



**FACULDADE DE LETRAS E CIÊNCIAS SOCIAIS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

**LINCENCIATURA EM GEOGRAFIA**

**Discente**

José Francisco Cumbane

**Docente**

Supervisor: José Rafael

Maputo, Maio de 2024

**José Francisco Cumbane**

**Mapeamento de Áreas de Risco de Erosão na Cidade da Beira**

**Monografia apresentada á Faculdade de Letras e Ciências Sociais, Departamento de Geografia como requisito parcial para a obtenção do Licenciatura em Geografia**

<b>1º Vogal</b>	<b>Presidente do júri</b>	<b>2º Vogal</b>	<b>Data</b>
-----------------	---------------------------	-----------------	-------------

## **I. Declaração de Honra**

Declaro por minha honra que esta dissertação nunca foi antes apresentada, na essência para obtenção de qualquer grau, e que constitui o resultado da minha investigação pessoal, estando indicadas no texto e na bibliografias fontes utilizadas

.....

José Francisco Cumbane

## **I. Dedicatória**

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser indispensável na minha vida, interceptor da meu destino, minha guia, meu amparo no momento da tristeza e da alegria, a meu pai ( em memória) , a minha mãe , meus irmãos, aos meus colegas e a minha companheira que sempre está comigo.

## **II. Agradecimentos**

Primeiramente a Deus pelo suporte, meu mestre e libertador, ao espírito santo por ter descido em mim mostrando que o homem sábio é aquele que aceita e admite que precisa viver na esperança de Deus.

A minha mãe, que perante todas as dificuldades não deixou faltar essencial para minha formação e me ensinou que a educação deve ser o princípio para que um homem tenha uma boa relação com a sociedade e consigo mesmo.

A minha amada Ana Marlene, pelo apoio incondicional em minha vida e durante a minha formação em particular.

Ao Supervisor, Dr. José Rafael pelas sugestões em relação o trabalho.

Aos docentes que de forma indirectamente contribuíram para a minha formação.

A minha Irmã (em memória) e meus irmãos, irmãs, minha mãe e minha parceira pelo apoio incondicional

### **III. Listas de siglas e abreviaturas**

**AHP-**Processo Analítico Hierárquico

**CDS-** Centro de desenvolvimento Sustentável

**CENACARTA-**Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção

**DEM-** Digital

**FAO-** Food and Agriculture Organization

**INE-** Instituto Nacional de Estatística

**MICOA-** Ministério Para coordenação da Acção Ambiental

**MODIS-** Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

**NASA-** *National Aerautics and space administration*

**PNL-** *Parque Nationaldo Limpopo*

**PNUD-** *Programa das Nações Unidas para o desenvolvimento*

**SIG-** Sistemas de Informação Geografica

**SRTM-** Shuttle Radar topographyMission

**USGS-** United State Geological SERVICE

#### **IV. Resumo**

A erosão é um dos principais problemas ambientais que afecta Moçambique. Estudos com o objectivo de mapear áreas potenciais à erosão, auxiliam na tomada de decisão em trabalhos de combate a erosão.

A erosão tem sido um dos principais agentes de degradação ambiental e a aplicação de técnicas de prevenção é a melhor alternativa para amenizar o impacto da erosão. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) podem ser utilizados eficientemente no mapeamento de risco de erosão.

As técnicas de geoprocessamento tem sido muito usadas para a fornecer e resolver diversos problemas ambientais. A metodologia empregue para atingir os objectivos estabelecidos consistiu na aplicação do método de Análise Multicritério permitindo a combinação das variáveis tipo de solo, uso e cobertura do solo e declive. Estas informações foram entrecruzadas através da ferramenta Weigthet Overlay, onde foram atribuídos os pesos para cada variável e notas para suas componentes, gerando assim o mapa de risco de erosão.

Dentro deste contexto, o objectivo deste trabalho foi de mapear as áreas de risco de erosão na cidade da Beira. As áreas susceptíveis aos processos erosivos na cidade da Beira foram classificadas em cinco classes nomeadamente: risco muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto. Foram considerados três factores: tipo de solo, uso e cobertura do solo e relevo.

A áreas de maior risco a erosão, localizam-se na zona costeira por constituir o lugar preferencial para a implantação de assentamentos humanos.

Palavras-chave: erosão, SIG, mapeamento.

## Índice Geral

I. Declaração de Honra .....	2
II. Dedicatório .....	3
III. Agradecimentos .....	5
IV. Listas de siglas e abreviaturas.....	6
V. Resumo.....	7
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.2. Objectivos.....	3
1.2.1. Geral .....	3
1.1.2. Específicos .....	3
1.3. Problema.....	4
1.4. Hipóteses .....	5
1.5. Justificativa.....	6
II. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	7
2.1. Localização e caracterização da área de estudo .....	7
2.1.1. Relevo e Hidrografia .....	8
2.1.2. Distribuição da População.....	9
2.1.3. Uso e cobertura.....	10
2.1.4. Solos .....	11
2.1.5. Clima .....	11
III. ENQUADRAMENTO TEÓRICO E CONCEPTUAL .....	12
3.1. Erosão.....	12



3.1.1. Tipos de Erosão.....	13
3.1.2. Erosão Hidrica.....	14
3.1.3. A Erosão laminar.....	15
3.1.4. Erosão em ravinas .....	16
3.1.5. Erosão por gota.....	16
3.1.6. Erosão em sulco .....	16
3.1.7. Erosão em canais .....	17
3.2.8. Erosão Costeira .....	17
3.2.9.Erosão Eólica.....	17
3.3. Causas de Erosão.....	17
3.3.1. Naturais: .....	17
3.3.2. Antropogénicas (actividade Humana):.....	18
3.4. Consequências da Erosão dos Solos .....	19
3.4.1. Factores que contribuem para a ocorrência da serosa .....	19
3.4.2. Clima .....	19
3.4.3. Solos .....	20
3.4.4. Textura .....	20
3.4.5. Estrutura .....	20
3.4.6. Permeabilidade .....	20
3.4.7. Densidade do solo .....	21
3.4.8. Vegetação .....	22

3.4.9. Topografia .....	22
3.5. CONCEITOS .....	23
3.5.1. Erosão.....	23
3.5.2. Risco.....	23
3.5.3. Susceptibilidade .....	23
3.5.3. Perigosidade .....	23
3.5.4. Vulnerabilidade .....	24
3.6. Modelo SLEMSA.....	24
3.6.1. SIG e erosão .....	25
3.7. Modelos para mapeamento de Erosão.....	26
3.7.1. WATEM/SEDEM.....	26
3.7.2. SLEMSA .....	26
3.7.3. AGNPS.....	27
3.7.4. USLE/RUSLE1/RUSLE2 .....	28
IV. METODOLOGIA .....	30
4.1. Etapas para a materialização do trabalho .....	30
Revisão da Literatura .....	30
A revisão da literatura permitiu identificar as principais causas da erosão na cidade da Beira. ....	30
A elaboração deste modelo constitui o segundo objectivo específico do trabalho. ....	31
4.2. Dados.....	32
Dados.....	32

4.2.1 Modelo Digital de Elevação .....	32
4.2.2. Uso e Cobertura da Terra .....	32
4.2.3. Solos .....	33
4.3. Métodos .....	34
4.3.1. Análise multicritério .....	34
4.3.2. Análise multicritério na determinação de áreas de risco de erosão .....	34
4.3.3. Tabela de pesos por variável .....	36
4.3.4. Modelo para mapeamento de áreas de risco de erosão .....	36
V. RESULTADOS .....	37
5.1. Reclassificação dos mapas .....	37
5.1.2. Mapa de Relevô .....	37
5.1.2. Mapa de Uso e cobertura .....	38
5.1.3 Mapa de Solos .....	39
5.1.4. Mapa de Risco de Erosão .....	40
VI. CONCLUSÃO .....	41
6.1. Recomendações .....	42
6.2. Referências bibliográficas .....	43

## 1. INTRODUÇÃO

A erosão tem sido apontada como um dos problemas ambientais mais importantes da actualidade. Em um processo de erosão acelerada, além da perda das camadas superficiais do solo que muitas vezes são as que possuem fertilidade natural mais elevada, levando a redução da produtividade e empobrecimento do solo pela perda de seus nutrientes, ocorre também assoreamento de rios e lagos pelo material erodido e também o aumento de danos nos leitos de estradas, aumentando o custo de conservação e o desgaste dos veículos que a utilizam, dentre outros efeitos (Abrahão, 2000).

A erosão consiste nos processos físicos de desagregação, transporte e deposição das partículas do solo, causados pelos agentes erosivos. As terras erodidas contêm quantidades apreciáveis de nutrientes, matéria orgânica, sementes e defensivos, que além de causar a poluição dos corpos d'água, tendem ainda a aumentar a médio e longos prazos os custos de produção (Lal, 1999).

A susceptibilidade a erosão está ligada a factores como: características físico-químicas do solo, tipo de cobertura vegetal, forma de comprimento e declividade das encostas e manejo inadequado do solo (Guerra & Botelho, 2001).

Em Moçambique o problema da erosão afecta a maioria das cidades e vilas. Esta situação, que ainda está longe de ser controlada tem preocupado as autoridades locais (Sacoor, 2003).

As cidades de Maputo, Maxixe, Chibuto, Beira, Nacala e Vilankulos são exemplos de algumas áreas no nosso país a enfrentar este tipo de problema (Pereira e Macia, 2002).

Segundo MICOA (2000) a situação actual nos centros urbanos ou nas zonas de influência directa é resultado do conflito armado outrora registado e os desequilíbrios entre o campo e a

cidade que segundo as previsões poderão acentuar cada vez mais devido as mudanças económicas.

A cidade da Beira assume um papel extremamente importante na economia da região e do país pois, para além de possuir uma enorme diversidade paisagística, é região de actividades portuárias e turísticas (Melo, 2013).

Nos últimos anos, nesta zona, tem-se verificado uma enorme erosão e a degradação de algumas estruturas marítimas com consequentes impactos económicos, ambientais e com tendência para se agravar junto das concentrações populacionais que, têm exigido melhores e mais soluções no sentido de reduzir as consequências e fomentar a mitigação de problemas futuros em vários sectores da economia (Guiloviça, 2011).

O avanço das técnicas de geoprocessamento e os SIGs têm permitido extracção de novas informações a partir da integração e do cruzamento de planos de informação oriundos de diferentes fontes. Com isto, a utilização do geoprocessamento tornou-se uma ferramenta fundamental em estudos que envolvem problemas ambientais (Pinto, 2013). Neste contexto, objectivou-se com o presente trabalho mapear as áreas com maior risco para a ocorrência de erosão na cidade da Beira, aplicando-se as técnicas de geoprocessamento.

## **1.2. Objectivos**

### **1.2.1. Geral**

- Mapear as áreas de risco de erosão na cidade da Beira.

### **1.1.2. Específicos**

- Identificar as principais causas da erosão na cidade da Beira;
- Elaborar um modelo para o mapeamento de áreas de risco de erosão na cidade da Beira.
- Identificar as áreas com maior risco para a ocorrência de erosão na cidade da Beira.

### **1.3. Problema**

A erosão do solo é um importante fenômeno de degradação de terras em todo o mundo. Estima-se que quase 60% da actual erosão do solo é induzida pela actividade humana, e que o aumento das áreas cultivadas no século passado aumentou as perdas de solo por erosão em cerca de 17% (Yang et al., 2003). O solo está sendo perdido das áreas cultivadas cerca de 10 a 40 vezes mais rápido do que a taxa de renovação do solo. Como consequência, cerca de 10 milhões de hectares de terras cultiváveis são perdidos anualmente devido à erosão do solo, reduzindo assim a área plantada disponível para a produção de alimentos, colocando em risco o futuro da segurança alimentar humana e qualidade ambiental (Pimentel, 2006).

Nenhum outro processo que ocorre no solo é mais destrutivo do que a erosão. A erosão é um processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo, que abrange perdas de água e de nutrientes vegetais em ritmos muito elevados (Lal, 1988). O mais trágico, é que poderá resultar na perda total do solo, sendo removido e deslocando-se para os cursos d'água, transformando-se em um problema de poluição (Roose, 1998).

Grande parte do território nacional enfrenta problemas sérios de erosão em particular a zona costeira. As razões para a ocorrência de erosão de solos são diversas destacando-se a disposição do relevo (em forma de escadaria), actividade humana (maiores aglomerados populacionais que se localizam ao longo da faixa costeira), localização geográfica do país (susceptível aos eventos extremos), queimadas descontroladas, prática de agricultura e uso de terra para outros fins em locais susceptíveis à erosão, entre outras. Tendo em conta que a erosão constitui processo dinâmico, a situação nacional em termos de tipos de erosão carece de actualização permanente dos dados com vista a definição de acções prioritárias para áreas de risco (MICOA, 2007).

