



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Projecto Científico

Licenciatura em Cartografia e Pesquisa Geológica

**Análise do risco de inundações do Distrito de Chókwè, na Província de
Gaza através do método AHP**

Nome da candidata:

Joelma Abelina Sabino Naiene

Supervisor:

Prof.Doutor Luís Magaia

Maputo, Agosto de 2024



Faculdade de Ciências

Departamento de Geologia

Projecto Científico (PC)

Licenciatura em Cartografia e Pesquisa Geológica

**Análise do risco de inundações do Distrito de Chókwè, na Província de Gaza
através do método AHP**

Nome da candidata:

Joelma Abelina Sabino Naiene

Supervisor:

Prof.Doutor Luís Magaia

Maputo, Agosto de 2024

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, **Joelma Abelina Sabino Naiene**, declaro por minha honra que este Projecto Científico é da minha autoria não foi submetido ou apresentado em nenhuma outra instituição para obtenção de qualquer grau académico é resultante da investigação sob orientação do meu supervisor, sendo que todas as bibliografias consultadas estão devidamente citadas e referenciadas.

Assinatura

(Joelma Abelina Sabino Naiene)

Dedicatória

Dedico esta monografia em primeiro lugar a Deus, pois é ele quem me sustenta me guia e por nunca me abandonar, principalmente nas aflições.

Dedico também aos meus pais Ricardo Naene (em memória) e Abelina Micas Siteo por serem os seres responsáveis por quem eu sou, pelos meus princípios éticos e morais e por me amarem incondicionalmente.

Agradecimentos

Quero em primeiro lugar agradecer a Deus pelos dons da vida, da família e dos amigos, gratidão por ele ser o meu sustentador e consolador em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais Ricardo Naene (em memória) e Abelina Micas Siteo, Carlota Mahazule e Sabino Naiene por me terem dado a oportunidade de estar nesse mundo, pela educação, amor e por me apoiarem durante todo esse meu longo processo de formação.

Aos meus irmãos Elisio Naene, Fidelina Naene, Claudete Covane, Ricardo Naene Jr., Leocádio Naene, por serem minha fonte de inspiração e por nunca terem desistido de mim.

Um profundo agradecimento ao meu Supervisor, Prof.Dr. Luís Magaia, primeiro por ter aceite o desafio de trabalhar comigo nesse tema, e pelos vários puxões de orelha que culminaram com a realização com sucesso do mesmo trabalho.

A Universidade Eduardo Mondlane por ser um espaço que privilegia o conhecimento e onde todas as ideias são bem recebidas.

Aos trabalhadores do INGD, por me terem permitido obter alguns dados através dos seus conhecimentos, e por me terem recebido com todo o respeito e consideração o meu profundo obrigado.

Aos meus colegas do curso por me terem acolhido, fazendo-me sentir em casa e ajudado a ultrapassar receios e dificuldades, de forma especial a Madânia Yulla Monjane por em várias situações ter chorado, comemorado lamentado comigo, e por várias vezes me ter safado de situações complicadas, obrigada amiga pelo ser maravilhoso que tens sido em minha vida.

Agradeço aos meus amigos, que tem sido uma fonte diária de inspiração e motivação, obrigada Jéssica Macuiane, Dorina Kenny, Francília Nhambire, Jéssica Mavie, Isabel Macamo e Gilda Filipe por sempre me darem suporte e me incentivarem a não desistir.

À família e amigos tenho um agradecimento muito especial porque acreditaram em mim desde o primeiro instante. Hoje sou uma pessoa realizada e feliz porque vocês estiveram e estão sempre ao meu lado.

Resumo

O Distrito de Chóckwè, em Moçambique, é uma região propensa a inundações devido à sua localização geográfica e características ambientais. Este estudo tem como objectivo avaliar o risco de inundações na área utilizando o Método de Análise Hierárquica (AHP).

O AHP é uma técnica de tomada de decisão multicritério que permite a integração de diversos factores na avaliação do risco. Para este estudo, foram considerados critérios como declividade, geologia, uso do solo, tipos solo, vegetação e altimetria.

A pesquisa incluiu a colecta de dados meteorológicos, hidrológicos e geográficos, bem como informações sobre eventos de inundações passados. Os dados foram analisados e ponderados com a ajuda do AHP para determinar as áreas mais vulneráveis a inundações.

Os resultados indicam que certas áreas do distrito apresentam um risco significativamente maior, o que pode ser atribuído à baixa altitude, proximidade com o Rio Limpopo e alta densidade populacional. A avaliação também revelou a necessidade de medidas de mitigação específicas, como a construção de diques, sistemas de alerta precoce e planos de evacuação. Este estudo fornece uma base sólida para o planeamento e implementação de estratégias de gestão de riscos de inundações no distrito de Chóckwè, visando reduzir o impacto desses eventos sobre a população e a infraestrutura local.

Palavras-chave: Risco de inundações, AHP, Chóckwè, Moçambique, gestão de riscos, mitigação.

Abstract

The Chóckwè District in Mozambique is a flood-prone region due to its geographical location and environmental features. This study aims to assess the risk of flooding in the area using the Hierarchical Analysis Method (AHP).

AHP is a multi-criteria decision-making technique that allows the integration of several factors in risk assessment. For this study, criteria such as slope, geology, land use, soil types, vegetation and altimetry were considered.

The research included the collection of meteorological, hydrological and geographic data, as well as information on past flood events. The data was analyzed and weighted with the help of AHP to determine the areas most vulnerable to flooding.

The results indicate that certain areas of the district present a significantly higher risk, which can be attributed to the low elevation, proximity to the Limpopo River, and high population density. The assessment also revealed the need for specific mitigation measures, such as the construction of dikes, early warning systems and evacuation plans.

This study provides a solid basis for the planning and implementation of flood risk management strategies in the district of Chóckwè, aiming to reduce the impact of these events on the population and local infrastructure.

Keywords: Flood risk, AHP, Chóckwè, Mozambique, risk management, mitigation.

Índice

Declaração de Honra.....	iii
Dedicatória.....	iv
Agradecimentos	v
Resumo	vi
Abstract.....	vii
Lista de Abreviaturas	xii
Símbolos	xii
1.CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO.....	1
1.1.Introdução	1
1.2.Contextualização	2
1.3.Justificativa	2
1.4.Objectivos	3
1.4.1.Objectivo Geral.....	3
1.4.2.Objectivos específicos.....	3
2.CAPÍTULO II: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL.....	4
2.1.Enchentes, Inundação e alagamentos.....	4
2.2.Tipos de inundações e suas causas.....	5
2.3.Factores condicionantes para a ocorrência de inundações.....	6
2.4.Geoprocessamento	7
2.5.Sistema de Informação Geográfica (SIG).....	7
2.6.Aplicabilidade dos SIG	8
2.6.1.Ocupação Humana	8
2.6.2.Uso da Terra	8
2.6.3.Uso de Recursos Naturais	8
2.6.4.Meio Ambiente.....	8

2.6.5.Actividades Económicas	9
2.7.Identificação de áreas susceptíveis a inundações.....	9
2.8.Desastre, Risco e Vulnerabilidade.....	9
2.9.Processo Analítico Hierárquico (AHP)	10
2.10.Benefícios, Limitações e Aplicações do AHP.....	10
3.CAPÍTULO III: ÁREA DE ESTUDO.....	12
3.1.Localização geográfica	12
3.2.Enquadramento Geológico.....	13
3.3.Relevo	14
3.4.Cobertura Vegetal.....	14
3.5.Aspectos Climáticos.....	15
3.6.Tipos de solo	15
3.7.Aspectos Hidrográficos.....	16
3.8.Economia	17
4.CAPÍTULO IV: Materiais e Métodos.....	18
4.1.Colecta de dados e pré-processamento de dados	18
4.2.Definição das Variáveis.....	18
4.2.1.Uso e cobertura de solos	19
4.2.2.Cobertura vegetal	19
4.2.3.Altimetria	20
4.2.4.Tipos de solo	20
4.2.5.Declividade	21
4.2.6.Geologia	21
4.3.Ponderação e reclassificação das classes das variáveis	22

4.4.Aplicação do modelo AHP	22
5.CAPÍTULO V: APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	25
5.1.1. Ponderação e Reclassificação das Variáveis.....	25
5.1.2. Resultado da aplicação do Método AHP.....	33
5.1.3. Aplicação do modelo AHP e geração do mapa de susceptibilidade a inundações do Distrito de Chókwè	34
5.2. Discussão de Resultados	35
5.2.1. Aplicação do modelo AHP e geração do mapa de susceptibilidade a inundações do Distrito de Chókwè	35
5.3. Identificação da susceptibilidade às inundações do distrito por localidades	36
5.4.Eventos históricos das Inundações no Distrito de Chókwè.....	37
6.CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	38
6.1. Conclusão	30
6.2. Recomendações.....	39
7.REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	40

Lista de Tabelas

Tabela 1: Tipos de inundações e suas causas.....	5
Tabela 2: Dados utilizados na realização do projecto científico.....	Erro! Indicador não definido.
Tabela 4: Escala de julgamento de critérios pré-definidas por Saaty, 1987	23
Tabela3: Subdivisão das variáveis em classes e suas pontuações	26
Tabela 5: Matriz de comparação par-a-par usada no estudo.....	34
Tabela 6: valores dos auto-valores das variáveis.....	34
Tabela 7: Obtenção de produtos vectoriais.....	35
Tabela 8: Índice de consistência randômico	35

Lista de Equações

Equação 1: Equação para o cálculo do NDVI	19
Equação 2: Equação para o cálculo do auto-vector(w).....	23
Equação 3: Equação para o cálculo da Razao de Consistencia(RC)	23
Equação 4: Equação para o cálculo do λ	24
Equação 5: Equação para o cálculo do $\lambda_{\max}$	24
Equação 6: Equação para o cálculo do Indice de Consistencia(IC).....	24
Equação 7: Equação para o cálculo da Susceptibilidade a Inundação(SI).....	24

Lista de Abreviaturas

AHP- Analytic Hierarchy Process

CENACARTA- Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção

CPG- Cartografia e Pesquisa Geológica

ERP- Enterprise Resource Planning

FC- Faculdade de Ciências

IC- Índice de Consistência

IR- Índice Randômico

INGD- Instituto Nacional de Gestão e Redução do Risco de Desastres

MAE- Ministério da Administração Estatal

NDVI- Normalized Difference Vegetation Index

NW- Noroeste

RC- Razão de Consistência

SE- Sudeste

SI- Susceptibilidade a Inundação

SIG- Sistema de Informação Geográfica

UEM- Universidade Eduardo Mondlane

Símbolos

°C- Graus Celsius

1. CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

1.1.Introdução

A presente monografia foi elaborada no âmbito da conclusão do Curso de Cartografia e Pesquisa Geológica (CPG), leccionado na Faculdade de Ciências (FC) da Universidade Eduardo Mondlane (UEM), abordando o tema *Análise do risco de inundações do Distrito de Chókwè, na Província de Gaza através do método AHP*. Com este trabalho pretende-se contribuir para a redução dos impactos sócios económicos, com o foco em proteger a classe social mais desprovida de recursos e as pessoas em situação de vulnerabilidade.

O fenómeno da inundação é um evento natural, dado pelo extravasamento da água para o leito maior do rio. Este facto é propiciado por precipitações intensas fazendo com que a quantidade de água que chega simultaneamente para um ponto do rio seja maior do que sua capacidade de escoamento (Tucci, 2005).

A ocupação de terra nas áreas próximas aos cursos de água, devido ao crescimento rápido e espontâneo das áreas urbanizadas, eleva a possibilidade de ocorrência de danos pelas inundações. O processo de crescimento urbano, por vezes, sem planeamento é um dos principais geradores de cenários de inundações, que constitui um dos principais desastres nas cidades. Entretanto, as inundações em ambientes urbanos são um resultado não apenas de variáveis meteorológicas, mas sim da soma destas com as actividades humanas não planeadas.

O método de multicritério denominado Processo Analítico Hierárquico (*Analytic Hierarchy Process* – AHP), proposto por Tomas L. Saaty em meados da década de 70, visa auxiliar no processo de tomada de decisões complexas, identificando a melhor opção dentre as possíveis alternativas e ajudando na determinação das prioridades (Faria & Filho, 2013).

