a integração AHP-SIG no mapeamento de susceptibilidade a inundações em Accra, Gana, utilizando factores topográficos, pedológicos, hidrológicos e de uso do solo, e concluindo que as áreas de baixa altitude com solos de fraca permeabilidade apresentavam os índices mais elevados de susceptibilidade. Na África do Sul, estudos na bacia do uMngeni (Mahamba, 2019) recorreram à análise multicritério para identificar zonas críticas de inundação fluvial e urbana, documentando o papel central da impermeabilização do solo no aumento do escoamento superficial em contextos de urbanização rápida. Estas experiências são particularmente relevantes por partilharem com Moçambique características climáticas, de crescimento urbano acelerado e de limitação institucional semelhantes.

### **2.3.3. Experiências em Moçambique e na Região de Maputo**

Em Moçambique, a investigação sobre susceptibilidade e risco de inundações tem crescido nas últimas décadas, em grande medida impulsionada pela recorrência e gravidade dos eventos extremos. Douglas *et al.* (2008) demonstraram que as comunidades urbanas pobres em África enfrentam problemas crescentes de inundações severas, exacerbados pela ocupação de planícies de inundação e pela gestão inadequada das infraestruturas de drenagem diagnóstico que se aplica plenamente ao contexto da Matola (CIP, 2024; DPOPH, 2018).

Os estudos de Cumbe (2019) na área metropolitana de Maputo e o trabalho de Mucova *et al.* (2018) na bacia do Infulene constituem as referências metodológicas nacionais mais directas. Mucova *et al.* (2018) aplicaram análise espacial multicritério integrando dados de altimetria, cobertura do solo e precipitação para identificar zonas de risco de inundação na bacia do Infulene bacia que drena parcialmente o território da Matola validando os resultados com registos de eventos

históricos. Esta abordagem é adoptada e adaptada no presente estudo à escala do município, utilizando um quadro metodológico mais robusto que incorpora o AHP para ponderação dos factores condicionantes.

Parte-se da premissa de que a susceptibilidade a inundações é um fenómeno físico-ambiental determinado pela combinação ponderada de múltiplos factores altimétricos, hidrológicos, pedológicos e de uso do solo, cuja avaliação espacial integrada requer o concurso de técnicas de SIG e de análise multicritério (Kazakis *et al.*, 2015; Silva & Santos, 2021).

A evolução metodológica descrita na Secção 2.2 demonstra que os métodos tradicionais e os modelos hidrológicos, embora rigorosos, apresentam constrangimentos de dados que limitam a sua aplicabilidade directa no contexto da Matola. A abordagem AHP-SIG supera esses constrangimentos ao permitir a estruturação sistemática e transparente de julgamentos de especialistas combinados com dados espaciais disponíveis, tornando-a a metodologia mais adequada para o presente estudo (Malczewski, 1999; Rodrigues, 2020).

Os estudos de referência revistos de Kazakis *et al.* (2015) na Europa, Dano *et al.* (2019) em África e Mucova *et al.* (2018) em Moçambique validam empiricamente esta escolha metodológica e fundamentam a selecção dos factores condicionantes que serão integrados na análise: altimetria, declividade, precipitação, tipo e profundidade do solo, uso e cobertura da terra, e proximidade à rede de drenagem.

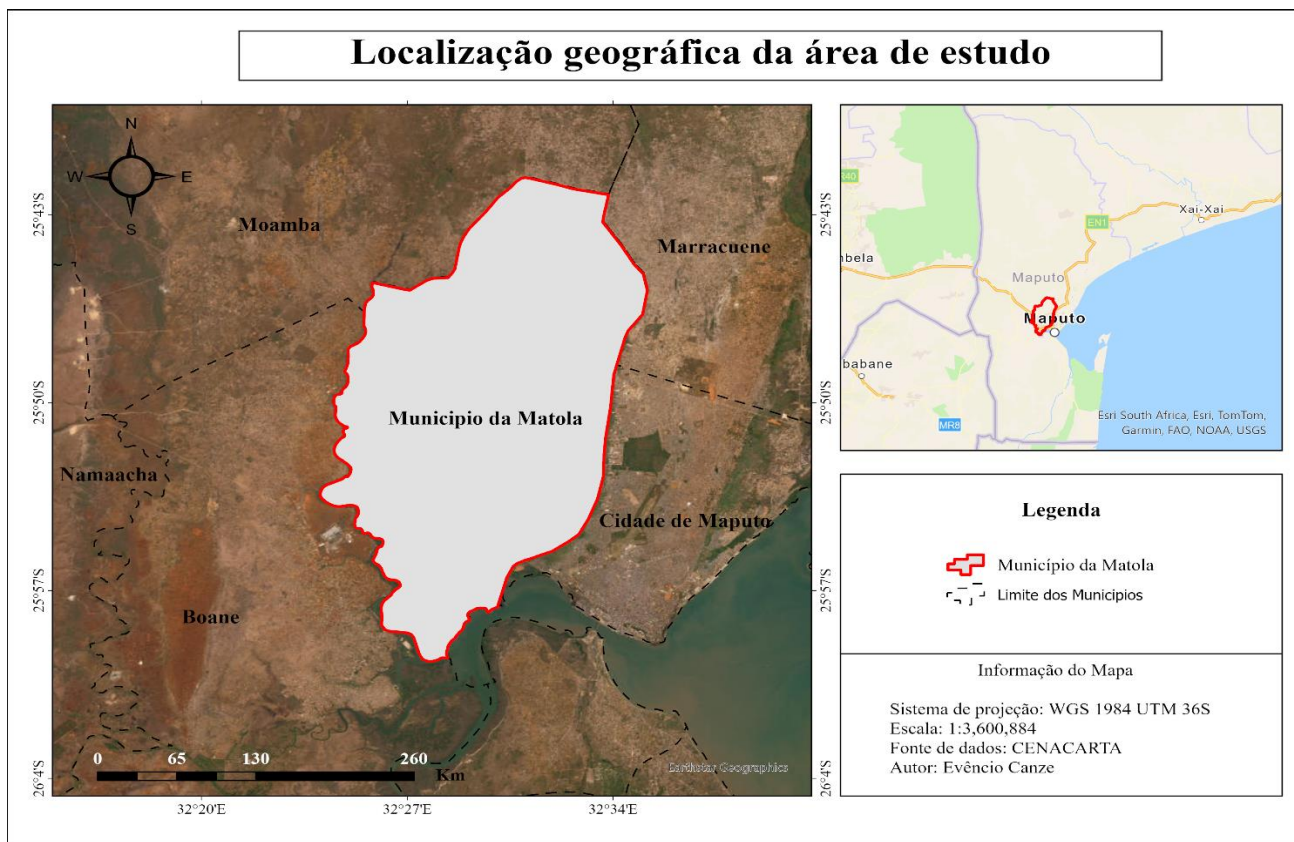
## **CAPÍTULO 3: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

### **3.1 Localização**

O Município da Matola localiza-se na parte sul de Moçambique, dentro da província de Maputo e ocupa área de 368,4 km<sup>2</sup>. Situa-se aproximadamente entre os paralelos 25° 41' 36" e 25° 50' 36" de latitude Sul e entre os meridianos 32° 24' 02" e 32° 35' 12" de longitude Este (CMCM, 2010).

É limitado a Norte pelo distrito de Moamba, a Sul pelo distrito de Boane e Cidade de Maputo (através do posto administrativo da Catembe, separado da baía de Maputo), a Este pela Cidade de Maputo e pelo distrito de Marracuene e a Oeste pelo distrito de Boane, conforme ilustra o Mapa 1.

**Mapa 1:** Localização da área de estudo



### 3.1.1 Divisão administrativa

Administrativamente, a cidade da Matola possui 42 bairros, agrupados em 3 Postos Administrativos: Matola Sede (13 bairros), Machava (14 bairros) e Infulene (15 bairros), conforme estabelecido no Plano de Estrutura Urbana da Cidade da Matola (CMCM, 2010).

**Tabela 1:** Divisão administrativa da área de estudo

Posto administrativo	Bairros
Matola Sede	Matola A, Matola B, Matola C, Matola D, Matola F, Matola G, Matola H, Matola J, Fomento, Liberdade, Mussumbuluco, Malhampsene e Sikwama.

Machava	Machava Sede, Infulene A, Trevo, Patrice Lumumba, São Dâmaso, Bunhica, Tsalala, Km-15, Matlemele, Nkobe, Matola Gare, Singathela, Nwamatibjana e Sidwava.
Infulene	T-3, Zona Verde, Ndlavela, Infulene D, Acordos de Lusaka, Vale do Infulene, Khongolote, Intaca, Muhalaze, 1º de Maio, Boquisso A, Boquisso B, Mali, Ngolhoza e Mucatine.

**Fonte:** Adaptado pelo autor

### 3.2 Demografia

De acordo com o IV Recenseamento Geral da População e Habitação (INE, 2017), a cidade da Matola tem 1.616.267 habitantes, contra os 672.508 habitantes apresentados no recenseamento geral da população e habitação de 2007 (INE, 2007), apresentando um crescimento populacional de 140,3%. Os mesmos documentos do Instituto Nacional de Estatística referem que a Matola teve um crescimento de 158,5% em infraestruturas habitacionais e de serviços, passando de 142.296 em 2007 para 367.772 em 2017. A densidade demográfica passou de 381,5 hab/km<sup>2</sup> em 2007 para 986 hab/km<sup>2</sup> em 2017.

Devido ao seu rápido crescimento, a cidade da Matola é actualmente a cidade com mais população residente de Moçambique. Este crescimento acelerado tem ocorrido na ausência de estudos urbanísticos adequados e planos estratégicos de desenvolvimento abrangentes, criando desafios significativos para o ordenamento territorial e provisão de serviços básicos (CMCM, 2010).

### 3.3 Clima

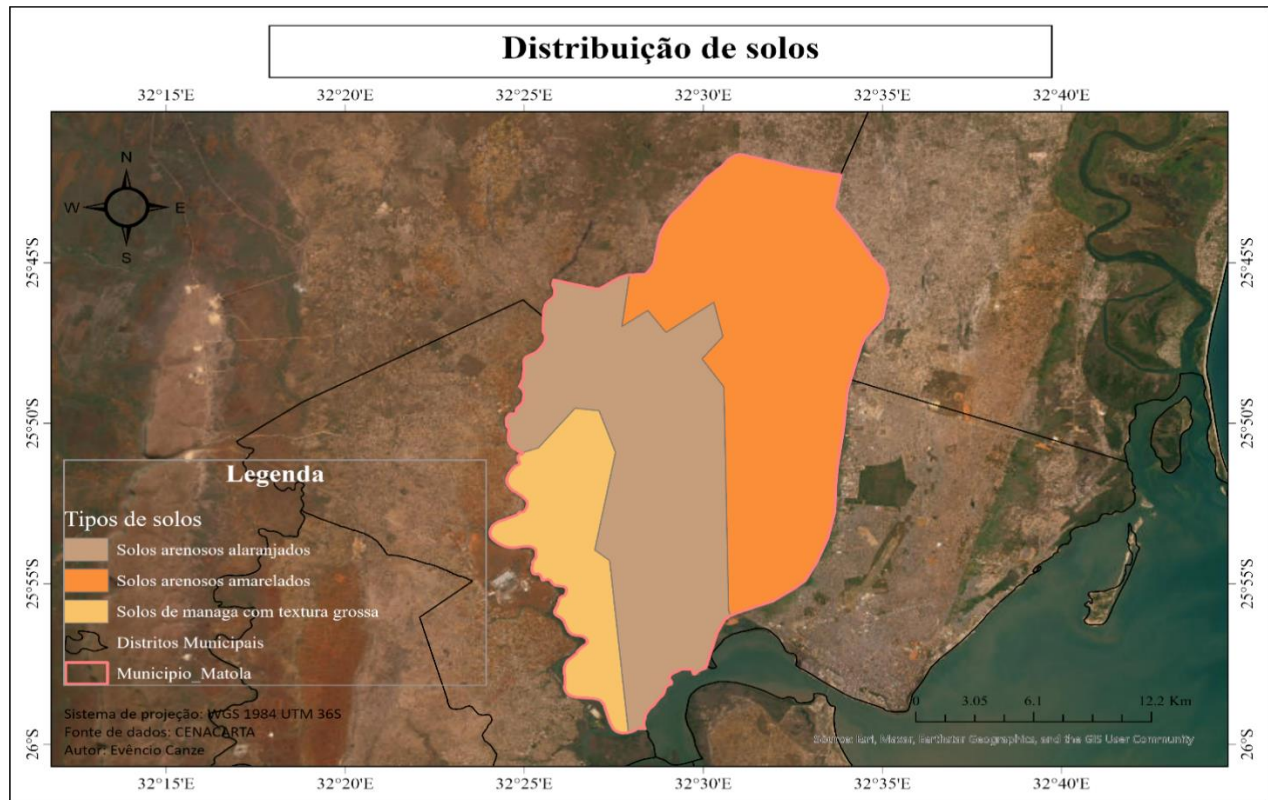
De acordo com a classificação de Koppen, o clima do Município da Matola é do tipo tropical de savana (Aw) com duas estações, um quente e chuvosa (outubro a março) e outra fria e seca (abril a setembro). As temperaturas médias anuais variam entre 22 - 24° C e com uma precipitação média de 600 á 1000 mm por ano (MATULE; PONZONI e CHAVES, 2017).