A erosão é a forma mais prejudicial de degradação do solo. Além de reduzir sua capacidade produtiva para as culturas, ela pode causar sérios danos ambientais e poluição das fontes de água (Chimangue, 2018).

A erosão, tem sido apontada como um dos problemas ambientais mais importantes da actualidade, uma vez que, em um processo de erosão acelerada, além da perda das camadas superficiais do solo, que muitas vezes são as que possuem fertilidade natural mais elevada, levando a redução da produtividade e empobrecimento do solo pela perda de seus nutrientes, ocorre também assoreamento de rios e lagos pelo utilizam, dentre outros efeitos (Abrahão, 2000).

A ocupação irregular que se observa na cidade da Beira, acaba sendo um factor acelerador dos processos da erosão sobre da linha da costa, pela acção das marés ao longo do tempo para além da devastação de plantas do tipo mangal que revestiam esta zona. O crescimento demográfico e conseqüente falta de terra obriga as pessoas a intensificar a utilização das terras em lugares menos apropriados para a utilização comum, tais como a agricultura e habitação em lugares íngremes o que favorece a ocorrência de erosão acelerada, também com implicações sobre a remoção dos solos (MICOA, 2005).

#### **1.4. Hipóteses**

- A erosão na cidade da Beira é o produto da interacção de factores físicos e factores humanos. Constituem factores físicos o clima, o relevo, os solos, e a vegetação enquanto os factores humanos são determinados pelas práticas do uso do solo;
- Entre as acções humanas que causam a formação de processos erosivos destaca-se a retirada da vegetação, que exerce a função de conter a força das águas e dos ventos (actuando como obstáculo) e ajudam na firmeza do solo, através das raízes;



- A ocupação de áreas ecologicamente frágeis é uma das acções praticadas pela população. De acordo com a INPF (1985), a ocupação destas zonas com casas, cultivos, caminhos, destrói a vegetação que cobria os solos.

### **1.5. Justificativa**

A cidade da Beira é a segunda maior cidade do país, atrás da cidade da Matola ocupa o segundo lugar em termos de parque industrial. A cidade da Beira tem grande importância na economia nacional visto que alberga um dos portos mais importantes do país e da região da SADC.

A cidade da Beira vive do comércio e do porto, que movimentam carga geral (carga solta/não contentorizada), mas também existe um terminal de contentores. A cidade está na origem de dois corredores de transporte. O Corredor da Beira liga ao Zimbabué, por via rodoviária e ferroviária e facilita o acesso do interior do continente ao litoral como, por exemplo, de Lusaka, capital da Zâmbia, país sem acesso directo ao mar. O segundo corredor liga ao Malawi e é neste momento exclusivamente rodoviário. Depois de atravessar o rio Zambeze pela Ponte Dona Ana, a linha ferroviária toma o sentido noroeste em direcção a Moatize para servir as minas de carvão locais (Martins, 2002).

O estudo da erosão constitui uma ferramenta importante para análise da vulnerabilidade de determinadas unidades territoriais e seus habitantes. A sua importância científica, económica e ambiental é elevada constituindo-se num delicado equilíbrio ecológico onde há uma grande pressão antropogénica e de exploração de recursos (Manso, 2004).

## II. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 2.1. Localização e caracterização da área de estudo

A cidade da Beira, capital da província de Sofala, está localizada a cerca de 1.190 km a Norte de Maputo, no centro da costa do Oceano Índico. O município tem uma área de 620 km<sup>2</sup> e uma altitude média de 14 metros acima do nível do mar e está situado nas coordenadas 19° 50' Sul e 34° 51' Este. A cidade confina, a Norte e a Oeste com o distrito de Dondo, a Este com o oceano Índico e a Sul com o distrito do Búzi. A cidade ergue-se numa região pantanosa, junto à foz do Rio Púnguè e sobre alongamentos de dunas de areia ao longo da costa do Índico. A vegetação natural é caracterizada por terras baixas e litoral com mangais (MAEFP, 2020).

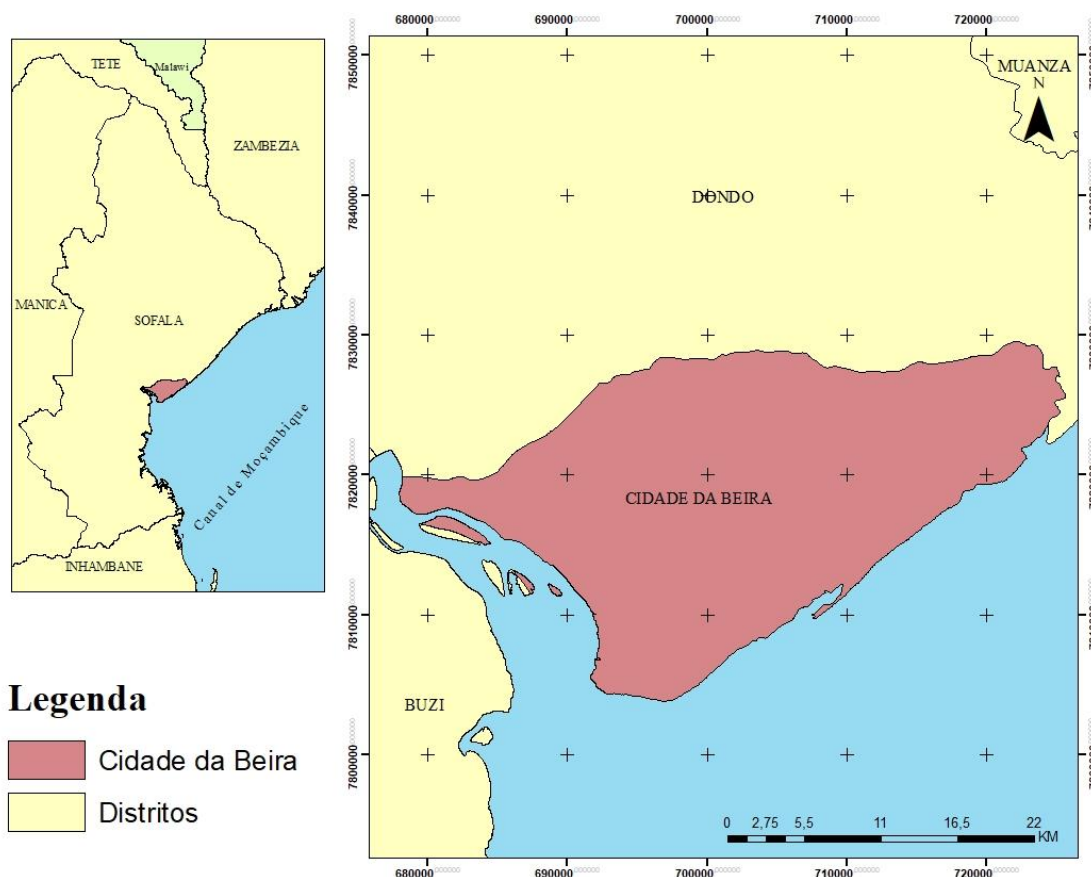


Figura 1: Mapa de localização da cidade da Beira, elaborado pelo autor (Cumbane, 2023).

### 2.1.1. Relevo e Hidrografia

A hidrografia do distrito de Mecuburi é constituída pelos seguintes rios: rio Madzize, Savane e rio Nhamechinda. Os cursos de água seguem na direcção Oeste-Este seguindo a orientação do relevo que se inclina em direcção ao Oceano Índico. Os rios são de navegabilidade reduzida (CENACARTA, 2005).

Segundo o mesmo autor, o relevo do distrito da cidade da Beira varia entre -9 e 41 metros de altitude, sendo que as cotas mais baixas localizam-se na parte Sul e Este da cidade.

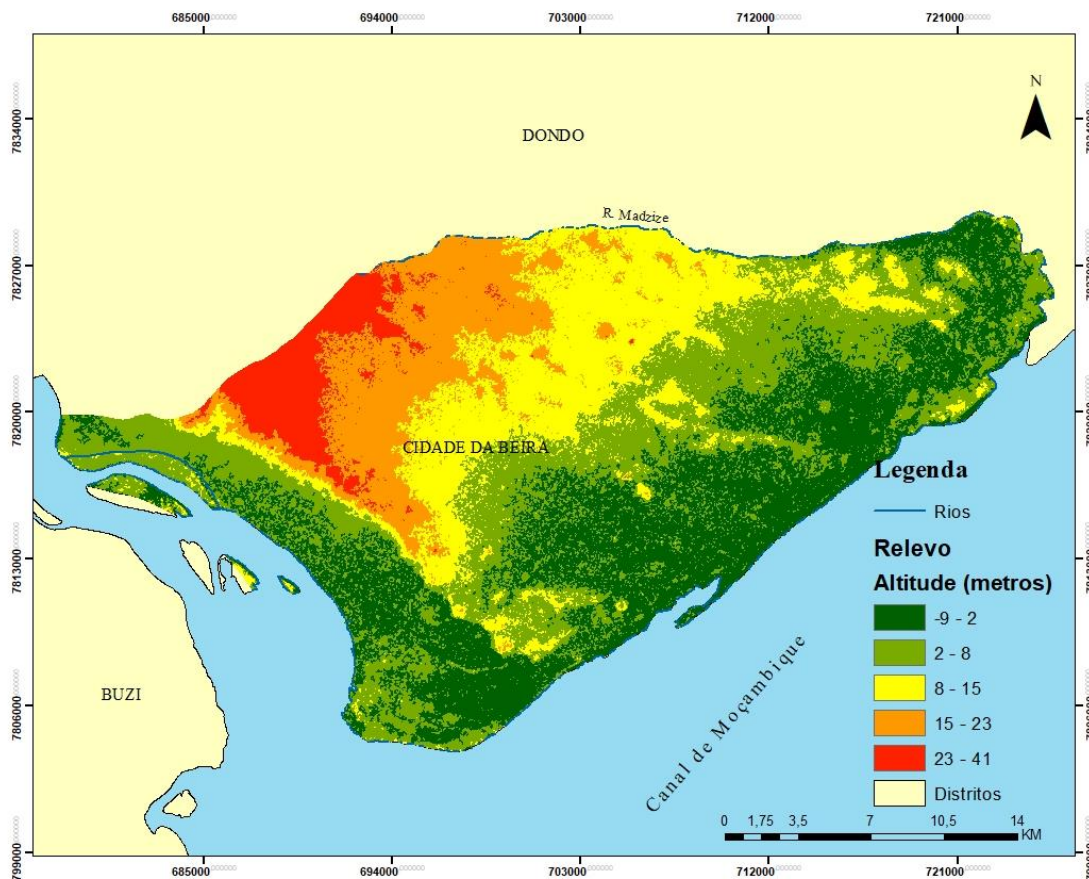


Figura 2: Mapa de relevo e hidrografia da cidade da Beira, elaborado pelo autor (Cumbane, 2023).

### 2.1.2. Distribuição da População

A população do Município da Beira é de 533 825 habitantes, com uma densidade populacional de 861 habitantes por km<sup>2</sup>. De acordo com os dados do Município, existem 13 mercados formais, nomeadamente Maquinino, Macuti, Ponta Gea, Central – Gorjao, Daviz Simango, Munhava Central, Machipessa, Mascarenhas, Casa Banana Central, 20 de Agosto (praia nova), Vila Massane, Massamba e Chipangara. (MAEFP, 2020).