Este método (AHP) não é um método que vai prescrever a decisão correcta, mas sim auxiliar os tomadores de decisão, conhecedores do assunto, especialistas a encontrar a solução que melhor se encaixa para o problema (Faria & Filho, 2013)

Segundo Sá, 2016 o risco de inundação deve ser analisado tendo em consideração as possibilidades de actuação, tanto na redução da probabilidade de ocorrência de eventos de inundação como das consequências destes nas suas diferentes dimensões.

O Distrito de Chókwè localiza-se na Província de Gaza, Sul de Moçambique, e em épocas chuvosas é propensa a inundações. Assim, o uso do geoprocessamento pode ser uma forma de

avaliar melhor as áreas mais propensas a esse fenômeno e prevenir seus impactos. É nesse contexto que surge a necessidade de melhor compreender de que forma os métodos de geoprocessamento podem ser usados para o mapeamento das áreas de risco sendo deste modo necessário entender a aplicabilidade de cada método para os estudos do fenômeno.

Para a elaboração de mapa de áreas de riscos à inundações do Distrito de Chókwè, foi necessário as informações cartográficas sobre uso do solo, declividade, morfologia, tipos de solos, e vegetação. Foi feita a sobreposição destas (Informações), para gerar os resultados desejados, por meio do uso de um software incorporado no SIG denominado por ArcGIS. Este software permitiu a compilação e organização de dados aplicando a análise multifactorial de acordo com o seu grau de relevância. Esta tem como objectivo a espacialização dos locais susceptíveis a inundações, através de ferramentas de Teledeteção e SIG, utilizando o método de análise multicritério (AHP), baseada no processo de decisão hierárquica, combinada com um SIG.

1.2.Contextualização

O crescimento desordenado das cidades e a ocupação de terrenos urbanos frágeis constituem-se numa preocupação global. Moçambique não foge a essa regra e continua sendo um dos problemas que mais chama atenção em virtude de vários problemas que advêm e no caso concreto os de natureza ambiental.

Um dos problemas ambientais primordiais em Moçambique é a pressão demográfica em Cidades e zonas periurbana que tem levado a ocupação desordenada em zonas de alta vulnerabilidade em relação ao risco de inundação (Nganhane, 2016)

Moçambique é um dos países mais afetados pelas inundações na África, registrando mais de 20 inundações nos últimos 30 anos, o que tem causado danos ao país e atrasando o seu desenvolvimento (Ribeiro, 2018)

Nesta perspectiva, o presente trabalho teve como objectivo primordial analisar o risco de inundação no Distrito de Chókwè (Província de Gaza), através do método AHP.

1.3.Justificativa

A escolha do tema foi movida por dois grandes motivos:

Primeiro: o estudo foi motivado pelo interesse de perceber de que forma o uso de ferramentas computacionais de Teledeteção e Sistema de Informação Geográfica (SIG), pode ajudar a realizar o mapeamento das áreas susceptíveis a inundações. Utilizando para tal, uma ferramenta de análise multicritério, baseada no processo de decisão hierárquica, combinada com um SIG.

Segundo: o autor tenta perceber de que modo a partir da modelagem de dados espaciais, associados a modelos cartográficos, é possível identificar e quantificar as áreas susceptíveis a inundações e enchentes.

1.4.Objectivos

1.4.1.Objectivo Geral

- Analisar o risco de inundação no Distrito de Chókwè (Província de Gaza), através do método AHP.

1.4.2.Objectivos específicos

- Descrever e analisar os factores naturais e culturais que influenciam na ocorrência de inundações;
- Ponderar e reclassificar as classes das variáveis usadas no estudo do risco;
- Aplicar o método AHP na identificação das áreas susceptíveis a inundações;

2. CAPÍTULO II: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL

2.1. Enchentes, Inundação e alagamentos

Segundo Felizardo, 2016 as **inundações** e **enchentes** são fenômenos naturais que ocorrem com frequência nos cursos de água, geralmente deflagrados por chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração. Estes eventos naturais têm sido intensificados, principalmente nas áreas urbanas, por actividades antrópicas.

As **enchentes** são tidas como fenômenos naturais, que ocorrem periodicamente nos cursos de água devido às chuvas de magnitude elevada. Estas, em áreas urbanas, podem ser decorrentes de chuvas intensas de largo período de retorno ou devido a transbordamentos de cursos d'água provocados por mudanças no equilíbrio no ciclo hidrológico em regiões a montante das áreas urbanas; ou ainda, devidas à própria urbanização (Braga, 2016)

Para Braga, 2016 os alagamentos ocorrem, geralmente, em áreas planas ou com depressões e fundos de vales, com o escoamento superficial comprometido pela topografia e falta ou insuficiência de um sistema pluvial no ambiente urbano. Ainda, quanto menor a extensão de áreas verdes, menor a infiltração de água no solo, que alimenta os aquíferos suspensos, causando menor auxílio para o escoamento superficial, as quais poderiam atenuar as causas dos mesmos.

A inundação, popularmente tratada como enchente, é o aumento do nível dos rios além da sua vazão normal, ocorrendo o transbordamento de suas águas sobre as áreas próximas a ele (Fig 1). Estas áreas planas próximas aos rios sobre as quais as águas extravasam são chamadas de planícies de inundação. Quando não ocorre o transbordamento, apesar do rio ficar praticamente cheio, tem-se uma enchente e não uma inundação. Por esta razão, no mundo científico, os termos “inundação” e “enchente” devem ser usados com diferenciação (Kobiyama et al., 2006).

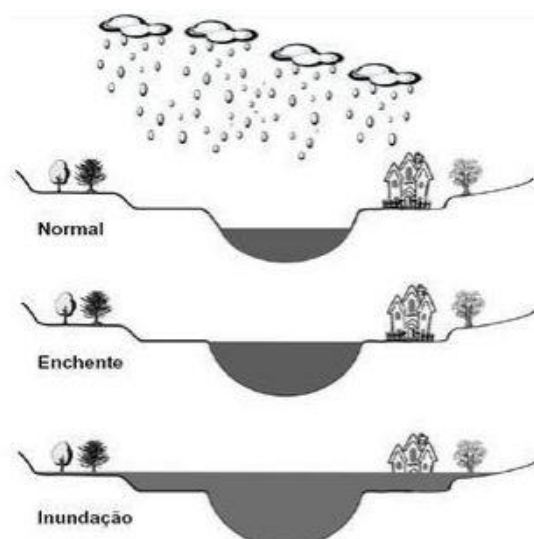


Figura 1. Evolução do aumento do nível das águas do leito do rio da situação normal até ocorrência de uma inundação.

2.2. Tipos de inundações e suas causas

As inundações ou enchentes são diferenciadas de acordo com as razões para a sua ocorrência, assim como pelas características dos locais em que elas acontecem. As inundações podem ser devidas a várias causas e, consoante estas, podem ser divididas em vários tipos, nomeadamente: Inundações fluviais ou cheias, Inundações de depressões topográficas, inundações costeiras e Inundações urbanas conforme ilustra a Tabela 1 (Ramos, 2009)

Tabela 1: Tipos de inundações e suas causas

Tipos de Inundações	Causas
Cheias (inundações fluviais)	✓ Chuvas abundantes e/ou intensas ✓ Fusão da neve ou gelo ✓ Efeito combinado chuva + efeito mares e/ou <i>storm surge</i> ✓ Obstáculos ao escoamento fluvial ou derrocada dos obstáculos
Inundações de depressões topográficas	✓ Subida da toalha freática (natural ou artificial) ✓ Retenção da água da precipitação por um solo ou substrato ✓ Cheias

Inundações costeiras	✓ Tempestade ✓ Tsunami ou maremoto ✓ Subida eustática do nível do mar ✓ Sismos com fenômenos de subsidência tectônica
Inundações urbanas	✓ Chuva intensa, sobrecarga dos sistemas de drenagem artificiais ✓ Subida da toalha freática (natural ou artificial) ✓ Cheias

2.3. Factores condicionantes para a ocorrência de inundações

Segundo Tucci, 2005, descreve que as principais condições naturais para a ocorrência de enchentes são relevo, tipo de precipitação, a cobertura vegetal e a capacidade de drenagem.

Os factores determinados como importantes e que influenciam directamente no nível da água alcançado por uma enchente são:

- Altitude;
- Declividade;
- Uso da terra;
- Precipitação e
- Tipo de solo

A ocorrência de inundações, enchente e de alagamento é analisada pela combinação entre os factores naturais e antrópicos. As condições naturais permitem compreender a dinâmica do escoamento da água, de acordo com o regime de chuvas conhecidos. Onde podem destacar-se os seguintes: Características da rede de drenagem; Intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas; características do solo e o teor de humidade; presença ou ausência da cobertura vegetal.

Os factores antrópicos que se destacam são: Uso e ocupação irregular nas planícies e margens de cursos de água; disposição irregular de lixo nas proximidades dos cursos de água; alterações nas características dos cursos de água.

2.4.Geoprocessamento

Geoprocessamento é um conjunto de tecnologias de colecta, manipulação, tratamento e formalização para apresentação de informações espaciais podendo ser utilizado em diversas áreas das ciências. Geoprocessamento é também entendido como um conjunto de tecnologias capazes de utilizar conhecimentos de diversas áreas da ciência, por meio da axiomática da localização (de Souza, 2020).

É também definido como processamento de dados geográficos integrando diversos equipamentos, programas, dados metodologias, formas de colectas, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais (de Souza, 2020)

O termo Geoprocessamento refere-se a uma disciplina do conhecimento com o objectivo de tratar dados com informações geográficas, por meio de técnicas matemáticas e computacionais (Câmara, 2001).

O tratamento de informações geográficas vem influenciando de maneira crescente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais e planeamento urbano - regional. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados (Câmara, 2001).

2.5.Sistema de Informação Geográfica (SIG)

SIG é um sistema destinado à aquisição, armazenamento, manipulação, análise, simulação, modelagem e apresentação de dados referidos espacialmente na superfície terrestre, integrando diversas tecnologias (Roberto, 2013).

Os SIG são conjuntos integrados de hardware e software capazes de desempenhar funções diversas, nomeadamente, a captura, organização, manipulação, análise, modelação e apresentação de dados espacialmente referenciados e destinando-se a resolver problemas complexos de planeamento e de gestão (Roberto, 2013)

Para Carlos, 2016, os SIG são sistemas computacionais usados para armazenar e manipular informação geográfica. Estes sistemas são concebidos para recolher, armazenar e analisar objectos e fenómenos em relação aos quais a localização geográfica é uma característica muito importante.

Os SIG também auxiliam na modelagem por permitir o manuseio de uma forma espacial de dados que de outra forma seria comprometida se armazenada em uma base de dados não espacial (Carlos, 2016)

2.6.Aplicabilidade dos SIG

Segundo Filho & Iochpe, 1996, os SIG aplicam-se em diversas áreas, classificadas em cinco grupos principais:

2.6.1.Ocupação Humana

- **Planeamento e Gerenciamento Urbano:** Redes de Infra-estrutura como água, luz, telecomunicações, gás e esgoto, Planeamento e supervisão de limpeza urbana, Cadastramento territorial urbano e Mapeamento eleitoral;
- **Saúde e Educação:** Rede hospitalar, rede de ensino, Saneamento básico e Controle epidemiológico;
- **Transporte:** Supervisão de malhas viárias, Roteamento de veículos, Controle de tráfego e Sistema de informações turísticas; e
- **Segurança:** Supervisão do espaço aéreo, marítimo e terrestre, Controle de tráfego aéreo, Sistema de Cartografia náutica, Serviços de atendimento emergenciais.

2.6.2.Uso da Terra

- Planeamento agro-pecuário, Estocagem e escoamento da produção agrícola; Classificação de solos e vegetação; Gerenciamento de bacias hidrográficas; Planeamento de barragens, Cadastramento de propriedades rurais; Levantamento topográfico e planimétrico; e Mapeamento do uso da Terra.