### 3.4 Solos

Os solos da área de estudo, segundo o INIA (1995), são constituídos predominantemente por areia e apresentam baixa capacidade de retenção de água, característica que se verifica na maior parte das unidades dos 42 bairros. Entretanto, de acordo com Muchangos (1986), nos vales de Infulene

e junto do rio Matola ocorrem Litossolos e solos Hidromórficos, caracterizados por menor permeabilidade e maior susceptibilidade à saturação hídrica durante eventos de precipitação intensa.

## Mapa 2: Solos



Com base no Mapa 2 acima, pode-se constatar que o Município da Matola apresenta três grandes tipos de solos, onde na sua maior parte predomina os solos arenosos amarelados, esses solos são semelhantes aos alaranjados na composição granulométrica, diferenciando-se pela tonalidade, mas clara. A cor amarela indica predominância de goethite sobre hematite, sugerindo maior hidratação dos óxidos de ferro (Toledo et al., 2000). Estes solos podem ocorrer em posições topográficas, mas baixas ou em áreas com maior influência do lençol freático.

Os solos de managa com textura grossa. Refere-se aos solos desenvolvidos nas planícies aluviais, associados a zonas próximas de cursos de água. Estes solos são formados pela deposição de sedimentos transportados pelas águas de rios, sendo compostos por materiais como areia, silte e argila (IIAM, 2018). A distribuição espacial dos diferentes tipos de solo está intimamente

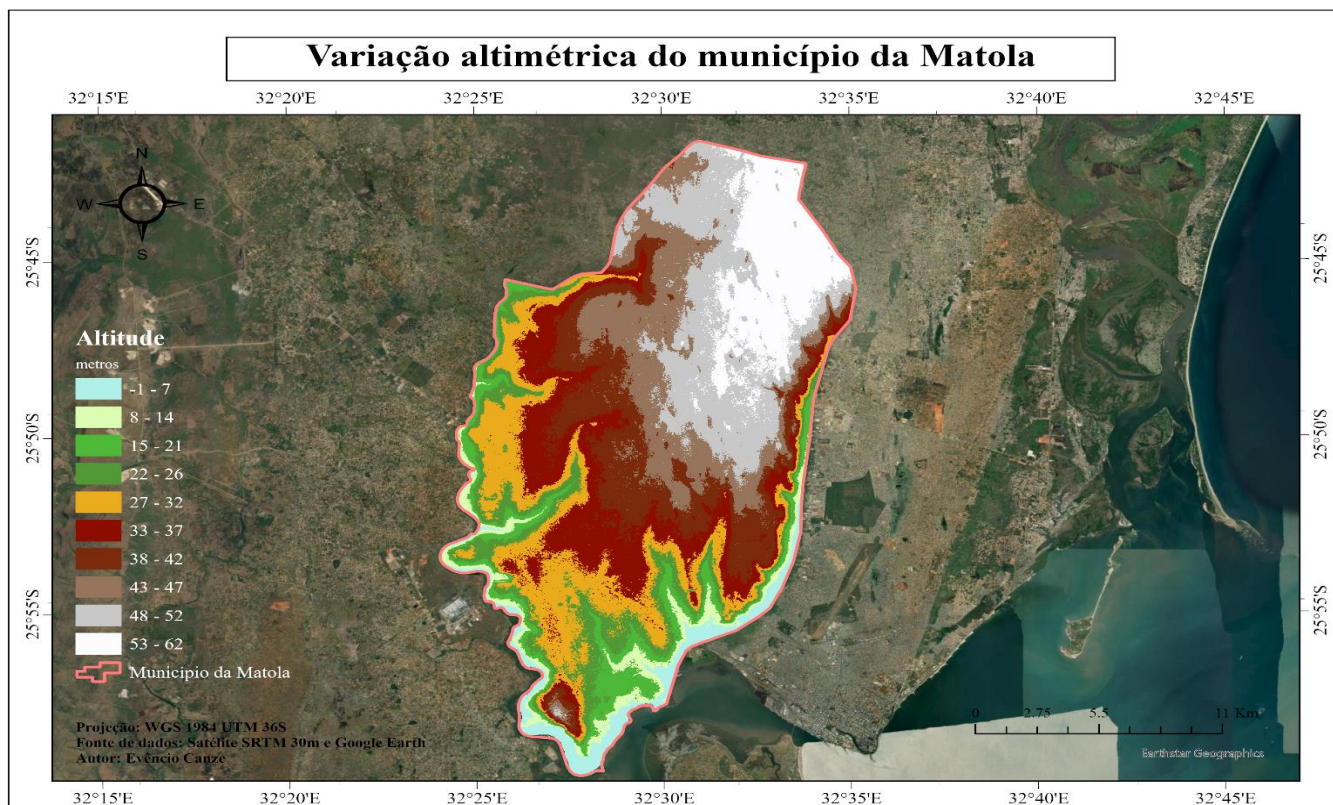
relacionada com a topografia, a geomorfologia e a proximidade aos cursos de água, reflectindo a complexa história geológica e hidrológica da região.

### 3.5 Variação altimétrica

A análise hipsométrica do município com base no mapa 3 abaixo, revela uma distribuição altimétrica assimétrica, com concentração de área nas classes altimétricas mais baixas. Cerca de 53% da área do município situa-se abaixo dos 40 metros de altitude, aproximadamente 78% da área situa-se abaixo dos 60 metros de altitude e apenas 22% da área situa-se acima dos 60 metros de altitude (análise derivada do MDE SRTM).

Esta distribuição altimétrica, com predominância de áreas baixas e planas, constitui um factor fundamental na elevada susceptibilidade do município a inundações. A altitude média ponderada do município situa-se em aproximadamente 42 metros, reflectindo o carácter predominantemente baixo do relevo (Manhiça, 2015).