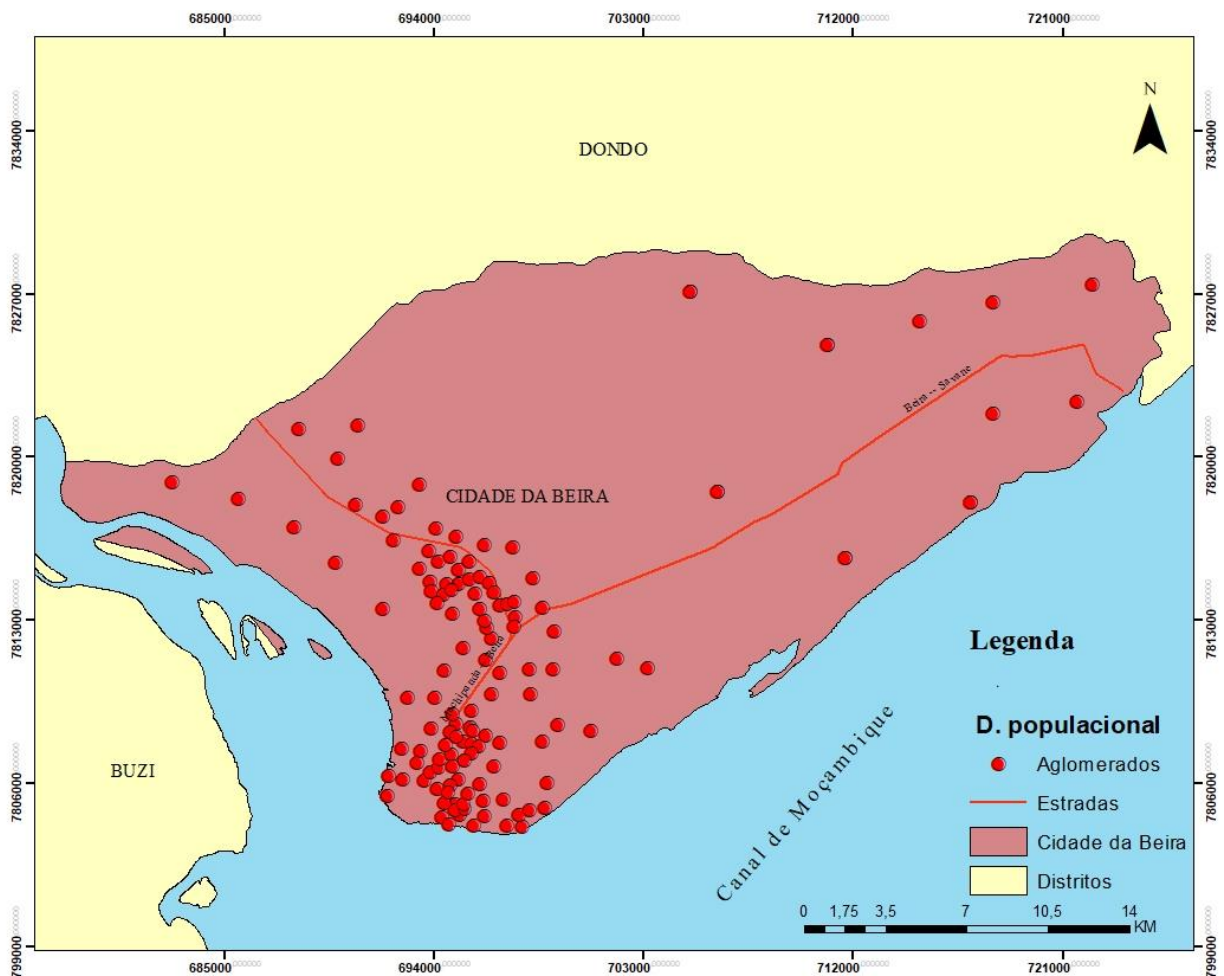


Figura 3: Mapa de assentamentos humanos da cidade da Beira, elaborado pelo autor (Cumbane, 2023).

### 2.1.3. Uso e cobertura

De acordo com os dados do CENACARTA (2005), a ocupação do solo na cidade da Beira está dividida em áreas habitacionais, áreas cultivadas, mangal, solos expostos, floresta de baixa altitude e áreas com matagal aberto.

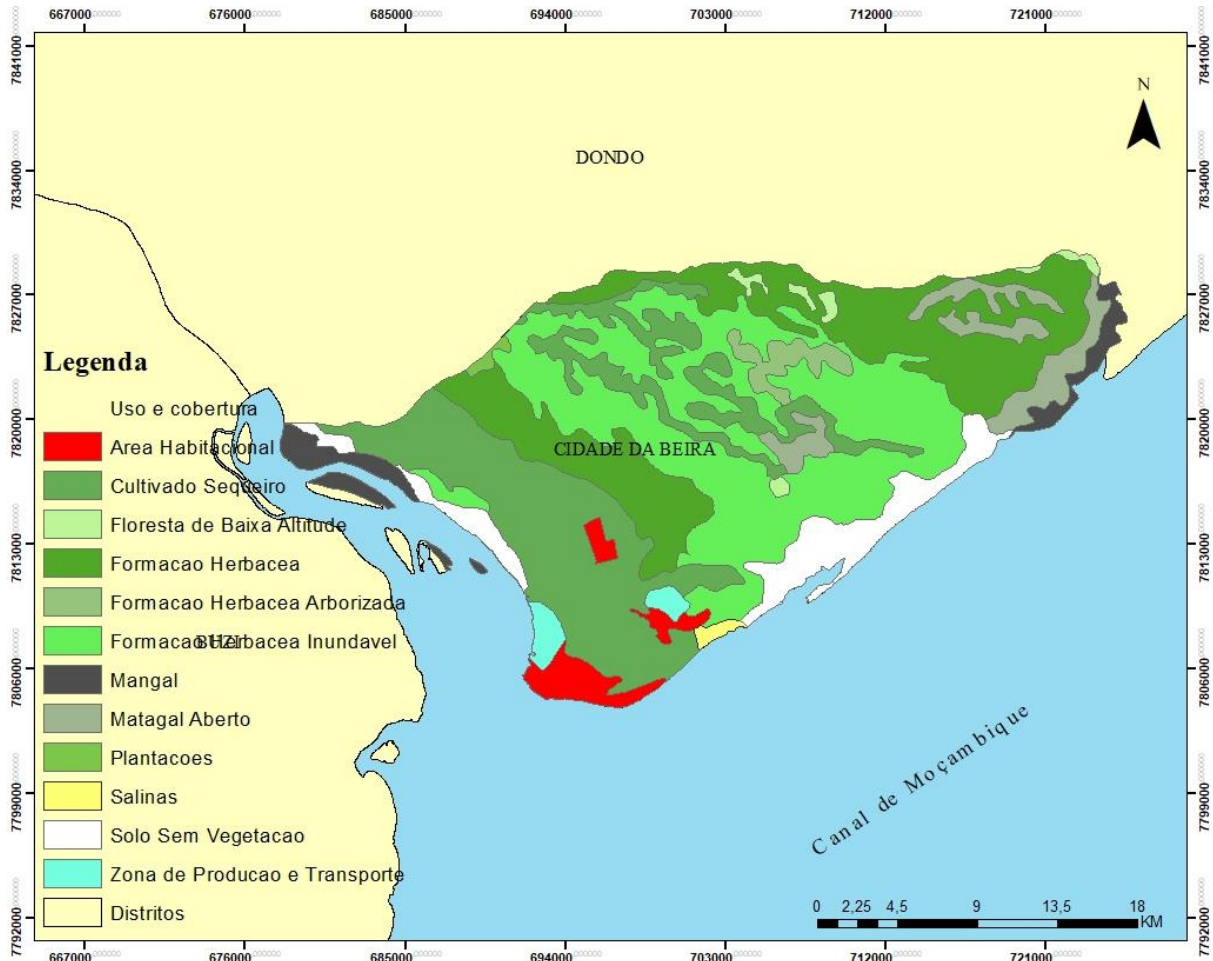


Figura 4: Mapa de uso e cobertura da cidade da Beira, elaborado pelo autor (Cumbane, 2023).

### 2.1.4.Solos

A cidade da Beira é constituída por solos aluvionares argilosos, solos de mananga arenosos e solos de sedimentos marinhos (IIAM, 1998).

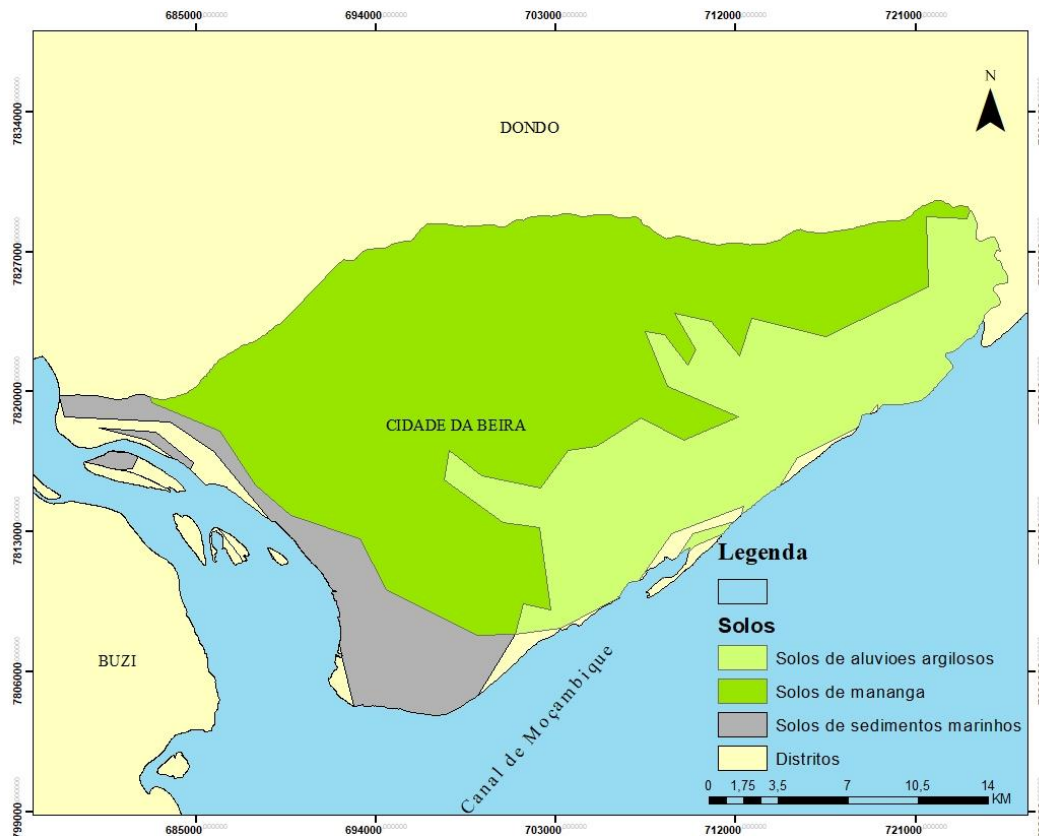


Figura 5: Mapa de solos da cidade da Beira, elaborado pelo autor (Cumbane, 2023).

### 2.1.5 Clima

A cidade da Beira caracteriza-se por um clima tropical húmido chuvoso de savana, com temperaturas e humidade elevadas no Verão, especialmente durante a estação das monções (hemisfério sul) de Outubro a Fevereiro (MAEFP, 2020).

### **III. ENQUADRAMENTO TEÓRICO E CONCEPTUAL**

O tema da erosão do solo tem sido uma preocupação a nível global. Vários trabalhos de investigação têm sido realizados com o objectivo de minimizar os impactos no meio ambiente.

Neste capítulo é feita uma breve revisão de alguns tópicos importantes tais como os vários conceitos de erosão, sua classificação e a situação da erosão em Moçambique. São também descritos os modelos de erosão do solo, dando ênfase à Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), que é fundamental para a determinação do Potencial Natural de Erosão (PNE), incluindo a importância da aplicação de SIG.

#### **3.1. Erosão**

A erosão do solo constitui, a principal causa da degradação acelerada das terras, sendo o seu conceito diferente de autor para autor. Nkeshimana (2008) refere-se à erosão como um processo de duas fases que consiste na separação de partículas da massa do solo e seu transporte por agentes erosivos, tais como água corrente e vento.

Erosão é a separação ou arrastamento de partículas do solo, distinguindo-a da deposição do sedimento ou sedimentação e transporte (Mutchker et al., 1994).

No contexto de Moçambique, o MICOA (2007), define a erosão do solo como um processo de separação, remoção, transporte e deposição de partículas de solo causado pela influência da chuva e vento, que pode ser acelerado pela actividade do Homem, destacando-se o abate de árvores, as queimadas descontroladas, as práticas agrícolas inadequadas e o uso e aproveitamento de terras em áreas propensas à erosão de solos.



### 3.1.1. Tipos de Erosão

Segundo Lima (1987), o estabelecimento de qualquer processo erosivo requer, antes de tudo, um agente (água ou vento) e o material (solo), sobre o qual agirá, desprendendo e desagregando as partículas e transportando-as. A interação entre o material e o agente consiste na busca de um estado de um novo equilíbrio, antes desfeito de forma natural ou devido a acções antropogénicas.