2.6.3. Uso de Recursos Naturais

- Controle do extrativismo vegetal e mineral; Classificação de poços petrolíferos; Planeamento de gasodutos e oleodutos; Distribuição de energia eléctrica; Identificação de mananciais; e Gerenciamento costeiro e marítimo.

2.6.4.Meio Ambiente

- Controle de queimadas; Estudos de modificações climáticas; Acompanhamento de emissão e acção de poluentes; e Gerenciamento florestal de desmatamento e reflorestamento.

2.6.5.Actividades Económicas

- Planeamento de *marketing*; Pesquisas sócio-económicas; Distribuição de produtos e serviços; Transporte de matéria-prima e insumos.

2.7.Identificação de áreas susceptíveis a inundações

A susceptibilidade é a predisposição que uma área possui para ocorrência de um determinado processo, baseada nas condições locais do terreno, não considerando probabilidade temporal do evento, como tempo de retorno ou frequência.

Assim sendo, segundo Rezende et al., 2017, a susceptibilidade a inundações de uma área está directamente relacionada à probabilidade dela em ser atingida por enchentes, cheias e alagamentos, desta forma, o mapa de susceptibilidade fornece informações para definir potenciais de ocorrência de inundações para o local.

Para Barbosa, 2006, a produção de um mapeamento de áreas que tem susceptibilidades a inundações possui enorme importância no planeamento territorial, visto que nas últimas décadas se tornou a ferramenta mais eficaz para subsidiar a prevenção e controle de desastres naturais decorrentes da expansão urbana, que está directamente associada ao grau de risco e prejuízos causados por estes eventos. Os mapeamentos, em geral, produzem cartas de susceptibilidade, perigo ou risco e têm correspondência com os objectivos do mapa e com as escalas de trabalho envolvidas.

2.8.Desastre, Risco e Vulnerabilidade

- **Desastre** é definido como resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos económicos e sociais (Kobiyama et al., 2006).
- **Risco** pode ser compreendido como sendo a probabilidade de consequências prejudiciais ou perdas esperadas (mortes, ferimentos, a propriedade, meios de subsistência, a atividade económica interrompida ou ambiente danificado) resultantes de interações entre os riscos naturais ou induzidas pelo homem e as condições vulneráveis (Goes, 2019).
- **Vulnerabilidade** condições determinadas por factores físicos, sociais, económicos e ambientais que aumentam a susceptibilidade das comunidades ao impacto dos perigos ou da ocorrência de desastres.

Considera-se vulnerabilidade ao grau de susceptibilidade ou incapacidade de resposta de um sistema face aos efeitos adversos das mudanças, climáticas, que inclui a variabilidade climática e os eventos extremos (Abdula & Taela, 2005)

2.9. Processo Analítico Hierárquico (AHP)

O AHP, é um método multicritério utilizado na tomada de decisões, organizando o problema de maneira hierárquica, estando o objectivo do trabalho no ponto mais elevado, seguido pelos critérios e, na porção inferior, as alternativas (Oliveira et al., 2020)

Segundo Silva, 2007, o *Decision Support Systems Glossary* define AHP como “uma aproximação para tomada de decisão que envolve estruturação de multicritérios de escolha numa hierarquia. O método avalia a importância relativa desses critérios, compara alternativas para cada critério, e determina um ranking total das alternativas”.

Em sua forma geral, o AHP é uma estrutura não linear para transportar o pensamento dedutivo e indutivo sem o uso do silogismo, tomando vários factores em consideração simultaneamente e permitindo a dependência e o feedback, e fazendo compensações numéricas para chegar a uma síntese ou conclusão (Saaty, 1987)

O maior diferencial do AHP é sua capacidade de conversão de dados empíricos em valores numéricos e o cálculo de um índice de consistência, que tem a função de diminuir a subjetividade na atribuição de pesos entre critérios e subcritérios (Oliveira et al., 2020).

2.10. Benefícios, Limitações e Aplicações do AHP

- **Benefício**

Segundo Saaty (1994), o benefício do método é que, como os valores dos julgamentos das comparações paritárias são baseados em experiência, intuição e também em dados físicos, o AHP pode lidar com aspectos qualitativos e quantitativos de um problema de decisão.

Um dos pontos fortes mais significativos do método AHP é a capacidade de medir o grau de consistência presente nos julgamentos par a par e, desse modo, contribuir para assegurar que somente ordenações justificáveis sejam usadas como a base para avaliações.

- **Limitações**

É preciso reconhecer as limitações também. Uma das limitações do método é a sua aplicação inadequada, isto é, em ambientes desfavoráveis onde a aplicação é percebida como simplificação excessiva ou como desperdício de tempo (Silva, 2007).

- **Aplicações**

Autores como Silva, 2007 e Rezende et al., 2017 já provaram a vasta aplicabilidade do método AHP no mercado profissional e também no meio acadêmico, já tendo sido aplicado nas seguintes situações:

- Medição de eficiência do gerenciamento de atividades de pesquisa e desenvolvimento em universidades;
- Escolha de operador logístico;
- Avaliação de riscos em projetos de ERP – *Enterprise Resource Planning*;
- Definição de prioridades em sistema de gestão de segurança.
- Na avaliação do risco a desastres naturais

3. CAPÍTULO III: ÁREA DE ESTUDO

Nesse capítulo são apresentados a descrição geral da área de estudo, onde buscou-se os aspectos físicos-geográficos, naturais, sócios-económicos.

3.1. Localização geográfica

O Distrito de Chókwè localiza-se a Oeste da região Sul de Moçambique, mais concretamente a sudoeste da província de Gaza, entre as coordenadas geográficas 24° 05' e 24° 48' Sul, de latitude, e 32° 31' e 33° 35' Este, de longitude. Com uma superfície de aproximadamente 2 435 km², o Distrito de Chókwè é limitado a Norte pelo Rio Limpopo, que separa o Distrito de Chókwè com os distritos de Mabalane e Guijá; a Sul o distrito tem como limites o Distrito de Bilene e o Rio Mazimechopes; o Rio Mazimechopes faz a separação com o Distrito de Magude na Província de Maputo; a Este é limitado pelo Distrito de Chibuto e por uma pequena faixa do Distrito de Xai-Xai; a Oeste pelos distritos de Massingir e Magude (Fig.2)

Administrativamente, o distrito está dividido em quatro postos administrativos: Macarretane, Lionde, Cidade de Chókwè e Xilembene, oito localidades e trinta e seis aldeias (Cambaza, 2007)

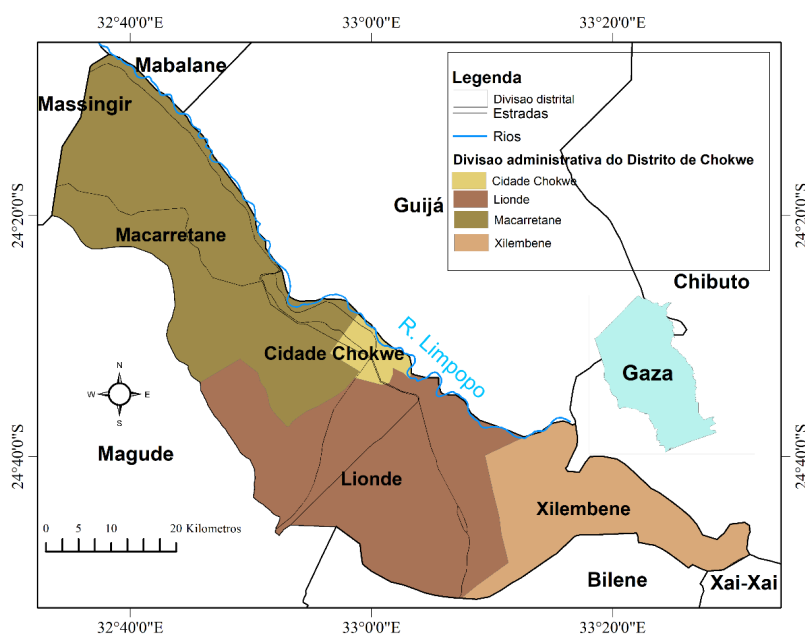


Figura 2: Mapa de Localização Geográfica do Distrito de Chókwè, ilustrando a divisão distrital da província de Gaza, e divisão Administrativa do Distrito Chókwè (adaptado pela autora).

3.2. Enquadramento Geológico

A geologia do Distrito de Chókwè é caracterizada por apresentar espessos depósitos indiferenciados de sedimentos marinhos do plistoceno denominados “Mananga”, localizados em zonas relativamente elevadas dos postos administrativos de Macarratane e Lionde e ainda, por depósitos aluvionares do Quaternário, que se estendem ao longo dos vales do rio Limpopo, Mazimechopes e Chinangue. Os sedimentos de Mananga são muitas vezes cobertos por depósitos recentes coluviais e aluviais, apresentando uma textura franco-arenosa com elevada percentagem de areia.

Ao longo do Rio Limpopo, nas curvas e meandros foram depositados sedimentos fluviais recentes. A distribuição desses depósitos fluviais é típica, com formação de diques naturais mais elevados e de depósitos arenosos nas áreas mais próximas do rio (Cambaza, 2007)

A sua geologia é composta maioritariamente por rochas do Quaternário, nomeadamente: Aluvião (Qa); areia eólica vermelha (Qdi); Areia eólica (Qe); Escorrência argilosa fluvial (Qpi); Escorrência argilo-arenosa fluvial (Qps) e Areia e cascalho de terraço fluvial (Qt); é composta também por rochas conglomeráticas (TeAcs e TeAuc) (Fig 3)

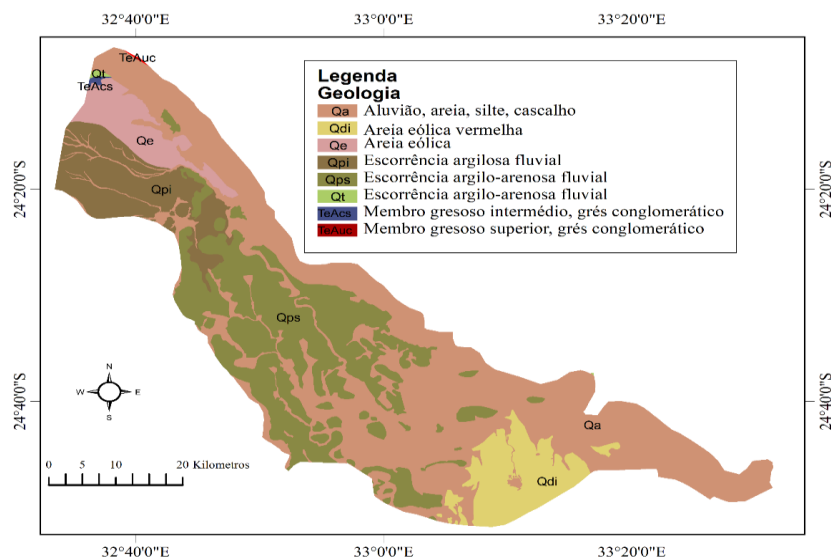


Figura 3: Mapa da geologia do Distrito de Chókwè, composta maioritariamente por rochas do quaternário (Qa, Qdi, Qt, Qe, Qpi e Qps), e por algumas do terciário (TeAuc e TeAcs) (adaptado pela autora)

3.3.Relevo

A topografia do relevo do Distrito de Chókwè é pouco acidentada, podendo ser considerada plana, com altitudes que variam de 3 a 100 m (Fig. 4). As zonas mais baixas localizam-se no vale dos rios Limpopo, Mazimechope e Chinange, e zona mais alta localiza-se no lado oeste do distrito (Ferro, 2005)