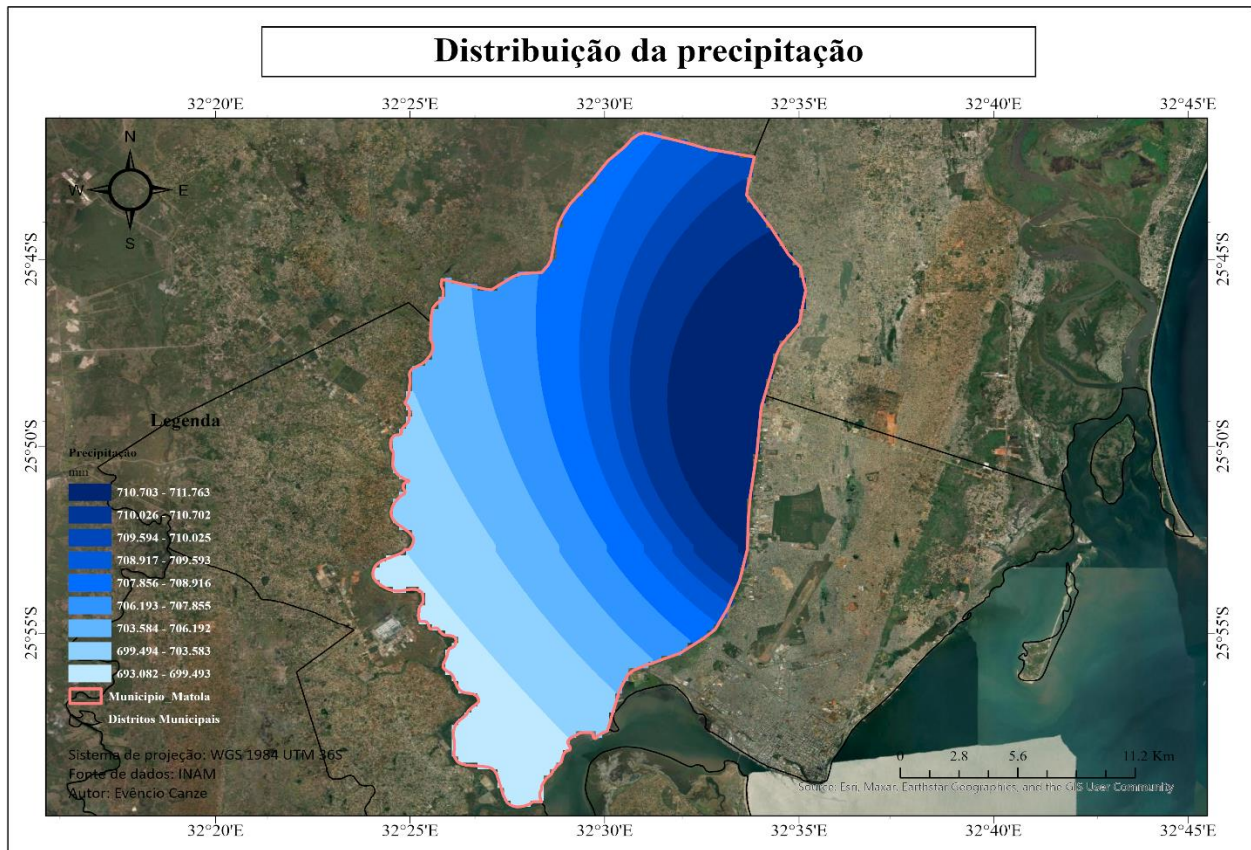
**Mapa 3:** Variação altimétrica



### 3.6 Precipitação

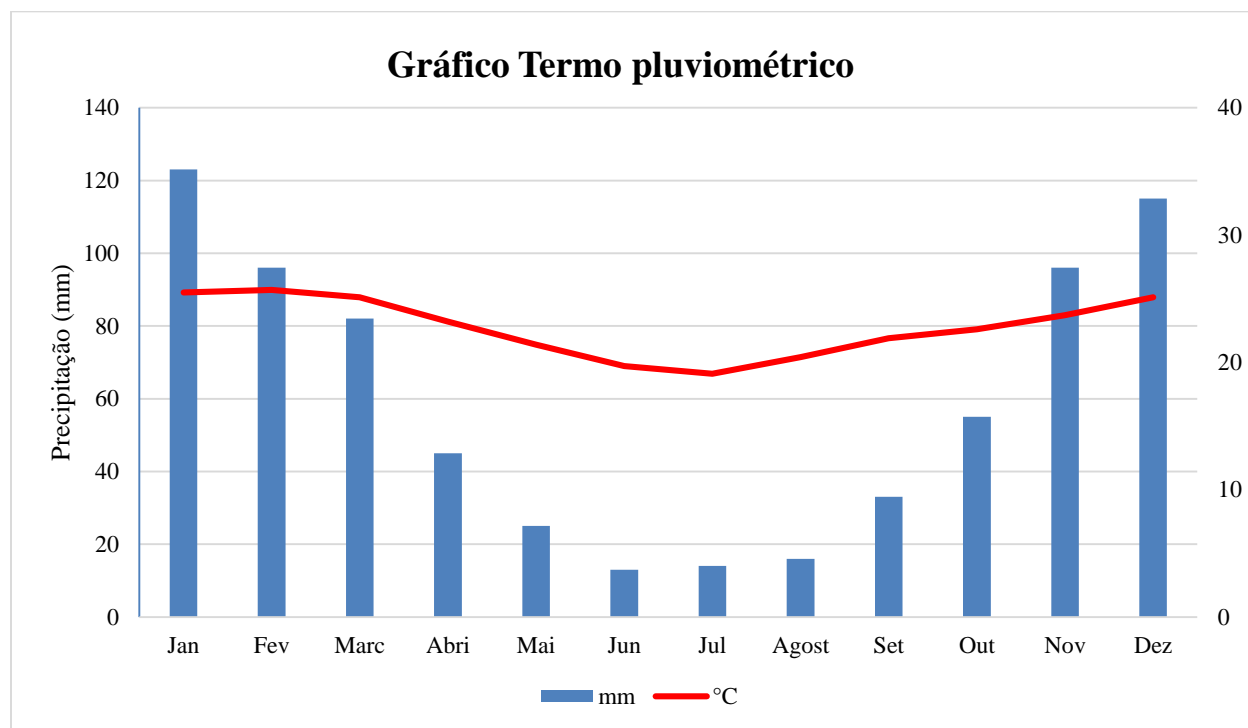
A precipitação média anual na Matola varia entre 800 a 1000 mm, com aproximadamente 80% das chuvas a ocorrerem durante a estação chuvosa (Instituto Nacional de Meteorologia - INAM, 2018). A distribuição temporal das precipitações é caracterizada por uma elevada variabilidade inter-anual e sazonal, sendo comum a ocorrência de anos com precipitações significativamente acima ou abaixo da média histórica.

**Mapa 4:** Distribuição da precipitação



Com base na figura 1 abaixo, os meses de maior precipitação correspondem a Dezembro, Janeiro e Fevereiro, período durante o qual podem ocorrer eventos de precipitação extrema associados à passagem de sistemas meteorológicos como depressões tropicais e ciclones (Reason et al., 2019). Estes eventos extremos são particularmente importantes no contexto da avaliação de susceptibilidade a inundações, uma vez que podem gerar volumes de escoamento superficial muito superiores à capacidade de drenagem natural da região.

**Figura 1:** Gráfico Termopluviométrico



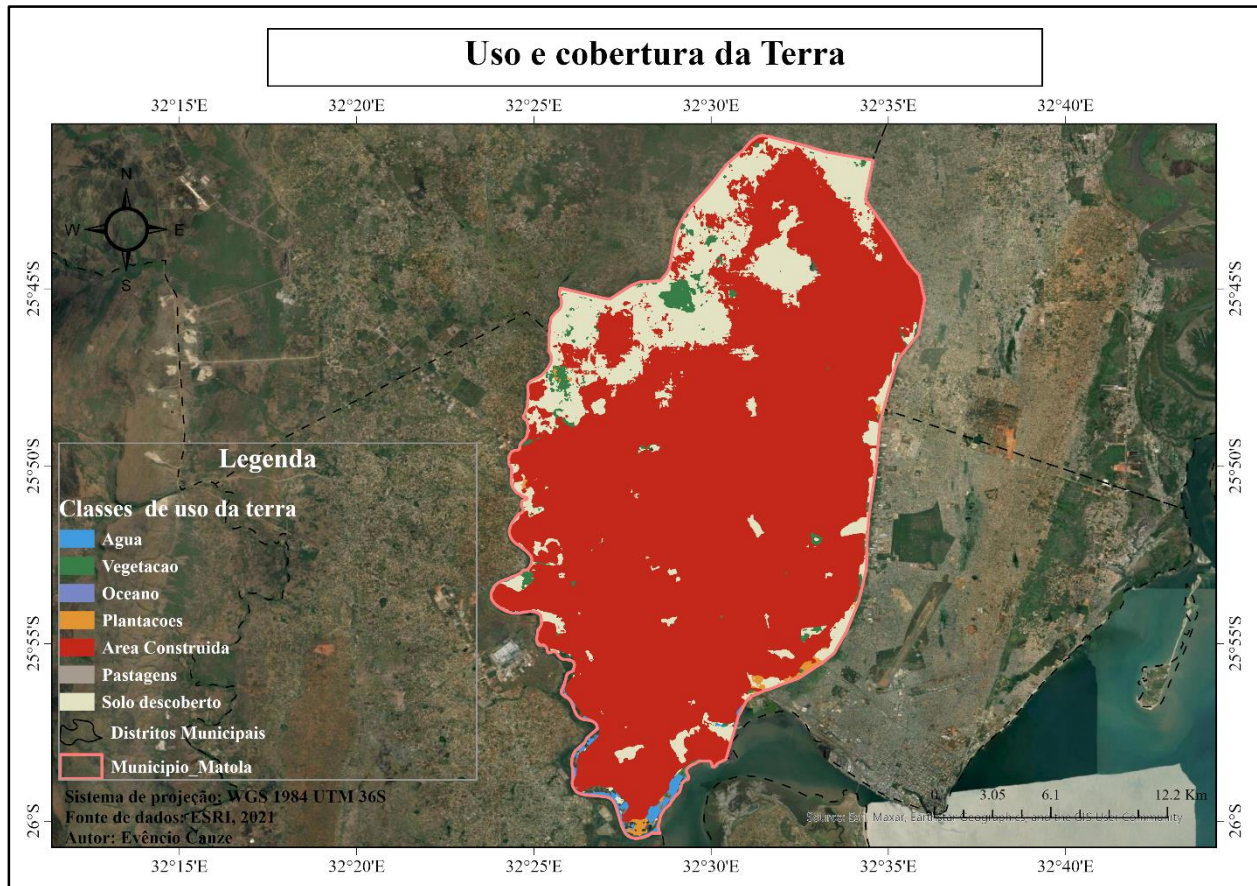
### 3.7 Uso e cobertura da terra

O uso do solo no Município da Matola reflecte a dinâmica de crescimento urbano acelerado que caracteriza a região (Mapa 5). Segundo o levantamento de uso do solo realizado pelo Conselho Municipal da Matola (CMCM, 2010), as principais categorias de uso incluem:

- **Áreas Residenciais (45%):** Incluindo tanto habitação formal como informal, concentradas principalmente nos postos administrativos de Matola-Sede, Machava e Infulene.
- **Áreas Industriais (15%):** Concentradas principalmente ao longo da linha férrea e nas proximidades do Porto de Maputo, incluindo indústrias alimentares, têxteis e metalúrgicas.
- **Áreas Comerciais e de Serviços (10%):** Distribuídas principalmente ao longo das principais vias de comunicação.
- **Áreas Agrícolas (20%):** Principalmente agricultura de subsistência e pequenas explorações comerciais, concentradas nas áreas periféricas do município.
- **Áreas Verdes e Espaços Abertos (5%):** Incluindo parques, jardins e áreas de conservação.

- **Infraestruturas e Outros Usos (5%):** Incluindo estradas, caminhos-de-ferro, aeroporto e outras infraestruturas.

**Mapa 5:** Uso e cobertura da terra

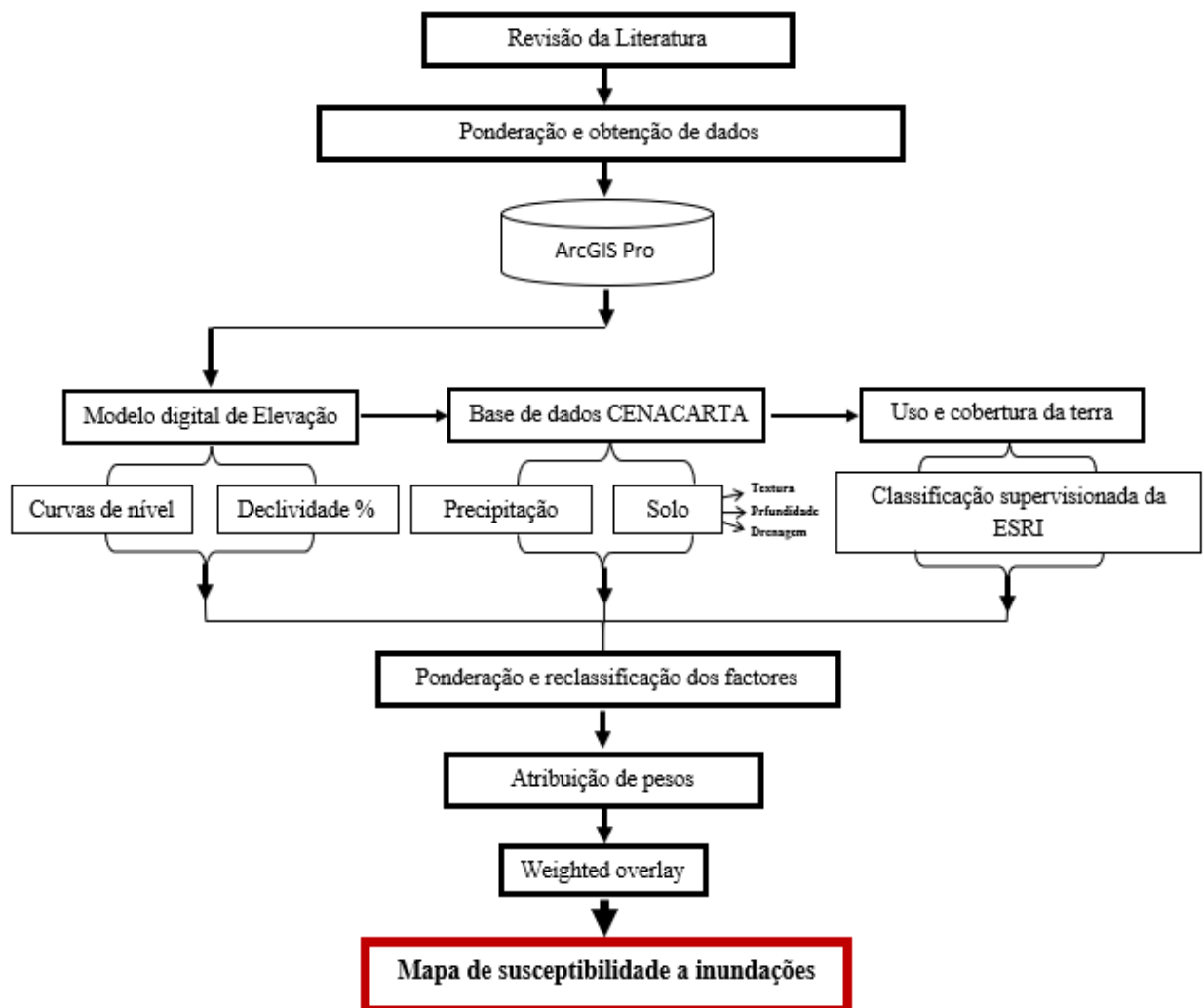


## CAPÍTULO 4: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 4. METODOLOGIA

A metodologia proposta para esta investigação baseia-se na análise espacial multicritério em ambiente SIG, metodologia esta bem estabelecida na literatura por autores como Malczewski (1999) e Eastman (2003), seguindo uma abordagem quantitativa de avaliação da susceptibilidade a inundações. O processo metodológico está estruturado em sete etapas sequenciais, conforme ilustrado na figura 2 abaixo: (1) revisão da literatura, (2) ponderação e obtenção de dados, (3) processamento dos factores condicionantes, (4) ponderação e reclassificação dos factores, (5) atribuição de pesos, (6) análise weighted overlay e (7) classificação supervisionada para produção do mapa final de susceptibilidade.