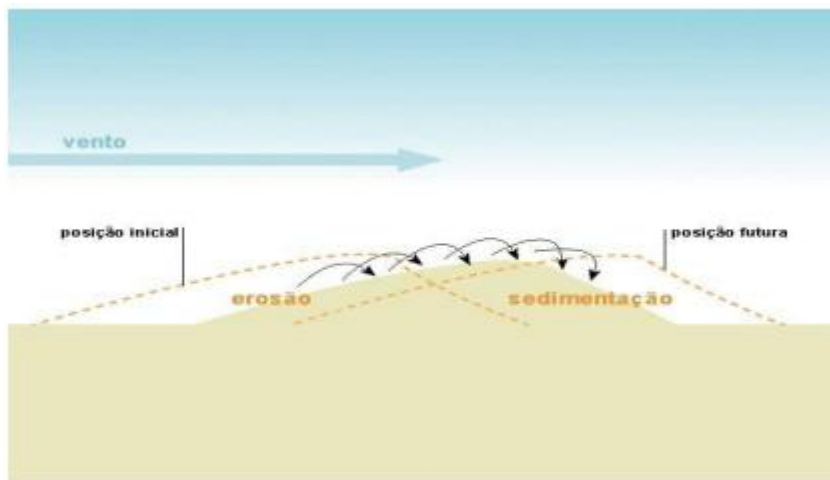


Fig. 2.1- Processo de erosão por acção do vento

Fonte: <http://defpraiasmatosinhos.no.sapo.pt/Dunas.htm>

Para Carvalho et al. (2006) a erosão é classificada quanto à forma como surge, e pode-se dividir em dois grandes grupos: a erosão natural ou geológica e a erosão antrópica ou acelerada, sendo a geológica ocasionada por factores naturais, enquanto a antrópica esta relacionada com a acção humana. O mais comum, no entanto, é classificar a erosão em dois grandes grupos: erosão hídrica e erosão eólica. Embora sejam o vento e a água os agentes de maior importância no processo erosivo, neste trabalho foca-se na erosão provocada pela água, devido aos elevados danos que provoca na cobertura pedológica da paisagem, originando grandes prejuízos ao meio ambiente (Silva, 2000).



### 3.1.2. Erosão Hídrica

É o resultado da energia desenvolvida pela água quando cai sobre a superfície da terra e escoou nessa mesma superfície. Dentro da erosão hídrica podem ser identificadas as seguintes formas de erosão: por gota, laminar, em sulco, em ravinas e em canais (Duarte, 1992).

É um processo físico de desagregação, transporte e deposição das partículas do solo, provocados pela ação da água das chuvas e do escoamento superficial (Cassol & Lima, 2003). O processo erosivo inicia-se com o impacto da massa de água com o solo, provocando o escoamento superficial, a partir da acumulação de água em volume suficiente para propiciar o transporte das partículas desagregadas (IPT, 1990), ou seja, a água cai sob forma de chuva e exerce ação erosiva sobre o solo que, estando desprotegido de vegetação ou mesmo de práticas conservacionistas, sofre uma ação de desagregação com o impacto da gota de chuva, que depois o arrasta, principalmente durante os primeiros minutos da chuva. A quantidade de solo arrastado depende muito do seu tipo, do declive do terreno e da intensidade da chuva (CDASP, 2007).

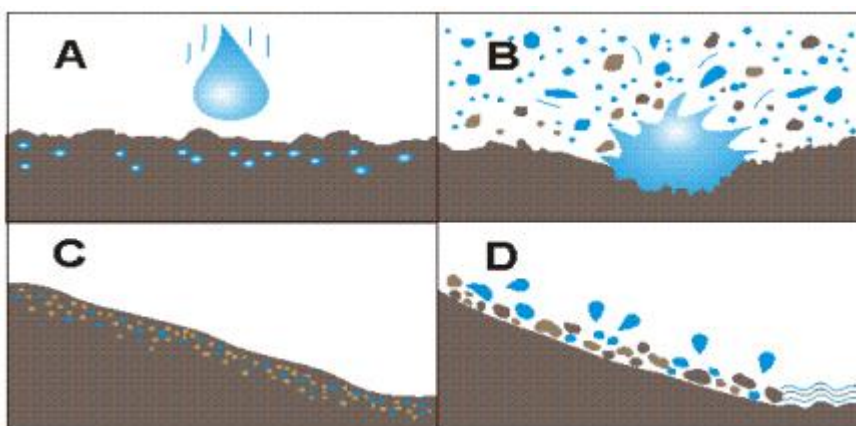


Fig. 2.2- Impacto da gota de chuva na superfície do solo Fonte: Derpsch, R (2011).

A erosão hídrica pode levar os solos agrícolas a perderem sua fertilidade natural e conseqüentemente a sua capacidade produtiva, acarretando um aumento de custos com a

alimentação, assoreamento e diminuição do volume e da qualidade das águas (Carvalho, 2006).

Existem várias formas de erosão causadas pela água (Yoshioka, 2005), as quais são geralmente classificadas, segundo seu estágio de evolução, em erosão laminar, erosão em sulcos e erosão em ravinas (Carvalho et. al., 2001).

### **3.1.3. A Erosão laminar**

Erosão laminar é a remoção uniforme de solo em camadas delgadas. O poder da erodibilidade e de transporte das camadas pela corrente é função da quantidade e da velocidade do escoamento superficial para o tamanho, a forma, e densidade de partículas ou agregados do solo (Schwab et al, 1981).

A erosão laminar ocorre quando a infiltração é reduzida, estimulando o aumento do escoamento superficial (Van Dijk, 1997).

A erosão laminar surge do escoamento da água que não se infiltra. Ela está associada ao transporte, seja das partículas ou agregados desprendidos do solo pelo impacto das gotas de chuva, seja das partículas ou agregados arrancados pela força abrasiva desenvolvida entre a água e o solo. O poder erosivo da água em movimento e sua capacidade de transporte dependem da densidade e da velocidade de escoamento, bem como da espessura da lâmina de água e, principalmente, da inclinação da vertente. A formação de caminhos no fluxo superficial amplia o potencial de desprendimento e arrastamento das partículas de solo, dando, quase sempre, origem aos sulcos que evoluem para ravinas (Carvalho et al., 2006).

#### **3.1.4. Erosão em ravinas**

A erosão em ravinas produz canais mais largos que a erosão em sulcos. Estes canais (maior que 30 cm) transportam água durante e imediatamente após as chuvas e distinguem-se dos sulcos por não desaparecer com o passar dos anos (Schwarb et al., 1981).

De acordo com Morgan (1996) as ravinas estão quase sempre associadas com a erosão acelerada, e por conseguinte, com a instabilidade do meio ambiente. O mesmo autor refere que a principal causa de formação de ravinas é o excesso de água, a condição como é transportada ou em caso de mudanças climáticas ou alterações no uso do solo.

#### **3.1.5. Erosão por gota**

Erosão por gota é o resultado do impacto directo das gotas de chuva nas partículas do solo ou em finas camadas de água superficial provocando turbulência que por sua vez permite uma grande capacidade de transporte de sedimentos (Schwab et al., 1981).

A energia das gotas faz com que os elementos estruturais do solo se desintegram e as partículas arrancadas e espalhadas em todas as direcções, essencialmente pelo declive abaixo, entupindo assim os poros do solo e reduzindo a capacidade de infiltração (Van Dijk, 1997).

#### **3.1.6. Erosão em sulco**

Segundo Schwab et al. (1981) é a remoção do solo pela água por pequenos (menor que 30 cm) mais bem definidos canais quando o fluxo de água é superficial. A erosão em sulco ocorre quando esses canais passam a ser suficientemente largos e estáveis e podem imediatamente ser identificados.

### **3.1.7. Erosão em canais**

A erosão em canais consiste na remoção de solos nas margens dos cursos de água ou o movimento do solo dentro do canal. O mesmo autor, salienta que esta forma de erosão difere da erosão em ravinas porque os cursos de água têm quase sempre uma corrente contínua e um declive relativamente plano, enquanto que a erosão em ravinas ocorre em linhas de água intermitentes perto da extremidade superior das nascentes tributárias (Schwab et al., 1981).

A ocorrência desta forma de erosão é influenciada pela velocidade e direcção do fluxo, profundidade e largura do canal e a textura do solo (Ibib, 1981).

### **3.2.8. Erosão Costeira**

Erosão Costeira – é a causada pelas águas do mar que se batem sobre as rochas e as praias através das suas ondas (Moraes e Barros, 2005).

### **3.2.9. Erosão Eólica**

Erosão Eólica – é provocada pelo vento. Quando o vento sopra, levanta areia do chão. Durante o seu trajecto, os grãos de areia agem como uma lixa sobre as rochas que se encontram pelo caminho, desgastando-as e alterando as suas formas e transportando-as para lugares distantes (Albuquerque, 2013).

## **3.3. Causas de Erosão**

Segundo (Rocha e Fernandez, 2013) na classificação de factores que causam a erosão podemos encontrar duas categorias a destacar:

### **3.3.1. Naturais:**

- Força do vento ou tempestades;
- Força das ondas do mar;

- Aumento do nível do mar;
- Precipitação;
- Aumento da temperatura atmosférica;
- Aumento do teor de gases de efeito estufa na atmosfera; e
- Degelo nas regiões polares.

### **3.3.2. Antropogénicas (actividade Humana):**

- Desflorestamento para construção e para o aproveitamento do combustível lenhoso e outros fins;
- Queimadas descontroladas;
- Ordenamento territorial e urbano deficiente;
- Movimentação de veículos, maquinaria e pisoteio nos locais onde decorrem obras de construção civil;
- Prática de agricultura de subsistência nas encostas das dunas e vales;6
- Abertura de acessos (caminhos);
- Abate de mangais;
- Regulação dos cursos de água (barragens);
- Dragagem dos portos; e
- Sobre pastoreio.

De salientar que a contribuição de todos estes factores concorrem para a ocorrência da erosão quer na zona costeira quer no interior, causando assim a destruição física da costa e perdas de vida da população.

### **3.4. Consequências da Erosão dos Solos**

A erosão do solo constitui um dos principais problemas relacionados com o uso dos recursos solo e água. Ela pode causar problemas ambientais, económicos e até sociais. Como exemplos de problemas ambientais podemos citar: o assoreamento dos rios e lagos, a poluição da água, e a destruição dos microorganismos do solo. A redução da fertilidade e da capacidade do solo em armazenar água diminui a produtividade das culturas e, conseqüentemente, diminui o lucro do produtor e gera problemas de ordem económica. Por essa razão, muitos produtores também abandonam o campo e vão buscar alternativas de trabalho na cidade, gerando problemas de ordem social (êxodo rural). Outros problemas sociais que podem ser citados são o aumento no custo tratamento da água, deslizamentos e enchentes em áreas urbanas (Favaretto e Dieckow, 2007).

#### **3.4.1. Factores que contribuem para a ocorrência da erosão**

Segundo Schwab et al. (1981) os factores que afectam a erosão hídrica são clima, solos, vegetação e topografia.

#### **3.4.2. Clima**

Os factores climáticos que afectam a erosão são a precipitação, temperatura, vento, humidade, e a radiação solar. A temperatura e o vento afectam a evaporação e a transpiração. O vento também afecta na mudança de velocidade das gotas de chuva e no ângulo do

impacto. A humidade e a radiação solar actuam isoladamente e associados a temperatura (Sacoor, 2003).

A precipitação afecta consoante a quantidade, energia, intensidade, distribuição (temporal e espacial) e erosividade (Schwab et al. 1981).

### **3.4.3. Solos**

O solo, por influenciar e sofrer a acção dos processos erosivos, conferindo maior ou menor resistência, constitui o principal factor natural relacionado à erosão. Sua influência deve-se às suas características físicas, principalmente, textura, estrutura, permeabilidade e densidade e às suas propriedades químicas, biológicas e mineralógicas (Salomão et al., 1999).

### **3.4.4. Textura**

A textura ou seja, o tamanho das partículas, influi na capacidade de infiltração e de absorção de água da chuva, inferindo no potencial de enxurradas, e em relação a maior ou menor coesão entre as partículas.

### **3.4.5. Estrutura**

A estrutura, modo como se arranjam as partículas de solo, igualmente à textura, influencia na capacidade de infiltração e absorção da água de chuva e na capacidade de arraste das partículas do solo.

### **3.4.6. Permeabilidade**

A permeabilidade determina maior ou menor capacidade de infiltração da água de chuva, estando directamente relacionada com a porosidade do solo.