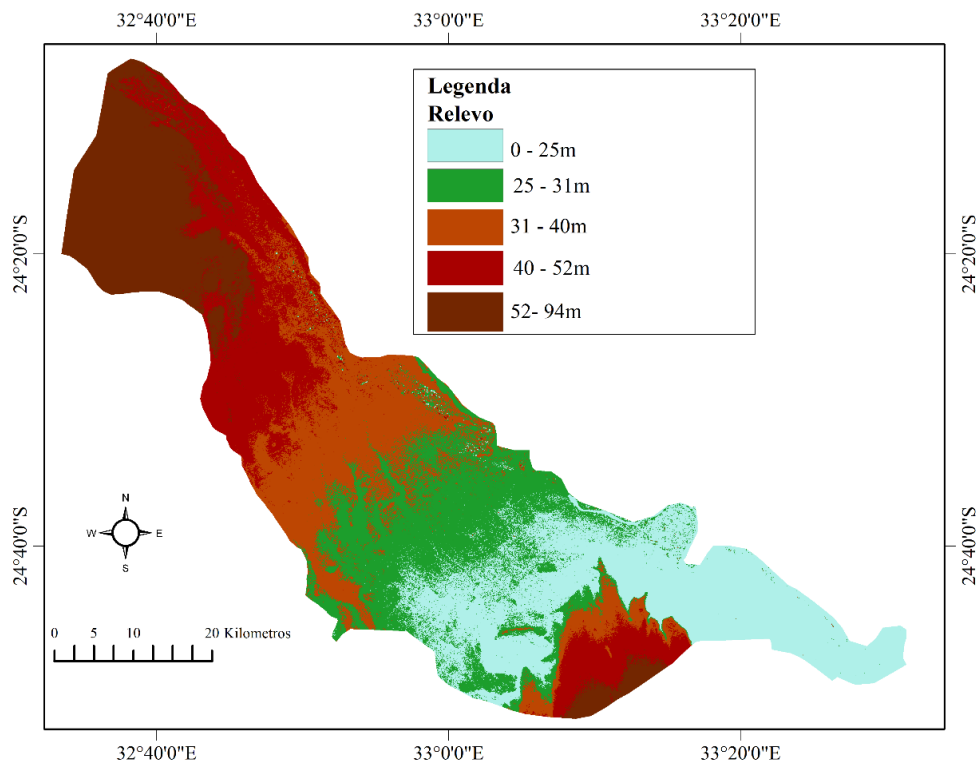


Figura 4: Mapa de relevo do Distrito de Chókwè. O mapa foi classificado em cinco classes, pelo método Quantile, onde o relevo aumenta na direção SE-NW (adaptado pela autora).

3.4.Cobertura Vegetal

Nas zonas não irrigadas, no ambiente de depósitos marinhos, nos terrenos elevados, encontra-se uma vegetação de pequenos arbustos espalhados e uma fraca cobertura de gramíneas, em geral espécies anuais. Nas depressões extensas, mal drenadas, encontram-se pastagens de boa qualidade, uma densa cobertura de gramíneas, em geral espécies perenes. As árvores que bordeiam estas depressões são *Acácia xanthophlea*. Nas bacias pantanosas de decantação existe

um crescimento abundante de capim, assim como pastagens de qualidade excelente, embora com manchas de solo nu ou só com *Salicornia* sp., uma planta marinha como consequência da forte salinização secundária (Cambaza, 2007)

3.5.Aspectos Climáticos

Em termos gerais pode-se afirmar que o clima do Distrito de Ckókwè é do tipo semiárido seco, caracterizado por grandes variações pluviométricas intra e inter anuais, por conseguinte com uma agricultura de sequeiro de elevado risco. A precipitação média anual ronda os 620 mm, ocorrendo essencialmente de Novembro a Março e a evapotranspiração de referência média anual situa-se nos 1 500 mm. Este regime pluviométrico permite apenas um período de crescimento com uma duração estimada em cerca de 90 dias, apresentando a região um elevado risco de perda de colheita para as culturas de sequeiro (Ferro, 2005).

O ano térmico apresenta 2 períodos distintos: um período quente de temperaturas elevadas oscilando entre 24.7 a 27.1 °C, dos meses de Outubro a Março e outro relativamente fresco de Maio a Agosto com temperaturas variando de 21.4 a 20.3 °C sendo os meses de Abril e de Setembro, de transição, do período quente para o período fresco e do fresco para o quente, respectivamente. A probabilidade de ocorrência de secas nestas áreas é superior a 30 % (Ferro, 2005).

A temperatura média anual é de 23,6 °C e o risco de ocorrência de geadas é nulo mesmo durante a época fria o que pode levar a assumir que a temperatura não constitui factor limitante ao crescimento/desenvolvimento da generalidade das culturas. A humidade relativa do ar é sempre superior a 70 %, atingindo valores mais altos de Maio a Agosto. Os valores de insolação são relativamente constantes ao longo de todo o ano e o vento tende a soprar mais forte nos meses de Setembro a Dezembro (Cambaza, 2007).

3.6.Tipos de solo

A distribuição dos principais tipos de solo é fortemente influenciada pela geomorfologia da área, os solos do Distrito do Chókwè, podem ser agrupados da seguinte maneira: (i) solos arenosos amarelados, (ii) solos arenosos não especificados, (iii) solos de aluviões argilosos, (iv) solos de aluviões estratificados de textura grossa, (v) solos de coluviões argilosos de mananga, (vi) solos de mananga com cobertura arenosa de espessura variada, (vii) solos pouco profundos sobre rocha calcária e (viii) solos pouco profundos sobre rocha não calcária. (Fig.6)

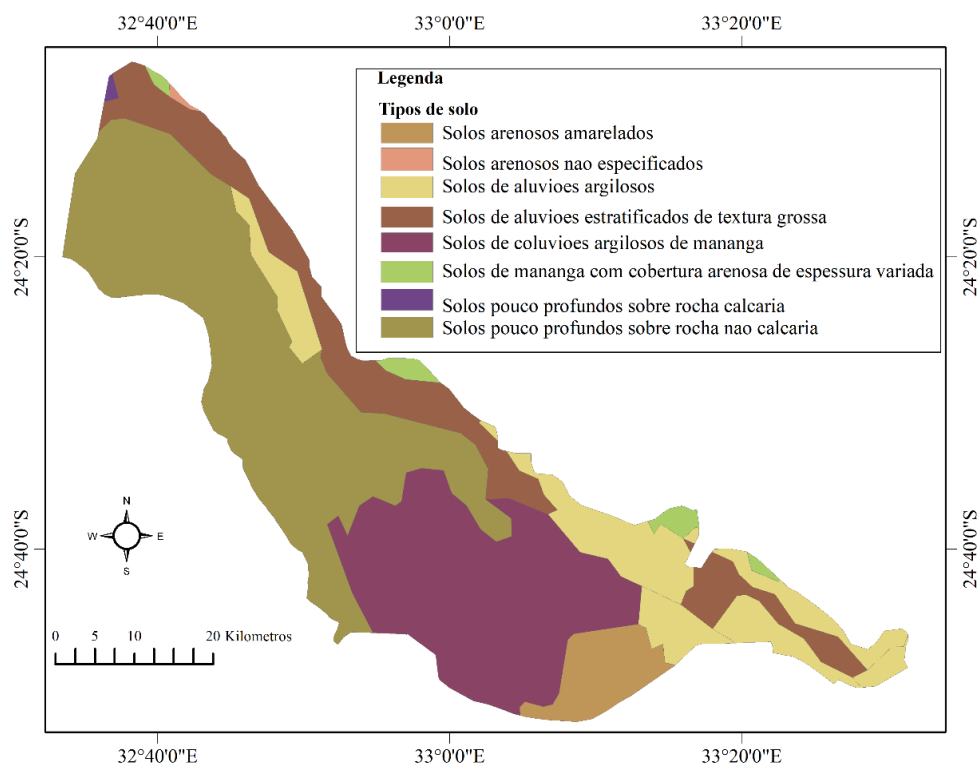


Figura 5: Mapa ilustrativo dos oito tipos de solos predominantes no Distrito de Chókwè (adaptado pela autora).

3.7.Aspectos Hidrográficos

O Distrito tem um grande potencial hidrográfico, sendo banhado à margem direita pelo Rio Limpopo, podendo-se encontrar ainda os riachos Mazimechope, Ngonwane, Munhuane, Chuezi, Nhambabwe e as lagoas de Chinangue, Ngondzo, Nhai-Nhai, Mbalambe e Khokhotiva. O Rio Limpopo serve o maior sistema de irrigação do País, atravessando o distrito em todo o seu comprimento, no sentido NW-SE, estabelecendo a fronteira com os distritos de Mabalane, Guijá e Chibuto (MAE, 2005).

O Distrito de Chókwè encontra-se inserida na Bacia Hidrográfica do Limpopo, e a maior parte desta bacia encontra-se na zona árida a semi-árida e grande parte desta bacia apresenta subsolos salgados particularmente a bacia do Rio Changane, apesar da sua contribuição ser de 11%. O Rio dos Elefantes é o seu maior alimentador, contribuindo com 35% de escoamento total no Chókwè. A barragem de Massingir, no Rio dos elefantes, contribui na regulação do caudal.

As águas do Rio Limpopo tendem a ser altamente mineralizadas (salinas) devido a vários motivos, nomeadamente: (i) o facto do rio drenar numa área de captação árida, (ii) o fluxo da água salina drenada dos vários sistemas de regadio existentes ao longo das suas margens, o que aumenta a condutibilidade e concentração dos sais em direção a jusante e, (iii) o gradiente do rio ser baixo no período seco, ocorrendo penetração da água do mar (salgada) para o interior, até 80 km da costa (MAE, 2005).

3.8. Economia

Segundo MAE, 2005 a agricultura é a actividade económica dominante e envolve 80% da população activa do Distrito, é praticada em explorações familiares com 1.5 hectare. Em média, a área total cultivada pelo sector familiar é de 10 mil hectares, o que representa 5% da área total, é um Distrito pequeno e densamente povoado. Possui quase 40% do total da área de regadios de Moçambique, e em relação à Província de Gaza, está localizada neste Distrito 70% da área total e 90% da sua área operacional e é também um dos principais Distritos de criação de gado na província de Gaza e no País. O Distrito de Chókwè está a arrancar duma época trágica, com as cheias devastadoras que assolaram o distrito nos anos 2000 e 2001, levando a grandes perdas da campanha agrícola e afectando a quase totalidade da população do distrito.

4. CAPÍTULO IV: Materiais e Métodos

4.1. Colecta de dados e pré-processamento de dados

Nesta fase fez-se a colecta de todos os dados necessários para a elaboração dos mapas de identificação de áreas susceptíveis a inundações, onde foram obtidas imagens raster e vectoriais conforme detalha a tabela 2. Foi também feita a colecta de dados com base em um inquérito feito no Instituto Nacional de Gestão e Redução do Risco de Desastres (INGD), na Divisão de Prevenção e Mitigação, que nos auxiliaram no processo de atribuição de pesos das nossas variáveis e na hierarquização do nosso problema de estudo.

Tabela 2: Dados utilizados na realização do projecto científico

Dados	Formato de dados	Fonte	Data de captura
Limites administrativos	Vector	CENACARTA	-
Geologia	Vector	CENACARTA	-
Solos	Vector	CENACARTA	-
Uso e cobertura do solo	Vector	CENACARTA	-
Landsat 8 OLI	Raster	USGS	05/09/2020
DEM	Raster	USGS	15/03/2018

4.2. Definição das Variáveis

Os factores apontados para as causas das inundações variam de local para local, em áreas próximas a cursos de água as inundações são atribuídas à cheia natural do rio, e nos locais mais afastados os factores apontados são as redes de drenagens entupidas, impermeabilização dos solos, deficiência do sistema de saneamento, entre outras (Braga, 2016).

Os factores que influenciam directamente no nível da água gerando inundações, independentemente da precipitação incidente são: a altitude, declividade, uso da terra e tipos de solo, assim, para a definição das variáveis condicionantes deste evento para o Distrito de Chókwe, foi-se realizado um levantamento bibliográfico de estudos que abordam o tema. E, contudo, as variáveis utilizadas foram: declividade, cobertura vegetal, altimetria, uso e cobertura do solo, tipos de solos e Geologia.

4.2.1. Uso e cobertura de solos

As formas de uso e cobertura do solo influenciam nos processos de infiltração e escoamento superficial, aumentando a vazão de pico e, conseqüentemente, favorecendo a ocorrência de inundações.

O estudo do uso e cobertura do Distrito de Chókwè foi feito com o auxílio de dados vectoriais referentes a ocupação da nossa área de estudo, os dados foram obtidos na CENACARTA. Após a obtenção destes dados vectoriais, os mesmos foram transportados para o ArGis versão 10.8 para o devido tratamento.