**Figura 2:** Fluxograma Metodologico



Fonte: Produzido pelo autor

## **4.1 PREPARAÇÃO METODOLÓGICA**

Esta abordagem metodológica tem sido amplamente aplicada em estudos de avaliação de riscos naturais (Ayalew et al., 2005; Pourghasemi et al., 2013), sendo particularmente eficaz para integração de múltiplos factores condicionantes em análises espaciais de susceptibilidade a inundações (Tehrany et al., 2013; Fernández & Lutz, 2010).

## **4.2 REVISÃO DA LITERATURA**

A revisão bibliográfica foi conduzida de forma sistemática para fundamentar teoricamente os conceitos de susceptibilidade, vulnerabilidade e risco de inundações (Varnes, 1984; UNDRR, 2009), bem como identificar as melhores práticas metodológicas aplicáveis ao contexto do estudo. Serão consultadas bases de dados académicas (Web of Science, Scopus, Google Scholar), repositórios institucionais e relatórios técnicos de organismos nacionais e internacionais.

A pesquisa focou-se em estudos similares desenvolvidos em contextos tropicais e semi-áridos (Kazakis et al., 2015; Mahmoud & Gan, 2018), com particular atenção para metodologias aplicadas na região da África Austral (Jonkman, 2005; Dottori et al., 2016). A revisão seguiu as diretrizes de Wilson, J. P., & Gallant, J. C. (2000) (2004) para revisões sistemáticas em investigação aplicada.

## **4.3 PONDERAÇÃO E OBTENÇÃO DE DADOS**

### **4.3.1 Dados Altimétricos (SRTM)**

Os dados altimétricos foram obtidos através da plataforma USGS EarthExplorer, utilizando imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução espacial de 30 metros. A partir destes dados será gerado o Modelo Digital de Elevação (MDE), que constitui a base fundamental para derivação dos factores topográficos e hidrológicos (Wilson & Gallant, 2000).

Os procedimentos incluem a aquisição dos ficheiros correspondentes à área de estudo, mosaicagem das imagens, correcção radiométrica, preenchimento de vazios (fill sinks) utilizando algoritmos de interpolação (Planchon & Darboux, 2002), e reprojecção para o sistema de coordenadas UTM Zona 36 Sul, Datum WGS84, conforme especificações técnicas da cartografia nacional (DINAGECA, 2019).

### **4.3.2 Cartografia Topográfica Base**

Serão adquiridas junto ao Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção (CENACARTA) as cartas topográficas na escala 1:50.000 correspondentes ao Município da Matola. Estas cartas fornecerão informações complementares sobre limites administrativos, rede hidrográfica, rede viária, toponímia e pontos de referência geodésicos, seguindo os padrões cartográficos nacionais estabelecidos pelo Decreto 23/2008 sobre a Política de Cartografia e Teledetecção.

Os dados vectoriais serão digitalizados quando necessário e integrados na base de dados geográfica do projecto, seguindo as normas de qualidade cartográfica da ISO 19157:2013.

### **4.3.3 Uso e Cobertura da Terra**

A cartografia de uso e cobertura da terra será produzida através de classificação supervisionada de imagens de satélite Sentinel-2, com data de aquisição entre 2022-2024. O processamento seguirá as metodologias estabelecidas por Richards & Jia (2006) e incluirá: correcção atmosférica das imagens utilizando o algoritmo DOS (Dark Object Subtraction) de Chavez (1996), selecção de bandas espectrais apropriadas, definição de áreas de treino para as classes de uso seguindo Anderson et al. (1976), aplicação de algoritmos de classificação Random Forest (Breiman, 2001), e validação dos resultados através de pontos de controlo obtidos por observação directa e imagens de alta resolução do Google Earth.

A exactidão da classificação será avaliada através da matriz de confusão e cálculo do coeficiente Kappa (Cohen, 1960), considerando-se aceitáveis valores superiores a 0,8 (Landis & Koch, 1977).

## **4.4 PROCESSAMENTO DOS FACTORES CONDICIONANTES**

### **4.4.1 Derivação das Curvas de Nível**

As curvas de nível serão extraídas do MDE utilizando a ferramenta "Contour" do ArcGIS Pro, com equidistância de 5 metros para áreas urbanas densas e 10 metros para áreas rurais, seguindo as especificações técnicas de Hutchinson (1989) para interpolação de superfícies topográficas. Este procedimento permitirá uma representação detalhada da topografia local e identificação de áreas de depressão topográfica susceptíveis à acumulação de águas pluviais.

#### **4.4.2 Cálculo da Declividade**

A declividade será calculada a partir do MDE utilizando o algoritmo de Horn (1981), onde os valores serão expressos em percentagem e posteriormente reclassificados em cinco classes baseadas nos critérios estabelecidos por Young et al. (2002): plano (0-2%), suave (2-5%), moderado (5-15%), forte (15-30%) e muito forte (>30%).

Áreas com menor declividade apresentam maior susceptibilidade à ocorrência de inundações devido à reduzida capacidade de escoamento superficial, conforme demonstrado por Leopold et al. (1964) e Horton (1933) nos seus estudos pioneiros sobre hidrologia de superfície.

#### **4.4.3 Processamento dos Dados de Precipitação**

Os dados pluviométricos serão obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INAM), abrangendo séries históricas de 30 anos (1993-2023) das estações meteorológicas situadas na área de estudo e circunvizinhas. Será realizada a interpolação espacial dos valores de precipitação média anual utilizando o método de Kriging ordinário (Krige, 1951; Matheron, 1963), que considera a correlação espacial entre as observações através da modelação do variograma (Isaaks & Srivastava, 1989).

A qualidade da interpolação será avaliada através de validação cruzada (leave-one-out cross-validation) seguindo Webster & Oliver (2007). Este método consiste em remover sequencialmente cada ponto observado, interpolar a superfície com os pontos restantes, e comparar o valor interpolado com o valor observado.

#### **4.4.4 Caracterização Pedológica**

##### **4.4.4.1 Textura do Solo**

A informação sobre textura do solo será extraída das cartas pedológicas disponíveis no Instituto de Investigação Agrária de Moçambique (IIAM) e complementada com dados da FAO Harmonized World Soil Database (FAO, 2012). A classificação textural seguirá o sistema do Triângulo de Texturas da USDA (United States Department of Agriculture, 1987).

A textura influencia directamente a capacidade de infiltração e retenção de água no solo (Hillel, 1998). Solos com textura arenosa apresentam maior permeabilidade, enquanto solos argilosos

favorecem o escoamento superficial e, conseqüentemente, maior susceptibilidade a inundações (Freeze & Cherry, 1979).

#### **4.4.4.2 Profundidade do Solo**

A profundidade do solo será classificada segundo os critérios da World Reference Base for Soil Resources (FAO, 2014) em cinco categorias: muito raso (<25 cm), raso (25-50 cm), moderadamente profundo (50-100 cm), profundo (100-150 cm) e muito profundo (>150 cm).

Solos menos profundos apresentam menor capacidade de armazenamento de água, resultando em maior volume de escoamento superficial durante eventos de precipitação intensa, conforme demonstrado pelos estudos de Dunne & Black (1970) sobre processos de geração de escoamento.

#### **4.4.5 Análise da Rede de Drenagem**

A rede de drenagem será extraída automaticamente do MDE utilizando algoritmos de análise hidrológica implementados no ArcGIS Pro. O procedimento seguirá a metodologia estabelecida por Jenson & Domingue (1988) e incluirá: preenchimento de depressões espúrias, cálculo da direcção de fluxo utilizando o método D8 (O'Callaghan & Mark, 1984), determinação da acumulação de fluxo, definição de um limiar mínimo de acumulação para extracção da rede baseado em análise de sensibilidade (Tarboton et al., 1991), e classificação hierárquica segundo o método de ordenação de Strahler (1964).

Será calculada a densidade de drenagem (comprimento total dos canais por unidade de área) segundo Horton (1945) e criadas zonas de buffer (50m, 100m, 250m, 500m e >500m) para avaliar a proximidade às linhas de água, aplicando os critérios de distância estabelecidos por studies de inundação urbana (Mark et al., 2004; Teng et al., 2017).

### **4.5 PONDERAÇÃO E RECLASSIFICAÇÃO DOS FACTORES**

Todos os factores condicionantes serão reclassificados numa escala ordinal de 1 a 5, onde 1 representa muito baixa susceptibilidade, 2 baixa susceptibilidade, 3 susceptibilidade moderada, 4 alta susceptibilidade e 5 muito alta susceptibilidade, seguindo a metodologia proposta por Saaty (1977) para padronização de critérios em análise multicritério. Esta padronização é essencial para a posterior análise multicritério, permitindo a comparabilidade entre factores com unidades e escalas diferentes (Voogd, 1983).

Os critérios de reclassificação baseiam-se na relação física entre cada factor e a susceptibilidade a inundações, fundamentados na literatura especializada:

Declividade: valores menores recebem classificação mais alta (áreas planas = 5, áreas muito inclinadas = 1), baseado nos princípios de mecânica dos fluidos estabelecidos por Chow (1959)

Precipitação: valores maiores recebem classificação mais alta, seguindo os critérios de intensidade-duração-frequência de Hershfield (1961)

Textura do solo: solos impermeáveis recebem classificação mais alta, conforme a classificação de condutividade hidráulica de Freeze & Cherry (1979)

Profundidade do solo: solos menos profundos recebem classificação mais alta, baseado na capacidade de armazenamento hídrico (Brady & Weil, 2008)

Proximidade à drenagem: áreas mais próximas aos cursos de água recebem classificação mais alta, seguindo os modelos de planície de inundação de Leopold et al. (1964)

#### **4.6 ATRIBUIÇÃO DE PESOS**

A atribuição de pesos aos factores condicionantes de inundações será realizada através do método Analytic Hierarchy Process (AHP), desenvolvido por Saaty (1980). Este método permite a comparação par-a-par dos factores utilizando uma escala de importância relativa, possibilitando a quantificação de julgamentos qualitativos fundamentados em literatura científica (Saaty, 1987; Malczewski, 2006). O AHP tem sido amplamente utilizado em estudos de susceptibilidade a desastres naturais devido à sua capacidade de estruturar problemas complexos de decisão multicritério (Tehrany et al., 2015; Kazakis et al., 2015).

##### **4.6.1 Escala Fundamental de Saaty**

A escala de comparação paritária utiliza valores de 1 a 9, onde cada valor representa um nível específico de importância relativa entre dois factores (Saaty, 1980, p. 54). Esta escala foi desenvolvida com base em estudos psicométricos que demonstram que o ser humano consegue distinguir com razoável precisão entre  $7 \pm 2$  níveis de intensidade (Miller, 1956).

**Tabela 2:** Escala Fundamental de Saaty (Resumida)

**Tabela 2:** Escala Fundamental de Saaty (Resumida)

<b>Intensidade</b>	<b>Definição</b>	<b>Interpretação</b>
1	Igual importância	Os dois factores contribuem igualmente
3	Importância moderada	Experiência e julgamento favorecem ligeiramente um factor
5	Importância forte	Experiência e julgamento favorecem fortemente um factor
7	Importância muito forte	Dominância demonstrada na prática
9	Importância extrema	Evidência da mais alta ordem
2,4,6,8	Valores intermediários	Compromisso entre definições adjacentes

**Fonte:** Adaptado de Saaty (1980)

#### **4.6.2 Hierarquização e Justificação dos Factores**

Com base em revisão sistemática de estudos desenvolvidos em contextos geográficos similares (Tehrany et al., 2015; Kazakis et al., 2015; Rahmati et al., 2016; Mahmoud & Gan, 2018), estabelece-se a seguinte hierarquização:

**Factores Primários:** Altimetria e Proximidade à Drenagem controlam directamente as áreas de acumulação de água. Leopold et al. (1964) demonstraram que a elevação topográfica é o principal determinante na definição de planícies de inundação naturais. Kazakis et al. (2015, p. 558) confirmaram que "a elevação é o factor mais significativo, com peso superior a 30%". A proximidade a cursos de água é crítica devido ao transbordamento directo durante eventos extremos (Tehrany et al., 2015).