### **3.4.7. Densidade do solo**

A densidade do solo é inversamente proporcional a porosidade e permeabilidade. Por efeito de compactação, observa-se um aumento da densidade, reduzindo macroporos e tornando o solo mais erodível. As propriedades físicas, químicas, biológicas e mineralógicas do solo influenciam no estado de agregação das partículas do solo, aumentando ou diminuindo a resistência do solo à erosão.

As propriedades físicas do solo afetam a capacidade de infiltração e a quantidade em que pode ser dispersado e transportado. Das propriedades que se influenciam a erosão inclui-se a textura do solo, estrutura, matéria orgânica, humidade e densidade ou compactação como também as características químicas e biológicas do solo (Schwab et al. 1981).

Tomando em conta as propriedades físicas dos solos podem ser distinguidas duas variáveis fundamentais que controlam a erosão causada pelo escoamento da água: a erodibilidade e a erosividade do material (Sacoor, 2003).

Erodibilidade define-se por resistência da terra contra a erosão e transporte do solo. Ela pode ser expressada como a inter-relação do tamanho da partícula e a velocidade de escorrência (Idem).

A erosividade pode ser considerada como a resistência de um material não consolidado em função da pressão de uma força natural (água) e é dependente da fricção e coesão desse mesmo material (Nordstrom, 1988).

A humidade da terra aumenta a erosividade quando a capacidade de infiltração da terra está ultrapassado, causando geralmente o escoamento superficial (Pirhonen, 1996).



### **3.4.8. Vegetação**

Segundo Bertoni e Neto (1985) a cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno possui contra a erosão.

O maior efeito da vegetação está ligado a redução da erosão através da intercepção da precipitação absorvendo a energia das gotas de chuva e reduzindo o escoamento superficial, retardamento da erosão pela redução da velocidade superficial, retenção do movimento de solos, melhoramento da agregação e porosidade do solo através de raízes e resíduos de plantas, aumento da actividade biológica e aumento da transpiração que reduz a humidade do solo aumentando a capacidade de armazenamento (Schwab et al. 1981).

### **3.4.9. Topografia**

A erosão manifesta-se principalmente em função do declive. O gradiente do declive e o seu comprimento afectam a quantidade e a velocidade do escoamento superficial (Morgan, 1996).

A influência da topografia do terreno na intensidade erosiva verifica-se principalmente pela declividade e comprimento de rampa. Esses factores interferem directamente na velocidade das enxurradas (Dos Santos, 2011).

Assim verifica-se uma remoção e transporte de sedimentos pelo declive abaixo resultando dai problemas sérios de erosão (Schwab et al. 1981).

A declividade se relaciona com a erosão por actuar sobre a velocidade de escoamento da água gerada pela declividade. Assim, quanto maior a declividade, maior a velocidade, e, 20 conseqüentemente, maior será o volume carregado devido à força erosiva. No caso do comprimento da rampa, esta é directamente proporcional ao volume de água e à velocidade de escoamento que podem favorecer o processo erosivo (Dos Santos, 2011).

## **3.5. CONCEITOS**

### **3.5.1. Erosão**

Erosão é o processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou fragmentos de rocha, pela acção combinada da gravidade com a água, vento, gelo ou organismos (Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo, 1986).

### **3.5.2. Risco**

Risco é a probabilidade de ocorrência de um fenómeno específico dentro de um período determinado ou em circunstâncias determinadas (AFN, 2008).

### **3.5.3. Susceptibilidade**

A susceptibilidade de um território expressa as condições que esse território apresenta para a ocorrência e potencial de um fenómeno danoso (AFN, 2008).

A susceptibilidade consiste na incidência espacial do perigo. Representa a propensão para uma área ser afectada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos factores de predisposição para a ocorrência dos processos ou acções, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência (MATHE, 2013).

### **3.5.3. Perigosidade**

De acordo com VARNES (1984), perigosidade é a probabilidade de ocorrência de um fenómeno potencialmente danoso num determinado período de tempo e numa determinada área. Deste modo, para além da dimensão espacial, a perigosidade engloba também a dimensão temporal (VERDE, 2008).

### 3.5.4. Vulnerabilidade

De acordo com VARNES (1984), a vulnerabilidade expressa o grau de perda que um determinado elemento está sujeito face á ocorrência de um fenómeno.

### 3.6. Modelo SLEMSA

O SLEMSA é um modelo para a estimativa de remoção do solo. No entanto, pode ser considerado como um modelo útil na diferenciação de áreas de elevado ou baixo potencial de erosão (Schulze, 1979). As variáveis de controlo de erosão importantes que foram identificados (Elwell, 1978) no modelo SLEMSA incluem a energia cinética da chuva, a cobertura vegetal, o índice de erodibilidade do solo, o declive e o comprimento da vertente. Essas variáveis foram combinadas em três factores, formando o modelo SLEMSA:

$$Z = K \times X \times C$$

Onde: Z – perda anual de solo [t/ha];

K – média de perda anual de solo [t/(ha ano)];

X – factor topográfico [adimensional];

C – cobertura do solo [adimensional].

Para a produção do mapa de risco a erosão na cidade da Beira, foi usado o modelo SLEMSA onde foram usadas as seguintes variáveis: mapa de uso e cobertura da terra, declive e solos.

Cada uma das variáveis foi integrada num esquema hierárquico, assumindo que algumas variáveis exercem mais influência do que outras. Em primeiro lugar a cada uma das variáveis foi atribuído um peso, de acordo com a sua contribuição para a susceptibilidade a erosão. Em segundo lugar cada uma das variáveis foi dividida em classes aos quais foram atribuídos um

coeficiente, zero, um e dois, baseado no ranking de alto, médio e baixo de susceptibilidade a erosão respectivamente.

### **3.6.1. SIG e erosão**

O SIG é o resultado da evolução de uma série de ciências afins, incluindo desenho assistido por computador, cartografia assistida por computador, detecção remota, estatística espacial e de tecnologia de bases de dados (BURROUGH, 1987).

Os SIGs são sistemas computacionais que manipulam dados geográficos e permitem a conversão de dados em informações a partir de manipulações e consultas interactivas sobre os dados armazenados. Segundo Câmara Neto (1995) há pelo menos três grandes maneiras de utilizar um SIG:

- Como tecnologia de gerenciamento de uma base de dados geográficos: Os SIGs possuem ferramentas que permitem a integração, em uma única base, de informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo, cadastro urbano e rural, imagens de satélite.
- Como suporte para análise espacial de fenómenos: No estudo de sistemas ambientais, a interação entre processos deve ser considerada. Os SIGs oferecem mecanismos para manipular simultaneamente vários dados. Estes mecanismos vão desde a consulta, a recuperação e a visualização, até a combinação das variáveis para análise.
- Como ferramenta para produção cartográfica: Por possuir facilidades de edição, visualização, acesso rápido, registro geográfico dos dados, os SIGs estão se tornando uma ferramenta de trabalho nos órgãos responsáveis por produção cartográfica.

### **3.7. Modelos para mapeamento de Erosão**

A validade de um modelo é assegurada pela capacidade de atingir a sua finalidade (Toy et al., 2002). Os recursos necessários para o modelo, a disponibilidade de dados de entrada, a facilidade de uso e a robustez do mesmo, igualmente contribuem para a sua avaliação. Uma das características primordiais de um modelo é a sua facilidade do uso, ou seja, um modelo mesmo que produza resultados precisos, se for difícil de usar, os utilizadores muitas vezes preferem a facilidade de uso, em vez da precisão dos resultado.

#### **3.7.1. WATEM/SEDEM**

O modelo WATEM/SEDEM foi criado no Laboratório de Geomorfologia Experimental (KU Leuven, Bélgica). Dentro do modelo WATEM/SEDEM, a determinação da perda de solo é baseada no modelo RUSLE (Renard et al., 1997). Para além da perda de solo, o modelo calcula a quantidade de sedimentos que é exportado para as águas superficiais, tendo em conta a possível deposição de sedimentos. Esta deposição é controlada por uma capacidade de transporte, que é calculada para cada parcela estudada (WATEM/SEDEM, 2006).

#### **3.7.2. SLEMSA**

O modelo de estimativa de perdas do solo para a África Austral (SLEMSA) foi inicialmente desenvolvido para as condições do Zimbabwe, por Elwell (1978), para prever, a longo prazo, a perda anual de solo por erosão em sulcos em áreas agrícolas de pequena escala, para determinadas combinações de condições físicas e de gestão (Schulze, 1979). Desde então, tem sido amplamente usado para prever a perda de solo em ambientes africanos (Elwell & Stocking, 1982). O SLEMSA é essencialmente um modelo para a estimativa de remoção do solo. No entanto, pode ser considerado como um modelo útil na diferenciação de áreas de elevado ou baixo potencial de erosão (Schulze, 1979). As variáveis de controlo de erosão

importantes que foram identificados e expressas numericamente (Elwell, 1978) no modelo SLEMSA incluem a energia cinética da chuva, a cobertura vegetal, o índice de erodibilidade do solo, o declive e o comprimento da vertente. Essas variáveis foram combinadas em três factores, formando o modelo SLEMSA:

$$Z = K \times X \times C$$

Onde:

Z – perda anual de solo [t/ha];

K – média de perda anual de solo [t/(ha ano)];

X – factor topográfico [adimensional];

C – cobertura do solo [adimensional].

### **3.7.3. AGNPS**

AGNPS é um modelo de distribuição baseado em eventos que simulam o escoamento superficial de sedimentos e transporte de nutrientes, principalmente a partir de bacias hidrográficas. Os nutrientes incluem o azoto e fósforo, ambos essenciais para as plantas e principais contribuintes para a poluição das águas superficiais. O modelo usa equações e metodologias que estão bem estabelecidas e amplamente utilizados por agências como o Serviço de Conservação do Solo da United States Department of Agriculture (USDA). Através da interface AGNPS/RAISON é possível extrair automaticamente a informação necessária para calcular os dados de entrada do modelo. No modelo, algumas variáveis são relacionadas com a topografia, enquanto outras são em função do tipo e uso do solo. A extracção automática dos dados, incluídos na interface AGNPS, requer um Modelo Digital do Terreno, informação sobre o tipo de solo e sistema de uso do mesmo (Bingner, 2001).

### 3.7.4. USLE/RUSLE1/RUSLE2

A USLE, desenvolvida por Wischmeier & Smith (1978), é o modelo empírico de erosão do solo mais utilizado em todo o Mundo. A sua ampla utilização na planificação e gestão de terras, na estimativa da perda anual do solo, bem como a simplicidade de aplicação e disponibilidade de dados, permite uma aplicação praticamente universal, o que faz com que se torne, de acordo com a Sociedade Internacional de Conservação do Solo e da Água, uma ferramenta fundamental para fins de planeamento (Tánago, 1991). Tem sido uma ferramenta inestimável para inventariação dos recursos naturais em vários países, sendo usada na análise dos efeitos da erosão sobre a produtividade das culturas. Para aperfeiçoar ou adaptar a formulação da USLE para outras finalidades, foram introduzidas modificações em alguns de seus factores. Exemplos mais

Conhecidos destes são a MUSLE (Williams, 1975), desenvolvida para a predição da entrada de sedimentos, e a RUSLE (Renard et al., 1997), uma actualização da USLE, modificando os factores K, C e LS. Estas equações são usadas para estimar a erosão com base em condições específicas do local como alternativas de controlo de erosão. O objectivo actual de conservação do solo é a protecção contra a erosão acelerada, mesmo quando o objectivo principal é o controlo da deposição de sedimentos num determinado local. Segundo Wischmeier & Smith, (1978), citado por Beskow et al. (2009), matematicamente a equação de perda de solo é denotada como:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \dots\dots\dots(1)$$

Onde: A – perda de solo média anual [t/ha];

R – factor erosividade da chuva [MJ mm/(ha h)];

K – factor erodibilidade do solo [(t h/(MJ\*mm)];

L – factor comprimento da vertente [adimensional];

S – factor declive [adimensional];

C – cobertura do solo [adimensional];

P – prática de controlo de erosão [adimensional]

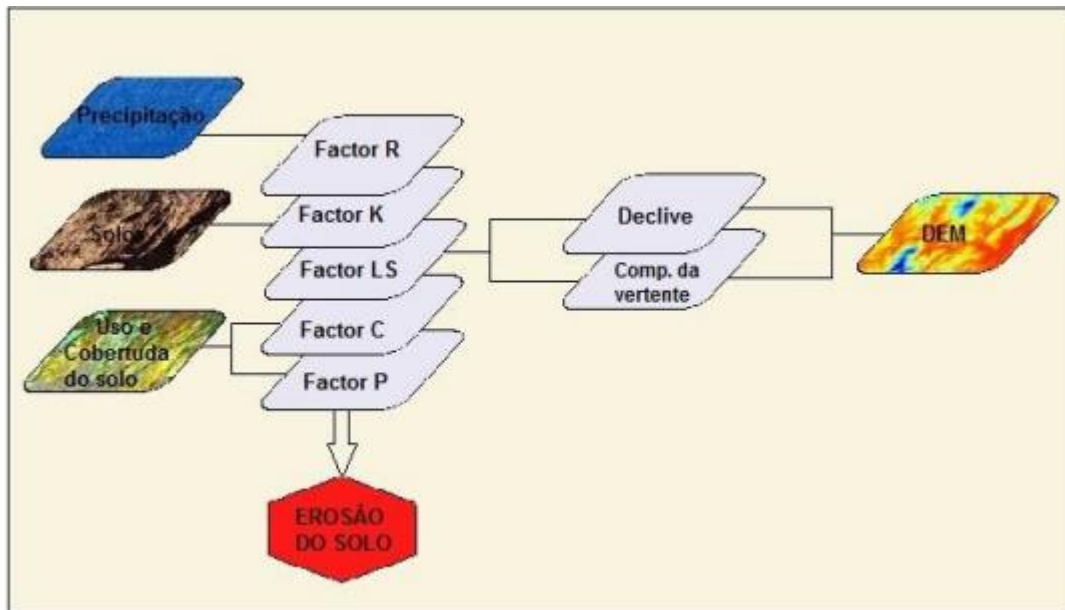


Fig. 2.4- Ilustração da aplicação da USLE Fonte: Adaptado de Silva (2011).