A atribuição das notas ocorreu através da permeabilidade do solo, visto que está directamente relacionada com as taxas de infiltração e produção de escoamento superficial. Foi atribuída a nota de maior valor a classe representada por lagos/ lagoas e solos expostos, por estas áreas serem naturalmente e constantemente inundadas, e a menor nota ao Matagal e Moita. As áreas com os maiores valores foram rotulados como áreas de maior probabilidade de ocorrência de inundações, e as áreas com os menores valores como áreas de menor risco

4.2.2. Cobertura vegetal

Foi confeccionado o mapa de cobertura vegetal utilizando o índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI), gerado a partir da interpretação da imagem LANDSAT 8 OLI (bandas 5 e 4), pela expressão:

$$NDVI = (R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED}) \quad \text{Equação 1}$$

O cálculo do NDVI retorna em valores numéricos que variam entre -1 a +1, e os materiais que apresentam NDVI negativo são água, nuvens, etc, o solo exposto e as rochas retornam em valores se aproximando de zero, e os valores positivos e próximos de 1 representam a vegetação.

As zonas com índices maiores indicam maior vigor da vegetação e conseqüentemente estas zonas são menos susceptíveis a inundações, pois a vegetação é uma das variáveis responsáveis pela infiltração da água nos solos. As classes com menores valores de NDVI foram atribuídos os maiores pesos referente a maior susceptibilidade de inundações, e as classes com os maiores valores de NDVI foram atribuídos menores pesos que representam baixa susceptibilidade.

4.2.3. Altimetria

Para Lopes et al., 2011 a altimetria é a interpretação gráfica do relevo e representa o estudo da variação da elevação dos vários terrenos com referência ao nível médio do mar. A altimetria contribui para as inundações de tal forma que, quanto maior a altitude, menor a probabilidade de inundação para uma determinada região devido à acção da lei de gravidade que direcciona o escoamento para as regiões mais baixas. Assim sendo, importa referir que as regiões mais baixas possuem uma tendência maior a sofrer com inundações.

A altimetria foi confeccionada na interface do ArcGis com base na imagem de DEM da região em estudo. Após adicionar a nossa imagem DEM projectada no ArcGis, pela ferramenta Hillshade torna-se possível observar melhor a forma de relevo da nossa área. Para uma melhor visualização da transição de uma forma de relevo para outra foi usado o método de Quantile na divisão do mapa.

Para atribuir os pesos das notas às classes do factor altimétrico, o estudo considerou o favorecimento da elevação em relação aos direccionamentos do escoamento superficial, que está directamente relacionado com alagamentos e inundações nas regiões com cotas baixas. Foi atribuída maior nota à classe hipsométrica que representa o intervalo com menores cotas, reduzindo sucessivamente as notas conforme aumenta a elevação do terreno.

4.2.4. Tipos de solo

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

Foi confeccionado um mapa com base nos dados vectoriais da CENACARTA, que possibilitaram a avaliação dos diferentes tipos de solo da nossa área de estudo.

O perigo de inundação aumenta com a diminuição da capacidade de infiltração do solo, o que provoca aumento no escoamento superficial. Foram atribuídos pesos que representassem os tipos de solo com maior ou menor vulnerabilidade.

Foi atribuída maior nota à classe pedológica que apresenta solos naturalmente inundados, reduzindo as notas sucessivamente conforme aumenta a fracção de areia e, consequentemente, a capacidade de infiltração.

4.2.5. Declividade

A declividade é a medida do grau de inclinação de um objecto em relação a um plano horizontal, podendo ser expresso em percentagem ou em graus. Este contribui para o fluxo de água das chuvas, pois controla a direcção do fluxo, infiltração e escoamento superficial das águas. Os locais com declividades menos acentuados, são altamente vulneráveis a ocorrência de inundações em relação aos locais de declividade acentuada (Lopes et al., 2011).

O mapa de declividade foi confeccionado no ArcGis, através de uma imagem raster (DEM), pela ferramenta Slope. Depois de aberta a ferramenta Slope é introduzido um input (que é a nossa imagem raster), e no output escolhe-se a nossa pasta de trabalho e o nome do nosso mapa, depois é só deixar a ferramenta processar.

Para a atribuição das notas às classes do factor declividade foi realizada na fundamentação levando em consideração a concentração do fluxo de escoamento superficial, que está directamente relacionada com a capacidade de armazenamento de água sobre a superfície do solo. Foi atribuída maior nota à classe de declividade com os menores valores, reduzindo sucessivamente as notas conforme aumenta a inclinação do terreno.

4.2.6. Geologia

O material geológico influencia no acúmulo da água no terreno e quanto mais poroso, menos influência tem na inundação, isto é, as rochas menos porosas apresentaram maior susceptibilidade a serem inundadas quando comparadas a rochas mais porosas.

A análise da geologia da nossa área de estudo foi analisada através do mapa geológico da região, confeccionado através de informações geológicas obtidas na CENACARTA.

Para a atribuição de notas as classes referentes a geologia da região foram levados em conta os factores porosidade e permeabilidade dos materiais, tendo sido atribuída a maior nota (nota 5) a classe referente a materiais com baixa porosidade e permeabilidade, e a menor nota (nota 1) as classes com maior porosidade e permeabilidade, por serem considerados menos propensos ao acumulo de água.

4.3. Ponderação e reclassificação das classes das variáveis

Para representar de forma mais real as condições, foi elaborada uma reclassificação atribuindo notas as classes das variáveis, onde as classes pertinentes a cada uma das variáveis do modelo foram ponderadas, segundo seu nível de susceptibilidade a inundação, em uma escala que varia de 1 a 5 usando o método empírico de atribuição de pesos. Este processo consiste basicamente em associar cada valor representado no dado, a uma classe temática, para que os operadores matemáticos façam a ligação entre um dado e o outro.

Este processo é considerado importante, pois, recomenda-se para o caso das variáveis qualitativas (por exemplo a geologia, as formas de uso e cobertura do solo, os tipos de solo, etc.) o desenvolvimento de indicadores numéricos (de acordo com o objectivo da pesquisa) para que estas variáveis sejam utilizadas como quantitativas. Onde com tal ponderação, cada classe presente em cada camada representa um peso a ser multiplicado para a obtenção do mapa de susceptibilidade a inundações.

4.4. Aplicação do modelo AHP

A aplicação do método AHP seguiu os passos definidos por Saaty, 1987 onde segundo este, a implementação do método AHP baseia-se na construção de hierarquias, definição de prioridades e consistência lógica.

Contudo, primeiramente o problema foi estruturado teoricamente de forma hierárquica onde na parte superior está localizado o objectivo principal e abaixo constam as variáveis. Saaty, 1987, afirma que hierarquizar trata-se de uma abstracção da estrutura de um sistema, para estudar as interacções funcionais de seus componentes e seus impactos no sistema total.

Posteriormente, para realizar a decomposição do problema em níveis hierárquicos na prática, foi realizada uma matriz de comparação par-a-par das variáveis com uma escala adoptada de acordo com o analista e de acordo com a tabela 3, na planilha Excel.

Tabela 3: Escala de julgamento de critérios pré-definidas por Saaty, 1987

Intensidade de importância	Definição
1	Igualmente importante
3	Moderadamente mais importante
5	Fortemente mais importante
7	Muito fortemente mais importante
9	Extremamente mais importante
2, 4, 6 e 8,	Valores intermediários entre os adjacentes

Posteriormente fez-se o cálculo do auto-vector (w), dividindo a soma de cada linha pelo somatório das somas de cada linha segundo a expressão (equação 2), sendo os resultados apresentados no capítulo seguinte.

$$w = a_{ij} / \sum_{k=1}^m a_{ik} \quad \text{Equação 2}$$

Em seguida foi calculado o produto vectorial, que é obtido fazendo a matriz normalizada dos auto-vectores, com os valores apresentados na (tabela 7)

Para a obtenção da veracidade dos pesos obtidos foi efectuado o cálculo da razão de consistência (RC) usando a expressão proposta por Saaty, 1990, o qual deseja-se um valor abaixo de 10%, ou seja, deseja-se representar pelo menos 90% de veracidade de julgamento dos pesos, pela expressão:

$$RC = \frac{IC}{IRn} < 0,1 \approx 10\% \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

RC- Razão de consistência

IC-Índice de consistência e

IR- Índice Randômico

Para a obtenção do IRn , Saaty, 1990 propõe uma tabela com os IRn de matrizes (tabela 8), calculados laboratorialmente, índice este que varia de acordo com o número de variáveis, assim, o IRn utilizado foi 1,24.

Para que se calcule a RC calcula-se o $\lambda_{\max}$ que é calculado fazendo a média o λ (equação 5), por sua vez o λ é obtido pelo produto do auto-valor e produto vectorial (equação 4).

$$\lambda = \frac{1}{n} = \left(\frac{w}{w} \right) \quad \text{Equação 4}$$

$$\lambda_{max} = Med(\lambda) \quad \text{Equação 5}$$

Com o λ_{max} já calculado segue-se o cálculo do IC seguindo a expressão da (equação 6):

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad \text{Equação 6}$$

E por fim calculou-se o RC que é efetuado pelo produto do IC (índice de consistência) e IR_n (índice randômico) como ilustra a (equação 3).

Após os julgamentos das variáveis envolvidas no estudo, seguida da determinação do λ_{max} que foi 6,30 e determinação do IC= 0,075, obteve-se um RC de 0,063, indicando a consistência no julgamento pois o valor é menor que 0,1.

O mapa de susceptibilidade a inundações da área de estudo foi confeccionado na interface do arcmap, usando ferramenta raster calculator pela fórmula:

$$SI = AL * W1 + DC * W2 + US * W3 + TS * W4 + GL * W5 + CV * W6$$

Equação 7

Onde:

SI: Susceptibilidade a inundações

W1 – W6: pesos estatísticos ou auto-vectores de cada variável

5. CAPÍTULO V: APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Apresentação dos Resultados

5.1.1. Ponderação e Reclassificação das Variáveis

O resultado da ponderação e reclassificação das variáveis de estudo é apresentado na tabela 4.

Tabela 4: Subdivisão das variáveis em classes e suas pontuações

Variável	Classes	Peso
Uso de Solos	Área habitacional/solo exposto	5
	Área de cultivo	4
	Floresta de baixa altitude	2
	Formação herbácea	3
	Lagos e Lagoas	5
	Matagal	1
	Moita	1
Tipos de solos	Solos arenosos amarelados	1
	Solos arenosos não especificados	1
	Solos de aluviões argilosos	5
	Solos de aluviões estr. de textura grossa	3
	Solos de coluviões argilosos de mananga	4
	Solos de mananga com cobertura arenosa	2
	Solos de mananga com cobertura arenosa	3
	Solos pouco profundos sobre rocha não calcária	2
Altimetria	0 a 25	5
	25,0001 a 31	4
	31,0001 a 40	3
	40,0001 a 52	2
	52,0001 a 94	1
	0 a 0,17	5
	1,17 a 1,75	4

Declividade	1,17 a 2,34	3
	2,34 a 3,22	2
	2,34 a 3,22	1
Vegetação	-0,15 a 0,13	5
	0,13 a 0,15	4
	0,15 a 0,17	3
	0,17 a 0,20	2
	0,20 a 0,50	1
Geologia	Qa	5
	Qe	1
	Qt	2
	Qdi	1
	Qps	3
	Qpi	4
	TeAcs	3
	TeAucs	2

Os pesos da tabela acima referida foram usados para elaboração de mapas temáticos para cada variável proposta, tendo tido como resultado os mapas abaixo apresentados:

5.1.1.1. Mapa de Uso e Cobertura de Solo

Com a elaboração deste mapa verificou-se que as áreas com susceptibilidade muito baixa (com peso 1) ocupam a maior área com cerca de 1073,2 Km² o equivalente a 43,9% da área total, seguindo-se as áreas de susceptibilidade alta (peso 4), ocupando 717,4 Km² correspondente a 29,4%, as áreas de susceptibilidade moderada (peso 3) ocupam 567,8 Km² equivalente a 23,3%, as áreas de baixa susceptibilidade (peso 2) estão em menor escala com cerca de 30,8 Km² que corresponde a 1,3% e temos também as área de susceptibilidade muito alta (peso 5) ocupando 50,7 Km², equivalente a 2,1% da área de estudo, Fig 6