**Factores Secundários:** Declividade controla a velocidade do escoamento superficial - terrenos planos (< 2%) favorecem acumulação de água, enquanto áreas declivosas (> 15%) promovem drenagem rápida (Horton, 1933). Precipitação fornece o volume de água causador de inundação, mas tem importância relativa moderada porque age em conjunto com factores topográficos (Mahmoud & Gan, 2018).

**Factores Terciários:** Tipo de Solo influencia a taxa de infiltração - solos argilosos reduzem infiltração, aumentando escoamento superficial (Freeze & Cherry, 1979). Uso e Cobertura da Terra, especialmente impermeabilização urbana, afecta significativamente a capacidade de infiltração, podendo aumentar o escoamento em 200-300% (Tucci, 2008). Profundidade do Solo

determina a capacidade de armazenamento no perfil pedológico, exercendo influência complementar (Dunne & Black, 1970).

#### 4.6.3 Matriz de Comparação Paritária

Construiu-se a matriz de comparação paritária (7×7) seguindo a metodologia de Saaty (1980). Para cada par de factores (i, j), atribui-se um valor  $a_{ij}$  representando quantas vezes o factor da linha i é mais importante que o factor da coluna j.

**Tabela 3:** Matriz de Comparação Paritária e Cálculo dos Pesos

	<b>Alt</b>	<b>PD</b>	<b>Dec</b>	<b>Prec</b>	<b>TS</b>	<b>UT</b>	<b>PS</b>
<b>Altimetria</b>	1	2	3	4	5	6	7
<b>Prox. Drenagem</b>	1/2	1	2	3	4	5	6
<b>Declividade</b>	1/3	1/2	1	2	3	4	5
<b>Precipitação</b>	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4
<b>Tipo Solo</b>	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3
<b>Uso Terra</b>	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2
<b>Prof. Solo</b>	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1

**Legenda:** Alt=Altimetria; PD=Proximidade Drenagem; Dec=Declividade; Prec=Precipitação; TS=Tipo Solo; UT=Uso Terra; PS=Profundidade Solo

#### 4.6.4 Procedimento de Normalização e Cálculo dos Pesos

Os pesos finais foram calculados através dos seguintes passos:

1. **Normalização:** Dividir cada elemento  $a_{ij}$  pelo somatório da sua respectiva coluna:  $n_{ij} = a_{ij} / \sum a_{ij}$
2. **Cálculo do peso:** Calcular a média aritmética de cada linha da matriz normalizada:  $w_i = \sum n_{ij} / n$

Exemplo (Altimetria): Os valores normalizados da linha foram 0.418, 0.467, 0.412, 0.361, 0.311, 0.279,

0.250. A média resulta em **w1 = 0.357 (35.7%)**.

**Tabela 5:** Matriz Normalizada e Cálculo dos Pesos

**Tabela 4:** Matriz Normalizada e Cálculo dos Pesos

	Alt	PD	Dec	Prec	TS	UT	PS	Soma Linha	Media (wi)	Peso (%)
<b>Altimetria</b>	0.418	0.467	0.412	0.361	0.311	0.279	0.250	2.498	0.357	<b>35.7%</b>
<b>Prox. Drenagem</b>	0.209	0.233	0.275	0.271	0.249	0.233	0.214	1.684	0.241	<b>24.1%</b>
<b>Declividade</b>	0.139	0.117	0.137	0.180	0.186	0.186	0.179	1.124	0.161	<b>16.1%</b>
<b>Precipitação</b>	0.105	0.078	0.069	0.090	0.124	0.140	0.143	0.749	0.107	<b>10.7%</b>
<b>Tipo Solo</b>	0.084	0.058	0.046	0.045	0.062	0.093	0.107	0.495	0.071	<b>7.1%</b>
<b>Uso Terra</b>	0.070	0.047	0.034	0.030	0.031	0.047	0.071	0.330	0.047	<b>4.7%</b>
<b>Prof. Solo</b>	0.060	0.039	0.027	0.023	0.021	0.023	0.036	0.229	0.033	<b>3.3%</b>
<b>SOMA</b>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	7.000	1.000	<b>100%</b>

**Legenda:** Alt=Altimetria; PD=Proximidade Drenagem; Dec=Declividade; Prec=Precipitação; TS=Tipo Solo; UT=Uso Terra; PS=Profundidade Solo

#### 4.7 Análise de Consistência

Segundo Saaty (1980, p. 18), "é essencial verificar a consistência dos julgamentos para garantir que as comparações não são contraditórias". A análise de consistência avalia se os julgamentos mantêm relação lógica transitiva.

##### 4.7.1 Procedimento de cálculo

###### 4.7.1.1 Cálculo do Vector de Consistência ( $\lambda$ )

O primeiro passo consiste em multiplicar a matriz original de comparação pelo vector de pesos obtido, gerando um novo vector chamado vector ponderado (Saaty, 1980):

$$[A] \times [w] = [\lambda w]$$

Onde:

[A] = matriz original de comparação paritária (7×7)

[w] = vector de pesos calculados (7×1)

[ $\lambda w$ ] = vector ponderada resultante (7×1)

**Tabela 5:** Cálculo do Vector Ponderado

Factor	Cálculo detalhado	$\lambda$ (lambda)
<b>Altimetria</b>	$(1 \times 0.357) + (2 \times 0.241) + (3 \times 0.161) + (4 \times 0.107) + (5 \times 0.071) + (6 \times 0.047) + (7 \times 0.033)$	2.687
<b>Prox. Drenagem</b>	$(0.5 \times 0.357) + (1 \times 0.241) + (2 \times 0.161) + (3 \times 0.107) + (4 \times 0.071) + (5 \times 0.047) + (6 \times 0.033)$	1.812
<b>Declividade</b>	$(0.333 \times 0.357) + (0.5 \times 0.241) + (1 \times 0.161) + (2 \times 0.107) + (3 \times 0.071) + (4 \times 0.047) + (5 \times 0.033)$	1.212

<b>Precipitação</b>	$(0.25 \times 0.357) + (0.333 \times 0.241) + (0.5 \times 0.161) + (1 \times 0.107) + (2 \times 0.071) + (3 \times 0.047) + (4 \times 0.033)$	0.799
<b>Tipo Solo</b>	$(0.2 \times 0.357) + (0.25 \times 0.241) + (0.333 \times 0.161) + (0.5 \times 0.107) + (1 \times 0.071) + (2 \times 0.047) + (3 \times 0.033)$	0.523
<b>Uso Terra</b>	$(0.167 \times 0.357) + (0.2 \times 0.241) + (0.25 \times 0.161) + (0.333 \times 0.107) + (0.5 \times 0.071) + (1 \times 0.047) + (2 \times 0.033)$	0.343
<b>Prof. Solo</b>	$(0.143 \times 0.357) + (0.167 \times 0.241) + (0.2 \times 0.161) + (0.25 \times 0.107) + (0.333 \times 0.071) + (0.5 \times 0.047) + (1 \times 0.033)$	0.237

#### 4.7.1.2 Cálculo dos Valores $\lambda_i$ Individuais

Para cada factor  $i$ , calcula-se o valor  $\lambda_i$  dividindo o elemento do vector ponderado pelo respectivo peso:

$$\lambda_i = (\lambda w)_i / w_i$$

**Tabela 6:** Cálculo dos Valores  $\lambda_i$

Factor	Vector Ponderado ( $\lambda w$ )	Peso ( $w$ )	$\lambda_i = (\lambda w)/w$
Altimetria	2.687	0.357	7.526
Proximidade Drenagem	1.812	0.241	7.518
Declividade	1.212	0.161	7.528
Precipitação	0.799	0.107	7.467
Tipo Solo	0.523	0.071	7.366
Uso Terra	0.343	0.047	7.298
Profundidade Solo	0.237	0.033	7.182
		SOMA $\Sigma \lambda_i$	51.885

#### 4.7.1.3 Cálculo de $\lambda_{\text{máx}}$ (Lambda Máximo)

O valor de  $\lambda_{\text{máx}}$  representa a média dos valores  $\lambda_i$  individuais:

$$\lambda_{\text{máx}} = (\Sigma \lambda_i) / n$$

Onde  $n$  é o número de factores ( $n = 7$ )

$$\lambda_{\text{máx}} = 51.885 / 7 = 7.412$$

Interpretação: Para uma matriz perfeitamente consistente,  $\lambda_{\text{máx}}$  seria exactamente igual a  $n$  (neste caso, 7). O desvio de  $\lambda_{\text{máx}}$  em relação a  $n$  indica o grau de inconsistência das comparações paritárias.

#### 4.7.2 Índice de Consistência (CI)

O Índice de Consistência mede o desvio da consistência perfeita (Saaty, 1980, p. 21):

$$CI = (\lambda_{\text{máx}} - n) / (n - 1)$$

Onde:

$$\lambda_{\text{máx}} = 7.412 \text{ (calculado acima)}$$

$$n = 7 \text{ (número de factores)}$$

$$CI = (7.412 - 7) / (7 - 1)$$

$$CI = 0.412 / 6$$

$$CI = 0.069$$

Um CI de 0.069 indica uma inconsistência baixa. Quanto menor o CI, mais consistentes são as comparações.

#### 4.7.3 Cálculo do Rácio de Consistência (CR)

O Rácio de Consistência normaliza o CI através de um Índice Aleatório (RI), permitindo avaliação independente da dimensão da matriz:

$$CR = CI / RI$$

Onde RI é o Índice Aleatório para matriz de ordem  $n=7$ .

**Tabela 7:** Índice Aleatório (RI) segundo Saaty (1980)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Fonte: Saaty (1980, p. 21)

$$CR = 0.069 / 1.32 = 0.052 = 5.2\%$$

#### 4.7.4 Interpretação do Resultado

O Rácio de Consistência de 5.2% está significativamente abaixo do limiar de 10% estabelecido por Saaty (1980), classificando-se como "Consistência Excelente". Este resultado confirma que:

- As comparações paritárias são internamente consistentes e livres de contradições lógicas
- Os julgamentos respeitam a propriedade transitiva esperada
- A matriz é adequada e robusta para determinação dos pesos
- Os pesos são confiáveis e válidos para aplicação na análise multicritério

**Tabela 8:** Critérios de Aceitabilidade do Rácio de Consistência

Valor de CR	Interpretação	Ação
<b>CR &lt; 0.05</b>	Consistência excelente	<b>Pesos validados (caso presente)</b>
<b>0.05 ≤ CR ≤ 0.10</b>	Consistência aceitável	Pesos podem ser utilizados
<b>CR &gt; 0.10</b>	Inconsistência problemática	Revisar comparações

Fonte: Saaty (1987); Malczewski (2006)

#### 4.7.5 Pesos Finais e Aplicação no SIG

##### Vector de Pesos Validado

**Tabela 9:** Pesos Finais para Aplicação no ArcGIS Pro

Factor	Peso Decimal	Peso (%)	Peso ArcGIS	Classificação
Altimetria	0.357	35.7%	36	Primário
Proximidade Drenagem	0.241	24.1%	24	Primário
Declividade	0.161	16.1%	16	Secundário
Precipitação	0.107	10.7%	11	Secundário
Tipo Solo	0.071	7.1%	7	Terciário
Uso Terra	0.047	4.7%	5	Terciário
Profundidade Solo	0.033	3.3%	3	Terciário
<b>TOTAL</b>	<b>1.000</b>	<b>100%</b>	<b>102→100</b>	<b>CR=5.2%</b>

**Nota:** Os pesos inteiros (coluna "Peso ArcGIS") são ajustados para soma=100, conforme requerido pela ferramenta Weighted Overlay.