## **IV. METODOLOGIA**

### **4.1. Etapas para a materialização do trabalho**

#### **Revisão da Literatura**

Para a materialização do trabalho, foi feita a revisão da literatura com o objectivo de entender como diversos autores abordam a erosão. Para identificar as principais causas da erosão na cidade da Beira foi feita a revisão da literatura sobre a erosão em Moçambique e em particular na cidade da Beira.

Os conceitos teóricos considerados relevantes que permitiram melhor compreensão do trabalho. As consultas foram feitas em bibliotecas virtuais (a partir da internet), este método é muito importante para o enquadramento conceptual e literário, ajudou na selecção dos conceitos chaves como definição de alguns conceitos como por exemplo erosão, SIG, entre outros.

#### **A revisão da literatura permitiu identificar as principais causas da erosão na cidade da Beira.**

##### **➤ Elaboração do modelo para o mapeamento de áreas de risco de erosão na cidade da Beira**

Para a produção do modelo para o mapeamento de risco de erosão na cidade da Beira foi usado o modelo SLEMSA onde foram usadas as seguintes variáveis: mapa de uso e cobertura da terra, declive e solos. Após a selecção das variáveis, fez-se o processamentos dos dados (variáveis) para a produção do modelo (vide a figura nº 9), sendo que as variáveis solos e uso e cobertura foram reclassificadas visto que encontram-se no formato raster. A variável declive foi processada na ferramenta slope do Arcmap e posteriormente reclassificada, após esse processo todas as variáveis foram atribuídas pesos (grau de importância) no processo erosivo.

Após o processamento das variáveis no software ArcMap. Cada uma das variáveis foi integrada num esquema hierárquico, assumindo que algumas variáveis exercem mais influência do que outras. Em primeiro lugar a cada uma das variáveis foi atribuído um peso, de acordo com a sua contribuição para a susceptibilidade a erosão. Em segundo lugar cada uma das variáveis foi dividida em classes aos quais foram atribuídos um coeficiente, zero, um e dois, baseado no ranking de muito alto, alto, moderado, baixo e muito baixo risco de susceptibilidade a erosão respectivamente.

**A elaboração deste modelo constitui o segundo objectivo específico do trabalho.**

➤ **Identificação de áreas com maior risco para a ocorrência de erosão na cidade da Beira**

Após a produção do mapa de risco de erosão na cidade da Beira, identificou-se as áreas com maior risco para ocorrência de erosão através da distribuição dos diferentes níveis de risco de erosão.

A identificação de áreas com maior ou menor risco, constitui o terceiro objectivo específico deste trabalho. Foi feita através da observação do mapa de risco de erosão (vide a figura nº 13).

<b>Relação entre objectivos específicos e metodologia</b>	
<b>Objectivos específicos</b>	<b>Metodologia</b>
➤ Identificar as principais causas da erosão na cidade da Beira;	Revisão da literatura
➤ Elaborar um modelo para o mapeamento de áreas de risco de erosão na cidade da Beira;	Seleção das variáveis para o mapeamento da erosão e respectivo processamento de dados
➤ Identificar as áreas com maior risco para a ocorrência de erosão na cidade da Beira.	Através da observação do mapa de risco de erosão

Tabela 1. Relação entre objectivos específicos e metodologia, elaborado pelo autor (2023).

## **4.2. Dados**

### **Dados**

#### **4.2.1 Modelo Digital de Elevação**

A topografia é um dos principais factores em qualquer sistema de avaliação dos níveis de risco de erosão. A erosão manifesta-se principalmente em função do declive. O gradiente do declive e o seu comprimento afectam a quantidade e a velocidade do escoamento superficial (Morgan, 1996).

O declive é considerado como sendo o factor crítico. A influência da topografia do terreno na intensidade erosiva verifica-se principalmente pela declividade e comprimento de rampa. Esses factores interferem directamente na velocidade das enxurradas (Dos Santos, 2011).

Os declives acentuados aumentam a velocidade de propagação da erosão. Assim, quanto maior a declividade, maior a velocidade, e, conseqüentemente, maior será o volume carregado devido à força erosiva (*Idem*).

O Declive, a direcção e a elevação, são usualmente obtidos a partir dos modelos digitais de elevação (Mathe, 2013).

Os dados relativos ao Modelo Digital Elevação foram obtidos, do site: USGS earth Explorer relativos a *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Destes dados foi delimitada e recortada a área correspondente a cidade da Beira.

#### **4.2.2. Uso e Cobertura da Terra**

A área de estudo apresenta um território misto, caracterizado por paisagens naturais e paisagens humanizadas. O território reflecte uma variação da estrutura e o tipo de cobertura da terra e das formas de uso do solo (Saccor, 2003).

Para este trabalho foi utilizado o mapa de uso e cobertura. O mapeamento da cobertura de terra foi feito com base na interpretação de imagens do satélite (LANDSAT 8) do ano 2023, a interpretação das imagens de satélite foi feita usando técnicas de processamento digital (combinação de bandas e composição cores falsas) e técnicas de interpretação visual.

As imagens de satélite são obtidas do *USGS earth Glovis*, referentes a Imagens de satélite landsat, foram usados para produzir os mapas de uso e cobertura da terra, através da digitalização de classes de uso usando a classificação do CENACARTA.

#### 4.2.3. Solos

O solo, por influenciar e sofrer a ação dos processos erosivos, conferindo maior ou menor resistência, constitui um dos principais factores naturais relacionados à erosão. Sua influência deve-se as suas características físicas, principalmente, textura, estrutura, permeabilidade e densidade e às suas propriedades químicas, biológicas e mineralógicas (Salomão et al., 1999). As propriedades físicas do solo afectam a capacidade de infiltração e a quantidade em que pode ser dispersado e transportado. Das propriedades que se influenciam a erosão inclui-se a textura do solo, estrutura, matéria orgânica, humidade e densidade ou compactação como também as características químicas e biológicas do solo (Schwab et al. 1981).

Para este trabalho foi utilizado o mapa de solos foi obtido através da base de dados do CENACARTA.

<b>Dado e Materiais</b>	<b>Fonte</b>
<b>DEM</b>	USGS
<b>Uso e Cobertura</b>	USGS
<b>Solos</b>	CENACARTA
<b>ArcGis 10.4</b>	ESRI

Tabela 2: Dados e fontes dos materiais usados

A tabela acima, ilustra os dados e materiais usados na elaboração do trabalho. Os dados (variáveis) usados foram o declive, uso e cobertura e mapa de solos, sendo que os primeiros dois foram obtidos no site americano USGS e CENACARTA respectivamente. O software usado no processamento dos dados foi o ArcGis 10.4 da ESRI.

### **4.3. Métodos**

#### **4.3.1. Análise multicritério**

A análise multicritério foi usada para produzir o mapa e atribuir os pesos a cada variável de acordo com o grau de influência de cada factor no processo erosivo. Foi usado o Método Processo Analítico Hierárquico (AHP) para atribuir os pesos a cada variável de acordo com o grau de influência da cada variável e estruturação da hierarquia de decisão, construção da matriz de comparação pareada, priorização das alternativas e definição das classes de susceptibilidade.

#### **4.3.2. Análise multicritério na determinação de áreas de risco de erosão**

Métodos de decisão multicritério como o Analytic Hierarchy Process — AHP (Método de Análise Hierárquica) foram desenvolvidos para ajudar na tomada de decisão a partir de uma série de factores, sejam quantitativos ou qualitativos (Vieira, 2006).

O fundamento do AHP consiste na decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho (Saaty, 1991). De maneira geral, AHP é a teoria e a metodologia para medição relativa. Na medição relativa, não se está interessado na exata medição de algumas quantidades, mas sim nas proporções entre elas.

Valor da Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância.	Os dois critérios contribuem igualmente para o objetivo.
2	Importância pequena de um critério sobre o outro.	A experiência e o julgamento favorecem levemente um critério em relação ao outro.
4	Importância grande ou essencial.	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um critério em relação ao outro.
6	Importância muito grande ou demonstrada.	Um critério é muito fortemente favorecido em relação ao outro; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
8	Importância absoluta.	A evidência favorece um critério em relação ao outro com o mais alto grau de certeza.

Tabela 3. Comparações do AHP, adaptado de Saaty (1991).

De acordo com a tabela abaixo, o declive tem mesma importância em relação a si mesmo, mas tem uma pequena importância em relação aos solos e grande importância em relação ao uso e cobertura.

O tipo de solo tem mesma importância em relação a si mesmo, mas tem menos importância em relação ao declive e pequena importância em relação ao uso e cobertura.

O uso e cobertura tem mesma importância em relação a si mesmo, mas tem muito pouca importância em relação ao declive e pouca importância em relação ao tipo de solo.

	<b>Declive</b>	<b>Solos</b>	<b>Uso e cobertura</b>
<b>Declive</b>	1.00	2.00	4.00
<b>Solos</b>	0.50	1.00	2.00
<b>Uso e cobertura do solo</b>	0.25	0.50	1.00
<b>Total</b>	1.75	3.75	7.00

Tabela 4: Matriz de comparação dos factores no processo de erosão, elaborado pelo autor (2023).

### 4.3.3. Tabela de pesos por variável

De acordo com os pesos atribuídos as variáveis em estudo, o declive ocupa a maior importância com 42% do peso, seguido pelo tipo de solos com 35% de peso e por último o uso e cobertura do solo com cerca de 23% de peso para a ocorrência de erosão

Variáveis	Pesos
Declive	42%
Solos	35%
Uso e cobertura do solo	23%

Tabela 4. Distribuição dos pesos por variáveis, elaborado pelo autor (Cumbane,2023).

### 4.3.4. Modelo para mapeamento de áreas de risco de erosão

Após definir-se os pesos das variáveis que influenciam no processo erosivo, elaborou-se o modelo para determinação das áreas susceptíveis a erosão. Como pode-se verificar na figura abaixo.

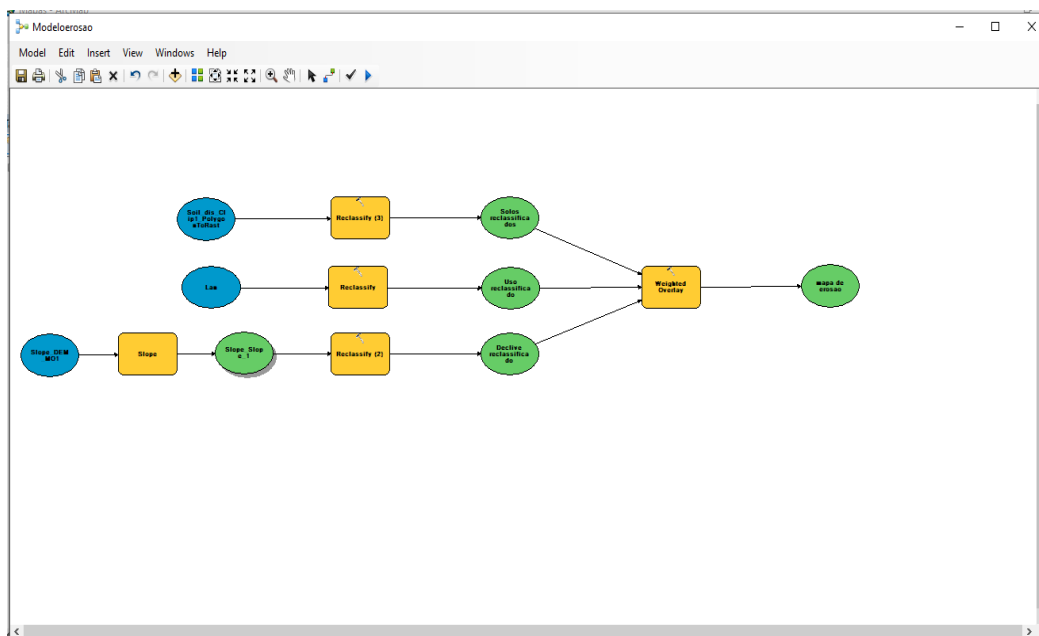


Figura 9: Modelo para determinação de áreas susceptíveis a erosão, elaborado pelo autor (Cumbane, 2023).

## V. RESULTADOS

Para a elaboração dos mapas de risco de incêndios de erosão na cidade da Beira, considerou-se variáveis como uso e cobertura da terra, solos e declive. Tendo sido atribuídos os pesos através da análise multicritério, onde os mesmos critérios foram reclassificados e atribuídos os níveis de influência de cada classe.

### 5.1. Reclassificação dos mapas

A reclassificação dos mapas foi feita com o objectivo de atribuir os pesos das variáveis no modelo, uma vez que cada variável tem a sua influência no processo de erosão.

#### 5.1.2. Mapa de Relevo

O mapa abaixo mostra a distribuição das classes de risco de erosão de acordo com o relevo, onde de acordo com o critério relevo as áreas mais susceptíveis a erosão são as que se localizam na parte Sul da cidade. De acordo com o relevo, existem cinco classes de risco de erosão na cidade da Beira nomeadamente: risco muito alto, alto, moderado, baixo e muito baixo.

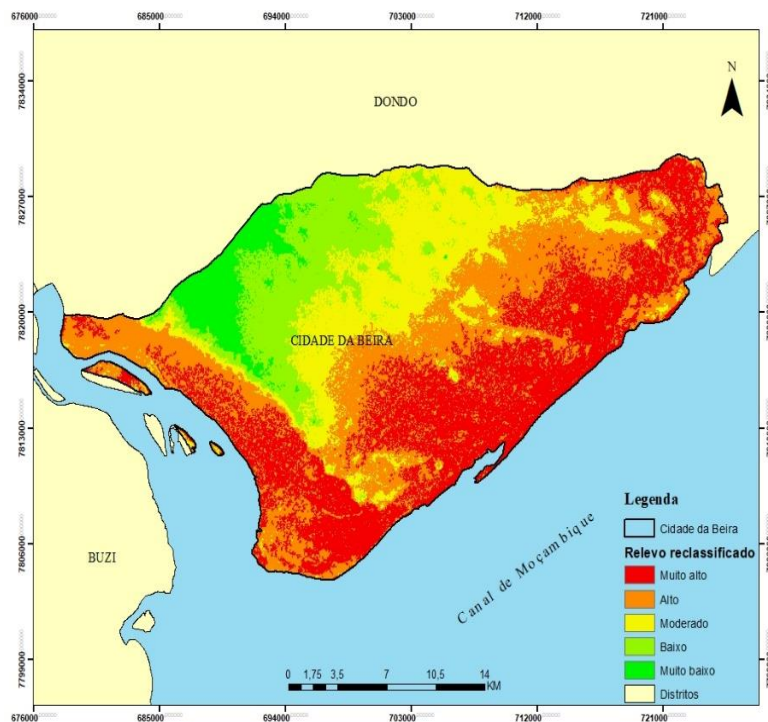


Figura 10. Mapa de relevo reclassificado, elaborado pelo autor (Cumbane, 2023).



### 5.1.2. Mapa de Uso e cobertura

De acordo com o mapa do uso e cobertura reclassificado, grande parte da área habitacional e os solos sem vegetação estão concentrados na parte Sul da cidade, o que contribui significativamente para o aumento do risco de erosão nesta parte da cidade.

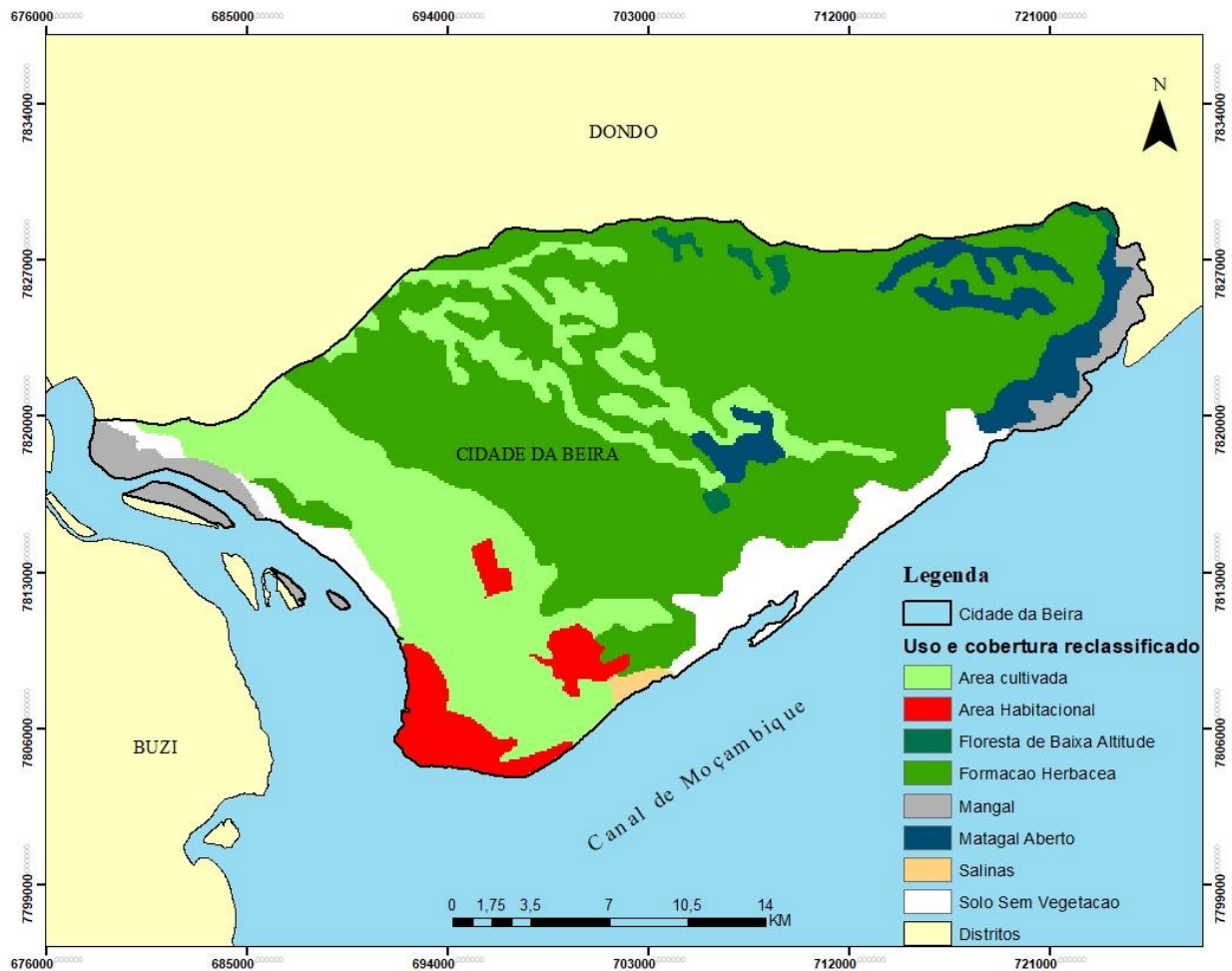


Figura 11. Mapa de uso e cobertura reclassificado, elaborado pelo autor (Cumbane,2023)

### 5.1.3 Mapa de Solos

De acordo com o mapa de solos reclassificado, na parte Norte da cidade da Beira encontramos os solos de mananga com cobertura arenosa, enquanto no Sul encontramos solos de sedimentos marinhos.

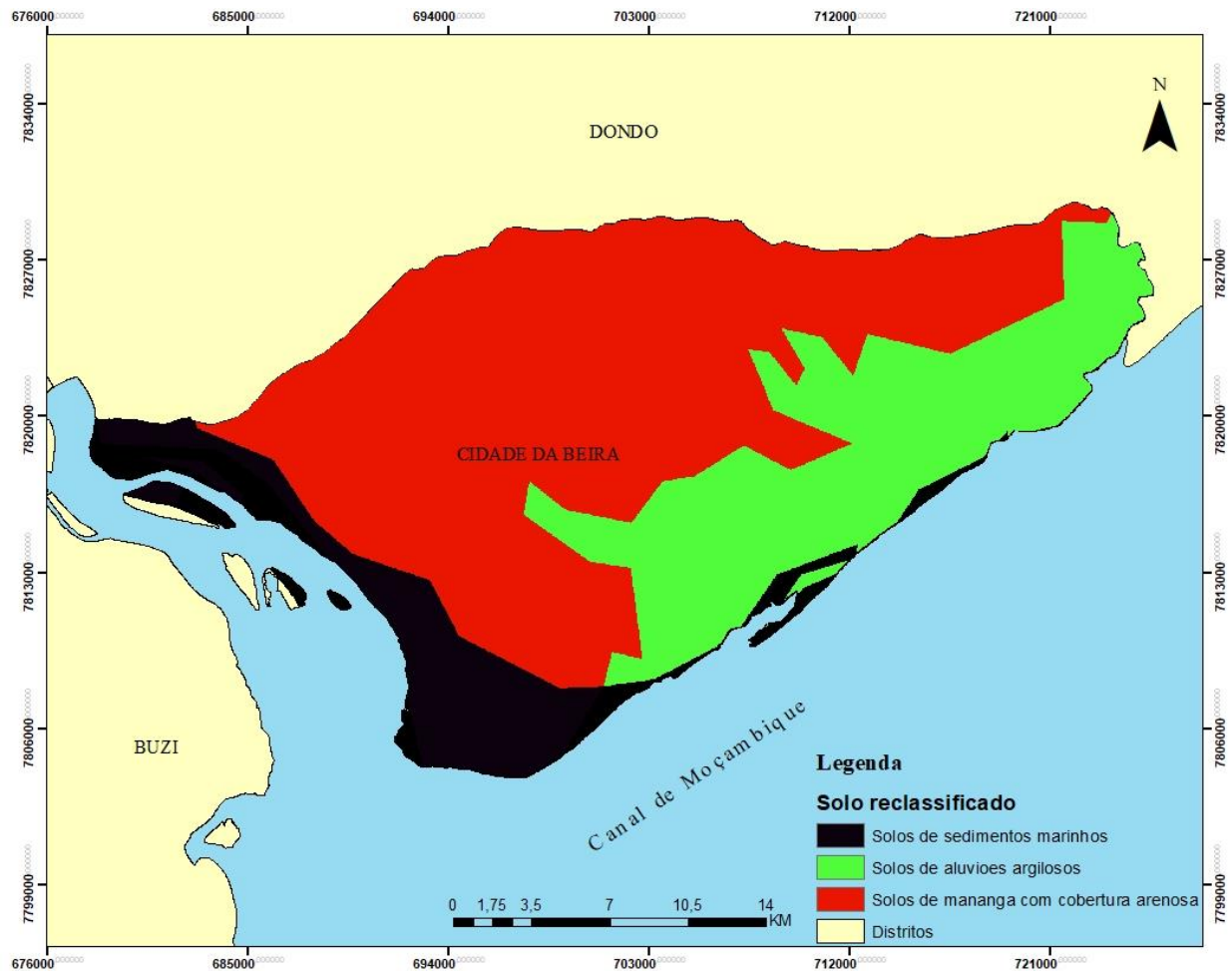


Figura 12. Mapa de solos reclassificado, elaborado pelo autor (Cumbane, 2023).

#### 5.1.4. Mapa de Risco de Erosão

O mapa de risco de erosão é resultante da multiplicação de dados reclassificados da solos, declive e uso e cobertura do solo. Tendo sido atribuídos os pesos através da análise multicritério e atribuídos os níveis de influência de cada classe.

De acordo com os resultados obtidos e ilustrados no mapa de risco de erosão, toda a área da cidade da Beira é susceptível à ocorrência de erosão. As áreas com risco alto e muito alto, são as que possuem maior concentração de infra-estruturas sociais, devido a uma maior presença de assentamentos humanos e solos sem vegetação.

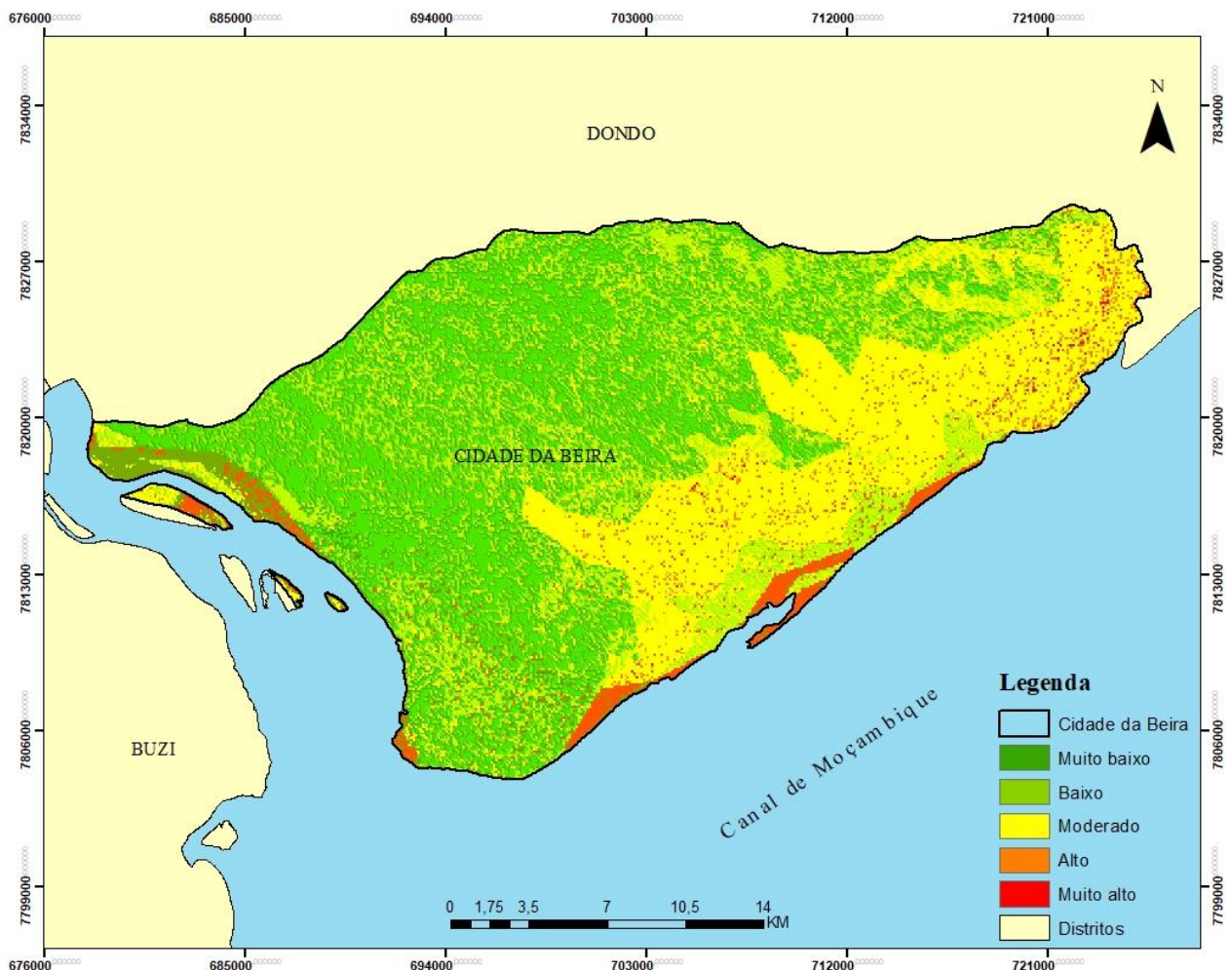


Figura 13. Mapa de risco de erosão da cidade da Beira, elaborado pelo autor (Cumbane, 2023).

## **VI. CONCLUSÃO**

A cidade da Beira enfrenta problemas sérios de erosão, em particular a zona costeira. As razões para a ocorrência deste processo são diversas destacando-se a disposição do relevo (em forma de escadaria), actividade humana (maiores aglomerados populacionais que se localizam ao longo da faixa costeira) e uso de terra para outros fins em locais susceptíveis à erosão, entre outras.

As actividades antropogénicas aliadas as mudanças climáticas são as principais causas para a ocorrência de erosão na cidade da Beira.

Para o mapeamento da erosão foi usado o modelo SLEMSA que inicialmente foi desenvolvido para países africanos. Este modelo foi útil no mapeamento e na diferenciação de áreas de elevado ou baixo potencial de erosão.

As áreas com maior risco são as que apresentam maiores assentamentos humanos, aliado a predominância de solos sem cobertura vegetal. A costa detém a área com maior risco por constituir o lugar preferencial para a implantação de assentamentos humanos.

O objectivo geral deste trabalho era de mapear as áreas de risco de erosão na cidade da Beira. Este objectivo foi alcançado uma vez que elaborou-se o mapa de risco de erosão. No mapa pode-se identificar áreas com risco muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto para a ocorrência de erosão.

## **6.1. Recomendações**

- A actividade antropogénica é uma das principais causas da erosão na cidade da Beira, por isso recomenda-se que sejam intensificadas as estratégias de prevenção envolvendo as comunidades locais.
- Tendo em conta que a erosão constitui um processo dinâmico, a informação sobre os tipos de erosão carece de actualização permanente com vista à definição de acções prioritárias para as áreas de risco.
- O conselho Municipal da Beira juntamente com outras instituições de direito, devem redobrar esforços no sentido de limitar a ocupação das áreas consideradas de maior risco, como também fazer uma manutenção permanente das infraestruturas e dos dispositivos instalados para conter a erosão dos solos.
- É fundamental na Beira que se criem mecanismos para que haja educação ou sensibilização da população sobre o problema da erosão.

## 6.2. Referências bibliográficas

Abrahão, W. A. (2000). Levantamento de solos e aptidão agrícola das terras do município de Ubá – MG. Ubá – MG.

AFN (2008). Guia técnico para elaboração do Plano Operacional Municipal, Available at: [agricultura.pt/portal/dudf/gtfs/planeamento-dfci-municipal/guia-tecnico-paraelaboracao-do-pom-2008](http://agricultura.pt/portal/dudf/gtfs/planeamento-dfci-municipal/guia-tecnico-paraelaboracao-do-pom-2008).

Albuquerque, Miguel Da Guia. (2013). “Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul Instituto De Geociências Programa De Pós-Graduação Em Geociências Análise Espaço Temporal Das Causas Da Variabilidade Da Linha De Costa E Erosão Na Praia Do Hermenegildo.

Bingner, R. L., Bingner, R. L. (2001.) AnnAGNPS: Estimating sediment yield by particle size for sheet & rill erosion. Proceedings of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference, Reno, Nevada.

Burrough, P. (1987). Principles of geographical information systems for land resources assessment, London: Oxford Claredon Press.

Câmara, G. (1995). Modelos, linguagens e arquiteturas para banco de dados geográficos. Tese de Doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Carvalho, N. O. et al. (2000). Ocorrência de reservatórios assoreados no país. In: GUIA de avaliação de assoreamento de reservatórios. ANEEL Dupligráfica Editora.

Carvalho, J. C. (2006). Processos Erosivos no Centro Oeste Brasileiro. Editora FINATEC.

Cassol, E. A., & Lima, V. S. (2003). Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília.

Dos Santos, Luiza Fernandes Martins. (2011). SIG e álgebra de mapas na elaboração de um mapa de potencial de erosão em áreas de silvicultura. Guaratinguetá.

Duarte, Ferrão. (1992). Agricultura e desertificação. AIJE. Lisboa.

Elwell, H. A. (1978). Soil Loss Estimation: Compiled Works of the Rhodesian Multi-disciplinary Team on Soil Loss Estimation. Inst. Agric. Engng, Salisbury, Harare - Zimbabwe.

Favaretto, N. e Dieckow, J. (2007). Conservação dos recursos naturais solo e água. In: Lima et al. (Eds.). O solo no meio ambiente. Curitiba.

Guiloviça, Cláudia Brunilde. (2011). “Caracterização Da Agitação Marítima Ao Largo Da 83 Baía de Maputo.” Maputo.

Instituto de Investigação Agrária de Moçambique (IIAM). (1998). Maputo.

INPF. (1985). Plano Director de Nacala. Maputo.

Lal, R. (1999). Erosion impact on soil quality in the tropics. In LAL, R. (Ed.) Soil Quality and Soil Erosion.

Lima, G. S. A. (1987). Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: uma proposta baseada na análise de valor e lógica Fuzzy. COPPE/UFRJ, RJ.

MAEFP. (2020). Projecto de desenvolvimento urbano e local (pdul) unidade de gestão do projecto - UGP Relatório da Avaliação Anual de Desempenho do Município da Beira. Beira.

Martins, Sérgio Ricardo Oliveira (2002). Desenvolvimento Local: questões conceituais e metodológicas Local Development: conceptual and methodological questions Desarrollo Local: cuestiones conceptuales y metodológicas. In: Revista Internacional de Desenvolvimento Local.

Mathe, Márcio Fernando. (2013). Modelação SIG na avaliação do risco de incêndio na Reserva Nacional do Niassa. Universidade de Lisboa. Lisboa.

MICOA. (2007). Plano de acção para a prevenção e controlo da erosão do solo. Maputo.

MICOA (2000). Programa Nacional de Gestão Ambiental.

Morgan, R. P. C. (1996). Soil erosion and conservation 2ª edição. Longman. England.

Nordstrom, K. (1988). Gully erosion in the Lesotho lowlands-A geomorphological study of the interactions between intrinsic and extrinsic variables. Sweden.

Pimentel, D. (2006). Soil Erosion: A Food and Environmental Threat. Environment, Development and Sustainability.

Pinto, C. T. (2013). Identificação de áreas Susceptíveis aos Processos Erosivos na Região do vale do Paraíba. SP-Brasil.

Pirhonen, V. (1996). Erosion control plans. CECN/FEI. Nacala.

Saaty, T. L. (1991). “Método de Análise Hierárquica”, Tradução de Wainer da Silveira e Silva, McGrawHill, Makron, São Paulo, SP.

Sacoor, Charfudin Nicos Jussub. (2003). Variação espacial da erosão actual no município de Nacala. Maputo.

Schwab, G. O. Et al. (1981). Soil and water conservation engineering. 3ª edição, John Wiley & Sons. Canada.

Schulze, R. E. (1979). Soil loss in the key areas of the Drakensburg: a regional application of the soil loss estimation model for southern Africa (SLEMSA). Hydrology and Water



Resources of the Drakensburg, Natal Town and Regional Planning Commission, Pietermaritzburg, South Africa.

Silva, António Fernandes, (2011). Características hidrográficas do estuário da Beira. Rio de Janeiro.

Tánago, M. G. (1991). La ecuación universal de pérdidas de suelo: Pasado, presente y futuro. Ecología.

Toy, T. J., Foster, G. R., & Renard, K. G. (2002). Soil erosion: processes, prediction, measurement and control.

Van Dijk, K. (1997). Erosão e conservação dos solos em Moçambique, MICOA. Maputo.

Watem/Sedem. (2006). Manual B. Physical and Regional Geography.

Varnes, D. (1984). Landslide hazard zonation: a review of principles and practise, Paris. UNESCO.

Verde, J.C. (2008). Avaliação da Perigosidade a Incendio Florestal. Universidade de Lisboa Faculdade de Letras.

Vieira, G.H. (2006). Análise e comparação dos métodos de decisão multicritério AHP Clássico e Multiplicativo, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP.

Wischmeier, W.H. e Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide planning. Agr. Handbook.

Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.

Yoshioka, M. H. & Lima, M. R. (2005). Experimentotecade Solos: Erosão Eólica e Hídrica do Solo. Projeto Solo na Escola – Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR. In <http://www.escola.agrarias.ufpr.br/arquivospdf/experimentotecasolos5.pdf> consultado a 26 - 08 – 2023).