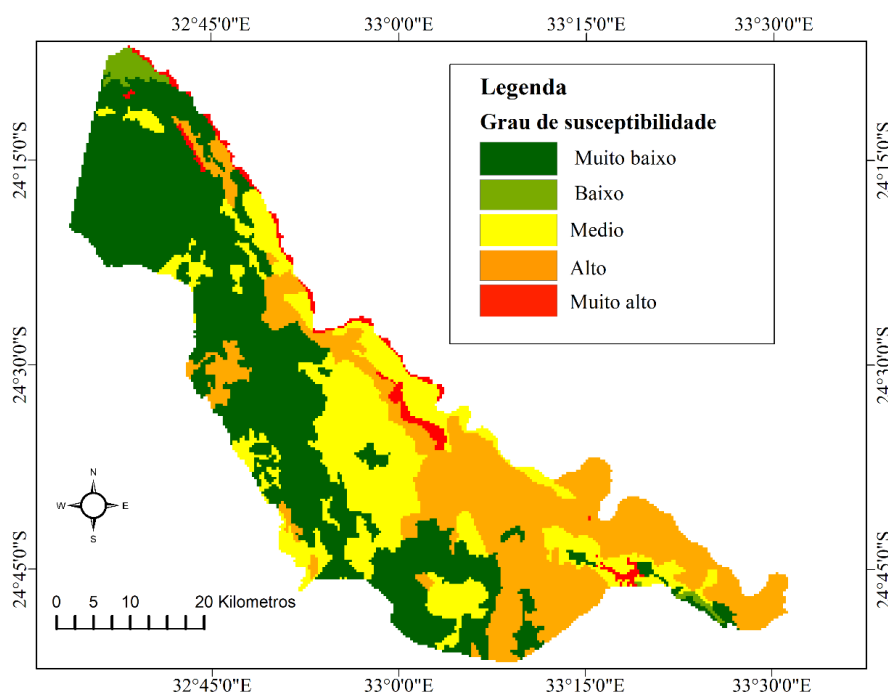


Figura 6: Mapa de susceptibilidade à inundações quanto ao Uso e ocupação de solos.

5.1.1.2. Mapa de Tipos de Solo

Após a elaboração do mapa verificou-se que as áreas de baixa susceptibilidade ocupam a maior parte da área total do distrito, com cerca de 982,4 Km², que corresponde a 40,3% da área total, de seguida temos as áreas designadas como de alta susceptibilidade a inundações, ocupando 615,4 Km², equivalente a 25,3% do território, temos também as áreas de susceptibilidade moderada, com 364,7 Km² de área, o correspondente a 15,1%, as áreas de muito alta susceptibilidade ocupam uma área total de 351,8 Km² o que equivale a 14,4% e as áreas de muito baixa susceptibilidade ocupam a menor percentagem, com 4,9% o equivalente a uma área de 120,7 Km², Fig 7

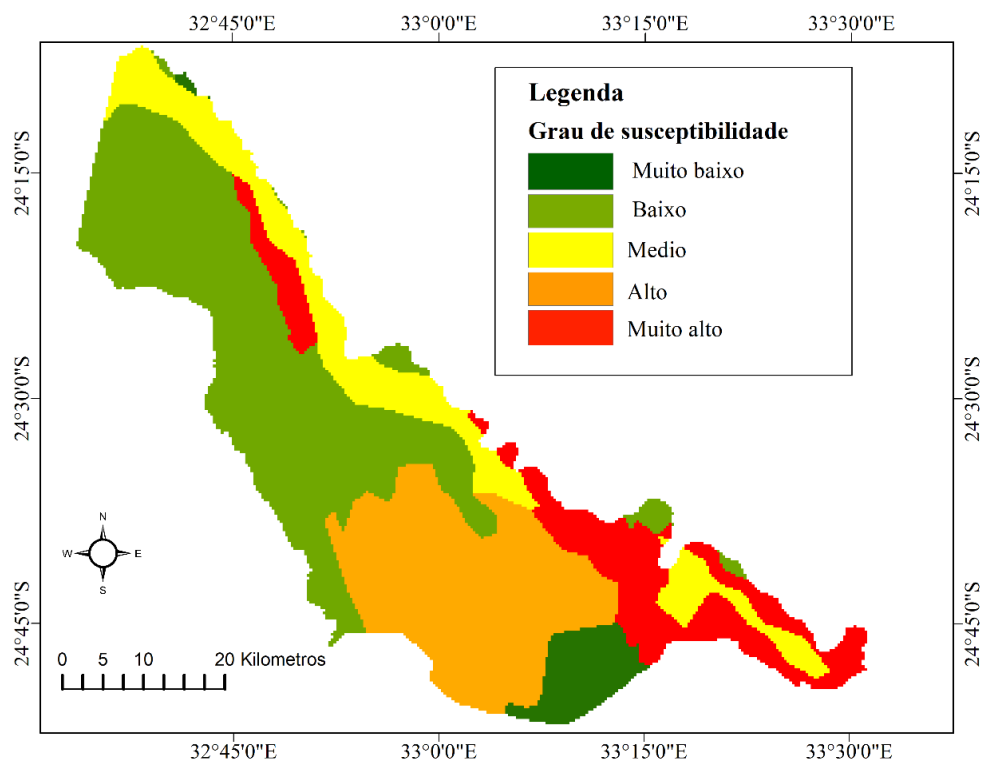


Figura 7: Mapa de susceptibilidade à inundações quanto ao Tipo de solos

5.1.1.3. Mapa de Cobertura Vegetal

Com a elaboração do mapa verificou-se que as áreas de susceptibilidade baixa ocupam a maior parte do território de estudo, ocupando 523,1 Km², o equivalente a 21,5%, as áreas de susceptibilidade moderada ocupam 499,9 Km², correspondente a 20,5%, áreas de susceptibilidade muito alta ocupam 478,3 Km², o equivalente a 19,6%, as áreas de alta susceptibilidade ocupam uma área de 473,4 Km² que corresponde a 19,4% e as áreas de muito baixa susceptibilidade ocupam 19%, uma área de 460,3 Km², Fig 8:

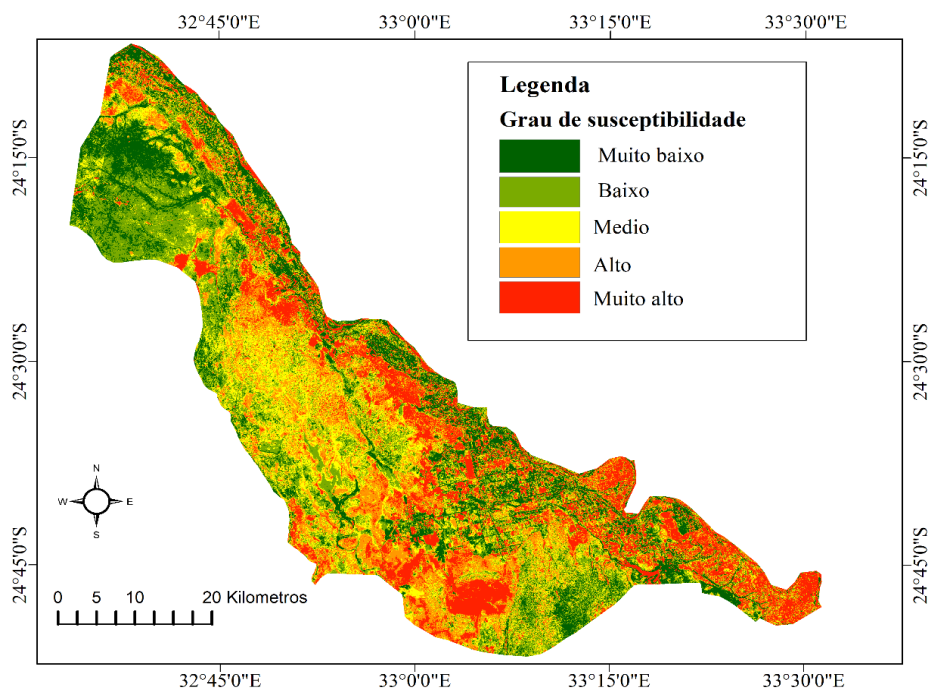


Figura 8: Mapa de susceptibilidade à inundações quanto ao NDVI

5.1.1.4. Mapa de Altimetria

Com a elaboração do mapa verificou-se que as áreas de muito alta susceptibilidade ocupam uma área de 591 Km², o equivalente a 24,4%, as áreas de susceptibilidade alta ocupam 491,6 Km², correspondente a 20,2%, as áreas de susceptibilidade moderada ocupam 471,6 Km², que corresponde a 19,4%, áreas de baixa susceptibilidade ocupam o referente a 18,2%, uma área de 443,2 Km², e o menor espaço é ocupado por áreas designadas com muito baixa susceptibilidade, com 431,6 Km², o correspondente a 17,8%, Fig 9:

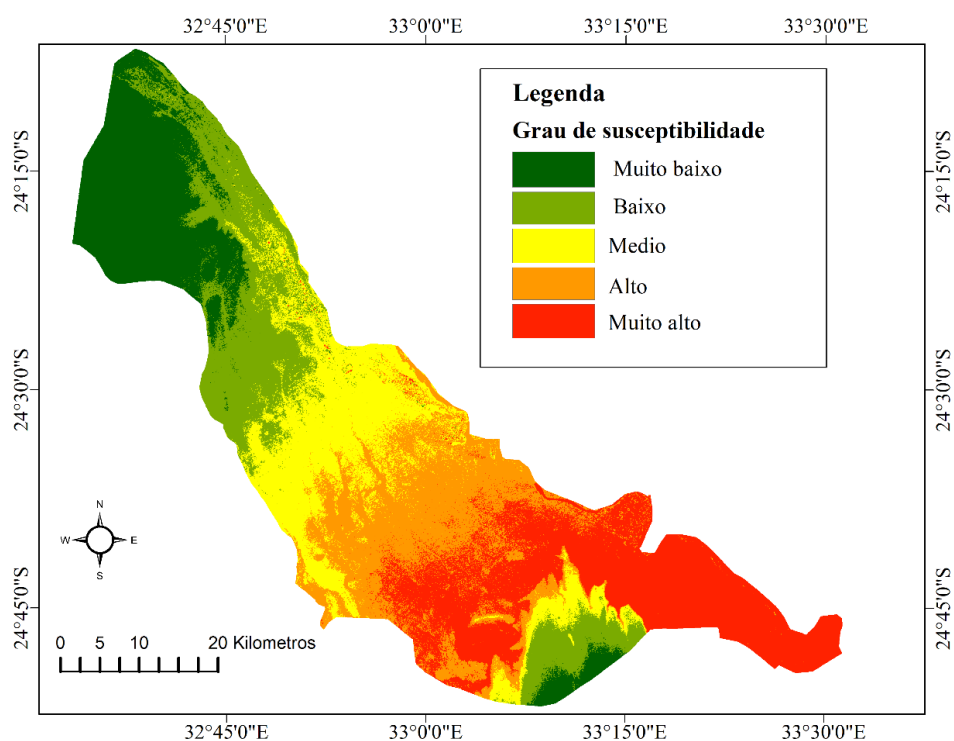


Figura 9: Mapa de susceptibilidade à inundações quanto a Altimetria

5.1.1.5. Mapa de Declividade

Com a elaboração do mapa observou-se que as áreas de alta susceptibilidade ocupam 557,7 Km², equivalente a 22,9%, da área total da zona de estudo, áreas de muito baixa susceptibilidade tem um total de 534,4 Km², correspondente a 21,9%, as áreas de susceptibilidade baixa tem área de 498,1 Km², que equivale a 20,5%, as zonas de susceptibilidade muito alta tem 19,7%, uma área de 478,9 Km², e a menor percentagem corresponde a zonas de susceptibilidade moderada, com uma área de 365,9 Km² correspondente a 15% da área total, Fig 10:

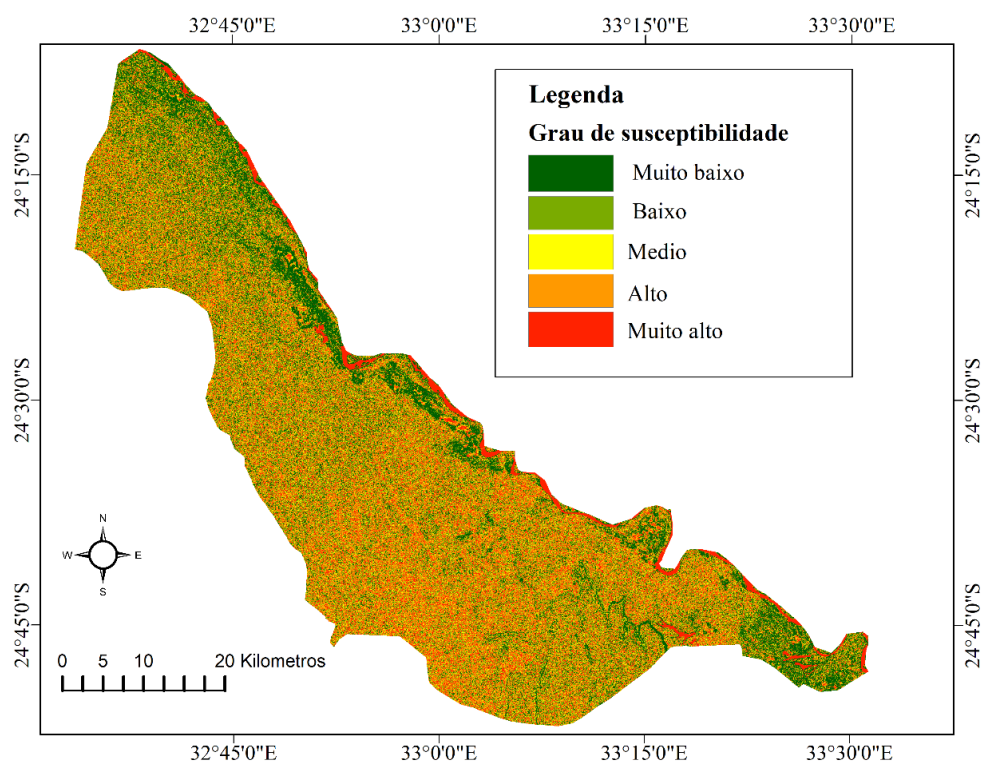


Figura 10: Mapa de susceptibilidade à inundações quanto a Declividade

5.1.1.6. Mapa de Geologia

Com a elaboração do mapa observou-se que as áreas de muito alta susceptibilidade a inundações ocupam uma área de 1240 Km², o correspondente a 50,9%, as áreas de moderada susceptibilidade ocupam um total de 640 Km², o equivalente a 26,3%, temos também as áreas de muito baixa susceptibilidade com cerca de 310,7 Km², que corresponde a 12,7%, as áreas de susceptibilidade alta ocupam um total de 9,9% que equivale a 241,7 Km² e por fim as áreas de susceptibilidade baixa ocupam a menor área, com um total de 3,4 Km², que corresponde a 0,2% (Fig. 1).

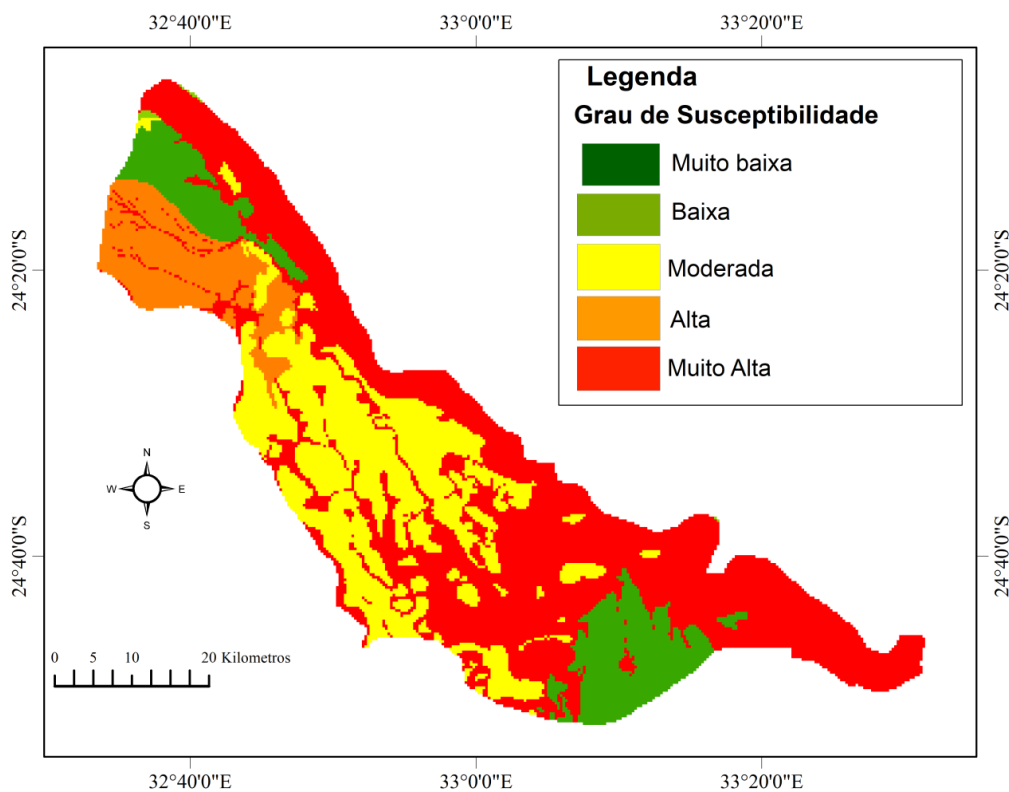


Figura 11: Mapa de susceptibilidade à inundações quanto a Geologia

5.1.2. Resultado da aplicação do Método AHP

Durante a aplicação do passo-a-passo dos procedimentos necessários para a obtenção do mapa final foram aplicadas formulas que tiveram os seguintes resultados:

Tabela 5: Matriz de comparação par-a-par usada no estudo

Variáveis	Tipos de Solo	Uso de Solo	Altimetria	Declividade	Cobertura Vegetal	Geologia
Tipos de Solo	1	0.5	0.2	0.5	3	1
Uso de Solo	2	1	0.5	0.5	4	2
Altimetria	5	2	1	2	6	3
Declividade	2	2	0.5	1	3	3
Cobertura Vegetal	0.33	0.25	0.17	0.33	1	0.5
Geologia	1	0.5	0.33	0.33	2	1
Total	11.33	6.25	2.7	4.66	19	10.5

Tabela 6: valores dos auto-valores das variáveis

Factores	W
TS	0,11
US	0.18
AL	0.35
DC	0.21
CV	0.057
GL	0.09

Tabela 7: Obtenção de produtos vectoriais

Variáveis	Produto vectorial ($\bar{w}$)
Tipos de solos	0.62
Uso e cobertura de solos	1.07
Altimetria	2.28
Declividade	1.41
Cobertura vegetal	0.31
Geologia	0.58

Tabela 8: Índice de consistência randômico

Ordem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

5.1.3. Aplicação do modelo AHP e geração do mapa de susceptibilidade a inundações do Distrito de Chókwè

Após a execução de todos os passos previstos para a obtenção do mapa final o resultado obtido é indicado na Figura 12.

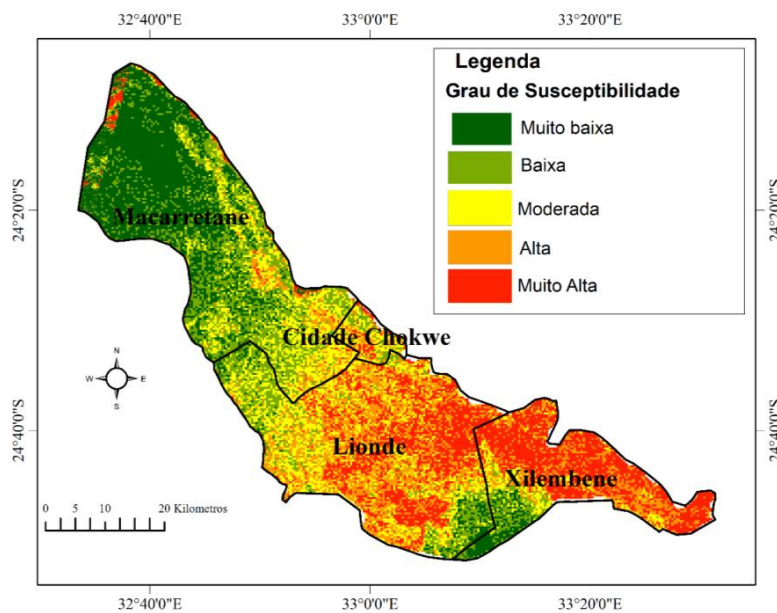


Figura12: Mapa de susceptibilidade à inundações do Distrito de Chókwè

5.2. Discussão de Resultados

5.2.1. Aplicação do modelo AHP e geração do mapa de susceptibilidade a inundações do Distrito de Chókwè

A sobreposição das variáveis de estudo deu como resultado o mapa de susceptibilidade a inundação (Fig. 12). Foram consideradas 5 classes de vulnerabilidade para toda a área de estudo: vulnerabilidade muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta.

Nota-se que as áreas de alta e muito alta susceptibilidade à inundações coincidem com as áreas de baixa altimetria, onde localizam-se as áreas habitacionais, caracterizadas por solos argilosos. Estes solos apresentam uma baixa taxa de infiltração, fazendo que em épocas chuvosas o solo não consiga absorver a quantidade de água produzida. Coincidem, também, com áreas de ocorrência de vegetação activa e declividade baixa. Este facto evidencia que as áreas de alta e muito alta susceptibilidade à inundações representam zonas de relevo baixo, solo exposto e pouco permeável, e também com áreas de geologia composta por materiais argilosos, características que propiciam a ocorrência de inundações, devido a sua baixa capacidade de absorção de água. As áreas de risco alto a muito alto correspondem também a toda extensão da Planície de Inundação do Rio Limpopo, zona naturalmente susceptível à ocorrência de inundações.

Nas áreas de susceptibilidade às inundações baixa e muito baixa, coincidem com zonas de relevo alto (áreas mais próximas dos distritos de Massingir e Bilene) que permitem uma maior taxa de escoamento das águas, solos arenosos que são por natureza bastante permeáveis devido a grande quantidade de espaços vazios entre os grãos, vegetação abundante que é um factor que permite maior absorção de águas (pela vegetação) apesar de apresentarem alta declividade, sendo também áreas de matagal e moita, áreas essas com uma taxa de infiltração maior e menor susceptibilidade a inundações.

A classe de susceptibilidade muito baixa ocupa a maior parte da área, com 509,9 Km² da área total de estudo, um equivalente a 21%, as áreas de muito alta susceptibilidade ocupam uma área de 491,6 Km², que corresponde a 20,1%, as áreas de susceptibilidade moderada ocupam 480,1 Km², que corresponde a 19,7%, as áreas de susceptibilidades baixa e alta ocupam 19,6% que corresponde a 476,7 Km² e 476,8 Km² respectivamente (Fig.13).

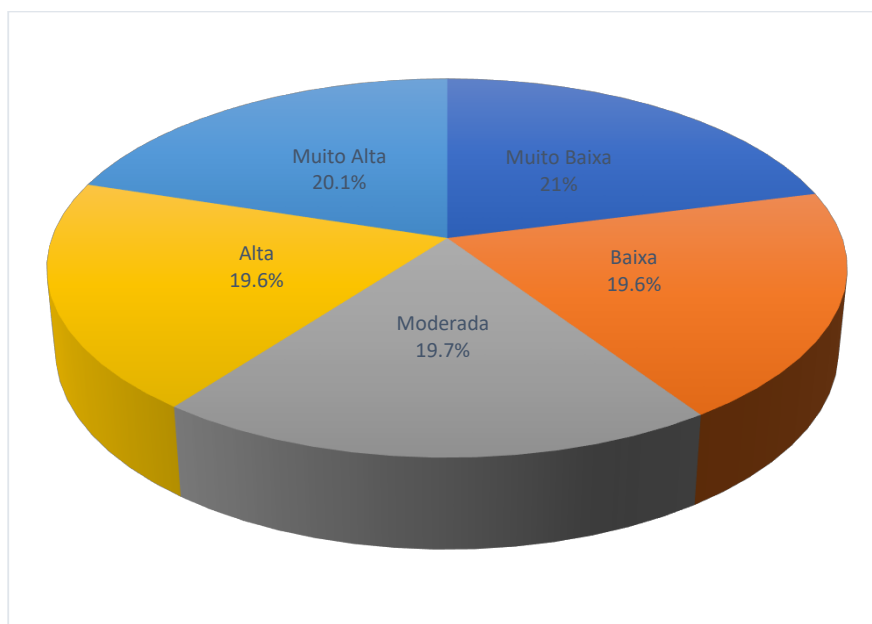


Figura 13: Representação das percentagens de cada classe de susceptibilidade

Os dados percentuais das cinco classes revelam uma distribuição quase uniforme em termos de extensão das áreas. Porém, com uma distribuição espacial variável.

5.3. Identificação da susceptibilidade às inundações do distrito por localidades

A Localidade de Macarretane representa a zona de baixa e muito baixa susceptibilidade às inundações, porém existem ligeiras zonas de alta e muito alta susceptibilidade na região mais a NE da localidade.

As zonas SE e S da Cidade de Chóckwè representam a zona de baixa e moderada susceptibilidade, com alguns pontos de alta susceptibilidade na região E da localidade por tratar-se de uma parte extensão da Planície de Inundação do Rio Limpopo.

As localidades de Lionde e Xilembene representam as zonas de alta e muito alta susceptibilidade às inundações em grande parte da zona S e E, por esta corresponder a zona mais baixa do Distrito associado a existência de sedimentos argilosos que advém da planície de inundação do Rio Limpopo, porém existem zonas de moderada, baixa e muito baixa susceptibilidade, em baixa percentagem na zona SW das localidades.

5.4. Eventos históricos das Inundações no Distrito de Chóckwè

➤ Inundações de 2000:

Descrição: As inundações de Fevereiro de 2000 foram particularmente devastadoras, com o transbordamento do Rio Limpopo. Este evento foi um dos piores desastres naturais da história recente de Moçambique.

Impacto: Milhares de pessoas foram deslocadas, e houve perdas significativas de vidas, infraestrutura e plantações (Cristoplos, 2000);

➤ Inundações de 2013:

Descrição: Em Janeiro de 2013, o Distrito de Chóckwè foi novamente afetado por severas inundações devido a chuvas intensas na região sul do país, causando o transbordamento do rio Limpopo.

Impacto: Cerca de 150 mil pessoas foram afetadas, com muitas áreas agrícolas e infraestruturas destruídas (Bank, 2013)

➤ Inundações de 2019:

Descrição: As inundações de Março de 2019 foram resultado do Ciclone Idai, que trouxe chuvas torrenciais e causou grandes inundações no sul de Moçambique, incluindo o Distrito de Chóckwè.

Impacto: Destruição de casas, deslocamento de populações e perdas agrícolas significativas (WFP, 2019)

6. CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. Conclusão

Com o término da pesquisa foi possível chegar as seguintes conclusões:

- Os factores naturais e culturais que influenciam na ocorrência de inundações variam de local para local, e para o Distrito de Chóckwè são: declividade, altimetria, uso e ocupação de solos, geologia, cobertura vegetal e tipos de solos.
- Na zona de estudo o factor altimétrico mostrou-se um dos mais significativos para a avaliação do risco de inundações. As zonas com menores valores de altimetria mostraram-se mais susceptíveis à ocorrência de inundações. O uso e ocupação de solos, vegetação, declividade, tipos de solo são também determinantes nesta avaliação, onde, as zonas consideradas de habitação, os solos expostos, as áreas com menores valores de declividade e zonas com solos argilosos são consideradas as mais propensas a ocorrência de inundações;
- Na avaliação dos níveis dos riscos de susceptibilidade às inundações para o Distrito de Chóckwè, o método AHP apresentou-se como um método de mapeamento satisfatório, onde foi obtido uma razão de consistência menor que 0.1 (0,063) o que confirma a veracidade dos julgamentos considerados.
- As localidades de Lionde e Xilembene são mais propensas às inundações em relação as restantes localidades do Distrito de Chóckwè, seguidos pela Cidade de Chóckwè.

6.2. Recomendações

- **Construção de Diques e Barragens:** Fortalecer e aumentar as estruturas de diques ao longo dos rios e construir barragens para controlar o fluxo de água durante períodos de chuva intensa;
- **Sistemas de Drenagem Melhorados:** Implementar redes de drenagem eficientes nas áreas urbanas e rurais para desviar a água das áreas propensas a inundações;
- **Reflorestamento e Conservação do Solo:** Promover o plantio de árvores e outras práticas de conservação do solo nas bacias hidrográficas para reduzir o escoamento e melhorar a infiltração da água no solo;
- **Regulamentação de Uso do Solo:** Estabelecer e aplicar regulamentos que evitem a construção em áreas de risco de inundação;
- **Planos de Contingência:** Desenvolver e actualizar planos de contingência para responder rapidamente a inundações, incluindo a designação de abrigos de emergência e rotas de evacuação;
- **Programas de Educação:** Realizar campanhas de sensibilização para educar a população sobre os riscos de inundações e as medidas de precaução que podem ser tomadas;
- **Treinamentos de Preparação:** Oferecer treinamentos para comunidades locais em primeiros socorros, evacuação e outras práticas de resposta a emergências;
- **Sistemas de Alerta Precoce:** Implementar sistemas de alerta precoce que utilizem dados meteorológicos e hidrológicos para prever e avisar sobre inundações iminentes;
- **Financiamento Sustentável:** Procurar financiamento de organismos internacionais e bancos de desenvolvimento para projetos de infraestrutura e capacitação.

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ❖ Abdula, A., & Taela, K. (2005). Avaliação das capacidades de gestão de risco de desastres.
- ❖ Bank, W. (2013). *Mozambique Floods: Response and Recovery*.
- ❖ Barbosa, F. de A. dos R. (2006). *Medidas de proteção e controle de inundações urbanas na bacia do Rio Mamanguape/PB* [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal da Paraíba.
- ❖ Braga, J. O. (2016). *Alagamentos e inundações em áreas urbanas: estudo de caso na cidade de Santa Madia- DF* [Monografia]. Universidade de Brasília.
- ❖ Câmara, G. (2001). Geoprocessamento para projectos ambientais. In *ACM SIGCUE Outlook* (Vol. 1, pp. 1–35). <https://www.researchgate.net/publication/242701257>
- ❖ Cambaza, C. M. (2007). *Estudo dedatasde sementeira para reduzir o risco de falha da cultura de milho (Zea maysL.) naagricultura de sequeiro no Distrito de Chókwe* [Monografia]. Universidade Eduardo Mondlane.
- ❖ Carlos, L. J. (2016). *Aplicação do sensoriamento remoto no planeamento da ocupação do solo e gestão de recursos florestais no Parque Nacional de Gorongosa*. [Trabalho de Pesquisa].
- ❖ Cristoplos, I. (2000). Natural Disasters and Human Security: Mozambique's 2000 Floods. pp. 280-293.
- ❖ de Souza, J. P. G. (2020). *Mapeamento do uso e cobertura do solo da Ilha de Florianópolis Santa Catarina, a partir da fusão de índices normalizados*. [Monografia]. Universidade do Sul de Santa Catarina.
- ❖ Faria, D. G. M., & Filho, O. A. (2013). Aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP) no mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas. *Revista Do Instituto Geológico*, 34(1), 23–44. <https://doi.org/10.5935/0100-929x.20130002>
- ❖ Felizardo, L. M. (2016). *Aplicação de Sistema de Informações Geográficas (SIG) para modelagem de eventos críticos de vazão em uma microbacia urbana* [Dissertação de mestrado]. Universidade Estadual Paulista.
- ❖ Ferro, C. V. (2005). *Avaliacao das mudancas da cobertura florestal no Distrito de Chokwé* [Monografia]. Universidade Eduardo Mondlane.

- ❖ Filho, J. L., & Iochpe, C. (1996, August 9). Introdução a Sistemas de Informações Geográficas com Ênfase em Banco de Dados. *Academia*, 1–49.
- ❖ Goes, K. (2019). Territórios de risco do parque estadual Cunhambebe na Serra do Mar. *III Simpósio Ibero-Afro-Americano de Riscos Sociedade e Riscos: Da Apropriação Do Espaço à Criação de Territórios Em Riscos.*, 1–10.
- ❖ Kobiyama, M., Mendonça, M., Moreno, D. A., Marcelino, I. P. V. de O., Marcelino, E. v., Gonçalves, E. F., Brazetti, L. L. P., Goerl, R. F., Moller, G. S. F., & Rudoff, F. de M. (2006). *Prevenção de desastres naturais conceitos básicos*. (D. A. Moreno, Ed.; 1^a Edição, Vol. 1). Organic Trading.
- ❖ Lopes, I. A., Carlos, M. ¹, Lima, R., Daniela, T. ², Agrizzi, V., & Rosa, A. (2011). *Uso de Geotecnologias para Mapeamento de Áreas de Risco de Inundações em Guaçuí, Es: Uma análise comparativa entre dois Métodos* (Issue 2).
www.cadernosdegeociencias.igeo.ufba.br
- ❖ MAE. (2005). *Perfil do Distrito de Chokwe Provincia de Gaza*.
<http://www.govnet.gov.mz/>
- ❖ Marins, C. S., Souza, D. de O., & Barros, M. da S. (2009). O uso do método de Análise Hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais- um estudo de caso. *Pesquisa Operacional Na Gestão Do Conhecimento, I*, 1778–1788.
- ❖ Nghanhane, H. V. (2016). Saberes locais na gestão integrada de zonas inundáveis “caso do Bairro Tambara 02 - Chimoio.” In F. Otulaja, K. R. Langenhoven, M. Cherinda, & E. A. Nhalevilo (Eds.), *Proceedings of the 2nd International Conference of African Association for the study of Indigenous bKnowledge Systems AASIKS* (pp. 303–306).
<https://www.researchgate.net/publication/316975440>
- ❖ Oliveira, N. C. de M., Bacellar, L. de A. P., Fiume, B., Barella, C. F., & Nola, I. T. de S. (2020). Aplicação do método AHP para confecção de modelo de favorabilidade hídricasubterrânea de aquíferos fraturados. *Aguas Subterraneas*, 34(1), 90–102.
<https://doi.org/10.14295/ras.v34i1.29769>
- ❖ Ramos, C. (2009). Perigos naturais devidos a causas meteorológicas: o caso das cheias e inundações. *Centro de Estudos Geográficos*, 11–16.
- ❖ Rezende, P. S., Marques, D. V., & de Oliveira, L. A. (2017). Construção de modelo e utilização do método de Processo Analítico Hierárquico-AHP para mapeamento de risco

à inundação em área urbana. *Caminhos de Geografia- Revista Online*, 18(61), 1–18.

<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/>

- ❖ Ribeiro, S. B. J. (2018). *Gestão de inundações: como amenizar seus efeitos em Moçambique* [Monografia]. Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.
- ❖ Roberto, R. (2013). *Introdução ao Geoprocessamento* (R. Roberto, Ed.; Vol. 1).
- ❖ Sá, L. (2016). Gestão do risco de inundação. Documento de apoio a boas práticas. *Plataforma Nacional Para a Redução Do Risco de Catastrofes.*, 1, 1–53.
- ❖ Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3–5), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- ❖ Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operation Research*, 9–26.
- ❖ Silva, D. M. R. (2007). *Aplicação do Método AHP para Avaliação de Projetos Industriais* [Dissertação de Mestrado]. Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- ❖ Tucci, C. E. M. (2005). Gestão de Águas Pluviais Urbanas. *Global Water Partnership-World Bank*, 1, 1–192.
- ❖ WFP. (2019). “Cyclone Idai and Kenneth: Impact and Response in Mozambique.” *World Food Programme Report*.