#### 4.8 ANÁLISE WEIGHTED OVERLAY

A análise weighted overlay (sobreposição ponderada) consiste numa técnica de análise espacial multicritério que combina múltiplos mapas raster através de uma soma linear ponderada, onde cada pixel do mapa final resulta da multiplicação dos valores reclassificados de cada factor pelos respectivos pesos, seguida da soma destes produtos (Malczewski, 2000). Esta análise será executada no software ArcGIS Pro utilizando a ferramenta "Weighted Overlay" da extensão Spatial Analyst, seguindo a metodologia de análise espacial multicritério estabelecida por Malczewski (2000) e Eastman et al. (1995). Esta ferramenta combina múltiplos layers raster

ponderados para produzir um mapa integrado de susceptibilidade através de uma soma linear ponderada.

Todos os layers de entrada devem estar no mesmo sistema de coordenadas, ter a mesma resolução espacial e extensão geográfica, conforme especificações técnicas de Burrough & McDonnell (1998) para análise espacial em ambiente raster.

O procedimento técnico envolve: definição da escala de avaliação (1-5), especificação dos pesos derivados do AHP para cada factor, configuração do tratamento de células NoData como restritas, e definição do tipo de saída como integer. A fórmula de cálculo aplicada é:  $Susceptibilidade = \sum(W_i \times F_i)$ , onde  $W_i$  representa o peso do factor  $i$  e  $F_i$  o valor reclassificado do factor  $i$  (Carver, 1991; Jiang & Eastman, 2000).

A aplicação dos pesos será realizada através da ferramenta **Weighted Overlay** (Spatial Analyst Tools > Overlay), com os seguintes parâmetros:

- **Rasters de entrada:** 7 factores reclassificados (escala 1-5)
- **Sistema de coordenadas:** UTM 36S, WGS84
- **Influence (%):** Conforme Tabela 5 (coluna Peso ArcGIS)
- **Evaluation Scale:** 1 to 5 by 1
- **NoData:** Restricted (áreas excluídas)
- **Output:** Susceptibilidade\_Inundacao.tif

**Tabela 10:** Configuração Weighted Overlay no ArcGIS Pro

Raster de entrada	Influencia (%)	Scale Value	Campo
Altimetria_Recl	35	1 to 5	VALUE
ProxDrenagem_Recl	24	1 to 5	VALUE
Declividade_Recl	16	1 to 5	VALUE
Precipitacao_Recl	10	1 to 5	VALUE
TipoSolo_Recl	7	1 to 5	VALUE
UsoTerra_Recl	5	1 to 5	VALUE
ProfSolo_Recl	3	1 to 5	VALUE
TOTAL	100		

## **4.9 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA E MAPA FINAL**

O mapa de susceptibilidade resultante da análise weighted overlay será submetido a classificação supervisionada utilizando o método de quebras naturais (Natural Breaks - Jenks, 1967), que identifica pontos de ruptura naturais nos dados através da minimização da variância intra-classe e maximização da variância inter-classe (McMaster, 1997).

Este método é particularmente adequado para dados de susceptibilidade porque preserva as relações naturais presentes nos dados, evitando a arbitrariedade de classificações por intervalos iguais (Brewer & Pickle, 2002). As cinco classes finais de susceptibilidade serão: Muito Baixa, Baixa, Moderada, Alta e Muito Alta.

A validação da classificação será realizada através da comparação com eventos históricos de inundação registrados pelo Instituto Nacional de Gestão e Redução do Risco de Desastres (INGD), análise de fotografias aéreas de eventos passados disponíveis no arquivo do Instituto Nacional de Gestão Calamidades (INGC), e verificação de campo em áreas representativas de cada classe de susceptibilidade, seguindo protocolos estabelecidos por Beven & Kirkby (1979) para validação de modelos hidrológicos.

O produto final será um mapa temático de susceptibilidade a inundações na escala 1:50.000, acompanhado de metadados detalhados sobre os procedimentos metodológicos, fontes de dados, precisão e limitações da análise, conforme normas ISO 19115:2003 para metadados geográficos.

## **4.10 VALIDAÇÃO E VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS**

### **4.10.1 Validação e Avaliação de Precisão**

A avaliação de precisão será realizada utilizando o plugin AcATaMa (Accuracy Assessment of Thematic Maps) no QGIS e trabalho de campo, seguindo protocolo padronizado:

1. **Amostragem de validação:** Será gerado conjunto de 100 pontos de validação através de amostragem aleatória estratificada utilizando o plugin AcATaMa. A estratificação será realizada pelas cinco classes de risco, com alocação de pontos proporcional à área de cada classe mas assegurando número mínimo adequado de pontos por classe. Os pontos serão gerados aleatoriamente no AcATaMa, que facilita distribuição espacial equilibrada.

2. **Dados de referência:** Para cada ponto de validação, será determinada a classe verdadeira de cobertura do solo através de interpretação visual utilizando a interface do AcATaMa. Serão utilizadas imagens de satélite de alta resolução disponíveis no Google Earth, identificando a imagem mais próxima temporalmente à data de análise. Adicionalmente, será realizado levantamento de campo de um subconjunto de pontos acessíveis, registrando localização por GPS e características de cobertura através de observação directa e fotografias georreferenciadas. O levantamento será realizado durante a mesma estação.
3. **Construção de matriz de confusão:** O plugin AcATaMa calculará automaticamente a matriz de confusão confrontando a classe predita pelo mapa com a classe de referência verdadeira para todos os 100 pontos de validação por data.
4. **Cálculo de métricas de precisão:** O AcATaMa calculará automaticamente as seguintes métricas:
  - Precisão global (Overall Accuracy). Que se refere a percentagem de pontos correctamente classificados em relação ao total de pontos de validação.
  - Coeficiente Kappa. É a medida de concordância que considera a concordância que ocorreria ao acaso, variando de -1 a 1, onde valores próximos de 1 indicam excelente concordância.

A meta será alcançar precisão global superior a 85% e coeficiente Kappa superior a 0,80.

#### **4.10.2 Trabalho de campo**

O trabalho de campo incluirá a recolha de pontos de controlo utilizando receptor GPS para validação dos mapas produzidos e verificação das classes de uso do solo. Serão recolhidos no mínimo 100 pontos distribuídos estrategicamente pelo município. Adicionalmente, será feito registo fotográfico das áreas susceptíveis, indicadores geomorfológicos de inundação e infraestruturas de drenagem existentes, para documentação e análise posterior

### **4.10 TESTE DAS HIPÓTESES**

As três hipóteses formuladas no Capítulo 1 serão testadas da seguinte forma:

**Hipótese 1** (altitude e proximidade a cursos de água): Será realizada análise estatística de correlação entre os valores de susceptibilidade e as variáveis altitude e distância à drenagem, utilizando o coeficiente de correlação de Spearman, que consiste na correlação não-paramétrica que avalia a relação monotónica entre duas variáveis ordinais, variando de -1 a 1. Espera-se correlação negativa significativa ( $p < 0,05$ ), onde  $p$  representa o valor de probabilidade;  $p < 0,05$  indica significância estatística com 95% de confiança, com altitude e distância à drenagem.

**Hipótese 2** (impermeabilização do solo): Serão comparadas as médias de susceptibilidade entre áreas com diferentes graus de impermeabilização (uso urbano vs. uso natural) utilizando o teste não-paramétrico de Mann-Whitney que é um teste não-paramétrico, usado para comparar três ou mais grupos independentes, sem assumir distribuição normal dos dados. Espera-se que áreas urbanas apresentem valores significativamente mais elevados ( $p < 0,05$ ).

**Hipótese 3** (variação espacial multicritério): Será utilizada a Análise de Variância (ANOVA de Kruskal-Wallis) para testar se existem diferenças significativas entre as classes de susceptibilidade. O mapa final demonstrará visualmente a variação espacial resultante da integração dos factores.

#### **4.11 RESULTADOS ESPERADOS**

Espera-se que este estudo, aplicado à totalidade do território do Município da Matola (368,4 km<sup>2</sup>), abrangendo os 42 bairros dos três Postos Administrativos (Matola Sede, Machava e Infulene), produza os seguintes resultados:

Produção de mapa de susceptibilidade a inundações do Município da Matola na escala 1:50.000, com cinco classes (Muito Baixa, Baixa, Moderada, Alta, Muito Alta).

Mapas Temáticos Auxiliares: Sete mapas dos factores condicionantes individuais (altimetria, declividade, proximidade à drenagem, precipitação, tipo de solo, profundidade do solo, uso e cobertura da terra), reclassificados na escala 1-5.

Identificação das zonas críticas: áreas com alta e muito alta susceptibilidade, priorizadas para intervenção.

Quantificação da área afectada: percentagem do território municipal em cada classe de susceptibilidade.

Validação estatística: exactidão global superior a 80% na comparação com eventos históricos.

Base técnica para planeamento: subsídios para o Plano Director Municipal e Plano de Gestão de Riscos.

Recomendações específicas: medidas estruturais e não-estruturais para as áreas de maior susceptibilidade.

## CAPÍTULO 5: CRONOGRAMA E RECURSOS

### 5. Cronograma de actividades

**Tabela 2:** Cronogramas de actividades que serão desenvolvidas até a entrega final do relatório de investigação

FASES/ACTIVIDADES	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
1. Revisão da Literatura	■	■					
2. Aquisição de Dados		■	■				
3. Processamento de dados			■	■			
4. Análise Multicritério (AHP)					■		
5. Weighted Overlay					■		
6. Trabalho de Campo						■	
7. Validação e Classificação						■	■
Revisão						■	■
Entrega do Projecto						■	■

**Fonte:** Elaborado pelo autor

### Recursos Humanos

Função	Período	Custo (MT)
Guia de campo	1 mês	8.000

<b>Subtotal</b>		<b>8.000</b>
-----------------	--	--------------

### Equipamentos e materiais

Item	Quantidade	Custo (MT)
GPS Garmin eTrex (Para validação de campo e pontos de controle)	1	15.000
Máquina fotográfica	1	18.000
Software ArcGIS Pro (Licença anual estudante)	1 licença	5.000
Computador portátil	1	45.000
Material de campo (Cadernetas, canetas, pranchetas, fita métrica)	Diversos	5.000
<b>Subtotal</b>		<b>88.000</b>

### Dados e deslocções

Item	Custo (MT)
Cartas CENACARTA (4 folhas, escala 1:50.000)	2.000
Dados meteorológicos INAM (séries históricas 1993-2023)	5.000
Combustível (trabalho de campo - 15 dias)	20.000
Aluguer de viatura (trabalho de campo - 15 dias)	15.000
Alimentação (trabalho de campo - 15 dias)	10.000
Alojamento (se necessário - 5 dias)	5.000
<b>SUBTOTAL</b>	<b>57.000</b>

### Outros custos

ITEM	CUSTO (MT)
Impressões e encadernação (6 exemplares coloridas)	3.000
Internet (7 meses x 1500)	10.500
Contingências (10%)	17.850
<b>SUBTOTAL</b>	<b>31.350</b>

### Resumo orçamental

Categoria	Valor (MT)	%
Recursos Humanos	8.000	4.3%
Equipamentos	88.000	47.7%
Dados e Deslocações	57.000	30.9%
Outros Custos	31.350	17.1%
<b>TOTAL</b>	<b>184.350</b>	<b>100%</b>

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abrão, V. (2019). A adaptação as inundações no Bairro da Mafalala, Município da Cidade de Maputo. Universidade Pedagógica de Maputo.

Amaral, R., & Ribeiro, R. R. (2009). *Inundações e movimentos de massa em encostas urbanas*. São Paulo: Instituto Geológico.

Araújo, L. E. (2013). Análise da vulnerabilidade a inundações na bacia hidrográfica do Rio Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 6(4), 682-695.

Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., & Kanno, T. (2005). *Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications*. *Engineering Geology*, 81(4), 432-445.

Banco Mundial. (2019). *Moçambique - Avaliação de perdas e danos pós-desastre dos ciclones Idai e Kenneth*. Washington, DC: Grupo Banco Mundial. Recuperado em 15 de outubro de 2025, de <https://documents.worldbank.org/>

Banco Mundial. (2019). *Mozambique disaster risk management*. Washington: World Bank Group.  
Baptista, M., Nascimento, N., & Barraud, S. (2005). *Técnicas compensatórias em drenagem urbana*. Porto Alegre: ABRH.

Bertoni, J. C., & Tucci, C. E. M. (2007). *Precipitação*. In Tucci, C. E. M. (Org.), *Hidrologia: Ciência e aplicação* (4ª ed., pp. 177-241). Porto Alegre: UFRGS/ABRH.

Beven, K. J., & Kirkby, M. J. (1979). *A physically based, variable contributing area model of basin hydrology*. *Hydrological Sciences Journal*, 24(1), 43-69.

Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). *The nature and properties of soils* (14th ed.). Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32.

Brewer, C. A., & Pickle, L. (2002). Evaluation of methods for classifying epidemiological data on choropleth maps in series. *Annals of the Association of American Geographers*, 92(4), 662-681.

Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press, Oxford.

Câmara, G., & Davis, C. (2001). *Introdução à ciência da geoinformação*. São José dos Campos: INPE.

- Cardona, O. D., van Aalst, M. K., Birkmann, J., Fordham, M., McGregor, G., Perez, R., ... & Sinh, B. T. (2012). *Determinants of risk: exposure and vulnerability*. In *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation* (pp. 65-108). Cambridge University Press.
- Cardoso, A. S. (2013). *Risco de inundação associado a eventos extremos de precipitação na região metropolitana de São Paulo* (Dissertação de mestrado). Universidade de São Paulo, Brasil.
- Carvalho, D. F. (2016). Impactos socioeconómicos de inundações em áreas urbanas: O caso da cidade de São Paulo. *Revista de Geografia*, 33(2), 156-170.
- Carvalho, M. S., & Santos, R. L. (2017). Aplicação de SIG na modelação hidrológica de bacias urbanas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 22, e35.
- Carver, S. J. (1991). Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, 5(3), 321-339.
- Castro, E. M. (2016). *Vulnerabilidade costeira às mudanças climáticas: O caso do litoral paulista*. São Paulo: Editora da USP.
- Chavez Jr, P. S. (1996). Image-based atmospheric corrections-revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(9), 1025-1035.
- Chow, V. T. (1959). *Open-channel hydraulics*. McGraw-Hill, New York.
- Christie, F., & Hanlon, J. (2001). *Mozambique and the great flood of 2000*. Oxford: James Currey.
- CIP - Centro de Integridade Pública. (2024). *Causas das inundações cíclicas em Maputo: Mudanças climáticas ou deficientes políticas públicas de ordenamento territorial?* Maputo: CIP. Recuperado em 25 de outubro de 2025, de <https://www.cipmoz.org/pt/2024/04/22/causas-das-inundacoes-ciclicas-em-maputo-mudancas-climaticas-ou-deficientes-politicas-publicas-de-ordenamento-territorial/>
- CIP – Centro de Integridade Pública. (2024). Relatório sobre ordenamento territorial e riscos urbanos na Matola. Maputo: CIP.
- CMCM - Conselho Municipal da Cidade da Matola. (2010). *Plano de Estrutura Urbana da Cidade da Matola*. Matola: CMCM.
- CMCM - Conselho Municipal da Cidade de Matola. (2018). *Proposta de Plano de Acção para época Chuvosa, 2018-2019*. Matola: CMCM.
- Coelho, A. L. N. (2011). Geomorfologia urbana e riscos ambientais em áreas metropolitanas. *Revista de Geografia*, 28(1), 33-52.
- Coelho, M. (2011). *Hidrologia e recursos hídricos*. Lisboa: IST Press.

- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37-46.
- Conselho Municipal da Matola. (2020). *Perfil estatístico do município da Matola*. Matola: CMM.
- Costa, F. R. (2014). *Métodos de apoio multicritério à decisão*. Lisboa: Editora Técnica.
- Costa, J. (2018). Saúde pública e inundações em contextos urbanos tropicais. *Revista Moçambicana de Ciências da Saúde*, 4(2), 45-58.
- Costa, L. M. (2016). Sistemas de informação geográfica aplicados à gestão de recursos hídricos. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais*, 42, 67-82.
- Costa, M. A. (2018). Impactos das inundações na saúde pública em países em desenvolvimento. *Saúde e Sociedade*, 27(4), 1134-1146.
- Costa, R. S. (2019). *Avaliação de susceptibilidade a deslizamentos usando AHP e SIG: Estudo de caso na Serra do Mar* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.
- Costa, S. F., & Silva, J. M. (2019). Processo de Análise Hierárquica aplicado ao planeamento territorial. *Revista de Estudos Regionais*, 54, 89-107.
- Cumbe, A. (2019). *Urbanização e risco de inundações na área metropolitana de Maputo* (Dissertação de mestrado). Universidade Eduardo Mondlane, Moçambique.
- Cumbe, A. N. F. (2019). *Vulnerabilidade das zonas costeiras de Moçambique* (Tese de doutoramento). Universidade Eduardo Mondlane, Moçambique.
- Dano, U. L., et al. (2019). Flood susceptibility mapping using GIS-based analytic network process. *Water*, 11(3), 615.
- DINAGECA - Direcção Nacional de Geografia e Cadastro. (2019). *Especificações técnicas para cartografia nacional*. Maputo: DINAGECA.
- Dottori, F., Salamon, P., Bianchi, A., Alfieri, L., Hirpa, F. A., & Feyen, L. (2016). Development and evaluation of a framework for global flood hazard mapping. *Advances in Water Resources*, 94, 87-102.
- Douglas, I., Alam, K., Maghenda, M., McDonnell, Y., McLean, L., & Campbell, J. (2008). Unjust waters: Climate change, flooding and the urban poor in Africa. *Environment and Urbanization*, 20(1), 187-205. <https://doi.org/10.1177/0956247808089156>
- DPOPH - Direcção Provincial de Obras Públicas e Habitação. (2018). *Plano director de ordenamento territorial do município da Matola*. Maputo: DPOPH.
- DPOPH – Direcção Provincial de Obras Públicas e Habitação. (2018). *Relatório de avaliação de danos por inundações na província de Maputo*. Maputo: DPOPH.

- Dunne, T., & Black, R. D. (1970). Partial area contributions to storm runoff in a small New England watershed. *Water Resources Research*, 6(5), 1296-1311.
- Eastman, J. R. (2003). *IDRISI Kilimanjaro: guide to GIS and image processing*. Clark Labs, Clark University, Worcester, MA.
- Eastman, J. R., Jin, W., Kyem, P. A. K., & Toledano, J. (1995). Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61(5), 539-547.
- FAO - Food and Agriculture Organization. (2012). *Harmonized World Soil Database (version 1.2)*. Roma: FAO/IIASA/ISRIC/ISS-CAS/JRC. Recuperado em 18 de outubro de 2025, de <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/en/>
- FAO - Food and Agriculture Organization. (2014). *World Reference Base for Soil Resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps* (World Soil Resources Reports No. 106). Roma: FAO. Recuperado em 18 de outubro de 2025, de <https://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf>
- Fernández, D. S., & Lutz, M. A. (2010). Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology*, 111(1-4), 90-98.
- Fitz, P. R. (2008). *Geoprocessamento sem complicação*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Freitas, C. M. (2014). Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, 19(9), 3645-3656.
- Freitas, M. I., & Silva, A. P. (2018). Mapeamento de áreas de risco de inundação utilizando análise multicritério. *Revista Brasileira de Cartografia*, 70(4), 1345-1370.
- Gomes, E., et al. (2009). Apoio multicritério à decisão. Rio de Janeiro: E-papers.
- Gomes, L. F. A. M., Araya, M. C. G., & Carignano, C. (2009). *Tomada de decisões em cenários complexos*. São Paulo: Cengage Learning.
- Hershfield, D. M. (1961). Rainfall frequency atlas of the United States for durations from 30 minutes to 24 hours and return periods from 1 to 100 years. *US Weather Bureau Technical Paper* 40, Washington DC.
- Hillel, D. (1998). *Environmental soil physics*. Academic Press, San Diego, CA.
- Hoguane, A. M. (2007). Perfil diagnóstico da zona costeira de Moçambique. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 7(1), 69-82.

- Horn, B. K. P. (1981). Hill shading and the reflectance map. *Proceedings of the IEEE*, 69(1), 14-47.
- Horton, R. E. (1933). The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Transactions, American Geophysical Union*, 14(1), 446-460.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56(3), 275-370.
- Hutchinson, M. F. (1989). A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, 106(3-4), 211-232.
- IIAM - Instituto de Investigação Agrária de Moçambique. (2018). *Atlas de solos de Moçambique: Atualização cartográfica*. Maputo: IIAM. Recuperado em 18 de outubro de 2025, de <https://www.iiam.gov.mz/>
- INAM - Instituto Nacional de Meteorologia. (2018). *Dados climatológicos de Moçambique: Séries históricas 1981-2010*. Maputo: INAM. Recuperado em 18 de outubro de 2025, de <https://www.inam.gov.mz/>
- INAM - Instituto Nacional de Meteorologia. (2020). *Normais climatológicas de Moçambique 1991-2020*. Maputo: INAM. Recuperado em 18 de outubro de 2025, de <https://www.inam.gov.mz/>
- INE - Instituto Nacional de Estatística. (2007). *III Recenseamento Geral da População e Habitação 2007: Resultados definitivos - Moçambique*. Maputo: INE. Recuperado em 12 de outubro de 2025, de <http://www.ine.gov.mz/operacoes-estatisticas/censos/censo-2007>
- INE - Instituto Nacional de Estatística. (2009). *2ª Edição do Retrato da Província de Maputo 2009*. Maputo: INE. Recuperado em 12 de outubro de 2025, de <http://www.ine.gov.mz/>
- INE - Instituto Nacional de Estatística. (2017). *IV Recenseamento Geral da População e Habitação 2017: Indicadores sócio-demográficos - Moçambique*. Maputo: INE. Recuperado em 12 de outubro de 2025, de <https://www.ine.gov.mz/web/guest/d/iv-recenseamento-geral-da-populacao-e-habitacao-2017-indicadores-socio-demograficos-mocambique>
- INGC – Instituto Nacional de Gestão de Calamidades. (2012). *Avaliação do risco de desastres em Moçambique*. Maputo: INGC.
- INGC. (2012). *Estudo sobre o impacto das alterações climáticas no risco de calamidades em Moçambique: Relatório síntese*. Maputo: Instituto Nacional de Gestão de Calamidades. Recuperado em 10 de outubro de 2025, de <http://www.ingc.gov.mz/>
- INGC. (2016). *Manual de gestão de calamidades*. Maputo: INGC.

INGC. (2016). *Plano director para a redução do risco de desastres 2017-2030*. Maputo: República de Moçambique, Conselho de Ministros. Recuperado em 15 de outubro de 2025, de [https://www.preventionweb.net/files/64564\\_planodirectorarareducaodoriscodede.pdf](https://www.preventionweb.net/files/64564_planodirectorarareducaodoriscodede.pdf)

INGC. (2017). Relatório anual de desastres em Moçambique. Maputo: INGC.

INGC. (2017). *Relatório sobre o impacto das cheias de 2017*. Maputo: Instituto Nacional de Gestão de Calamidades. Recuperado em 15 de outubro de 2025, de <http://www.ingc.gov.mz/>

INGC. (2019). *Balanço da época chuvosa e ciclónica 2018-2019: Relatório de avaliação pós-desastre do ciclone Idai*. Maputo: Instituto Nacional de Gestão de Calamidades. Recuperado em 15 de outubro de 2025, de <http://www.ingc.gov.mz/>

INGC. (2019). Relatório de resposta aos ciclones Idai e Kenneth. Maputo: INGC.

INIA - Instituto Nacional de Investigação Agrária. (1995). *Carta Nacional de Solos de Moçambique, Escala 1:1.000.000: Memória explicativa*. Maputo: INIA.

Isaaks, E. H., & Srivastava, R. M. (1989). *Applied geostatistics*. Oxford University Press, New York.

Jenks, G. F. (1967). The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7, 186-190.

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

Jiang, H., & Eastman, J. R. (2000). Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 14(2), 173-184.

Jonkman, S. N. (2005). Global perspectives on loss of human life caused by floods. *Natural Hazards*, 34(2), 151-175.

Kazakis, N., Kougias, I., & Patsialis, T. (2015). Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope–Evros region, Greece. *Science of the Total Environment*, 538, 555-563.

Kobiyama, M., Mendonça, M., Moreno, D. A., Marcelino, I. P. V. O., Marcelino, E. V., Rudorff, F. M., ... & Brazzetti, L. L. P. (2006). *Prevenção de desastres naturais: Conceitos básicos*. Florianópolis: Editora Organic Trading.

Krige, D. G. (1951). A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 52(6), 119-139.

- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159-174.
- Leopold, L. B., Wolman, M. G., & Miller, J. P. (1964). *Fluvial processes in geomorphology*. Freeman, San Francisco, CA.
- Lima, A. S. (2014). Análise de precipitações extremas e suas relações com eventos de inundação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29(4), 523-534.
- Lima, J. (2014). Precipitação e escoamento superficial em bacias urbanas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 19(4), 123-138.
- Lima, J. C. (2018). *Aplicação do método AHP na seleção de áreas para instalação de aterros sanitários* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.
- Lima, M. P., & Rodrigues, S. A. (2019). Dados geoespaciais para modelação de inundações urbanas. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 25(3), e2019012.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2013). *Sistemas e ciência da informação geográfica*. Porto Alegre: Bookman.
- Machava, E. E. (2016). Doenças transmitidas pela água após eventos de inundação em Moçambique. *Revista Moçambicana de Ciências de Saúde*, 1(1), 45-58.
- Machava, J. (2016). Doenças de veiculação hídrica e inundações em Moçambique. *Cadernos de Saúde Pública*, 32(1), e45-e58.
- Mahamba, E. C. (2018). *Vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas em África: Uma revisão sistemática*. Maputo: Escolar Editora.
- Mahamba, F. (2018; 2019). Flood susceptibility assessment in Sub-Saharan African cities. Johannesburg: University of the Witwatersrand.
- Mahamba, L. K. (2019). SIG aplicado na gestão de desastres naturais em países africanos: Lições aprendidas. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 13(8), 295-307.
- Mahmoud, S. H., & Gan, T. Y. (2018). Multi-criteria approach to develop flood susceptibility maps in arid regions of Middle East. *Journal of Cleaner Production*, 196, 216-229.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. New York: John Wiley & Sons.
- Malczewski, J. (2000). On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches. *Transactions in GIS*, 4(1), 5-22.
- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703-726.
- Matheron, G. (1963). Principles of geostatistics. *Economic Geology*, 58(8), 1246-1266.

- Matule, E. D., Ponzoni, F. J., & Chaves, J. M. (2017). Análise espaço-temporal dos índices de cobertura vegetal no município da Matola, Moçambique. *Sociedade & Natureza*, 29(3), 371-385. Recuperado em 12 de outubro de 2025, de <https://www.scielo.br/j/sn/>
- Mavume, A. F., Rydberg, L., Rouault, M., & Lutjeharms, J. R. E. (2009). Climatology and landfall of tropical cyclones in the south-west Indian Ocean. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 8(1), 15-36. Recuperado em 15 de outubro de 2025, de <https://www.ajol.info/>
- Mendes, J. M. (2015). *Sociologia do risco: Uma breve introdução e algumas lições*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Mendes, L. R. (2020). *Mapeamento de susceptibilidade a inundações na bacia do rio Doce utilizando AHP-SIG* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Brasil.
- Mendes, R. Q., & Silva, K. A. (2018). Avaliação de perdas económicas causadas por inundações em bacias urbanas. *Revista de Economia Regional, Urbana e do Trabalho*, 7(1), 89-108.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two. *Psychological Review*, 63(2), 81-97.
- Mubai, A., Nhabanga, E., & Machava, A. (2019). Urbanização e risco de inundações na área metropolitana de Maputo. *Cadernos de Geografia*, 38(1), 78-95.
- Muchangos, A. (1986). *Paisagens e solos de Moçambique*. Maputo: INDE (Instituto Nacional de Desenvolvimento da Educação).
- Mucova, S., et al. (2018). Mapeamento de áreas de risco de inundações na bacia do Infulene. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 18(3), 201-215.
- O'Callaghan, J. F., & Mark, D. M. (1984). The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 28(3), 323-344.
- Oliveira, G. C. (2016). *Susceptibilidade à erosão dos solos da bacia hidrográfica do rio Alegre, Espírito Santo* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.
- Oliveira, M. F. (2017). *Aplicação do método AHP para seleção de fornecedores* (Dissertação de mestrado). Universidade de Brasília, Brasil.
- Oliveira, P. R., & Silva, E. M. (2015). Uso de SIG na análise de vulnerabilidade a desastres naturais. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 16(3), 345-358.
- ONU - Organização das Nações Unidas. (2015). *Transformando nosso mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável* (A/RES/70/1). Nova Iorque: Assembleia Geral das Nações Unidas. Recuperado em 20 de outubro de 2025, de <https://sdgs.un.org/2030agenda>

- Planchon, O., & Darboux, F. (2002). *A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models*. *Catena*, 46(2-3), 159-176.
- Pourghasemi, H. R., Pradhan, B., & Gokceoglu, C. (2013). *Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran*. *Natural Hazards*, 63(2), 965-996.
- Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Zeinivand, H. (2016). Flood susceptibility mapping using frequency ratio. *Geocarto International*, 31(1), 42-70.
- Reason, C. J. C., Hachigonta, S., & Phaladi, R. F. (2005). Interannual variability in rainy season characteristics over the Limpopo region of southern Africa. *International Journal of Climatology*, 25(14), 1835-1853. <https://doi.org/10.1002/joc.1228>
- Ribeiro, C. A. (2017). Impactos ambientais de inundações em ecossistemas aquáticos. *Revista Ambiente & Água*, 12(4), 678-691.
- Richards, J. A., & Jia, X. (2006). *Remote sensing digital image analysis: an introduction* (4th ed.). Springer, Berlin.
- Rodrigues, A. M. (2012). *Fundamentos do geoprocessamento*. São Paulo: UNESP.
- Rodrigues, C. L. (2015). Impactos da urbanização sobre o regime hidrológico de bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20(2), 241-252.
- Rodrigues, F. S. (2020). Integração de métodos multicritério e SIG para análise ambiental. *Revista de Geografia*, 37(1), 112-128.
- Rodrigues, L. M., & Silva, P. A. (2018). AHP como ferramenta de apoio ao planejamento urbano sustentável. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais*, 49, 23-37.
- Rosa, R. (2011). *Introdução ao sensoriamento remoto*. Uberlândia: EDUFU.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T. L. (1987). The analytic hierarchy process — what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3-5), 161-176.
- Saaty, T. L. (1991). Response to Holder's comments on the analytic hierarchy process. *Journal of the Operational Research Society*, 42(10), 909-914.

- Saaty, T. L. (1994). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *Interfaces*, 24(6), 19-43.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98.
- Santos, A. R. (2015). *Análise multicritério aplicada à seleção de áreas adequadas para disposição final de resíduos sólidos* (Tese de doutoramento). Universidade Federal de Viçosa, Brasil.
- Santos, C. D. (2014). *Susceptibilidade a movimentos de massa na Serra do Mar paulista* (Dissertação de mestrado). Universidade de São Paulo, Brasil.
- Santos, E. F. (2016). *Qualidade de dados espaciais em SIG* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.
- Santos, J. A., & Carvalho, M. L. (2020). Comparações paritárias no método AHP: Uma revisão crítica. *Gestão & Produção*, 27(2), e4456.
- Santos, M. R., & Oliveira, A. B. (2019). Impactos positivos das inundações em ecossistemas ripários. *Revista Brasileira de Ecologia*, 23(1), 67-82.
- Silva, A. B. (2013). *Sistemas de informação geo-referenciada: Conceitos e fundamentos*. Campinas: Editora da Unicamp.
- Silva, C. L. (2015). *Hidrologia aplicada*. Rio de Janeiro: Interciência.
- Silva, D. D., & Lima, J. E. F. W. (2016). Análise multi-objectivo em recursos hídricos: Teoria e aplicações. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 21(1), 206-218.
- Silva, F. G. B. (2020). *Crescimento urbano e vulnerabilidade socioambiental na região metropolitana de Maputo* (Tese de doutoramento). Universidade Eduardo Mondlane, Moçambique.
- Silva, L. A. (2022). *Metodologia AHP-SIG para mapeamento de riscos naturais: Aplicação em bacias hidrográficas brasileiras* (Tese de doutoramento). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.
- Silva, P. M., & Santos, A. L. (2017). Inundações urbanas: Causas e soluções sustentáveis. *Revista de Engenharia Civil*, 56, 78-92.
- Silva, R. T., & Santos, L. P. (2021). Integração AHP-SIG para avaliação ambiental: Estado da arte e perspectivas futuras. *Revista Brasileira de Cartografia*, 73(1), 187-203.
- Strahler, A. N. (1964). Part II. *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks*. In V. T. Chow (Ed.), *Handbook of applied hydrology* (pp. 4-39–4-76). McGraw-Hill, New York.

- Tarboton, D. G., Bras, R. L., & Rodriguez-Iturbe, I. (1991). On the extraction of channel networks from digital elevation data. *Hydrological Processes*, 5(1), 81-100.
- Tehrany, M. S., Pradhan, B., & Jebur, M. N. (2015). Flood susceptibility analysis and its verification using a novel ensemble support vector machine and frequency ratio method. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29(4), 1149-1165. <https://doi.org/10.1007/s00477-015-1021-9>
- Toledo, M. C. M., Oliveira, S. M. B., & Melfi, A. J. (2000). Intemperismo e formação do solo. In W. Teixeira, M. C. M. Toledo, T. R. Fairchild, & F. Taioli (Eds.), *Decifrando a Terra* (pp. 139-166). Oficina de Textos.
- Tucci, C. E. M. (2005). *Modelos hidrológicos*. Porto Alegre: UFRGS/ABRH.
- Tucci, C. E. M. (2005). *Modelos hidrológicos*. Porto Alegre: UFRGS/ABRH.
- Tucci, C. E. M. (2007). *Inundações urbanas*. Porto Alegre: ABRH/RHAMA.
- Tucci, C. E. M. (2008). Águas urbanas. *Estudos Avançados*, 22(63), 97-112.
- Tucci, C. E. M. (2009). *Hidrologia: Ciência e aplicação* (4ª ed.). Porto Alegre: UFRGS/ABRH.
- UNDRR - United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2009). *UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction*. Genebra: UNDRR. Recuperado em 20 de outubro de 2025, de <https://www.undrr.org/publication/2009-unisdr-terminology-disaster-risk-reduction>
- UNDRR - United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. Genebra: UNDRR. Recuperado em 20 de outubro de 2025, de <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>
- USGS - United States Geological Survey. (2020). *SRTM 1 Arc-Second Global elevation data*. Reston, VA: USGS. Recuperado em 10 de outubro de 2025, de <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Varnes, D. J. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. Natural Hazards No. 3. Paris: UNESCO.
- Webster, P. J., Holland, G. J., Curry, J. A., & Chang, H. R. (2005). *Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment*. *Science*, 309(5742), 1844-1846.
- Xavier da Silva, J. (2009). *Geoprocessamento para análise ambiental*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil