

UNIVERSIDADE DE LISBOA

Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



Avaliação da Suscetibilidade, Exposição e Vulnerabilidade aos
Ravinamentos na Cidade de Nacala em Moçambique

Artur Afonso

Orientador: Prof. Doutor José Luís Gonçalves Moreira da Silva
Zêzere

Tese especialmente elaborada para a obtenção do grau de doutor
no ramo de Doutoramento em Território, Risco e Políticas Públicas

2021



Avaliação da Suscetibilidade, Exposição e Vulnerabilidade aos Ravinamentos na Cidade de Nacala em Moçambique

Artur Afonso

Orientador: Prof. Doutor José Luís Gonçalves Moreira da Silva Zêzere

Tese especialmente elaborada para a obtenção do grau de doutor no ramo de
Doutoramento em Território, Risco e Políticas Públicas

Júri:

Presidente: Doutor José Manuel Henriques Simões, Professor Catedrático e Presidente do Conselho Científico do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa.

Vogais:

- Doutora Laura Maria Pinheiro de Machado Soares, Professora Auxiliar Faculdade de Letras da Universidade do Porto;
- Doutora Maria José Leitão Barroso Roxo, Professora Catedrática Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa;
- Doutor Alexandre Manuel de Oliveira Soares Tavares, Professor Associado com Agregação Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra;
- Doutor José Luís Moreira Gonçalves da Silva Zêzere, Professor Catedrático Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, orientador;
- Doutor Eusébio Joaquim Marques dos Reis, Professor Auxiliar Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa.

Esta tese teve o financiamento da Fundação Calouste Gulbenkian sob a forma de financiamento de trabalho de campo para estudantes dos PALOP 2015 e pelo Ministério de Ensino Superior, Ciência e Tecnologia de Moçambique sob a forma de Bolsa de Doutoramento 2017/2018.

Agradecimentos

O processo que culminou com a realização desta tese inicia no ano de 2014, este período envolveu pessoas de forma particular e instituições cujos apoios foram importantes em todo o processo.

Em termos institucionais gostaria de agradecer ao Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa por ter aceitado a minha candidatura e dado a oportunidade de participar num dos programas de doutoramento mais multidisciplinar e de aprendizagem diária.

De forma particular, gostaria de agradecer com muita emoção ao Prof. Doutor José Luís Gonçalves Moreira da Silva Zêzere, meu supervisor e pessoa cujas qualidades não poderiam caber num agradecimento destes. Professor agradeço pela amizade, compreensão e força que tem me transmitindo, mesmo nos momentos que eu sei que não merecia. O nível de dificuldades ao longo do processo que culminou com esta tese não teria sido superado se não tivesse um pai presente como o Professor. Em minha tradição, a melhor maneira de agradecer é ficar calado e tentar passar a mensagem transmitida. Consigo aprendi e tenho fé de continuar aprendendo.

Aos Professores que passaram pela turma vindos das Universidades de Lisboa, Coimbra e Aveiro, e aqui cabe mencionar de forma muito especial os Professores Alexandre Tavares, José Mendes, Fátima Alves, e a todos outros professores cujo conhecimento contribuiu para o sucesso do trabalho.

A Universidade Rovuma, meu local de trabalho, que autorizou minha ausência para a formação e de forma particular ao Professor Doutor Mário Jorge Caetano Brito dos Santos, pela força.

A fundação Calouste de Gulbenkian cujo apoio permitiu a realização do trabalho de campo em 2015.

Ao Ministério do Ensino Superior, Ciência e Tecnologia e Técnico Profissional de Moçambique pela bolsa de estudos atribuída durante dois anos da minha formação (2017/2018).

Ao Conselho Municipal da Cidade de Nacala, pelo apoio no processo de recolha de dados, pela flexibilidade sem a qual este trabalho seria impossível, muito especial ao

senhor Rachide Mózica que serviu de guia ao longo do trabalho de campo e Sr Luís Mucavele pela informação disponibilizada sobre o cadastro municipal.

Ao Instituto Nacional de Estatística na sua delegação de Nampula, pelo apoio na disponibilização de dados e comunicação das principais dificuldades que a informação possuía.

Ao Instituto Nacional de Gestão de Calamidades, por ter disponibilizado o seu acervo de relatórios para a consulta durante todo as fases do trabalho.

A AAServiços Lda, por ter disponibilizado meios como GPS e viatura para apoio no trabalho de campo.

A minha família, meu pai Afonso pela amizade, minha esposa Esperança, meus filhos Shaquil, Junior, Julinho, Enzo e Maria da Graça, meus tios Victor, Vivi e António, minhas irmãs Argentina, Adélia, Matilde, Claudina, Margarida, Beth e meu irmão David, meus sogros Lumenta e Filo e cunhados pela paciência de esperar e aguentar a ausência e orações durante dias difíceis.

Aos meus colegas do curso: Manuel, Ana, Antónia, Aurenny e Miguel pelos Sábados bem passados juntos.

Aos amigos em Moçambique: Saide Anlaue, Saide Momade, Isaac, Abdul Amisse e Latifo (em memória) e em Portugal: Ntaluma, Mana Zita, Diogo e Elias e “puto” Matete pela amizade e companheirismo. A todos que de forma direta ou indireta ajudaram com seus meios, palavras, desejos e conhecimentos para o sucesso deste trabalho.

Kotamala Vantxene (Muito Obrigado)

Índice Geral

ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE QUADROS	XII
LISTA DE EQUAÇÕES/FÓRMULAS	XIV
LISTA DE SIGLAS/ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS	XV
RESUMO	XVII
ABSTRACT	XIX
INTRODUÇÃO	1
Objeto e Problema de Investigação	1
Objetivos da tese	5
Hipóteses	5
Justificativa	8
CAPÍTULO 1: SUSCETIBILIDADE E EXPOSIÇÃO AO PERIGO DE RAVINAMENTO – ESTADO DA ARTE	13
1.1 Modelo Conceptual do Risco	13
1.2 Discussão dos principais conceitos	15
1.2.1 A suscetibilidade	15
1.2.2 Exposição	16
1.2.3 A vulnerabilidade social	18
1.2.4 Indicadores da vulnerabilidade social	20
1.2.4.1 Idade	21
1.2.4.2 Género	21
1.2.4.3 Raça e etnia	21
1.2.4.4 Estatuto Sócio-económico	22
1.2.4.5 Educação	22
1.2.4.6 Dependência social	23
1.2.4.7 Ocupação	23
1.2.4.8 Necessidades especiais específicas	23
1.3 Erosão do solo e ravinamento	23
1.3.1 Relevância do estudo da erosão por ravinamento	23
1.3.2 Formação e Classificação das ravinas	26
1.3.2.1 Formação das ravinas	26
1.3.2.2 Tipos de ravinas	29
1.3.3 Impactos da erosão por ravinamento	31

1.3.4	Fatores da ocorrência das ravinas	32
1.3.4.1	Topografia	32
1.3.4.2	Características e cobertura do solo	33
1.3.4.3	Mudanças no uso de terra	34
1.3.4.4	Precipitação	34
1.4	Métodos para avaliação da suscetibilidade à erosão hídrica	35
1.4.1	<i>Universal Soil Loss Equation (USLE), Modified Universal Soil Loss Equation (USLE M), Modified-Modified Universal Soil Loss Equation (USLE MM) e Revised Universal Soil Loss Equation.</i>	37
1.4.2	<i>Chemical, Runoff and Erosion for Agricultural Management System – CREAMS</i>	38
1.4.3	<i>Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation (ANSWERS)</i>	38
1.4.4	<i>European Soil Erosion Model - EuroSEM</i>	39
1.4.5	<i>Water Erosion Prediction Project Model (WEPP)</i>	39
1.4.6	<i>Limburg Soil Erosion Model (LISEM)</i>	40
1.4.7	<i>Unit Stream Power-based Erosion Deposition (USPED)</i>	40
1.4.8	<i>SIMWE SIMulated Water Erosion</i>	41
1.4.9	<i>Soil and Water Assessment Tool (SWAT)</i>	41
1.4.10	<i>Water and Tillage Erosion Model and Sediment Delivery Model (WaTEM/SEDEM)</i>	41
1.4.11	<i>Morgan-Morgan Finney Model (MMF)</i>	42
1.4.12	<i>Pan European Soil Erosion Risk Assessment (PESERA)</i>	42
1.5	O Quadro Normativo e Políticas Públicas para a Redução do Risco de Desastres em Moçambique	43
CAPÍTULO 2: ENQUADRAMENTO DA CIDADE DE NACALA		47
2.1	Localização geográfica e divisão administrativa	47
2.2	Geologia	48
2.3	Geomorfologia	54
2.3.1	Planícies, Terraços Flúvio-marinhos e Depósitos de Piemonte (Superfícies Rebaixadas do Cenozóico - Quaternário).	54
2.3.2	Plataforma Litoral talhada nas rochas do Cretácico Inferior.	56
2.3.3	Depressões e colinas dos interflúvios de rochas Pré-Cambrianas	57
2.4	Solos e erosão hídrica	57
2.5	Clima	66
2.6	Hidrografia	69
2.7	Vegetação	71
2.8	População da cidade de Nacala	71
CAPÍTULO 3: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E DADOS DE BASE		75
3.1	Metodologia para o levantamento do perfil dos principais riscos em Moçambique	78
3.2	Metodologia para avaliação da suscetibilidade a erosão por ravinamentos	79
3.2.1	Determinação da Unidade de Terreno	80

3.2.2	Mapeamento da variável dependente (cabeceiras e canais erosivos)	81
3.2.3	Identificação, classificação e cartografia dos fatores de predisposição	83
3.2.3.1	Declive	86
3.2.3.2	Exposição das vertentes	88
3.2.3.3	Índice de Humidade (Wetness)	90
3.2.3.4	Índice de Posição Topográfica (TPI)	93
3.2.3.5	Acumulação do fluxo	95
3.2.3.6	Curvatura em perfil	97
3.2.3.7	Curvatura em plano	99
3.2.4	Avaliação das relações estatísticas entre o conjunto de fatores de predisposição e a variável dependente	101
3.2.5	Classificação da área de estudo de acordo com o grau de suscetibilidade	103
3.2.6	Validação dos modelos de suscetibilidade relativamente ao seu ajustamento aos dados de entrada e à sua capacidade preditiva	106
3.3	Metodologia para avaliação da exposição à erosão por ravinamento na cidade de Nacala	110
3.4	Metodologia para avaliação da vulnerabilidade social	112
3.4.1	Área de estudo e aspetos gerais	112
3.4.2	Desenho da Amostra do Inquérito aos agregados familiares nos bairros de Mocone e Ontupaia	114
3.4.3	Características do inquérito	115
CAPÍTULO 4: PERFIL DE RISCOS EM MOÇAMBIQUE		119
4.1	Principais ocorrências de desastres em Moçambique	120
4.1.1	Cheias e inundações	122
4.1.2	Ciclones	126
4.1.3	Secas	129
4.2	Perfil de risco na cidade de Nacala	133
4.2.1	Ciclones tropicais	135
4.2.2	Cheias e inundações	137
4.2.3	Erosão dos solos	137
4.3	Algumas considerações sobre o perfil de riscos em Moçambique	139
CAPÍTULO 5: AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO POR RAVINAMENTO NA CIDADE DE NACALA		141
5.1	Relação entre fatores de predisposição e o inventário da variável dependente (cabeceiras e canais erosivos)	141
5.2	Modelação da suscetibilidade	148
5.2.1	Valor Informativo das classes dos fatores de predisposição	149
5.2.2	Mapeamento da suscetibilidade e validação dos modelos	153
5.2.2.1	Modelo 1: Inventário completo de cabeceiras	153
5.2.2.2	Modelo 2: Grupo de cabeceiras A	156
5.2.2.3	Modelo 3: Grupo de cabeceiras B	159
5.2.2.4	Modelo 4: Inventário completo de canais erosivos	162

CAPÍTULO 6: AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO AOS RAVINAMENTOS NA CIDADE DE NACALA 171

6.1	Estatísticas municipais de ocupação do solo	171
6.2	Evolução da exposição em bairros amostrais na área de estudo	174
6.2.1	Evolução da exposição no bairro de Triangulo	174
6.2.2	Evolução da exposição no bairro de Mocone	179
6.2.3	Evolução da exposição no bairro de Matola	183
6.2.4	Evolução da exposição no bairro de Ontupaia	189
6.3	Análise comparativa da evolução da exposição nos bairros de Triângulo, Mocone, Matola e Ontupaia	194
6.4	Elementos expostos estratégicos, vitais e sensíveis	199

CAPÍTULO 7: AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SOCIAL NA CIDADE DE NACALA 205

7.1	Bairro de Mocone	205
7.1.1	Estrutura da População	205
7.1.2	Perfil Educacional	206
7.1.3	Situação ocupacional dos agregados	207
7.1.4	Situação Habitacional	208
7.1.5	Perceção do risco de erosão	210
7.1.6	Medidas de Mitigação do risco de erosão	211
7.2	Bairro de Ontupaia	212
7.2.1	Estrutura da População	212
7.2.2	Perfil Educacional	213
7.2.3	Situação ocupacional dos agregados	214
7.2.4	Situação Habitacional	215
7.2.5	Perceção do risco de erosão	217
7.2.6	Medidas de Mitigação do risco de erosão	218
7.3	Análise comparativa e discussão da Vulnerabilidade nos dois bairros amostrais	219
7.3.1	Estrutura da População	219
7.3.2	Perfil Educacional	220
7.3.3	Situação ocupacional dos agregados	223
7.3.4	Situação Habitacional	224
7.3.5	Perceção do risco de erosão	227
7.3.6	Medidas de Mitigação do risco de erosão	228

CONSIDERAÇÕES FINAIS 231

Perspetivas para pesquisas no futuro 237

Possibilidades de Aplicação Prática do Estudo 238

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Modelo Conceptual do Risco (adaptado de Zêzere et al., 2006)	14
Figura 1.2: Fases de desenvolvimento duma ravina numa encosta, extraído de Morgan 2005, citando Leopold et al. 1964.....	28
Figura 2.1: Enquadramento geográfico da área de estudo	47
Figura 2.2: Mapa da tectónica regional do Sudeste de África, localizando o Cinturão de Moçambique. Mapa adaptado de (Hanson, 2003 em Cronwright, 2005).....	49
Figura 2.3: Reconstrução do Gondwana. Fonte: GTK Consortium, 2006b	50
Figura 2.4: Principais unidades geológicas do nordeste de Moçambique (Bingen et al.,2007).	51
Figura 2.5: Extrato geológico da porção nordeste de Moçambique (Grau-Quadrado 1440) Fonte: Mapa Geológico de Moçambique (1:1.000.000), DNG (1987)	53
Figura 2.6: Ocupação residencial em área declivosa no bairro de Triangulo, cidade de Nacala, foto tirada em Setembro de 2016.....	56
Figura 2.7: Uma área retalhada por ravina de erosão na área de estudo	57
Figura.2.8: Sistema de Classificação Taxonómica de Solos Sul-africano (Mac Vicar et al, 2ª edição, 1991).....	58
Figura 2.9: Remoção de sedimentos provenientes do escoamento e acumulação na via de acesso no bairro do Triangulo (foto tirada pelo autor em 23 de fevereiro de 2017).....	60
Figura 2.10: Mapa de Exposição aos eventos climáticos, USAID, 2018.....	62
Figura 2.11: Mapa de sensibilidade climática, USAID, 2018.	63
Figura 2.12: Capacidade de adaptação aos eventos climáticos, USAID, 2018	64
Figura 2.13: Vulnerabilidade aos eventos climáticos, USAID, 2018	65
Figura 2.14: Precipitação e de temperatura média mensal em Nacala com base na Estação Meteorológica de Lumbo (INAM dados de 1979 a 2008)	68
Figura 2.15: Risco de ocorrência de ciclones por distrito, ao longo da costa norte de Moçambique, Impacto (2012).....	69
Figura 2.16: Rede hidrográfica da cidade de Nacala	70
Figura 2.17: Evolução da população na cidade de Nacala nos três últimos Censos, INE, 2017.....	72
Figura 2.18: Densidade populacional por bairro na cidade de Nacala	74
Figura 3.1: Esquema da metodologia utilizada para elaboração da tese.....	77
Figura 3.2: Inventário das cabeceiras e canais erosivos na área de estudo, delimitados com base em registos GPS.....	82
Figura 3.3: Mapas temáticos dos fatores de predisposição utilizados na avaliação da suscetibilidade a erosão por ravinamento	85
Figura 3.4: Declives classificados da área de estudo.....	87
Figura 3.5: Exposição das vertentes da área de estudo.....	89
Figura 3.6: Índice de humidade classificada da área de estudo.....	92
Figura 3.7: Índice de Posição Topográfica classificado da área de estudo	94
Figura 3.8: Acumulação do fluxo classificado da área de estudo.....	96
Figura 3.9: Curvaturas em Perfil (Buckley, 2010).	98
Figura 3.10: Curvatura em perfil classificada da área de estudo.	98
Figura 3.11: Curvaturas em Plano (Buckley, 2010).	100
Figura 3.12: Curvatura em plano classificada da área de estudo	100
Figura 3.13: Grupos de Modelação e Validação das cabeceiras de erosão	105

Figura 3.14: Matriz de suscetibilidade final da erosão por ravinamentos resultantes da combinação da combinação da suscetibilidade das cabeceiras e da suscetibilidade dos canais erosivos	106
Figura 3.15: Definição gráfica de uma curva de Sucesso ou de Predição (adaptado a partir de Guillard e Zêzere, 2012)	108
Figura 3.16: Bairros da cidade de Nacala onde foi efetuada avaliação da exposição.....	111
Figura 3.17: Bairros da cidade de Nacala onde foi efetuada avaliação da Vulnerabilidade Social.....	114
Figura 3.18: Questionário administrado aos residentes da amostra na avaliação da vulnerabilidade social a erosão por ravinamento na cidade de Nacala.....	117
Figura 4.1: Tipos de riscos com ocorrência em Moçambique.....	120
Figura 4.2: Ocorrências de desastres em Moçambique (1980-2017) (Fonte: EM-DAT: The Emergency Events Database - Universite catholique de Louvain (UCL) CRED, D. Guha-Sapir - www.emdat.be , Brussels, Belgium)	121
Figura 4.3: Principais bacias hidrográficas de Moçambique (Fonte: http://www.cobagroup.com/NOTICIAS/arq_2015/arquivo_2015_PT.html)	123
Figura 4.4: Ocorrência de cheias progressivas por província em Moçambique no período 1980-2012 (Fonte: Desinventar, disponível em https://www.desinventar.net/index.html)	124
Figura 4.5: Ocorrência de cheias progressivas em Moçambique no período 1980-2012 (Fonte: Desinventar, disponível em https://www.desinventar.net/index.html)	125
Figura 4.6: Ocorrência de ciclones por província em Moçambique no período 1980-2012 (Fonte: Desinventar, disponível em https://www.desinventar.net/index.html)	127
Figura 4.7: Ocorrência de ciclones em Moçambique no período 1980-2012 (Fonte: Desinventar, disponível em https://www.desinventar.net/index.html)	128
Figura 4.8: Ciclones que atingiram a costa Moçambicana no período 1980-2017 (Fonte: CM, 2017 baseado em dados da EM-DAT).....	129
Figura 4.9: Ocorrência de secas por província em Moçambique no período 1980-2012 (Fonte: Desinventar, disponível em https://www.desinventar.net/index.html)	131
Figura 4.10: Ocorrência de secas em Moçambique no período 1980-2012 (Fonte: Desinventar, disponível em https://www.desinventar.net/index.html)	132
Figura 4.11: Sumário de desastres ocorridos na cidade de Nacala no período 1989-2017, mostrando a quase sistemática ocorrência de erosão a partir de 1994 (Fonte: Sistematização dos dados da Desinventar e Relatórios do INGC/CENOE E CMCN).....	135
Figura 4.12: Informação sobre erosão em Nacala destacada nos órgãos de informação Fonte: Portais dos Jornais Verdade, VOA, Folha de Maputo.	138
Figura 4.13: Área de erosão acentuada com habitações desordenadas no bairro de Triângulo (foto tirada pelo autor 26.09.2016).....	139
Figura 4.14: Uso de gabiões para contenção da erosão (foto tirada pelo autor 23.02.2016).	139
Figura 5.1: Modelo 1 de suscetibilidade desenvolvido com base na totalidade das cabeceiras da área de estudo.....	154
Figura 5.2: Curva de sucesso do modelo 1 de suscetibilidade desenvolvido com base na totalidade das cabeceiras da área de estudo	155
Figura 5.3: Modelo 2 de suscetibilidade desenvolvido a partir do grupo A de cabeceiras, geradas por partição aleatória do inventário de cabeceiras da área de estudo.....	157
Figura 5.4: Curvas de sucesso e de predição do modelo 2 de suscetibilidade, desenvolvido a partir do grupo A de cabeceiras, geradas por partição aleatória do inventário de cabeceiras da área de estudo.....	158

Figura 5.5: Modelo 3 de suscetibilidade desenvolvido a partir do grupo B de cabeceiras, gerado por partição aleatória do inventário de cabeceiras da área de estudo.....	160
Figura 5.6: Curvas de sucesso e de predição do modelo 3 de suscetibilidade, desenvolvido a partir do grupo B de cabeceiras, gerado por partição aleatória do inventário de cabeceiras da área de estudo	161
Figura 5.7: Modelo 4 de suscetibilidade desenvolvido com base na totalidade dos canais erosivos da área de estudo.....	163
Figura 5.8: Curva de sucesso do modelo 4 de suscetibilidade, desenvolvido com base na totalidade dos canais erosivos da área de estudo	165
Figura 5.9: Modelo 5 de suscetibilidade à erosão de ravinamento na área de estudo.....	168
Figura 6.1: Território solicitado para construção segundo o tipo de uso no Município de Nacala entre 2004 e 2016 (fonte CMCN, 2017.)	172
Figura 6.2: Novas ocupações do solo no período 2004-2016, por tipologia de uso, no Município de Nacala (fonte CMCN, 2017.).....	173
Figura 6.3: Áreas construídas no bairro Triângulo em 2005 e 2017	174
Figura 6.4: Suscetibilidade à erosão no bairro de Triângulo e áreas construídas em 2005 e 2017.....	177
Figura 6.5: Novas áreas ocupadas (hectares) no Bairro de Triangulo entre 2004 e 2016, segundo registos do CMCN.....	178
Figura 6.6: Áreas construídas no bairro Mocone em 2005 e 2017	179
Figura 6.7: Suscetibilidade à erosão no bairro de Mocone e áreas construídas em 2005 e 2017.....	182
Figura 6.8: Novas áreas ocupadas (hectares) no Bairro de Mocone 2004-2016, segundo registos do CMCN	183
Figura 6.9: Áreas construídas no bairro Matola em 2005 e 2017.....	184
Figura 6.10: Suscetibilidade à erosão no bairro de Matola e áreas construídas em 2005 e 2017	185
Figura 6.11: Novas áreas ocupadas (hectares) no Bairro de Matola 2004-2016, segundo registos do CMCN	188
Figura 6.12: Áreas construídas no bairro Ontupaia em 2005 e 2017	189
Figura 6.13: Suscetibilidade à erosão no bairro de Ontupaia e áreas construídas em 2005 e 2017.....	190
Figura 6.14: Novas áreas ocupadas (hectares) no Bairro de Ontupaia 2004-2016, segundo registos do CMCN	193
Figura 6.15: Vertente perigosa sujeita a ravinamento no bairro de triângulo onde começam a surgir casas com material convencional circuladas a vermelho (foto tirada pelo autor em 26-09-2016).....	197
Figura 6.16: Evolução temporal dos registos pelo conselho municipal de áreas ocupadas nos quatro bairros amostrais.....	198
Figura 6.17: Exposição de equipamentos estratégicos, vitais e sensíveis	200
Figura 7.1: Nível de Escolaridade dos chefes dos agregados familiares no bairro de Mocone	206
Figura 7.2: Ocupação dos chefes dos agregados familiares no bairro de Mocone.....	207
Figura 7.3: Avaliação dos acessos por parte dos chefes dos agregados familiares no bairro de Mocone.....	211
Figura 7.4: Nível de Escolaridade dos chefes dos agregados familiares no Bairro de Ontupaia.....	213
Figura 7.5: Ocupação dos chefes dos agregados familiares no bairro de Ontupaia.....	214

Figura 7.6: Avaliação dos acessos feita pelos chefes dos agregados familiares no bairro de Ontupaia.....	218
Figura 7.7: Distribuição etária dos chefes dos agregados familiares nos dois bairros estudados	220
Figura 7.8: Nível de escolaridade dos chefes dos agregados familiares nos dois bairros estudados	221
Figura 7.9: Ocupação dos chefes dos agregados familiares nos dois bairros estudados....	223
Figura 7.10: Tipo de Residência nos dois bairros estudados	225
Figura 7.11: Área ocupada pelas residências nos dois bairros estudados.....	226
Figura 7.12: Avaliação dos acessos feita pelos chefes dos agregados familiares nos dois bairros estudados	228

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1.1: Classificação das ravinas segundo Zachar, 1982, Leopold et al., (1964: 450 apud Bergonse (2014, p.18)	30
Quadro 1.2: Relação de modelos e respetivas referências (baseado em Gayen et al., 2019)	36
Quadro 2.1: Bairros integrantes dos Postos Administrativos de Muanona e Mutiva.....	48
Quadro 2.2: Dados de precipitação dos registos do INAM para um período de 30 anos (1987-2016), na estação de Lumbo	67
Quadro 2.3: Distribuição da população por bairro, Censo 2007	73
Quadro 3.1: Freqüências absolutas e relativas das classes de declive na área de estudo...	88
Quadro 3.2: Freqüências absolutas e relativas das classes de exposição na área de estudo	90
Quadro 3.3: Freqüência absolutas e relativas de classes do índice de humidade na área de estudo.....	93
Quadro 3.4: Freqüências absolutas e relativas das classes do índice de posição topográfica na área de estudo.....	95
Quadro 3.5: Freqüência absolutas e relativas das classes da acumulação de fluxo na área de estudo	97
Quadro 3.6: Freqüências absolutas e relativas das classes da curvatura em perfil na área de estudo.....	99
Quadro 3.7: Freqüências absolutas e relativas das classes da curvatura em plano na área de estudo	101
Quadro 3.8: Classificação da qualidade dos modelos preditivos em função da AAC (adaptado de Ribeiro, 2016)	109
Quadro 3.9: Universo populacional segundo total de agregados familiares dos dois bairros amostrais	115
Quadro 4.1: Locais de risco de seca segundo o plano nacional de combate a desertificação, MICOA, 2004.....	130
Quadro 4.2: Dados das ocorrências de desastres na cidade de Nacala no período 1989-2017 (Fonte: Sistematização dos dados da Desinventar e Relatórios do INGC/CENOE E CMCN).	134
Quadro 5.1: Distribuição das cabeceiras e canais erosivos nas classes do declive	142
Quadro 5.2: Distribuição das cabeceiras e canais erosivos nas classes da exposição	143
Quadro 5.3: Distribuição das cabeceiras e canais erosivos nas classes do índice de humidade	144
Quadro 5.4: Distribuição das cabeceiras e canais erosivos nas classes do índice de posição topográfica	145
Quadro 5.5: Distribuição das cabeceiras e canais erosivos nas classes da acumulação do fluxo	146
Quadro 5.6: Distribuição das cabeceiras e canais erosivos nas classes da curvatura em perfil	147
Quadro 5.7: Distribuição das cabeceiras e canais erosivos nas classes da curvatura em plano	147
Quadro 5.8: Síntese dos modelos de suscetibilidade de base estatística (Valor Informativo) desenvolvidos com as cabeceiras de ravina e canais erosivos da área de estudo	148

Quadro 5.9: Valores Informativos obtidos para as classes dos fatores condicionantes nos modelos de suscetibilidade à ocorrência de cabeceiras de erosão (modelos 1, 2 e 3) e de canais erosivos (modelo 4) na área de estudo.....	150
Quadro 5.10: Distribuição (%) das classes de suscetibilidade à erosão por ravinamento (modelo 5) nos bairros da área de estudo.....	169
Quadro 6.1: Áreas construídas por classes de suscetibilidade, no bairro de Triângulo	176
Quadro 6.2: Áreas construídas por classes de suscetibilidade, no bairro de Mocone.....	180
Quadro 6.3: Áreas construídas por classes de suscetibilidade, no bairro de Matola.....	187
Quadro 6.4: Áreas construídas por classes de suscetibilidade, no bairro de Ontupaia.....	192
Quadro 6.5: Distribuição de área ocupada por cada classe de suscetibilidade nos bairros estudados	194
Quadro 6.6: Crescimento urbano por cada classe de suscetibilidade nos bairros estudados entre 2005 e 2017	196
Quadro 6.7: Exposição dos equipamentos educacionais por classes de suscetibilidade	201
Quadro 6.8: Exposição de outros equipamentos estratégicos, vitais e sensíveis por classes de suscetibilidade	202
Quadro 7.1: Distribuição dos chefes dos agregados familiares por grupos de idade e género no bairro de Mocone	206
Quadro 7.2: Nível de escolaridade por género dos chefes dos agregados familiares no bairro de Mocone.....	207
Quadro 7.3: Ocupação em relação ao género dos chefes dos agregados familiares no bairro de Mocone.....	208
Quadro 7.4: Tipo de Residência no bairro de Mocone.....	208
Quadro 7.5: Relação entre ocupação dos chefes dos agregados familiares e tipo de residência no bairro de Mocone.....	209
Quadro 7.6: Relação entre tipo de residência e área ocupada no bairro de Mocone.....	210
Quadro 7.7: Avaliação da erosão por parte dos chefes dos agregados familiares no bairro de Mocone.....	211
Quadro 7.8: Ações de intervenção por parte dos chefes dos agregados familiares no bairro de Mocone.....	212
Quadro 7.9: Distribuição dos chefes dos agregados familiares por grupos de idade e género Ontupaia.....	213
Quadro 7.10: Nível de escolaridade por género dos chefes dos agregados familiares no bairro de Ontupaia.....	214
Quadro 7.11: Ocupação em relação ao género dos chefes dos agregados familiares no bairro de Ontupaia.....	215
Quadro 7.12: Tipo de Residência no bairro de Ontupaia.....	216
Quadro 7.13: Relação entre ocupação dos chefes dos agregados familiares e tipo de residência no bairro de Ontupaia.....	216
Quadro 7.14: Relação entre tipo de residência e área ocupada no bairro de Ontupaia.....	217
Quadro 7.15: Avaliação da erosão por parte dos chefes dos agregados familiares no bairro de Ontupaia	218
Quadro 7.16: Ações de intervenção por parte dos chefes dos agregados familiares no bairro de Ontupaia	219
Quadro 7.17: Ações de intervenção por parte dos chefes dos agregados familiares nos dois bairros estudados	229

LISTA DE EQUAÇÕES/FÓRMULAS

Número	Sigla	Designação
Equação 1	<i>Eq.1</i>	<i>Inverse of Topographic Wetness Index (ITWI)</i>
Equação 2	Eq.2	Valor Informativo da variável independente <i>X_i</i>
Equação 3	Eq.3	Valor Informativo da Unidade do Terreno
Equação 4	Eq.4	Equação do cálculo da AAC

LISTA DE SIGLAS/ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

Acronimo/Sigla	Significado
AAC	Área Abaixo da Curva
AGNPS	A Non-Source Pollution Model
ANSWERS	Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation
CMCN	Conselho Municipal da Cidade de Nacala
CREAMS	Chemical Runoff and Erosion for Agricultural Management System (Escoamento Químico e Erosão para Gestão do Sistema Agrícola)
CRED-EM-DAT	Emergency Events Database
DNA	Direção Nacional de Águas
DNG	Direção Nacional de Geologia
EDM	Electrecidade de Moçambique
EPIC	Erosion Productivity Impact Calculator (calculadora de Impacto da Produtividade em Erosão)
EuroSEM	European Soil Erosion Model (Modelo Europeu de Erosão dos solos)
FAO	Food and Agriculture Organization
FIPAG	Fundo de Investimento e Património do Abastecimento de Água
INAM	Instituto Nacional de Meteorologia
INE	Instituto Nacional de Estatísticas
INGC	Instituto Nacional de Gestão de Calamidades
LISEM	Modelo de erosão de solos de Limburgo usado para a quantificação do estado da erosão
MDT	Modelo Digital do Terreno (MDT)
MMF	Morgan-Morgan Finney Model
MUSLE	Equação Universal de Perda de Solo Modificada
OIM	Organização Internacional de Migração
OMS	Organização Mundial da Saúde
PDPMCN	Plano Diretor de Prevenção e Mitigação das Calamidades Naturais
PESERA	Pan European Soil Erosion Risk Assessment
PGU	Planos Gerais de Urbanização
PP	Planos de Pormenor
PPU	Planos Parciais de Urbanização
RUSLE	Equação Universal de Perda de Solo Revista
SedNet	Sediment and River Network Model
SFDRR	Quadro de Sendai para a Redução de Desastres
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
TPI	Índice de Posição Topográfica
UNDRO	United Nations Disaster Relief Coordinator
UNFPA	Fundo das Nações Unidas para População
UN-Habitat	Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos
UNICEF	Fundo das Nações Unidas para a Infância
UNU-EHS	United Nations University - Institute for Environment and Human Security
USLE	Equação Universal de Perda de Solo
USPED	Unit Stream Power-based Erosion Deposition
WaTEM/SEDEM	Water and Tillage Erosion Model and Sediment Delivery Model

WEPP
WHO
WMO

Water Erosion Prediction Project Model
World Health Organization
World Meteorological Organization

RESUMO

Esta tese avaliou suscetibilidade, exposição e vulnerabilidade aos ravinamentos na Cidade de Nacala em Moçambique. O levantamento das principais ocorrências permitiu a elaboração dum perfil de risco da cidade de Nacala. A análise da ocupação territorial conduziu a avaliação da exposição, e a vulnerabilidade social foi avaliada mediante a análise das características da população em dois bairros amostrais.

A avaliação da suscetibilidade aos ravinamentos foi baseada no método de Valor Informativo considerando o inventário completo das cabeceiras (modelo 1), metade das cabeceiras separadas em grupo A e grupo B e procedendo a validação independente cruzada (modelos 2 e 3) e o inventário completo de canais erosivos (modelo 4). O mapa de suscetibilidade final para a área de estudo (modelo 5) resulta da combinação da suscetibilidade à ocorrência de cabeceiras erosivas com a suscetibilidade de desenvolvimento de canais erosivos. A validação dos 4 modelos do Valor Informativo resultou em área abaixo das curvas de sucesso relativamente elevadas, entre 0,800 (modelo 4) e 0,851 (modelo 3). No entanto, a capacidade preditiva dos modelos validados de modo independente apresenta resultados mais modestos e mais realistas, avaliados pelas taxas de predição dos modelos 2 e 3 (0,663 e 0,777, respetivamente). A análise da relação entre a distribuição espacial das cabeceiras e ravinas na cidade de Nacala e dos seus fatores condicionantes mostrou que esta não é aleatória. O modelo 5 evidencia que os bairros mais antigos na envolvente do núcleo central da cidade são mais suscetíveis a erosão por ravinamento, em comparação com os bairros criados mais recentemente e considerados de expansão.

O crescimento urbano recente da cidade de Nacala tem resultado num incremento da exposição, caracterizado pela ocupação de áreas perigosas para fins habitacionais. Este facto regista-se com mais incidência nos bairros mais antigos que envolvem o núcleo central da cidade, sendo menos marcado em bairros mais recentes.

Por último, a análise comparada de dois bairros amostrais mostrou que as famílias com indicadores de vulnerabilidade social mais baixos residem no bairro com maior exposição ao risco de ravinamento, o que tenderá a agravar a sua condição de vulnerabilidade. Contudo, não é seguro que esta situação se verifique em toda a cidade de Nacala, sendo necessário o alargamento da análise aos restantes bairros

da cidade, de modo a confirmar uma eventual segregação territorial, onde os mais vulneráveis social e economicamente ocupam as áreas mais perigosas do território na cidade de Nacala.

Palavras-Chave: ravinamento, suscetibilidade, exposição, vulnerabilidade social, Nacala.

ABSTRACT

This thesis assessed susceptibility, exposure, and vulnerability to gully erosion in the City of Nacala in Mozambique. The survey of the main events allowed the elaboration of a risk profile for the city of Nacala. The analysis of territorial occupation led to the assessment of exposure, and social vulnerability was assessed by analysing the characteristics of the population in two neighbourhoods.

The assessment of susceptibility to gully erosion was based on the Informative Value method considering the complete gully head inventory (model 1), half of the gully heads separated into group A and group B and proceeding with cross-independent validation (models 2 and 3) and the complete inventory of gully channels (model 4). The final susceptibility map for the study area (model 5) results from the combination of the susceptibility to the occurrence of gully head and the susceptibility to the development of gully channels. The validation of the four Informative Value models resulted in an area under the success curve relatively high ranging from 0.800 (model 4) to 0.851 (model 3). However, the predictive capacity of independently validated models shows more modest and more realistic results, assessed by the prediction rates of models 2 and 3 (0.663 and 0.777, respectively). Model 5 shows that the older neighbourhoods along the central core of the city are more susceptible to gully erosion than those neighbourhoods recently created and in expansion.

The recent urban expansion of Nacala city has resulted in an increase in exposure, promoted by the occupation of dangerous areas for housing purposes. This fact is registered with greater incidence in the older neighborhoods that involve the central core of the city and is less marked in more recent neighborhoods.

Lastly, the comparative analysis of two sample neighborhoods showed that families with lower social vulnerability indicators live in the neighborhoods with the greatest exposure to the risk of gully erosion, which will tend to aggravate their condition of vulnerability. However, it is not certain that this situation will occur in the entire city of Nacala, and it is necessary to extend the analysis to the rest of the city, in order to

confirm an eventual territorial segregation, where the most socially and economically vulnerable occupy the most dangerous areas of the territory in the city of Nacala.

Key-Words: gullies, susceptibility, exposure, social vulnerability, Nacala.

INTRODUÇÃO

Objeto e Problema de Investigação

Moçambique é um país altamente vulnerável às mudanças climáticas classificando-se em 11º lugar dos países mais vulneráveis no mundo (Recha e Chiulele, 2017) e em 9º lugar em África (UNU-EHS, 2016). É o único país em África considerado de alto risco em cada um dos principais riscos climáticos: secas, inundações e ciclones costeiros (*UN-Habitat*, 2010). Localizado na costa sul-oriental do continente, o país possui atualmente 53 municípios e 143 distritos e está exposto a uma série de eventos climáticos extremos, incluindo secas, inundações, erosão e ciclones tropicais. Moçambique tem uma longa costa de cerca de 2700 km, com mais de 60% de sua população de cerca de 29 milhões a viver em áreas costeiras, expondo um grande número de pessoas à elevação do nível do mar e a eventos extremos como os ciclones tropicais.

O objeto do presente trabalho é a avaliação da suscetibilidade, exposição e vulnerabilidade à erosão por ravinamento na cidade de Nacala, na província moçambicana de Nampula. Trata-se de um objeto de estudo cuja autonomia está bem estabelecida na literatura, embora no âmbito da erosão do solo o ravinamento é o processo que possui uma maior variabilidade no que diz respeito à dimensão e configuração das formas resultantes e à componente temporal da sua ocorrência (Bergonse, 2014).

No âmbito desta tese, ravinas são canais fundos e longos, assumindo pequenas ou grandes dimensões quer em largura, quer em profundidade, resultantes do aumento das dimensões do raio hidráulico e do perímetro molhado dos sulcos através da ação progressiva da concentração do escoamento, que promove o desprendimento de material no seu leito e taludes ou pela consolidação de sulcos que não são eliminados pelas práticas agrícolas.

O risco de erosão constitui atualmente um dos maiores desafios das cidades moçambicanas. Com a tendência geral de crescimento na África Subsariana, Moçambique regista uma urbanização das mais rápidas na região, cujas escala e o âmbito exatos são difíceis de quantificar (*UN-Habitat*, 2014). Em 2005, Moçambique

estava entre os países menos urbanizados no Sul da África, mas atualmente esta tendência parece estar ultrapassada e espera-se que até 2025 venha a ser o quarto mais urbanizado da sub-região, com apenas Botswana, África do Sul e Angola a ter concentrações urbanas mais elevadas (UN-Habitat, 2014).

As cidades constituem um forte atrativo para concentração populacional em Moçambique pela existência de infraestruturas, serviços e potencialmente melhores condições de habitabilidade e emprego. Contudo, a oferta limitada de terra, o alto custo de vida e a falta de políticas efetivas de ordenamento territorial e de habitação para responder ao crescimento populacional resultam no surgimento de bairros assolados pela pobreza urbana, com infraestruturas predominantemente precárias e com uma grande densidade populacional (Cumbane, 2015) e grandes riscos ambientais, em que a erosão se afigura como um dos mais evidentes.

Atualmente em Moçambique cerca de 20 municípios têm uma população superior a 50.000 habitantes, com cinco com mais de 300.000 e a capital Maputo é a única com mais de um milhão de habitantes (INE, 2017). A par do crescimento populacional, os investimentos em termos de infraestruturas, como habitações, escolas e hospitais têm vindo a crescer nas cidades, como forma de resposta a demanda da cada vez mais população das cidades.

Adicionalmente, para além de serem os centros de consumo, as cidades desempenham um papel crítico no desenvolvimento do país, fornecendo transporte essencial para apoiar serviços para a agricultura, turismo e setores extractivistas, que são as principais fontes de riqueza do país. Neste contexto, as cidades de Moçambique representam um desafio de desenvolvimento significativo para o Governo, uma vez que são cada vez mais chaves para o crescimento económico e a redução da pobreza, através de uma combinação de melhores condições de vida urbana, uma plataforma mais competitiva para o investimento do sector privado e o aumento da produtividade de pessoas e bens (UN-Habitat, 2014).

No entanto, devido à sua exposição e níveis de crescimento, as cidades são vulneráveis a ameaças, tanto naturais como tecnológicas, que podem afetar seriamente não só a infraestrutura urbana, mas também os padrões locais de biodiversidade, a saúde e a vida das comunidades locais.

As cidades moçambicanas são particularmente vulneráveis a riscos de inundação e erosão. A degradação ambiental tem acelerado em muitas cidades devido ao desenvolvimento não planeado e uso indevido da terra, incluindo o crescimento de assentamentos residenciais de baixa renda em áreas perigosas, sem investimentos em infraestruturas associadas, o que acelera a vulnerabilidade dos residentes às ameaças, tanto naturais como tecnológicas. O estudo do Instituto Nacional de Gestão de Calamidades (INGC) evidenciou que as inundações, a erosão e os deslizamentos de terras estão aumentando as ameaças em muitas cidades e vilas, tanto no litoral, ao longo das bacias hidrográficas de importância económica e em corredores interiores (INGC, 2009).

Em termos de gestão territorial, as operações e manutenção de equipamentos urbanos e serviços públicos e gestão de ameaças são delegadas aos municípios ou empresas de serviços públicos e não existem claramente estabelecidos os mecanismos de gestão de risco ao nível urbano. Ao nível nacional, o INGC é responsável pela gestão de desastres, daí resulta que, na situação de ocorrência de um evento dentro duma cidade, não só deverão intervir as autoridades municipais, mas também o INGC, mediante a gravidade da ocorrência.

O quadro jurídico moçambicano mostra existirem preocupações para legislar, não só os riscos tecnológicos que estão devidamente regulados através Lei do Ambiente e decretos relacionados com o processo de Avaliação de Impacto Ambiental, mas também com riscos naturais, por exemplo com a aprovação da Estratégia Nacional de Mudanças Climáticas no ano de 2012 e a Lei que estabelece o regime jurídico da gestão das calamidades em 2014, compreendendo a prevenção, mitigação dos efeitos destruidores das calamidades, desenvolvimento de ações de socorro e assistência, bem como as ações de reconstrução e recuperação das áreas afetadas (Lei 15/2014 de 20 de Junho).

A cidade de Nacala, área de estudo desta tese, acolhe o maior porto de águas profundas de Moçambique. Pela sua localização geográfica, o porto é preferencial para o transporte de carga diversa proveniente de várias partes do mundo para as regiões do *hinterland*. Esta sua posição estratégica resultou na sua elevação a zona económica especial no ano de 2009. Com a construção do porto de Nacala-a-Velha e de um aeroporto internacional, projetos iniciados em 2012, Nacala passou a atrair

vários investimentos e entradas de muita população em resposta a grande demanda por mão-de-obra e provisão de bens e serviços.

Dados do Censo 2017 revelaram que Nacala tem 225.034 habitantes (INE, 2017), sendo na sua maioria residente nas zonas suburbanas e em áreas outrora classificadas pelas autoridades municipais como sendo áreas de risco e com proibição para construção.

A cidade de Nacala também tem registado um crescimento do parque industrial com indústrias do ramo de transformação e produção de bens e serviços, que se instalam como resultado das atrações fiscais da zona económica especial que Nacala possui, bem como pela facilidade de receção de matéria-prima, assim como do escoamento do produto final através do porto de Nacala. Em adição, a construção do ora mencionado porto em Nacala-a-Velha para escoamento do carvão produzido na província de Tete resultou num rápido crescimento de provedores de bens e serviços, cujo espaço preferencial de residência dos seus trabalhadores é a cidade de Nacala. Como resultado, a demanda por espaço para a construção de residências, muitas vezes de pessoas com baixa renda, culminou num processo de ocupação desordenada do território.

As características já referidas da cidade de Nacala determinam situações de exposição e vulnerabilidades particulares que precisam ser conhecidas e documentadas para sustentar uma correta gestão de riscos, porquanto o desenvolvimento ocorre. Pois, como referido por Julião *et al.*,(2009), num contexto diário em que os riscos naturais e tecnológicos condicionam a segurança, a qualidade do ambiente e a vida das populações, a identificação e o conhecimento detalhado desses riscos são fundamentais para a adoção de medidas adequadas de eliminação ou mitigação.

Neste contexto, a presente pesquisa procura avaliar o seguinte:

1. De que maneira a ocorrência da erosão por ravinamento se distribui na cidade de Nacala e que fatores condicionantes melhor explicam essa distribuição?
2. Como se pode caracterizar a evolução da exposição ao risco de erosão por ravinamento na cidade de Nacala?

3. Em que medida a vulnerabilidade social pode acentuar a exposição ao risco de erosão por ravinamento na cidade de Nacala?

Objetivos da tese

O objetivo geral da tese é avaliar o risco de erosão por ravinamento na cidade de Nacala. Em termos específicos pretende-se: i) descrever as formas e características da ocorrência da erosão por ravinamento; ii) avaliar a suscetibilidade à ocorrência de ravinamentos; iii) avaliar a evolução da exposição ao perigo de ravinamento; e iv) avaliar a vulnerabilidade social da população residente em dois bairros amostrais, na cidade de Nacala. A abordagem ao risco de ravinamento em Nacala é antecedida pela caracterização do perfil dos riscos em Moçambique, que tem como finalidade perceber qual é a importância do risco de erosão por ravinamento dentro do contexto dos riscos no país, tendo possibilitado o conhecimento das principais áreas de ocorrência deste perigo e dos seus principais impactos.

Hipóteses

Para esta tese fez-se o trabalho de campo que, num primeiro momento, permitiu observar a maneira como evoluiu a erosão por ravinamento e o nível de exposição, bem como o perfil social dos residentes em Nacala. O trabalho de campo mostrou que o tipo de erosão predominante na cidade de Nacala é o ravinamento. Feita a revisão bibliográfica, a pesquisa tentou responder à seguinte questão: “de que maneira a ocorrência da erosão por ravinamento se distribui na cidade de Nacala e que fatores condicionantes melhor explicam essa distribuição?”

Esta pergunta visava determinar os padrões de localização e distribuição das cabeceiras e ravinas observando os fatores que melhor explicam esses padrões. Conforme refere Bergonse (2014) “a evolução de uma ravina pode estender-se de forma descontínua ao longo de muitas centenas de anos e ser sujeita a fases marcadas por dinâmicas muito diferenciadas, nas quais uma variedade de fatores de controlo se conjuga de diferentes maneiras” (p.3).

A relevância da questão de estudo prende-se com o facto do conhecimento destes fatores, e a maneira como eles agem sobre a evolução das ravinas, poderem apoiar

na tomada de decisões sobre a elaboração dos planos e mecanismos do uso do solo, principalmente na cidade de Nacala, onde o crescimento urbano tem ocorrido muitas vezes em direção a áreas inseguras e propensas à ocorrência de erosão.

Com efeito, foi considerada como **primeira hipótese de investigação** a seguinte: H1 - “a distribuição espacial das cabeceiras e ravinas na cidade de Nacala não é aleatória, ela é condicionada por um conjunto de fatores estáticos (associados à natureza do terreno). Com o conhecimento dos fatores que condicionam a distribuição da ocorrência das cabeceiras de erosão e ravinas, usando o Método do Valor Informativo, é possível prever a localização de futuras ocorrências e determinar a importância relativa de cada fator na predição da ocorrência espacial dos eventos erosivos”.

Para a verificação desta hipótese, mostrou-se necessário fazer um levantamento de cabeceiras e ravinas na área de estudo. Adicionalmente é importante a derivação de fatores de predisposição do Modelo Digital do Terreno (MDT), uma vez que não está disponível cartografia geológica, de solos e de uso do solo a escalas adequadas para a modelação. Os fatores por gerar deverão incluir o declive (*slope*), a curvatura (*curvature*) e a exposição da vertente (*aspect*), o Índice de humidade (*wetness*) e o Índice de Posição Topográfica (*TPI*).

O uso do método do Valor Informativo (discutido no capítulo 3), justifica-se pela possibilidade que ele oferece em fazer a combinação entre a distribuição espacial das cabeceiras e ravinas (variáveis dependentes), com cada uma das classes dos fatores condicionantes (variáveis independentes). Ademais, trata-se dum método cuja eficácia foi demonstrada em estudos de análise espacial em que uma variável dependente binária (presença/ausência) se relaciona com um conjunto de variáveis condicionantes independentes, como é o caso da avaliação da incidência espacial de incêndios (Cumbane, 2015) e avaliação da suscetibilidade a movimentos de vertente (Yan, 1988; Yin & Yan, 1988; Zêzere, 1997; Pereira, 2009; Guillard & Zêzere, 2012).

A segunda pergunta desta tese foi colocada nos seguintes termos: “como se pode caracterizar a evolução da exposição ao risco de erosão por ravinamento na cidade de Nacala?”. Com esta questão procura-se avaliar como o processo de uso e ocupação do solo contribui para aumentar a exposição ao risco de erosão na cidade de Nacala. Nele procura-se saber “onde”, “como” e “quando” se efetuaram as grandes alterações

de uso do solo. Os procedimentos usados para responder a esta pergunta estão detalhados no capítulo 3.

A relevância desta pergunta deve-se ao facto das mudanças de uso do solo resultarem da interação no espaço e tempo de elementos biofísicos, socioeconómicos e demográficos. Tal como referem Rocha e Morgado (2007), toda e qualquer mudança tem implicações sobre as restantes variáveis que compõem diferentes sistemas. No caso específico da cidade de Nacala, houve um conjunto de mudanças ao longo do tempo que resultaram em ocupações de áreas perigosas, inicialmente protegidas pelas autoridades municipais.

Assim, foi considerada como **segunda hipótese de investigação** a seguinte: H2- “o crescimento urbano recente da cidade de Nacala tem resultado num incremento da exposição, que se caracteriza pela ocupação para fins habitacionais de áreas perigosas, nos bairros mais antigos em redor ao núcleo central da cidade”.

Para testar esta hipótese foi necessário compreender o processo de alteração da paisagem com base na utilização da deteção remota e métodos matemáticos com base geográfica (Rocha e Morgado, 2007). Com efeito, através de imagens do *Google Earth*, podem-se mostrar evidências de realidades passadas e atuais na dinâmica de ocupação do território e conseqüente na exposição na cidade de Nacala num horizonte temporal de 12 anos (2005-2017).

Para aferir o nível de exposição foram demarcadas com base em imagens do *Google Earth* as áreas ocupadas por edificações nos dois períodos de referência e o correspondente processo metodológico encontra-se detalhado no capítulo 3.

A terceira questão da tese tem um cunho social e foi colocada nos seguintes termos: “em que medida a vulnerabilidade social pode acentuar a exposição ao risco de erosão por ravinamento na cidade de Nacala?” Esta questão reveste-se de importância no sentido de poder auxiliar na compreensão da vulnerabilidade social característica da área de estudo. Trata-se de fazer uma adaptação do índice de vulnerabilidade social (Cutter, Boruff e Shirley, 2003), para quantificar a vulnerabilidade social em dois bairros de amostra.

A aplicabilidade do índice de vulnerabilidade social foi demonstrada em vários trabalhos com algumas adaptações em Portugal, sendo de destacar o trabalho de Guillard-

Gonçalves *et al.*, (2014) que o usam para a delimitação das zonas de riscos naturais da Grande Lisboa. Noutro contexto, Mendes *et al.* (2011) determinou o índice de vulnerabilidade social para perigos naturais e tecnológicos para todas os municípios da região central de Portugal. Em Moçambique, Cumbane (2015) aplicou a vulnerabilidade social para analisar a propensão das populações e território do Município de Maputo para a exposição ao risco de incêndios urbanos e a sua capacidade para responder e evitar consequências em caso de ocorrência deste tipo de perigo. A aplicação do índice de vulnerabilidade social em diversos locais é reconhecida por integrar a teoria, conceitualização e seleção de indicadores (Adger, 2006).

Assim, a **terceira hipótese de investigação** foi considerada nos seguintes termos: H3- “na cidade de Nacala as pessoas com indicadores de vulnerabilidade social mais baixos tendem a residir em áreas de maior exposição ao risco de ravinamento, o que agrava sua condição de vulnerabilidade”.

Para o estudo da vulnerabilidade social foram selecionados dois bairros amostra (*Mocone* e *Ontupaia*), onde a informação recolhida foi relacionada ao género; a idade; o nível de escolaridade; o acesso ao emprego; o número de pessoas por agregado familiar; tipo de material usado na construção da residência dos agregados; área total ocupada pela residência do agregado; nível de acessibilidade até a residência do agregado e percepção do risco de erosão.

Justificativa

A escolha do tema resulta do facto do problema de erosão estar evidente na cidade de Nacala e, embora existam muitas intervenções para reduzir os seus efeitos, ainda não existe nenhum estudo científico relevante que aborde a erosão na cidade, tentando compreender os principais fatores condicionantes. Em termos de referências existe apenas um estudo sobre controlo de erosão no bairro do Triângulo (Vahanne, 1997), com um carácter meramente descritivo do processo de recuperação do bairro.

A escolha da cidade de Nacala deve se a:

- Ser uma das cidades secundárias que tem registado maior evolução nos últimos tempos, depois da cidade da Matola;
- Ser uma das cidades que tem mais relatos de ocorrência de erosão reportados em todos os meios de comunicação social;
- Ser uma cidade onde já houve alguns projetos de intervenção ao nível do risco de erosão, mas os resultados não parecem ter efeitos desejados;
- Facilidade de acesso a informação por parte do autor, uma vez conhecer a realidade por ter trabalhado na área de estudo em dois projetos no âmbito do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento.

Em termos de sua relevância teórica, este trabalho poderá constituir-se como um primeiro estudo científico que trata da erosão a nível municipal, abordando tanto aspetos de natureza físico-natural como os contornos sociais do risco. Com efeito, espera-se que esta pesquisa contribua para o debate académico na temática de riscos urbanos e se abram mais oportunidades e interesse pelo estudo do risco de erosão ao nível urbano em Moçambique.

A inovação nesta tese está relacionada com a utilização do Método do Valor Informativo para avaliação da suscetibilidade à ocorrência de cabeceiras e ravinas, com base em fatores de predisposição derivados do Modelo Digital do Terreno, contrariamente a outras abordagens que se baseiam na combinação de fatores climáticos, orográficos, pedológicos e antrópicos de perda do solo.

A erosão tem sido uma preocupação das autoridades municipais e não existe um guião metodológico que tenha conceitos únicos e procedimentos que permitam a identificação, a caracterização e a avaliação metódica dos riscos, de modo a que possam ser inclusos nos instrumentos de ordenamento territorial. Com efeito, de ponto de vista prático, com este trabalho, espera-se contribuir para um processo que possa apoiar na elaboração dum guião metodológico para inclusão de risco de erosão nos instrumentos e políticas municipais de uso do solo.

Para que possa ter algum impacto e potencialmente ser usado, o trabalho final será partilhado junto do Conselho Municipal da Cidade de Nacala, Associação dos Municípios de Moçambique, Instituto Nacional de Gestão de Calamidades, Governo do Distrito de Nacala e Universidades baseadas na província de Nampula.

Para além desta introdução, a tese compreende 7 capítulos. O primeiro faz uma revisão da bibliografia existente. Partindo do modelo conceptual do risco, faz-se a discussão dos principais conceitos e caracteriza-se a erosão por ravinamento, tendo em conta a sua relevância no contexto da erosão dos solos, sua formação, tipos, características, fatores que contribuem para o seu surgimento e métodos para a sua avaliação.

O segundo capítulo caracteriza as condições ambientais de referência na área de estudo, mediante apresentação da localização e divisão administrativa, geologia, geomorfologia, hidrografia, vegetação, solos e características e dinâmica da população da cidade de Nacala.

O terceiro capítulo faz a apresentação da metodologia começando pela descrição do processo que levou ao levantamento do perfil dos principais riscos em Moçambique; posteriormente, faz-se a apresentação da metodologia utilizada na avaliação da suscetibilidade à erosão por ravinamento, da exposição e da vulnerabilidade social.

Os quatro capítulos seguintes são o reflexo dos objetivos específicos desta tese. Com efeito, o quarto capítulo apresenta o perfil dos riscos em Moçambique. Usando as bases de dados EM-DAT e *Desinventar*, o capítulo apresenta as principais ocorrências registadas em Moçambique e detalha um perfil mais específico da cidade de Nacala, onde é mostrada a importância relativa da erosão, quer em termos da sua abrangência e intensidade, bem como em termos dos principais impactos.

O capítulo cinco é dedicado à avaliação da suscetibilidade à erosão por ravinamento. Partindo de fatores de predisposição tais como declive, exposição de vertentes, posição topográfica, acumulação do fluxo, formas da vertente e curvaturas, são compostos quatro modelos de suscetibilidade com base no valor informativo dos fatores que condicionam a distribuição espacial das cabeceiras (modelos 1, 2 e 3) e canais (modelo 4) das ravinas. Os modelos são validados com taxas de sucesso e de predição e com o cálculo da área abaixo da curva e os seus desempenhos são comparados. O modelo final resulta de uma combinação dos dois modelos globais (modelos 1 e 4) através de uma matriz, com a definição de 5 classes de suscetibilidade (muito baixa, baixa, moderada, elevada e muito elevada).

O sexto capítulo faz a avaliação da exposição, com base na análise das estatísticas municipais de ocupação do solo que fornecem uma informação quantitativa de pedidos feitos para os diversos usos e a quantificação do espaço, num horizonte temporal de 12 anos. Os outros elementos expostos são identificados na área mediante uso do GPS e as suas localizações são sobrepostas ao mapa da suscetibilidade à erosão, o que permite avaliar a disposição dos elementos em cada uma das 5 classes de suscetibilidade. Posteriormente, recorrendo a imagens do *Google Earth*, em dois períodos distintos (2005-2017), é feita uma análise comparativa da exposição para quatro bairros amostrais da área de estudo.

O capítulo sete faz a avaliação da vulnerabilidade social em dois bairros amostrais da cidade de Nacala. A vulnerabilidade social é baseada em indicadores tais como estrutura da população, perfil educacional, ocupação, tipo de habitação e perceção que as pessoas têm do risco de erosão.

No final, apresentam-se as considerações finais, incluindo as principais conclusões e pistas para investigações futuras.

CAPÍTULO 1: SUSCETIBILIDADE E EXPOSIÇÃO AO PERIGO DE RAVINAMENTO – ESTADO DA ARTE

Este capítulo apresenta o modelo conceptual de risco e os conceitos fundamentais adotados nesta tese. A análise do risco de ravinamento nesta tese é feita numa perspectiva da suscetibilidade de ocorrência do processo, da exposição e da vulnerabilidade social dos elementos afetados. O tipo de erosão que se discute é aquele que tem maior expressão na área de estudo, que é a erosão por ravinamento. Partindo duma abordagem mais conceptual e metodológica da abordagem do risco, faz-se o desenho da perspectiva usada para a análise no município de Nacala em Moçambique.

1.1 Modelo Conceptual do Risco

O planeamento de emergência e contingência numa determinada área exige a avaliação dos riscos, baseada no conhecimento pleno das principais ocorrências passadas. A este respeito, Merz *et al.* (2013) referem que uma gestão efetiva e eficiente do risco exige o conhecimento e priorização dos processos perigosos com incidência territorial.

Para efeitos da presente tese, o conceito de risco baseia-se na clássica definição estabelecida na convenção internacional organizada pela *United Nations Disaster Relief Coordinator* (UNDRO, 1979) através da qual o risco é a expressão da possibilidade de ocorrência e a respetiva quantificação em termos de custos, de consequências gravosas, económicas ou mesmo para a segurança das pessoas, em resultado do desencadeamento de um fenómeno natural ou induzido pela atividade antrópica. Este conceito tem sido amplamente utilizado, sendo pertinente mencionar os trabalhos de Varnes (1984), Panizza (1990), Ramos e Reis (2001); Zêzere *et al.*, (2006); Julião *et al.*, (2009); Aven e Renn, (2009, 2010). A figura 1.1 apresenta o esquema sintético do modelo conceptual que serve de base na abordagem deste trabalho.

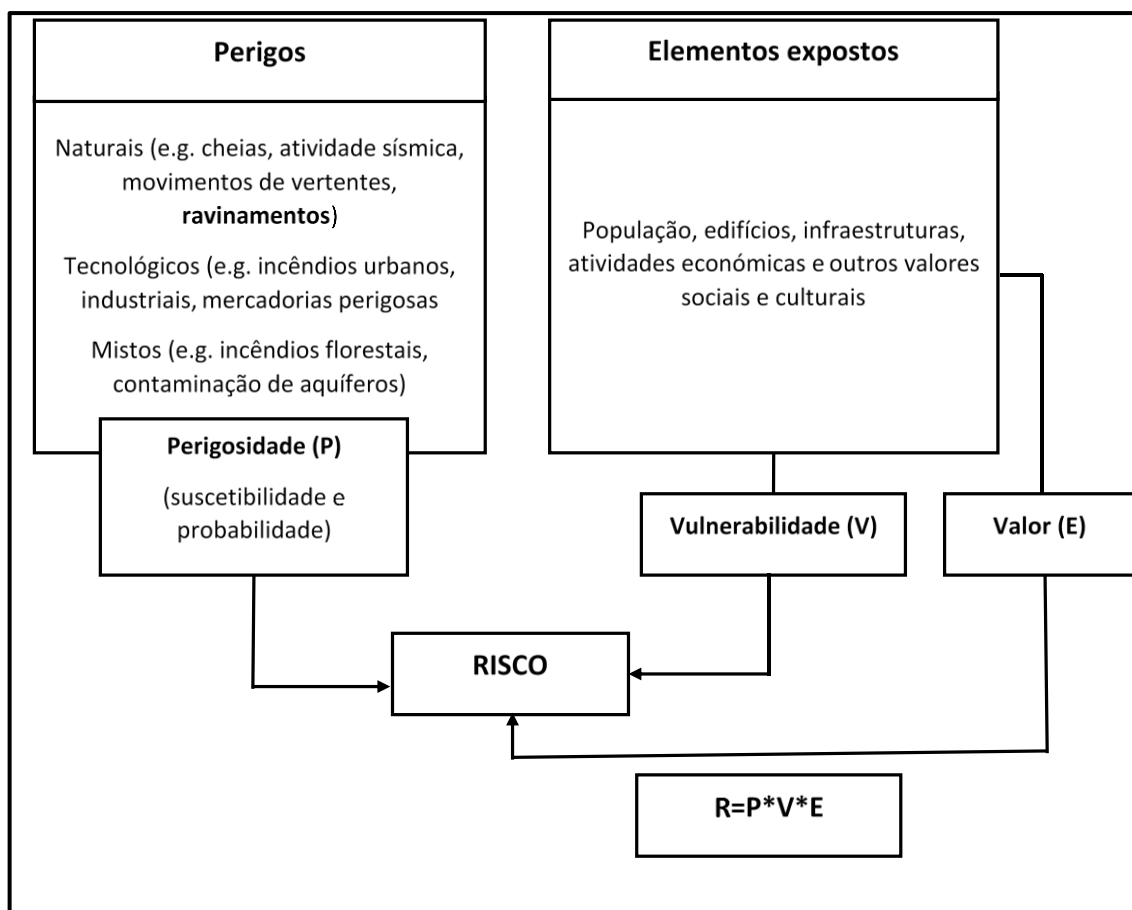


Figura 1.1: Modelo Conceptual do Risco (adaptado de Zêzere et al., 2006)

O modelo evidencia as possibilidades existentes de mitigação dos riscos que pode ser feita mediante intervenções a vários níveis dos seus componentes, nomeadamente a perigosidade, vulnerabilidade e o valor dos elementos expostos. Com efeito, uma eliminação de um dos elementos pode concorrer para o risco zero, uma vez que o modelo é multiplicativo (Zêzere et al. 2006).

Neste trabalho a perigosidade está relacionada com a suscetibilidade de ocorrência de erosão por ravinamento, a vulnerabilidade é tratada na sua dimensão social (criticidade) nos termos propostos por Mendes et al. (2011).

1.2 Discussão dos principais conceitos

Os conceitos que norteiam esta tese são os seguintes: suscetibilidade, exposição, vulnerabilidade social, e erosão do solo por ravinamento.

1.2.1 A suscetibilidade

O conceito de suscetibilidade foi usado por Julião *et al.*,(2009) como parte do processo de análise de risco e corresponde “à propensão de uma área para ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência”.

A suscetibilidade deve ser entendida como a probabilidade espacial de ocorrência de um fenómeno potencialmente danoso. Este conceito já foi amplamente discutido na literatura e usado para análise de vários perigos naturais. Contudo, um exame da produção científica parece sugerir que a maior aplicabilidade da análise da suscetibilidade está associada aos movimentos de massa em vertentes (Brabb et al, 1972, Kienholz, 1978, Ramos et al. 2010, Epifânio, Zêzere e Neves, 2014). No entanto, existem aplicações da suscetibilidade também para a análise de incêndios florestais (Verde e Zêzere, 2010) e de outros processos como as cheias e inundações (Balica *et al.* 2012).

O mapeamento da suscetibilidade de ocorrência de uma ameaça é um componente importante para a gestão de perigos e é igualmente importante para a provisão de medidas que visam a redução de riscos (Ayalew et al. 2005). Na avaliação da suscetibilidade, principalmente aos deslizamentos, os modelos são agrupados em dois tipos, nomeadamente os métodos qualitativos e os quantitativos (Bui, *et al.*, 2011).

Métodos qualitativos são métodos subjetivos, baseados em opiniões de especialistas e retratam o zonamento da suscetibilidade em termos descritivos. Estes métodos podem ser agrupados em dois subgrupos: i) análises geomorfológicas em que a suscetibilidade é avaliada no terreno ou por via de interpretação de fotografias aéreas ou imagens de satélite; e ii) análises heurísticas em que a suscetibilidade é

determinada a partir da combinação qualitativa de vários mapas que representam fatores condicionantes, cujos pesos são atribuídos com base no conhecimento de campo que o especialista possui. Como é evidente, qualquer mapa resultante de métodos qualitativos pode ser fortemente influenciado pela subjetividade dos especialistas envolvidos (Bui, *et al.*, 2011).

Os métodos quantitativos têm o seu foco em regras físicas ou nas relações estatísticas que expressam a relação entre fatores de instabilidade e o processo perigoso que representa a variável dependente. Em particular, os métodos estatísticos têm sido utilizados de forma extensiva na avaliação da suscetibilidade em todo o mundo, nomeadamente no caso dos movimentos de massa em vertentes. Estes métodos requerem a coleta de uma grande quantidade de dados para produzir resultados confiáveis.

1.2.2 Exposição

A Exposição é um dos fatores do risco que reflete a natureza e o grau do choque ambiental ou socioeconómico experimentado pelo elemento exposto. Este choque pode ser caracterizado pela sua frequência, magnitude, duração e área de alcance da ameaça (Burton *et al.*, 1993).

A exposição é definida pelos valores que se encontram no local onde uma ameaça ocorra (Balica *et al.*, 2012). Segundo UN (2003) apud Balica *et al.*, (2012) esses valores podem ser bens, infraestruturas, património cultural e pessoas. Segundo Penning-Rowell *et al.* (2005), a exposição é definida como a propensão que seres humanos e/ou elementos físicos (bens, infraestruturas, património cultural e campos agrícolas) podem ter de ser impactados em resultado da ocorrência de uma ameaça. Para Fekete (2009) é a medida de elementos suscetíveis a serem afetados por uma ameaça dentro duma região.

O tipo de perigo determina os fatores e indicadores da exposição e existem diferenças entre exposição de forma individual e exposição de grupo de indivíduos. Burton (1993) constatou que após o tremor de terra de 1963 em Skopje na antiga Jugoslávia, os planeadores urbanos decidiram pela reconstrução cientes que o terramoto, mesmo

que raro, iria ocorrer novamente na cidade no futuro. No entanto, a maior parte dos indivíduos considerava que um tremor de terra daquela magnitude nunca iria acontecer, pelo menos durante a sua geração, e eles viveriam livres da ameaça sísmica. Isto significa que, de forma individual, há possibilidade de aumentar a sua exposição.

A exposição em alguns casos não é obra da ignorância ou casualidade. Muitas vezes, trata-se da necessidade de uso de terra, onde um determinado grupo assume o risco de viver num local, mesmo conhecendo as consequências que poderão surgir em caso de ocorrência de um processo perigoso. Como constatou Burton, (1993, p.22) “a exposição de largas franjas de populações à fúria dos ciclones tropicais não é resultado de um ato casual ou ignorante (...) foi o corolário da procura dos benefícios do uso da terra e recursos. Todas as situações de exposição representam escolhas entre benefícios económicos e riscos sociais.”

Um elemento pode também deixar de ficar exposto a uma ameaça. Uma mudança de exposição a uma ameaça muitas vezes é acompanhada pela mudança do local, o que para muitas pessoas, principalmente nativas, não é fácil, dado que são muito apegadas aos seus locais de origem. Adicionalmente, há questões comportamentais que podem estar associadas ao local. Em várias situações, quando já se estabelece um assentamento humano e os investimentos estão feitos, é estabelecido um sentido de afinidade com o local e mudanças não são fáceis de acontecer, mesmo que essa área esteja exposta a um ou vários perigos (Burton, 1993). Por causa deste tipo de ligações com o local, muitas vezes as tentativas de movimentação de pessoas vivendo em áreas expostas ao perigo resultam em fracasso. Algumas pessoas, mesmo depois de removidas, acabam regressando ao mesmo local quando aparentemente o risco se reduz (Burton, 1993).

A exposição e os seus fatores têm sido integrados na vulnerabilidade por alguns autores. Com efeito, Fekete (2009) usa a exposição como um elemento no seu modelo visando a validação de um índice de vulnerabilidade social, no contexto das inundações fluviais na Alemanha. Balica *et al.* (2012) usam a exposição como um dos elementos para criação dum índice de vulnerabilidade às cheias para cidades costeiras em contexto de mudanças climáticas. Para a construção do índice foi

considerada a exposição como um dos indicadores para determinar a vulnerabilidade hidrogeológica, social e económica à inundação costeira.

1.2.3 A vulnerabilidade social

A vulnerabilidade tem sido aceite, de uma forma convergente na literatura, “como conceito que permite compreender quais são as condi es da popula o que permitem que uma ameaça se torne desastre” (Cutter et al. 2003; Bankoff et al. 2004; Adger 2006).

De acordo com Adger (2006), a vulnerabilidade refere-se ao grau que um sistema   suscetível e   incapaz de lidar com efeitos adversos. Neste contexto, a vulnerabilidade tem sido estudada a partir de múltiplas abordagens, sendo reconhecido que a vulnerabilidade às mudanças ambientais não pode ser isolada do sistema econ mico e do uso de recursos, devendo articular-se com outros conceitos como a exposi o, sensibilidade e capacidade de adapta o ou resiliência (Adger, 2006). A sensibilidade refere-se ao grau pelo qual um sistema pode ser modificado ou alterado por uma perturba o ou choque, enquanto a resiliência refere-se   capacidade para adaptar-se e voltar ao estado inicial após choque. Numa defini o complementar, resiliência pode ser entendida como a capacidade de um sistema evoluir para acomodar riscos ambientais ou mudança de política e expandir a faixa de variabilidade com a qual pode lidar (Adger, 2006).

O conceito de vulnerabilidade social baseia-se numa abordagem social, cujos trabalhos associados difundiram-se recentemente na literatura através de Cutter, Boruff e Shirley (2003). Como referem Rossignol *et al.* (2014), a avalia o da vulnerabilidade social resultou como complemento   análise clássica de riscos, justamente por ter-se constatado a necessidade de envolvimento das pessoas vulneráveis no processo da avalia o dos riscos.

O  ndice de vulnerabilidade social de Cutter, Boruff e Shirley (2003), na sua versão inicial, foi desenvolvido no contexto dos Estados Unidos da América. Trata-se de um  ndice composto que   usado para quantificar a vulnerabilidade social e diferenciar lugares baseados nos seus níveis relativos de vulnerabilidade. Posteriormente,

algumas versões foram sendo adaptadas para perigos específicos, como nos trabalhos de Boruff, Emrich e Cutter (2005) e Burton e Cutter (2008). A sua aplicabilidade já conduziu a algumas adaptações em Portugal. Com efeito, só para citar alguns exemplos, Ribeiro (1995) *apud* Mendes *et al.* (2009), propôs um modelo estatístico da avaliação da vulnerabilidade social. Mendes *et al.* (2009) construíram um índice vulnerabilidade social para perigos naturais e tecnológicos para os municípios da região central de Portugal. Martins *et al.* (2012) fizeram uma análise multicritério da vulnerabilidade social ao risco sísmico em Vila Franca do Campo (São Miguel, Açores, Portugal), onde constataram que existem padrões de vulnerabilidade social que fazem uma diferença clara entre as áreas antigas e as recém construídas, sendo que a existência de edifícios antigos construídos com materiais de fraca resistência sísmica, conjugada com alta densidade populacional, fragilidades demográficas e socioeconómicas dos grupos sociais, resultaram em valores altos de vulnerabilidade social. Mais recentemente, Guillard-Gonçalves *et al.*, (2014) usaram o índice de vulnerabilidade social para a delimitação das zonas de riscos naturais na Grande Lisboa, e Guillard-Gonçalves e Zêzere (2018) combinaram a vulnerabilidade social dos residentes e a vulnerabilidade física dos edifícios do município de Loures para localizar as áreas onde a vulnerabilidade é mais alta e para analisar o risco de deslizamento.

Em Moçambique, já foram efetuadas algumas adaptações da vulnerabilidade social. Com efeito, Hahn *et al.*, (2009) desenvolveram um índice de vulnerabilidade de subsistência para estimar a vulnerabilidade às mudanças climáticas nos distritos de Mabote e Moma, usando como base indicadores sociodemográficos, fontes de subsistência, redes sociais, saúde, alimentação, água, desastres naturais e variabilidade climática. Kienberger (2012) propôs um conjunto de indicadores que podem apoiar na modelação da vulnerabilidade social em ambientes com escassez de informação. De entre os indicadores propostos enumeram-se o acesso aos serviços de saúde, acesso a educação, acesso a água, capacidade de antecipar-se diante do risco e potencialidade de ser socorrido.

Ekblom (2012) fez uma análise histórica da segurança dos meios de subsistência, vulnerabilidade e resiliência na vila de Chibuene, distrito de Vilanculos, tendo observado que a vulnerabilidade depende de processos históricos, como insegurança

socioambiental de longo prazo e conseqüente perda de biodiversidade. Essas contingências afetam a capacidade social de lidar com a vulnerabilidade no presente. O estudo conclui que a contingência, a extensão e a força das redes sociais devem ser adicionadas como um fator nas avaliações dos meios de subsistência. Além disso, as políticas para mitigar a vulnerabilidade devem basear-se na realidade da insegurança ambiental e fortalecer estruturas locais que diversificam e espalham riscos.

Cumbane (2015) aplicou a vulnerabilidade social para analisar a propensão das populações e território do Município de Maputo para a exposição ao risco de incêndios e a sua capacidade para responder e evitar conseqüências em caso de ocorrência deste tipo de perigo.

Em suma, e como referem Kuhlicke *et al.*, (2011) a vulnerabilidade é produto de contextos espaciais, temporais, sócio-econômicos, demográficos e culturais e institucionais específicos.

1.2.4 Indicadores da vulnerabilidade social

De acordo com Cutter *et al.* (2003), existe um amplo debate acerca da seleção de indicadores específicos que possam representar conceitos relativamente abertos relacionados aos fatores que influenciam a vulnerabilidade social. Adicionalmente Kuhlicke *et al.* (2011) referem que não existe um simples indicador que possa determinar a vulnerabilidade social do indivíduo, mas um conjunto de indicadores que, associados ao contexto, podem influenciar a vulnerabilidade social.

No entanto, há um conjunto de indicadores que são geralmente aceites como bons caracterizadores da vulnerabilidade social, onde se incluem a idade, género, raça e estatuto sócio económico, educação, dependência, ocupação. Outras características populacionais que também são indicadas como relevantes por Cutter *et al.*, (2003) estão relacionadas com as necessidades especiais específicas e a qualidade das habitações.

1.2.4.1 Idade

A idade tem sido um dos indicadores essenciais na avaliação da vulnerabilidade social. Cutter *et al.* (2003) referem que os extremos no espectro da idade influenciam a reação em relação ao perigo, pelo que os dois grupos etários mais afetados por desastres são crianças e idosos. No entanto, Mendes *et al.* (2009) observaram que a existência de equipamentos públicos e coletivos aumenta a resiliência das populações rurais idosas, contrariando a influência da idade como variável indutora de vulnerabilidade social. A influência de outros fatores sobre a idade está também evidenciada em Klinenberg (2001), que mostrou que durante a onda de calor de 1995 em Chicago, não terá sido só a idade o fator predominante, mas a combinação entre esta e o isolamento. A idade também é relevante em relação às consequências físicas, emocionais e psicológicas do risco (Kuhlicke *et al.*, 2011). Portanto, a combinação entre as faixas etárias mais vulneráveis (crianças e idosos) e o contexto social de enquadramento aumentam a vulnerabilidade.

1.2.4.2 Género

Segundo Cutter *et al.* (2003), as mulheres podem ter maiores dificuldades de recuperação do que os homens, muitas vezes devido ao tipo de emprego, rendas baixas e responsabilidades com a família. Por outro lado, a dominância do homem nas relações interpessoais, organizações de resposta de emergência e a maior emancipação do homem em relação a mulher frustram as iniciativas femininas para a preparação e redução do risco (Enarson, 1999). De modo geral, as mulheres são mais vulneráveis que os homens, sendo que a sua vulnerabilidade aumenta com a idade e com o baixo estatuto social. Zhou e Hoever, (2014) observam que na China, onde muitas mulheres se encontram nos sectores da saúde e primário, com empregos relativamente protegidos em tempos de crise, a vulnerabilidade feminina tende a ser menor.

1.2.4.3 Raça e etnia

A raça e/ou etnia impõem barreiras linguísticas e culturais e afetam o acesso a recursos, incluindo financiamento pós-desastre e a ocupação de áreas de alto risco

(Cutter *et al.*, 2003, Masozera *et al.*, 2007). Bolin (2006) refere que o furacão Katrina mostrou um exemplo claro de como a raça e desigualdades de classes são determinantes no nível de exposição ao risco, uma vez que a maior parte daqueles que foram afetados eram afroamericanos de baixa renda.

1.2.4.4 Estatuto Sócio-económico

O estatuto económico é um importante indicador para medir a vulnerabilidade dum país ou região aos desastres naturais (Zhou *et al.*, 2014). A capacidade de recuperação das perdas e consequente resiliência é influenciada pelas condições económicas e sociais. Masozera *et al.* (2007) observaram que, no contexto do furacão Katrina, embora este tenha alcançado todas as camadas sociais, as condições socioeconómicas pré-existentes desempenharam um papel relevante na capacidade de cada grupo social para recuperar depois do desastre. Num outro sentido, Cutter *et al.* (2003) referem que a existência de melhores condições económicas pode ser uma indicação de que muitos bens físicos podem estar em risco. Isto porque as magnitudes mais altas de perdas económicas são sentidas pelas populações mais ricas, uma vez que estas possuem bens com maior valor (Masozera *et al.*, 2007).

1.2.4.5 Educação

A educação está associada ao estatuto socioeconómico do indivíduo. Níveis altos de educação estão associados a rendimentos altos ao longo da vida, enquanto que níveis baixos de educação limitam a capacidade de compreensão das mensagens de alerta e recuperação (Masozera *et al.*, 2007). Baixo nível de educação também limita as capacidades de obtenção de empregos seguros, o que reduz a capacidade económica do indivíduo e, por conseguinte, a sua resiliência.

1.2.4.6 Dependência social

As pessoas que são totalmente dependentes dos serviços sociais para a sobrevivência já estão marginalizadas economicamente e socialmente e precisam de apoio adicional na recuperação nos períodos pós-desastre (Cutter *et al.*, 2003).

1.2.4.7 Ocupação

A ocupação é uma dimensão importante da vulnerabilidade social (Cutter *et al.*, 2003). A forma de ocupação em ramos de atividade é reflexo da educação e influencia potencialmente o estatuto econômico, e ela varia por gênero e idade. Cutter *et al.* (2003) observaram que comunidades fortemente dependentes de empregos cujos pagamentos são baixos podem sofrer muito e ter uma recuperação lenta depois da ocorrência de um desastre.

1.2.4.8 Necessidades especiais específicas

Masozera *et al.* (2007) consideram como pessoas com necessidades especiais específicas aquelas que estejam enfermas, em instituições de apoio ou sem abrigo. Trata-se de um segmento social difícil de identificar, medir e monitorar e, por conseguinte, um segmento que é muitas vezes excluído dos esforços de recuperação pós-crise.

1.3 Erosão do solo e ravinamento

1.3.1 Relevância do estudo da erosão por ravinamento

Na definição de Poesen (2018), a erosão do solo é um processo geomorfológico que separa partículas do solo, fragmentos de rochas, agregados do solo e matéria orgânica de sua localização principal e depois os transporta para outro local através de vários processos.

Os processos envolvidos na erosão incluem: (1) processos erosivos naturais tais como chuva, escoamento, avalanches de neve, vento e gravidade, (2) processos

biológicos tais como queda de árvores, pisoteio de animais, animais escavadores e (3) processos induzidos pela atividade antrópica como exemplo, preparo do solo, nivelamento de terra, ações em pedreiras, mineração, escavações para infraestrutura e construção civil, crateras de explosão e escavação de valas (Blanco e Lal, 2008; Desta e Adunga, 2012, Poesen, 2018).

A erosão do solo é um dos principais processos de degradação da terra que prejudica os solos e limita o fornecimento de serviços básicos e bens tais como produção de alimentos, filtragem de água, armazenamento de carbono e transformação de substâncias, habitat biológico e fornecimento de matérias-primas. Poesen (2018) refere que a degradação dos solos pela erosão resulta em degradação ambiental e pobreza (particularmente no Sul Global), mas também causa problemas significativos relacionados com o destino dos sedimentos erodidos; por exemplo, poluição das águas superficiais e assoreamento dos reservatórios.

A erosão dos solos representa um perigo geomorfológico que pode criar danos em propriedades, perda de bens de subsistência, perturbações sociais e económicas ou danos ambientais (Poesen, 2018). A erosão dos solos foi identificada no primeiro relatório sobre estado geral dos solos produzido pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) e pelo Painel Técnico Intergovernamental de Solos (ITPS) como sendo um dos mais graves problemas ambientais da atualidade (FAO e ITPS, 2015). As diretrizes para a gestão sustentável dos solos mencionam na sua primeira diretriz a necessidade de minimizar a erosão dos solos (FAO, 2017).

Os objetivos de desenvolvimento sustentável até 2030 indicam no número 2.4, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às alterações climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo (ODS, 2019), sendo a erosão um dos indicadores deste sub-objetivo. Ao nível dos países e agrupamentos de países também existem políticas visando tomar ações concretas contra a erosão, como são os casos do Brasil, União Europeia e Zâmbia (FAO, 2019).

Um simpósio global sobre erosão dos solos foi realizado em 2019 com o objetivo de incentivar avaliações globais da erosão do solo que partissem de baixo para cima, ou seja de níveis de base dos países para uma abordagem mais global (FAO, 2019a). Neste simpósio foi reconhecido que uma abordagem de baixo para cima, para criar uma rede e desenvolver capacidades locais para combater a erosão do solo, é o melhor caminho a seguir para gerar novos conhecimentos e incentivos para combater a erosão do solo globalmente.

Em adição, Poesen (2018) refere que, embora desde 1980 o número de pesquisas realizadas tenha subido significativamente, ainda é necessário continuar a fazer estudos sobre a erosão para compreender os padrões espaciais da sua distribuição e respectivas taxas de evolução, bem como aprofundar a utilização sustentável do solo, de forma a melhorar as condições ambientais em todo o mundo.

O simpósio atrás referido, realçou que os processos de degradação dos solos, apesar de serem facilmente detetáveis, são geralmente difíceis de prever com os modelos existentes. Com efeito, informação sobre a suscetibilidade à ocorrência de ravinas está faltando em avaliações em larga escala (FAO, 2019a).

Poesen (2003) define a erosão por ravinamento como sendo o processo de erosão hídrica no qual a escorrência se concentra em canais estreitos e, em curtos períodos, remove o solo dessa área estreita, tendendo a evoluir por erosão regressiva.

O processo de ravinamento tem sido bastante estudado em várias regiões do mundo e a sua ocorrência é descrita com recurso a várias denominações. Com efeito, as ravinas, do inglês *gullys*, são designadas por voçorocas ou boçoroca no Brasil (Brandão, 2017), por *dongas* na América Meridional (Wells, 2004) e por *lavakas* em Madagáscar (Wells *et al.*, 1991).

Dado o estabelecimento da autonomia do ravinamento como objeto de estudo, alguns conceitos merecem destaque na literatura. Com efeito, o programa Australiano de gestão de terra, ACLUMP (2018), define os ravinamentos como sendo a remoção superficial e sub-superficial de solos criando canais com profundidades maiores que 30 centímetros. Ebisemiju e Ekiti (1989, p.307) definem o ravinamento como "um canal resultante de incisão fluvial em materiais não consolidados, caracterizado por

transmissão efêmera de escoamento, vertentes declivosas e cabeceira fortemente declivosa ou vertical".

Bull e Kirkby (1997, p.357) definem ravina como sendo "um canal geralmente permanente, de secção em V e paredes laterais com um declive próximo do ângulo de estabilidade dos sedimentos não consolidados".

Para Morgan (2005, p.30), trata-se de "um canal de drenagem relativamente permanente, de paredes declivosas, e que regista escoamento efêmero em contextos de alimentação em precipitação". A *Soil Science Society of America* (2001) define a ravina como sendo "um canal erodido pelo fluxo concentrado, mas intermitente de água, [que tem lugar] habitualmente durante e imediatamente após a ocorrência de chuvas intensas, sendo profundo o suficiente para interferir com a lavoura normal e não ser por ela eliminado".

Duma maneira geral, parece haver alguma convergência no conceito de ravina e, no âmbito desta tese, ravinas são canais fundos e longos, assumindo pequenas ou grandes dimensões quer em largura, quer em profundidade, resultantes do aumento das dimensões do raio hidráulico e do perímetro molhado dos sulcos através da ação progressiva da concentração do escoamento que promove o desprendimento de material no seu leito e taludes, ou pela consolidação de sulcos que não são eliminados pelas práticas agrícolas.

1.3.2 Formação e Classificação das ravinas

1.3.2.1 Formação das ravinas

Bergonse (2014) refere que o fenómeno do ravinamento constitui um objeto de estudo cuja autonomia está bem estabelecida; embora dentro da erosão do solo, o ravinamento é aquele processo que possui uma maior variabilidade no que diz respeito à dimensão e configuração das formas resultantes e ao âmbito temporal de ocorrência. Para Morgan (2005) a formação das ravinas está quase sempre associada a paisagens instáveis.

Segundo Selby (1993), a ravina pode surgir do aprofundamento e alargamento do canal de um sulco, ou pode surgir numa rutura da encosta, ou em áreas onde a

vegetação superficial é removida. A sua ocorrência é comum em solos profundos, solos de origem vulcânica, aluviões, coluviões e depósitos de movimentos de massa em vertentes. Para Selby (1993), o aumento do escoamento superficial, conjuntamente com a remoção do coberto vegetal, o aumento das terras queimadas e o sobre pastoreio, podem dar origem à erosão por ravinas. As ravinas podem formar-se nas cabeceiras, vertentes ou fundo de um vale onde nenhum canal existia previamente.

Em todos os casos, o surgimento de ravinas encontra-se bastante associado à existência de muita água, que pode ter origem nas alterações do estado de tempo atmosférico ou em resultado do uso de terra. No primeiro caso, pode ocorrer aumento do escoamento se a chuva aumentar ou se menos chuva produzir uma redução na cobertura vegetal. No segundo caso, o desmatamento, a queima da vegetação e o excesso de pastagem podem resultar em maior escoamento. Se a velocidade ou força de tração do escoamento exceder um valor crítico ou limiar, ocorrerá o ravinamento (Morgan, 2005).

Poesen et al. (2003) referem que, independentemente dos contextos topográficos, a formação e a evolução de ravinas ocorrem através de três diferentes mecanismos: (i) surgimento e posterior aprofundamento e extensão para jusante de um entalhe; (ii) recuo da cabeceira para montante, (iii) alargamento do canal. Os mecanismos envolvidos são conduzidos diretamente por dois processos: o escoamento superficial, e os movimentos de massa.

Segundo Desta e Adunga (2012), as ravinas podem surgir de qualquer depressão, tal como de caminhos de passagem de animais ou mesmo a partir de percursos pedestres. Algumas ravinas formam-se a partir do desabamento de túneis, sendo este fenómeno recorrente em solos sódicos. O escoamento interno flui através de macroporos e fissuras, atingindo as camadas menos permeáveis do solo sódico. Devido à fraca permeabilidade do solo, formam-se fluxos contínuos, levando à desagregação das partículas e à formação e alargamento de túneis. Se existir uma continuidade de fluxos, o túnel formado poderá ter um colapso dando origem a uma ravina.

Morgan (2005), chama a atenção que o processo de formação das ravinas é complexo e não pode ser resumido à existência de depressão. Neste contexto, Leopold et al. (1964), apud Morgan (2005) distinguem 5 etapas na formação das ravinas (figura 1.2.): no primeiro estágio, formam-se pequenas depressões na encosta de uma colina como resultado do enfraquecimento localizado da cobertura vegetal por pastagem ou fogo (1). De seguida, a água concentra-se nessas depressões e amplia-as até que várias depressões se fundam e um canal incipiente seja formado (2). A erosão concentra-se nas cabeças das depressões, onde se desenvolvem escarpas quase verticais, sobre as quais ocorre o fluxo da água (3). Algumas partículas do solo são destacadas da própria escarpa, mas a maior parte da erosão está associada ao sapamento na base da escarpa, o que resulta no aprofundamento do canal e no enfraquecimento da parede principal, levando ao colapso e recuo regressivo da escarpa (4). A erosão das margens também origina libertação de sedimentos ao longo do canal, onde ocorre erosão hidráulica e mecânica (5). Entre os períodos de atividade com escoamento na ravina, os sedimentos são disponibilizados para erosão por meteorização.

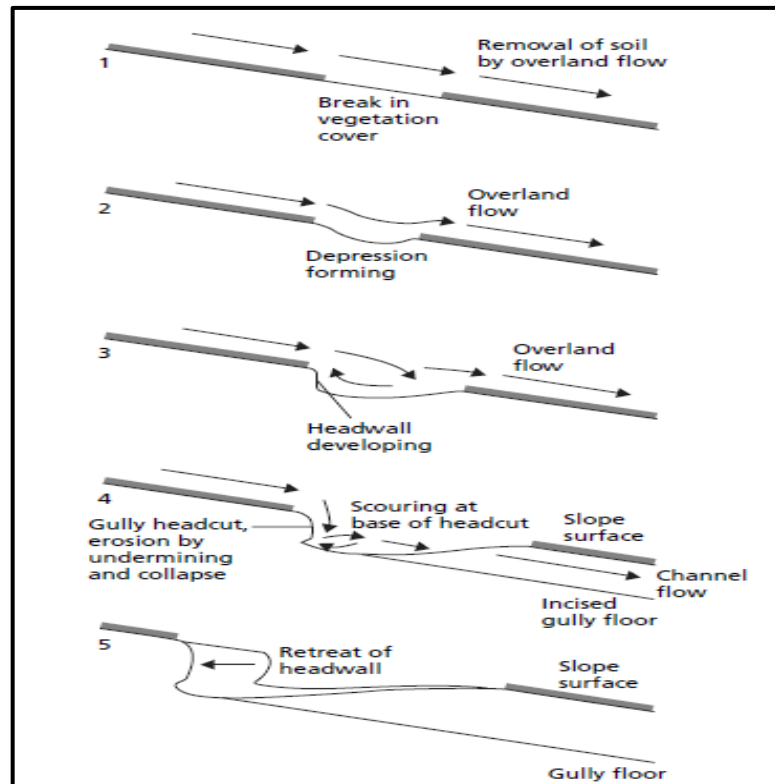


Figura 1.2: Fases de desenvolvimento numa ravina numa encosta, extraído de Morgan 2005, citando Leopold et al. 1964

As ravinas não se desenvolvem apenas em resultado da erosão superficial do solo, podendo também formar-se em resultado do colapso de uma linha de água subterrânea. Os solos mais comuns para o surgimento de ravinas nestas condições são os solos propensos à abertura de fendas como resultado da alta absorção de sódio, retração na secagem ou libertação de pressão após a descarga do material sobrejacente (Morgan, 2005).

1.3.2.2 Tipos de ravinas

Os critérios usados para a classificação das ravinas são variados. Baseado na sua localização na paisagem, na sua morfologia e no processo erosivo dominante, Poesen (1989) classifica as ravinas em permanentes e efémeras. As ravinas permanentes nos campos agrícolas são definidas em termos de canais muito profundos que são difíceis de eliminar com equipamentos de lavoura agrícola comuns, geralmente variando de 0,5 a 25-30 m de profundidade. Ravinas efémeras são pequenos canais erodidos pela escorrência concentrada, que podem ser facilmente preenchidos por lavoura normal, podendo voltar a existir novamente no mesmo local por eventos adicionais de escoamento (*Soil Society of America* 2001, *apud* Poesen, 2003). As ravinas efémeras também podem formar-se em bordas de parcelas, caminhos e estradas (Poesen et al., 1996).

Para fazer uma distinção entre os dois tipos de ravinas importa realçar que, por um lado, as ravinas efémeras são caracterizadas pela sua ocorrência ao longo de incisões no solo cujas secções transversais são muito maiores que a profundidade. Elas não apresentam cabeceiras e paredes laterais bem definidas, têm dimensões variáveis, caracterizando-se por remoções de solo em profundidade e pela acumulação de escorrência. Por outro lado, as ravinas permanentes ocorrem em linhas de drenagem bem definidas, de dimensões consideráveis. As secções transversais são estreitas relativamente à profundidade, com paredes laterais abruptas e cabeceiras bem definidas (Poesen, 1993).

Poesen (1989) considera ainda que as ravinas que se desenvolvem em setores de maior concentração de escorrência, em resultado da ocorrência de precipitação intensa em áreas relativamente planas são chamadas de ravinas de fundo de vale. Por seu turno, as ravinas que se desenvolvem por recuo das cabeceiras em vertentes com declive elevado são designadas por *bank gullies* (Poesen, et al., 1996).

Bull e Kirkby (1997), classificam o ravinamento em sulcos, canais efémeros e canais permanentes. Esta classificação é feita considerando a dinâmica temporal da formação e parâmetros morfométricos tais como margens evidentes e cabeceiras abruptas. Como refere Bergonse (2014, p. 16) “os diferentes tipos de ravina são definidos mediante a variabilidade nas formas estudadas em diferentes locais”. Ploey (1974) apud Bergonse (2014, p. 16) classificou as ravinas em função da forma da secção transversal, da quantidade de cabeceiras e dos processos de evolução, enquanto que Imeson e Kwaad (1980), apud Bergonse (2014) definiram quatro tipos em função da forma da secção transversal, posição topográfica, tipos de escoamento associados e natureza do rególito. O quadro 1.1 apresenta alguns exemplos de classificação mediante os critérios habitualmente considerados.

Quadro 1.1: Classificação das ravinas segundo Zachar, 1982, Leopold et al., (1964: 450 apud Bergonse (2014, p.18)

Critérios	Tipos de ravinas	Autores
Morfométrico (Profundidade e forma de secção transversal)	<ul style="list-style-type: none"> • Plana • Estreita • Larga • Redonda 	Zachar, 1982
Padrões evolutivos	<ul style="list-style-type: none"> • Descontínuas • Contínuas 	Leopold <i>et al.</i> (1964: 450, apud Bergonse 24; Poesen, 1989)
Capacidade do Homem para eliminar as formas	<ul style="list-style-type: none"> • Efémeras • Permanentes 	
Contexto topográfico de surgimento de ravinas	<ul style="list-style-type: none"> • Ravina de desnível em margem de curso de água • Ravina de desnível em terraço • Entrada de tubo (<i>pipe</i>) • Desembocadura de tubo • Ravina de desnível recém-formada pelo colapso de um tubo • Ravina de fundo • Ravina do fundo do tipo <i>arroyo</i> 	Adaptado com base em Poesen et al. (1996)

-
- Ravina de vertente associada a um trilho de gado
-

1.3.3 Impactos da erosão por ravinamento

Segundo Poesen (2018), os solos são um recurso natural que desempenha um papel vital na vida quotidiana, uma vez que fornecem vários serviços e bens importantes de apoio, provisionamento, regulação e ecossistema cultural. O solo serve para: (1) produção de alimentos, fibras e outras biomassa; (2) interação com o ambiente, como filtragem de água, armazenamento de carbono e transformação de substâncias; (3) agir como habitat biológico e *pool* genético; (4) fornecimento de matérias-primas; (5) contribuir para o património físico e cultural; e (6) fornecer uma plataforma para estruturas criadas pelo homem, como edifícios e estradas. Neste contexto, a perda do solo pode implicar uma limitação enorme dos serviços que este fornece.

O conhecimento do solo e dos riscos que este corre são relevantes, tendo em conta a sua importância para o funcionamento dos sistemas terrestres. A par da pressão que o solo sofre como um recurso limitado para a produção de alimentos, energia e matérias-primas, este é de vital importância para a qualidade da água, controlo do clima, ciclagem de nutrientes e biodiversidade, suporte das infraestruturas de sobrevivência e económicas (Vogel, et al., 2018).

Nas áreas naturais, as ravinas têm resultado na perda de solo e da sua capacidade produtiva, enquanto nas áreas urbanas podem gerar condicionamentos no tráfego e constrangimentos ao uso pelas mudanças na topografia (Poesen et al., 2006). Segundo Mararakanye e Sumner (2017), a erosão por ravinamento é um problema ambiental, agrícola e social que requer pesquisas extensivas e ações de mitigação. A erosão dos solos por ravinamento tem sido apontada como uma ameaça para a agricultura no mundo (Desta e Adunga, 2012).

Morgan (2005) citando Zachar (1982) refere que, embora as ravinas possam remover grandes quantidades de solo, a sua densidade normalmente não excede 10 casos por km² e a superfície coberta por ravinas raramente é mais de 15% da área total. No entanto, Poesen et al., (2003), através duma revisão de dados globais, verificaram que a erosão pode contribuir entre 10 a 94% para o total de perda de solos numa área,

sendo as percentagens entre 30 a 75% as mais comuns. A ampla gama de valores sugere que a contribuição total de perda de solo por ravinamento não é fácil de prever, sendo influenciada por um conjunto de fatores que incluem a topografia, a quantidade e características da precipitação, e o tipo e densidade da cobertura do solo (Morgan, 2005).

1.3.4 Fatores da ocorrência das ravinas

1.3.4.1 Topografia

O declive, o comprimento e a forma da vertente são apontados por Gonçalves (2002) como sendo as características essenciais para análise da influência topográfica no processo de erosão hídrica. O comprimento da vertente e o seu declive influenciam a velocidade do escoamento, o que por sua vez irá influenciar a quantidade de material a ser arrastado pelas águas superficiais (Morgan, 2005; Xanthakis e Pavlopoulos, 2009)

A inclinação da vertente tem uma relação exponencial com a erosão, sendo que encostas íngremes são mais propensas à erosão do solo. Adicionalmente, enquanto em áreas planas a precipitação, através do salpico, espalha as partículas de solo de forma aleatória em todas direções, numa vertente, a maior parte do solo mobilizado pelo salpico é espalhado no sentido da base da vertente e esta tendência acentua-se à medida que o declive se torna íngreme. Xanthakis e Pavlopoulos (2009) referem que vertentes mais longas são mais suscetíveis à perda de solo devido ao maior volume e velocidade da escorrência.

Em termos de topografia, a forma das vertentes influencia a convergência ou divergência do escoamento superficial. Como refere Zêzere (2006), a distribuição da água no solo é influenciada pela forma da vertente, sendo que as concavidades topográficas são as áreas onde a saturação do solo se atinge mais rapidamente, devido à convergência da escorrência superficial e do escoamento sub-superficial. Segundo Gonçalves (2002), formas côncavas favorecem a convergência das águas, provocando uma erosão mais localizada, com tendência à formação de sulcos e

ravinas, enquanto as formas convexas favorecem a divergências das águas, sendo a erosão mais uniforme.

1.3.4.2 Características e cobertura do solo

As propriedades do solo tais como densidade, textura, teor de matéria orgânica, capacidade de infiltração, estabilidade dos agregados, transportabilidade das partículas soltas e propriedades químicas influenciam na erodibilidade do solo (Xanthakis e Pavlopoulos, 2009). O tipo de solo e respetiva litologia podem ser ou não favoráveis ao surgimento de ravinas. Existem poucas pesquisas que analisam a suscetibilidade de um determinado tipo de solos à ocorrência de ravinas. Contudo, segundo Poesen et al. (2003) o tipo de solo, principalmente a constituição dos vários horizontes do solo, controla em larga medida o tamanho e muito particularmente a profundidade e morfologia das ravinas.

No solo, o horizonte (Bt), considerado como um horizonte mineral resultante de processos de iluviação de argila (Soils Canada, 2019), foi indicado como importante para o controlo de profundidade e forma da cabeceira da ravina, (Ireland et al., 1939, apud Poesen et al., 2003). Poesen (1993) constatou na Bélgica que os volumes das ravinas efémeras que erodem perfis de solos cortados podem ser quatro a cinco vezes maiores que ravinas desenvolvidas em perfis de solo intactos.

A presença de cobertura vegetal sobre o solo pode auxiliar na redução dos efeitos erosivos da precipitação. Como referem Bertoni e Neto (1990), quando cai uma intensa precipitação sobre um solo desprotegido pela vegetação, a camada superficial do solo pode sofrer compactação, devido ao impacto direto das gotas da chuva, e a infiltração será reduzida. Por outro lado, se existir um bom coberto, o solo permanece com boa permeabilidade e terá maior velocidade de infiltração, o que reduz a quantidade de água disponível para a escorrência.

1.3.4.3 Mudanças no uso de terra

As mudanças no uso de terra, principalmente pela ação antrópica, têm resultado em impactos significativos no que respeita à erosão dos solos. O uso de terra no Antropoceno tem contribuído para o aumento das taxas de erosão (Poesen, 2018). Em vertentes com cobertura vegetal as ravinas produzem poucos sedimentos (Bradford e Piest, 1980; apud Poesen et al., 2003), o que também pode ser observado em áreas cultivadas onde ainda existam culturas (Cerdan et al., 2002). Contrariamente, o excesso de pastagem e a remoção da cobertura vegetal causam crostas no solo superficial, resultando em maior escoamento (Morgan, 2005). Adicionalmente, o desenvolvimento de infraestruturas, tais como canais para irrigação ou vias de acesso em áreas de captação, pode induzir um aumento da taxa de erosão por ravinamento (Poesen et al., 2003).

De uma maneira geral, as mudanças no uso do solo, quando resultem na remoção do coberto vegetal que serve de proteção deste, tendem a favorecer a ocorrência de erosão. Construções em locais onde, por natureza, há escorrência de água em períodos de precipitação também tendem a contribuir para a ocorrência de ravinas.

1.3.4.4 Precipitação

A perda de solos é associada de forma muito direta, para além dos fatores já referidos, à ocorrência de precipitação. Segundo Gonçalves (2002), os processos erosivos começam quando as gotas da chuva, que não são intercetadas pelas plantas, provocam o efeito de salpico. Morgan (2005) considera duas formas de ocorrência de precipitação que funcionam como causa da erosão. Primeiro, as chuvas intensas que ocorrem em curto espaço de tempo, mas suficiente para exceder a capacidade de infiltração dos solos; e em segundo, as chuvas de baixa intensidade, mas prolongadas, que saturam o solo. Aqui se depreende igualmente que a maneira como o solo responde à precipitação pode estar relacionada com eventos meteorológicos anteriores; isto é, em áreas onde tenha acontecido uma precipitação anteriormente, é mais fácil tanto exceder a capacidade de infiltração do solo, como atingir a saturação deste, originando a erosão do solo.

A intensidade da precipitação necessária para induzir um processo erosivo numa área é variável em função de vários fatores. Morgan (2005) considerou ser apropriado o valor de 25mmh^{-1} para a Malásia, sendo que este valor foi também considerado adequado para o Zimbabwe (Hudson, 1981). Segundo Morgan (2005), este valor de referência é muito alto para a Europa ocidental, onde raramente é excedido.

Outro elemento a considerar é a forma e tamanho das gotas. Segundo Bertoni e Neto (1990), citando estudos com simuladores de chuva, o aumento de diâmetro de 1 a 5mm, reduz a velocidade de infiltração da água em 70% e as perdas de solo aumentam 120 vezes.

1.4 Métodos para avaliação da suscetibilidade à erosão hídrica

Os estudos dedicados à erosão têm estado baseados em três elementos, precipitação, solos e cobertura da superfície. Dada a sua importância no processo de erosão, a água tem merecido a maior atenção. Historicamente, os modelos de erosão do solo pela água têm sido baseados em métodos empíricos, estatísticos e conceituais e de base física (baseados em processos) (Amorim, 2004). O principal exemplo do modelo empírico é a Equação Universal de Perda de Solo (USLE). Modelos mais recentes foram baseados em equações que descrevem os processos físicos, biológicos e/ou químicos que causam ou afetam a erosão do solo. É importante entender que tanto os modelos de base física quanto os empíricos possuem uma componente empírica importante, no sentido de que as equações constitutivas usam parâmetros baseados em dados experimentais.

A predição da ocorrência da erosão tem sido uma temática bastante discutida desde há muito tempo e os primeiros trabalhos datam da década de 30 do século XX. Lal (2001) refere que em 1933, Baver propôs uma equação empírica para estimar a erosão de solos envolvendo como parâmetros a dispersão do solo, taxa de infiltração, permeabilidade do solo e o tamanho das partículas. Em 1940, Zingg relacionou a erosão dos solos com o declive da vertente. O trabalho de Smith e Whitt de 1948, no qual avaliaram a perda de solos nas áreas de cultivo, adiciona mais fatores na equação anterior de Zingg, tendo incorporado a influência da cobertura e gestão do solo (Lal, 2001).

Em 1947, Musgrave desenvolveu um modelo paramétrico em que relacionou a erosão de solos com a erodibilidade, cobertura vegetal, declive da vertente, comprimento da vertente e o máximo de intensidade de precipitação em 30 minutos. Foi a partir da modificação da equação de Musgrave que Wischmeier e Smith em 1958 introduziram a Equação Universal da Perda do Solo (USLE), que foi bastante usada e mais tarde modificada para MUSLE e depois Revista RUSLE (Lal, 2001).

Sistematizando os métodos para avaliação da probabilidade de ocorrência de erosão propostos na literatura, Kachouri *et al.* (2014) sugerem que eles compreendem abordagens quantitativas e qualitativas. A aplicabilidade de cada um dos métodos depende do objetivo do estudo que se pretende. Gayen *et al.* (2019) apresentam uma síntese dos modelos e suas aplicabilidades, bem como os trabalhos em que foram usados com sucesso (Quadro 1.2).

Quadro 1.2: Relação de modelos e respectivas referências (baseado em Gayen et al., 2019)

ACRÓNIMO	NOME DO MODELO/APLICABILIDADE	REFERÊNCIAS
USLE	Universal Soil Loss Equation	Wischmeier e Smith (1978)
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation	Renard et al. (1991)
USLE-M	Modified Universal Soil Loss Equation	Kinnel e Risse (1998)
USLE-MM	Modified-Modified Universal Soil Loss Equation	Bagarello <i>et al.</i> , (2008)
CREAMS	<i>Chemical Runoff and Erosion for Agricultural Management System</i>	Knisel, 1980
ANSWERS	Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation	Beasley e Huggins (1982)
EuroSEM	European Soil Erosion Model	Morgan <i>et al.</i> , 1990, 1998
WEPP (Water Erosion Prediction Project Model)	Utilizado no projecto de predição da erosão hídrica	Flanagan e Nearing (1995)
LISEM (Limburg Soil Erosion Model)	Modelo de erosão de solos de Limburgo usado para a quantificação do estado da erosão	(De Roo <i>et al.</i> , 1996a, 1996b, Hudson, 1981; Gayen e Saha, 2017)
USPED	Unit Stream Power-based Erosion Deposition	Mitasova <i>et al.</i> , (1996)
SIMWE	SIMulated Water Erosion	Mitas and Mitasova (1998)
SWAT	Soil and Water Assessment Tool	Arnold et al. (1998)
WaTEM/SEDEM	Water and Tillage Erosion Model and Sediment Delivery Model	Van Oost <i>et al.</i> , (2000), Van Rompaey <i>et al.</i> , (2001), Verstraeten <i>et al.</i> (2010)
MMF	Morgan-Morgan Finey Model	Morgan (2001), Morgan <i>et al.</i> , (1984)
PESERA	Pan European Soil Erosion Risk Assessment	Kirkby et al. (2008)

1.4.1 *Universal Soil Loss Equation (USLE), Modified Universal Soil Loss Equation (USLE M), Modified-Modified Universal Soil Loss Equation (USLE MM) e Revised Universal Soil Loss Equation.*

A Equação Universal de Perdas de Solo (Wischmeier e Smith, 1978) é um Modelo de base empírica, que não leva em consideração, de forma individualizada, os processos físicos envolvidos na erosão do solo, como o desprendimento e transporte de partículas de solo, tendo sido utilizada de modo extensivo em todo o mundo no estudo da erosão dos solos. A USLE discrimina a significância dos diferentes fatores que regem o processo erosivo. De entre esses fatores, estão incluídos a precipitação, o comprimento da vertente, o declive da vertente, a erodibilidade do solo, o cultivo (uso do solo) e as práticas agrícolas, ou seja, a USLE é uma equação empírica utilizada para estimar a erosão entre sulcos e no sulco (*rill*) em função de fatores que representam o clima, o solo, a topografia, o coberto vegetal e as práticas de conservação do solo.

Apesar da existência de um consenso entre os pesquisadores de que a USLE fornece uma boa estimativa da erosão para um período preestabelecido, ela não é capaz de satisfazer os crescentes desafios impostos pelos problemas de erosão (Foster, 1982). Williams (1975), por exemplo, verificou que a USLE não pode estimar efetivamente a perda de solo em fases mais avançadas da erosão por sulcos, assim como não é eficaz para avaliar a erosão por ravinamento. Adicionalmente, Foster (1982) constatou que a USLE não fornece informação adequada para contabilizar as variabilidades temporal e espacial da erosão durante uma chuvada. Porém, isso não quer dizer que modelos empíricos como a USLE não tenham valor; pelo contrário, projetos práticos serão por muito tempo baseados nesses modelos empíricos, até que o processo físico da erosão seja bem entendido (Amorim, 2004).

As equações Modified Universal Soil Loss Equation (USLE M), *Modified-Modified Universal Soil Loss Equation (USLE MM)* e *Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*, resultam da adaptação da Equação Universal de Perda de Solo com a inclusão de novos conceitos de modelação baseados em processos físicos, para melhorar as capacidades de predições dos modelos. De entre as principais alterações destaca-se uma adaptação do fator K, no qual dados da erodibilidade de todo mundo foram revistos e equações de regressão foram desenvolvidas para estimar o K como uma função das características físicas e químicas do solo; igualmente, considera-se

a variabilidade sazonal de K (Amorim, 2004).

A MUSLE substitui o parâmetro erosividade da chuva por informações sobre o escoamento superficial, transporte de sedimentos e vazão de pico da bacia, possibilitando o cálculo da perda de solos para eventos pluviométricos isolados (Amorim, 2004).

1.4.2 *Chemical, Runoff and Erosion for Agricultural Management System – CREAMS*

É um modelo que foi desenvolvido pelo governo dos Estados Unidos da América em 1980 (Knisel, 1980). O CREAMS é um modelo de simulação diária de base física que estima o escoamento e o transporte de sedimentos, para além dos nutrientes das plantas e o rendimento de pesticidas.

1.4.3 *Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation (ANSWERS)*

O programa ANSWERS consiste em dois modelos (hidrológico e erosivo) que são usados para predição dos comportamentos hidrológico e erosivo de determinada área. Os conceitos básicos para o modelo hidrológico foram desenvolvidos por Huggins e Monke (1966), enquanto na simulação da erosão é utilizada a equação de continuidade, proposta por Foster, Meyer e Onstand (1977).

Para iniciar, o modelo divide a bacia numa série de pequenas células independentes, dentro das quais o escoamento e os processos erosivos são tratados como funções dos parâmetros hidrológicos e erosivos, os quais são considerados uniformes dentro de cada célula (Beasley, Huggins e Monke 1982).

Os processos descritos no modelo de predição da erosão utilizado pelo programa ANSWERS consideram o desprendimento, o transporte e a deposição das partículas de solo. Segundo o ANSWERS, o desprendimento das partículas de solo pelo escoamento superficial ocorre quando as forças cisalhantes do escoamento na superfície do solo superam as forças gravitacional e coesiva das partículas do solo.

Normalmente, essa força é proporcional ao declive da superfície do solo e à taxa de escoamento, enquanto a taxa de desprendimento das partículas de solo pelo impacto das gotas de chuva é, geralmente, proporcional ao quadrado da intensidade de precipitação (Beasley, Huggins, e Monke, 1982).

1.4.4 *European Soil Erosion Model - EuroSEM*

O Modelo Europeu de Erosão do Solo (EuroSEM) é um modelo dinâmico, capaz de simular o transporte de sedimentos, erosão e deposição sobre a superfície da terra por processo de sulcagem e erosão intersulco.

1.4.5 *Water Erosion Prediction Project Model (WEPP)*

Este modelo resulta da necessidade de suplantar as limitações impostas pelos anteriores modelos, USLE e RUSLE, tendo sido desenvolvido por um programa interinstitucional envolvendo instituições norte-americanas:

O modelo de erosão do WEPP é um programa computacional de simulação contínua, o qual prediz a perda de solo e a deposição de sedimentos por escoamento superficial em vertentes, a perda de solo e a deposição de sedimentos do escoamento concentrado em pequenos canais, bem como a deposição de sedimentos em reservatórios (Flanagan e Nearing, 1995).

O modelo WEPP calcula as distribuições espacial e temporal da perda de solo e sua deposição, além de fornecer estimativas explícitas de quando e onde, em determinada bacia hidrográfica ou vertente, está ocorrendo erosão, de forma a possibilitar a adoção de medidas de conservação para controlar a perda de solo e a produção de sedimentos (Flanagam *et al.*, 1995).

1.4.6 Limburg Soil Erosion Model (LISEM)

O modelo LISEM (*Limburg Soil Erosion Model*), ou seja, Modelo de Erosão do Solo de Limburg, foi originalmente desenvolvido para a província de Limburg, na Holanda, para testar os efeitos da retirada do capim e outras medidas de conservação do solo em pequena escala sobre a perda de solo. Embora possa ser usado para fins de planejamento, é essencialmente uma ferramenta de pesquisa devido à sua complexidade (Gayen e Saha, 2017).

A filosofia subjacente ao LISEM é que o modelo não assume nada. O usuário deve alterar todas as variáveis apropriadas: infiltração, rugosidade da superfície, *n de Manning*¹. Isso dá ao usuário mais liberdade e fica muito mais claro o que acontece na simulação.

1.4.7 Unit Stream Power-based Erosion Deposition (USPED)

O USPED é um modelo simples que prevê a distribuição espacial da erosão e deposição do solo com condições uniformes de excesso de chuva (Mitasova, et al., 1996; Mitas e Mitasova, 1998).

O USPED é um modelo bidimensional de erosão do solo. Ao contrário da Equação Universal de Perda de Solo Revista (RUSLE), que assume a erosão dependente principalmente da capacidade de descolamento das chuvas, o USPED assume que a erosão e a deposição das partículas do solo dependem principalmente da capacidade de transporte de sedimentos por parte do escoamento superficial. Se as partículas do solo já estão destacadas pela chuva, mas não há escoamento suficiente para as transportar, devido à forma do terreno ou ao efeito da vegetação, a quantidade real de erosão será significativamente reduzida (Liu et al., 2007).

¹ A fórmula de Manning (também conhecida por fórmula de Gauckler–Manning ou fórmula de Gauckler–Manning–Strickler é uma fórmula empírica que estima a velocidade média de um líquido em canais abertos (Peterson&Mohanty, 1960).

1.4.8 SIMWE SIMulated Water Erosion

SIMWE é um modelo de base física desenvolvido por Mitas e Mitasova (1998) visando a modelação de processos de erosão linear. O modelo é integrado num sistema de suporte e análise de informação geográfica (*Grass GIS*) e tem sido amplamente usado em diferentes contextos (Mitasova e Mitas, 2000; Fernandes et al., 2017). O seu uso permite encontrar uma associação entre as características do terreno e o equilíbrio de padrões entre a erosão e deposição (Fernandes et al., 2017).

1.4.9 Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

A Ferramenta de Avaliação de Solo e Água (SWAT) é um modelo ajustado à escala da bacia hidrográfica, desenvolvido para quantificar o impacto das práticas de gestão da terra em bacias hidrográficas grandes e complexas (Nietsh *et al.*, 2011). Trata-se de um modelo de tempo contínuo que opera numa etapa diária na escala da bacia. Tem como objetivo prever os impactos a longo prazo do manejo e o momento das práticas agrícolas dentro de um ano. Pode ser usado para simular na escala da bacia o ciclo de água e nutrientes em paisagens cujo uso dominante da terra é a agricultura. Também pode ajudar na avaliação da eficiência ambiental das melhores práticas de gestão e políticas alternativas de gestão (Arnold, *et al.*, 1998).

1.4.10 Water and Tillage Erosion Model and Sediment Delivery Model (WaTEM/SEDEM)

O WaTEM / SEDEM é uma versão combinada de dois modelos de erosão do solo empiricamente baseados, WaTEM (Modelo de erosão hídrica e lavoura do solo, Van Oost. *et al.*, 2000) e SEDEM (modelo de transporte e deposição de sedimentos; Van Rompaey. *et al.*, 2001).

O principal objetivo do modelo é prever o transporte e deposição de sedimentos até aos canais fluviais e simular o transporte e deposição dentro de uma bacia de drenagem. O modelo foca na variabilidade espacial e é útil na estimativa dos padrões espaciais de perda de solo e fluxo de sedimentos.

O modelo consiste em dois módulos, um componente de previsão de erosão hídrica e um modelo de transporte e deposição de sedimentos. O primeiro módulo calcula a perda de solo por erosão hídrica com base numa versão adaptada da USLE (Equação Universal de Perda de Solo Revista, Renard *et al.*, 1991). No segundo módulo, a abordagem de modelo de transporte e deposição de sedimentos é baseada em cálculos de capacidade média de transporte anual (Van Oost. *et al.*, 2000).

1.4.11 Morgan-Morgan Finney Model (MMF)

O Modelo *Morgan-Morgan Finney*, é um modelo de base semi-física usado para estimar a quantidade de escoamento anual e solo erodido de uma área ou bacia hidrográfica (Choi *et al.*, 2017). Este modelo é similar aos modelos de base física, nomeadamente SWAT (Neitsch *et al.*, 2011), EUROSEM (Morgan *et al.*, 1998), LISEM (De Roo, 1996), e WEPP (Nearing *et al.*, 1989).

Trata-se de um modelo que permite um conhecimento profundo dos processos de erosão dos solos usando conceitos físicos. Em adição, o modelo MMF, similarmemente aos modelos empíricos USLE (Wischmeier & Smith, 1978) e RUSLE (Renard *et al.*, 1991), mantem uma simplicidade conceitual, usando relações semi-empíricas e não requerendo parâmetros excessivos e recurso a computação (Choi *et al.*, 2017).

1.4.12 Pan European Soil Erosion Risk Assessment (PESERA)

O modelo pan-europeu de avaliação de risco de erosão do solo (PESERA) oferece uma metodologia para avaliar o risco regional de erosão hídrica do solo. O modelo é concebido como uma ferramenta de diagnóstico regional, substituindo métodos comparáveis existentes, como a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), que são menos adequados para condições europeias e não são compatíveis com modelos de alta resolução. O modelo PESERA distingue entre erodibilidade do solo, propriedades hidráulicas do solo, efeitos do uso da terra e mudanças climáticas, oferecendo o potencial de explorar a sensibilidade das mudanças de ambiente por meio da análise de cenários (Kirkby *et al.*, 2008).

1.5 O Quadro Normativo e Políticas Públicas para a Redução do Risco de Desastres em Moçambique

Neste subcapítulo apresenta-se o quadro legal e político Moçambicano, reconhecendo a existência de um quadro internacional sobre redução de riscos a desastres, com o qual Moçambique se articula, como o Quadro de *Sendai* para Redução do Risco de Desastres 2015-2030, a Conferência de Paris sobre Mudanças Climáticas, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, de entre outras políticas.

Para além da prevenção e mitigação dos riscos, Moçambique define como prioridade a gestão de risco de desastres. Com efeito, em termos de quadro jurídico de gestão de riscos de desastres, foi introduzida a Lei de Gestão das Calamidades (Lei nº15/2014 de 20 de Junho), que estabelece o regime jurídico da gestão do risco das calamidades, compreendendo a prevenção e mitigação dos efeitos destruidores das calamidades, o desenvolvimento de ações de socorro e assistência, bem como as ações de reconstrução e recuperação das áreas afetadas. O Regulamento da lei 15/2014 de 20 de junho foi aprovado em Março de 2016, e fixa regras e procedimentos de aplicação.

A Lei nº15/2014, entre muitos dos seus aspetos, destaca:

- *A proibição de construção de habitação em zonas vulneráveis às calamidades e a responsabilidade dos governos e autoridades locais na definição dessas áreas;*
- *A obrigatoriedade de desenvolvimento da prontidão operacional em todas as instituições públicas, privadas e pelos cidadãos em geral;*
- *A obrigatoriedade do Governo em ter plano de contingência; e*
- *A obrigatoriedade de observar os alertas.*

A Lei nº15/2014 mostrou no seu artigo 13, sem prejuízo dos outros que se mostrem necessários, a integração no plano nacional de gestão de calamidades, planos de previsão de riscos de ocorrência de incêndios, queimadas, epidemias, erosão, aluimentos de terras e derrames de hidrocarbonetos, alargando assim o conceito de risco àquelas ameaças.

O Artigo 3 da Lei nº15/2014 preconiza que a gestão das calamidades compreende as políticas, os planos e estratégias de prevenção e mitigação, visando impedir ou reduzir o impacto das calamidades na vida das populações ou comunidades.

Num outro plano, a Agenda 2025: Visão Estratégica de Nação (CC, 2013), identificou a vulnerabilidade às calamidades tais como inundações, secas e ciclones; como uma das ameaças para o desenvolvimento (p.38). A estratégia também estabeleceu claramente a relação entre as calamidades e o desenvolvimento, quando destaca que o resultado das calamidades que assolaram o território nos anos 2000 e 2001, aliada à excessiva vulnerabilidade do país face a estes fenómenos, fez com que o rendimento per capita tenha decrescido (p.48). Ao nível das incertezas críticas, a estratégia identifica uma crescente capacidade de gestão dos desastres e dos efeitos das mudanças climáticas globais (p.56).

No que diz respeito aos assentamentos humanos, a estratégia estabelece como prioridade a capacidade de prevenção de desastres, sua mitigação e posterior reabilitação. Paralelamente, orienta que, para melhorar a capacidade de prevenção das calamidades, devem ser aprovadas e aplicadas normas e regulamentos apropriados para o ordenamento territorial, construção e planificação, baseados em avaliações do nível de perigo e vulnerabilidade aos desastres, tanto os resultantes de eventos naturais, como os causados pelo Homem.

A Estratégia Nacional de Adaptação e Mitigação de Mudanças Climáticas (ENAMMC-2013-2025), foi elaborada e aprovada pelo Governo de Moçambique, visando identificar áreas chave de atuação com vista a diminuir a gravidade dos impactos das mudanças climáticas, através de ações de adaptação e de redução dos riscos climáticos (CM, 2017).

O objetivo geral da ENAMMC (2013-2025) é estabelecer as diretrizes de ação para criar resiliência, incluindo a redução dos riscos climáticos, nas comunidades e na economia nacional e promover o desenvolvimento de baixo carbono e a economia verde, através da sua integração no processo de planificação sectorial e local. Esta ênfase na resiliência e na redução dos riscos climáticos estabelece já uma interação indivisível entre a estratégia e os objetivos, ações e estrutura funcional do Plano Diretor de Redução de Riscos de Desastres. O Plano Diretor para a Redução do Risco

de Desastres 2017-2030 define os objetivos estratégicos para o período em alusão e apresenta um Quadro de Indicadores de Redução do Risco de Desastres em 2017-2019. Este instrumento visa monitorar a integração da gestão do risco de desastres nos planos sectoriais e locais, tendo em conta os compromissos do Governo plasmados nas Políticas Públicas nacionais e em instrumentos internacionais (CM, 2017).

CAPÍTULO 2: ENQUADRAMENTO DA CIDADE DE NACALA

2.1 Localização geográfica e divisão administrativa

A cidade de Nacala, que coincide geograficamente com o município do mesmo nome (Município de Nacala), situa-se a uma distância de cerca de 200 Km da cidade capital da Província de Nampula, 500 km em linha reta da fronteira Norte do País com a Tanzânia, cerca de 1.800 km da fronteira Sul com África do Sul, e cerca de 620 km da fronteira Oeste com o Malawi.

A Cidade de Nacala situa-se na parte oriental da República de Moçambique, junto ao Oceano Índico, a latitude compreendida entre 14°27' e 14°45' S e longitude compreendida entre 40°36' e 40°51' E. A cidade é limitada ao Norte e Oeste pela Baía de Nacala e Distrito de Nacala-a-Velha, ao Sul pelo Distrito de Mossuril, e a Este pelo Oceano Índico (figura 2.1).

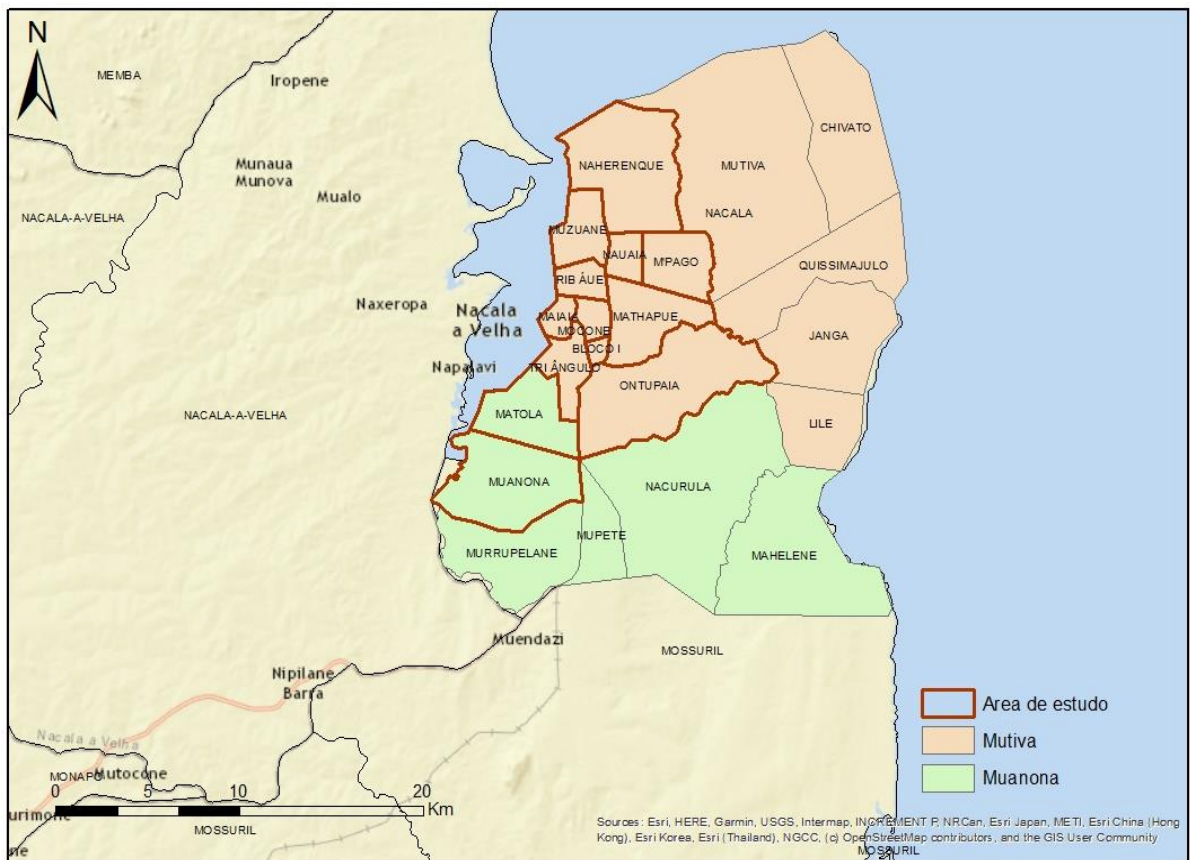


Figura 2.1: Enquadramento geográfico da área de estudo

O território da atual cidade de Nacala, tal como apresentado na figura 2.1, foi definido em 1981 e os limites foram publicados no Boletim da República de 35/81, aprovado através da resolução nº 3/81 de 2 de Setembro pela Assembleia Popular. A sua criação resultou da fusão entre a antiga área da Câmara Municipal do Fernão Veloso e uma porção do território que pertencia ao Distrito de Nacala, o qual ocupava toda a Baía de Nacala (CMCN, 2010).

A cidade possui dois postos administrativos (Muanona e Mutiva), com um total de 22 bairros², que estão discriminados no quadro 2.1.

Quadro 2.1: Bairros integrantes dos Postos Administrativos de Muanona e Mutiva

Postos Administrativos	Bairros
PA Muanona	<i>Matola, Muanona, Mupete, Murrupelane, Nacurrula, Mahelene,</i>
PA Mutiva	<i>Bloco1, Chivato, Janga, Lile, Maiaia, Mathapuê, Mocone, Mpagó, Mutiva, Muzuane, Naherenque, Nauaia, Ontupaia, Quissimajulo, Ribaué, Triângulo.</i>

2.2 Geologia

A Notícia Explicativa da Carta Geológica 1:250.000 de Moçambique, cujo extrato encontra-se na figura 2.2, mostra que, de forma geral, o continente africano é composto por cratões e cinturões móveis da idade arcaica, unidos por cinturões dobrados alongados da idade proterozoico-câmbrica, cobertos por sedimentos pouco deformados e rochas extrusivas associadas, de idades neo-proterozóica, carbónica tardia a jurássica inicial e cretácico a quaternário (GTK Consortium, 2006b).

² A nova divisão administrativa da cidade de Nacala acrescenta 11 bairros para o Posto Administrativo de Muanona, nomeadamente: *Locane, Inaco, Navevene, Josina Machel, Mutalane, Namissica, Muambe, Nanare, Nabulussa*, 25 de Setembro e *Teterrane*. Estes novos bairros, embora tenham sido definidos a partir do Plano de 2010, ainda não estão representados cartograficamente em qualquer documento oficial. Com efeito, mesmo o Censo de 2017 considerou os anteriores 22 bairros, que são também a base desta tese, a partir dos quais foram escolhidos os 13 bairros da área de estudo.

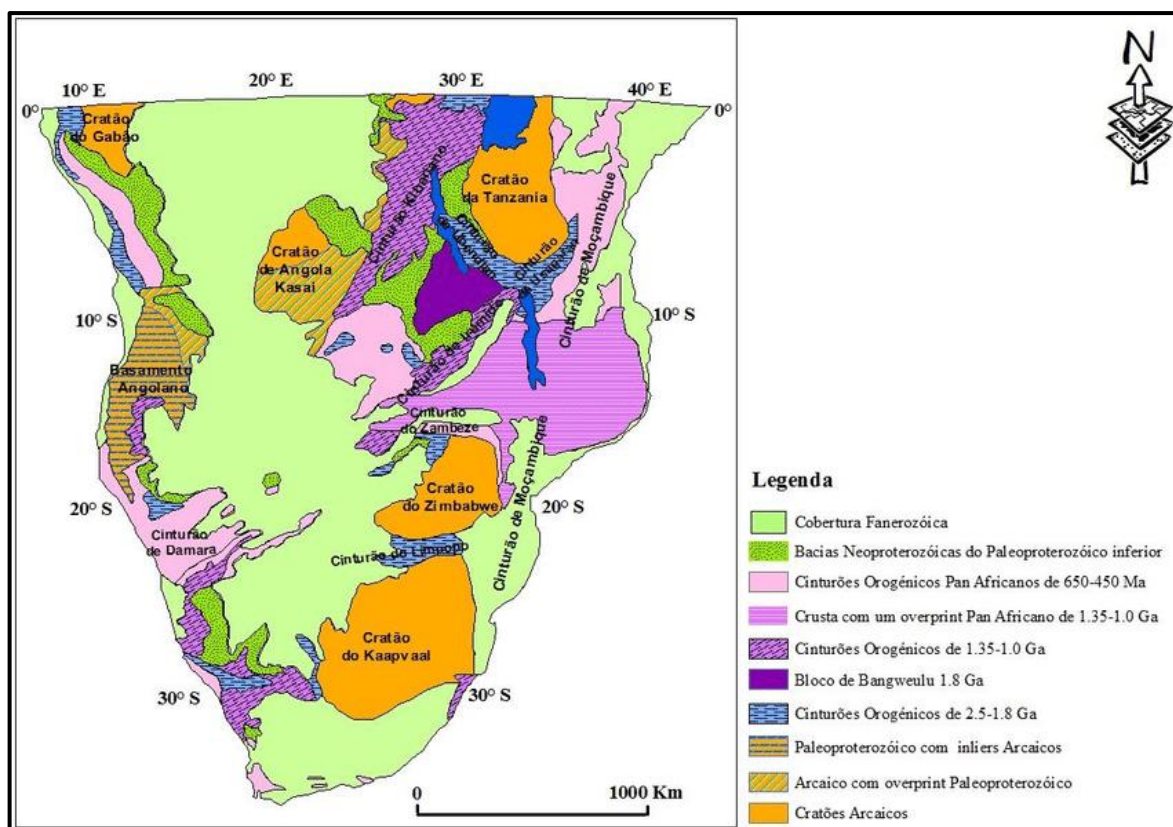
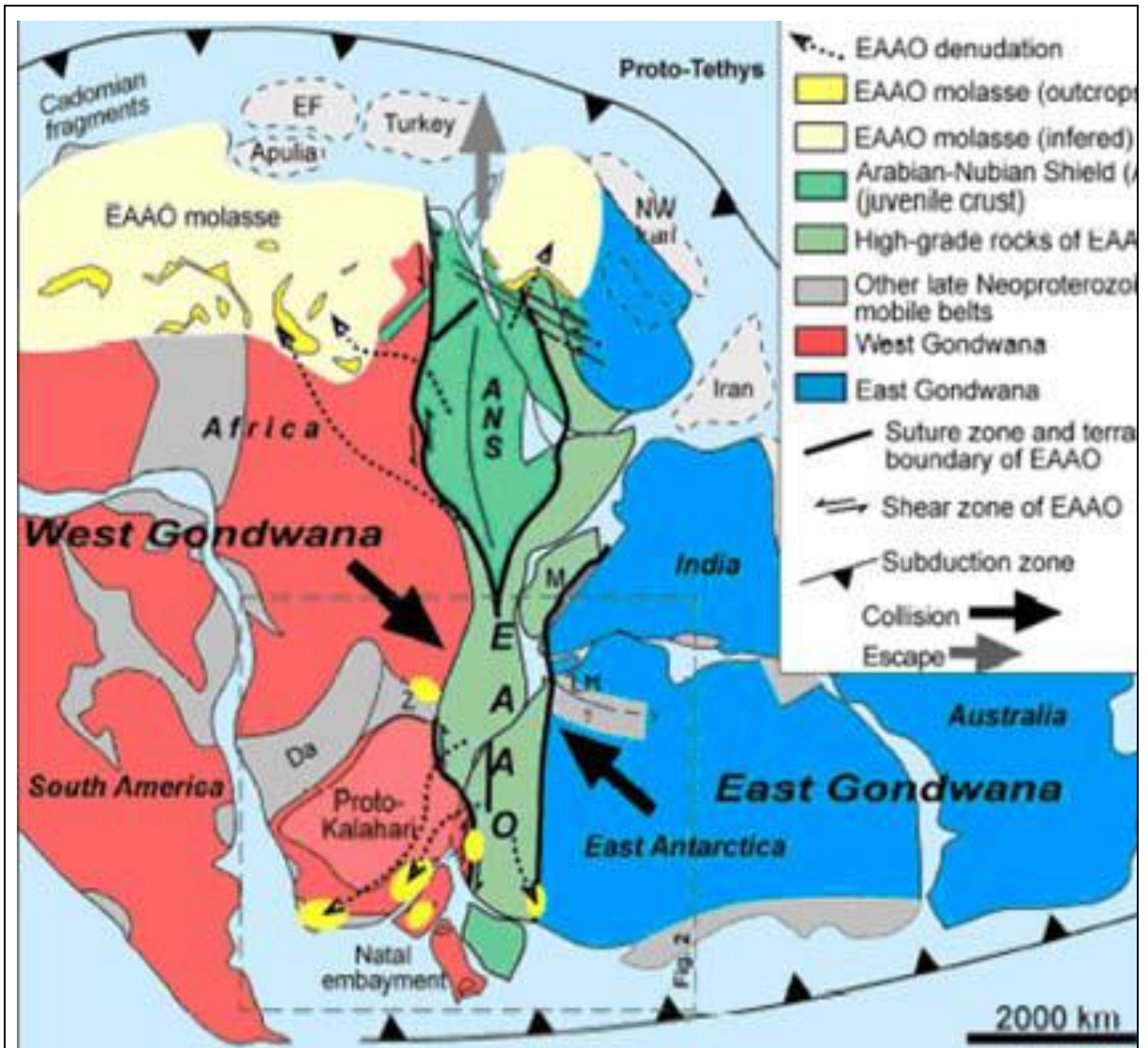


Figura 2.2: Mapa da tectónica regional do Sudeste de África, localizando o Cinturão de Moçambique. Mapa adaptado de (Hanson, 2003 em Cronwright, 2005).

A geologia Moçambicana caracteriza-se pela ocorrência de um soco cristalino de rochas metamórficas da idade pré-câmbrica, ocupando 2/3 do território, e por rochas sedimentares da idade fanerozoica (GTK Consortium, 2006a).

Segundo GTK Consortium (2006a), o soco cristalino é constituído por paragneisses supracrustais metamorizados, granulitos e migmatitos, ortogneisses e rochas ígneas. Do ponto de vista geodinâmico, o soco cristalino é composto por três terrenos diferentes, que colidiram e se juntaram durante o ciclo orogénico Pan-Africano. O termo “terreno” é usado neste contexto para indicar uma unidade tectónica de dimensão variável, ou seja, uma placa litosférica, um fragmento de placa ou uma massa tectónica tal como uma *nappe*. A Notícia Explicativa da Carta Geológica de Moçambique volume 4, (GTK Consortium, 2006a), designa tais terrenos em: terreno do Gondwana Este, Terreno do Gondwana Oeste e Terreno do Gondwana Sul (figura 2.3).



ANS: Escudo Árabe-Nubiano; **EAAO:** Orógeno Este Africano-Antártida; **M:** Madagascar; **Da:** Damariano; **Z:** Cinturão do Zambeze. Fonte: GTK Consortium, 2006a

Figura 2.3: Reconstrução do Gondwana. Fonte: GTK Consortium, 2006b

As rochas sedimentares da idade fanerozóica englobam as litologias depositadas posteriormente ao Ciclo Orogénico Pan-Africano. Trata-se, geralmente, de sedimentos (sub)horizontais continentais a marinhos e rochas subvulcânicas associadas (GTK Consortium, 2006a). A cobertura fanerozóica divide-se (das formações mais antigas às mais recentes) em Supergrupo do Karoo e sequências depositadas durante o desenvolvimento do Sistema do Rife da África Oriental (figura 2.4). O Supergrupo Karoo é uma das unidades geológicas mais importantes da África Austral. Este compreende duas unidades estratigráficas distintas, uma unidade

inferior, mais antiga, formada por rochas sedimentares de idade Carbonífero Superior - Pérmico, e uma unidade superior e mais recente, constituída por rochas ígneas intrusivas e extrusivas e sedimentos do Jurássico inferior (GTK Consortium, 2006a).

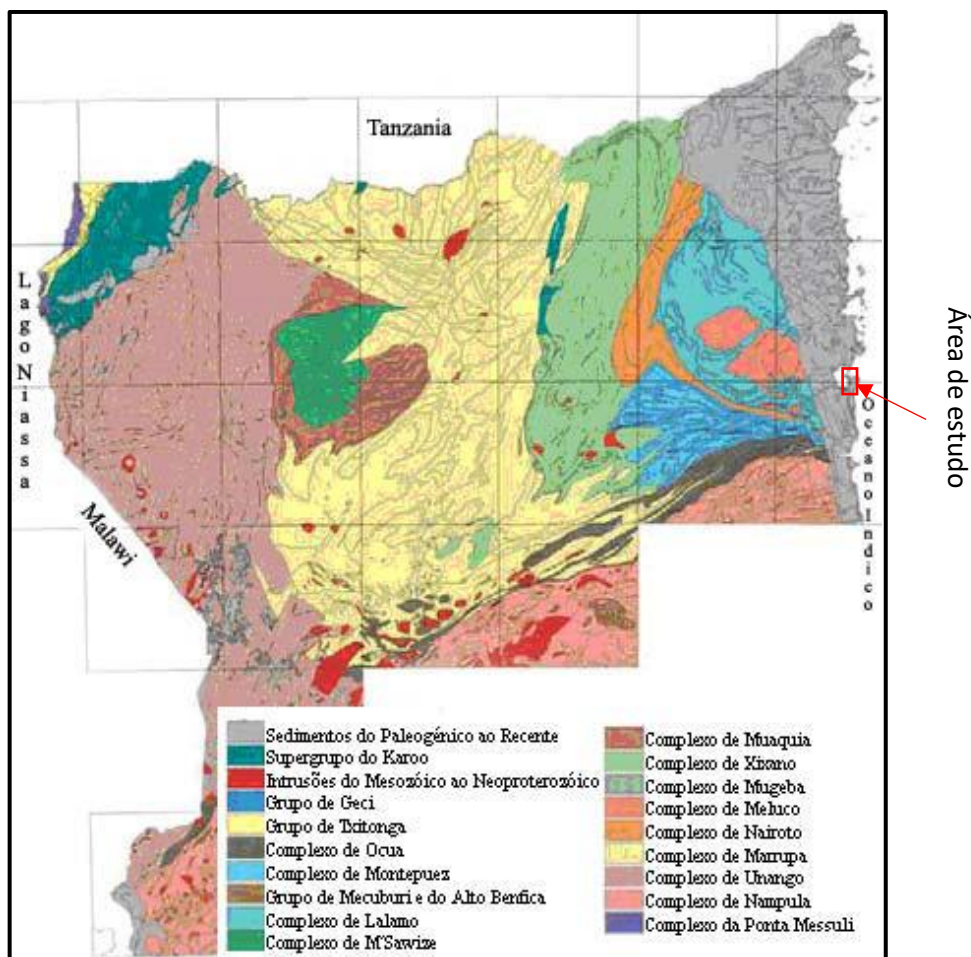


Figura 2.4: Principais unidades geológicas do nordeste de Moçambique (Bingen et al.,2007).

A cidade de Nacala encontra-se na província de Nampula, que é caracterizada geologicamente por possuir formações cujas idades vão desde o Proterozóico Médio até o Cenozóico (Quaternário). O contato entre as formações proterozóicas e fanerozóicas é definido por falhas em *échelon* (em escada), resultantes da abertura do Oceano Índico (Aurecon, 2010).

As formações de idade Pré-Câmbrica desta região pertencem ao Sector NE do Pré-Câmbrico em Moçambique, abrangendo as Províncias de Cabo Delgado, Nampula e parte das províncias da Zambézia e do Niassa (Pinna *et al.*, 1993). Estas formações

são constituídas por dois conjuntos estruturais: uma camada superior granulítica, constituída por rochas do Supergrupo do Lúrio, que se sobrepõe às rochas do Supergrupo do Chiúre e Ultramilonitos; e uma Camada inferior granitóide e migmatítica, constituída por rochas do Supergrupo de Nampula e do Grupo de Mecubúri (Pinna *et al.*, 1993).

As rochas da camada superior dividem o Setor NE em dois blocos, a norte e a sul, separados pelo cinturão do Lúrio, que segue desde a costa para o interior na direção ENE-WSW, estando a região de Nacala no Bloco Sul (Aurecon, 2010).

Uma análise da figura 2.5 evidencia que as formações do Fanerozóico são representadas por rochas vulcânicas e sedimentares de idades variadas. As formações vulcânicas são da fase terminal do Supergrupo Karoo, correspondentes aos Basaltos de Angoche, que ocorrem em pequenas manchas. São constituídas por lavas basálticas e riolíticas, que se formaram na transição do Jurássico para o Cretácico.

A Formação de Cocuni, de idade jurássica superior, constituída por calcários, representa a única mancha aflorante da transgressão marinha ocorrida no Kimeridgiano (Jurássico Superior) em Moçambique, localizada a sul da Baía de Nacala. Os sedimentos da Formação de Cocuni são de origem marinha, de litoral pouco profundo, sendo constituídos por calcários gresosos, com espessura de cerca de 30 metros (Aurecon, 2010).

O Cretácico sedimentar é representado pela Formação de Pemba, constituída por sedimentos de origem marinha. Esta formação está em contato com as rochas do Pré-Câmbrico a leste, estendendo-se ao longo da costa, desde o paralelo 14°S até o paralelo 15°S.

As Formações de Quissirupa/Repa e de Sancul/Cogune, de idade terciária e de origem marinha, têm maior expressão na península a leste de Nacala. Na carta geológica de Nacala (figura 2.5) observa-se a ocorrência de pequenas manchas do Terciário Superior Continental, concretamente da Formação de Mikindani, constituída por grés e arcoses vermelhas, com estratificação cruzada e com níveis conglomeráticos (não mapeadas no mapa geológico de Moçambique na escala de 1:1.000.000). O Quaternário está representado por aluviões recentes, aluviões flúvio-marinhos, dunas interiores e formações de Piemonte (ENH, 1986).

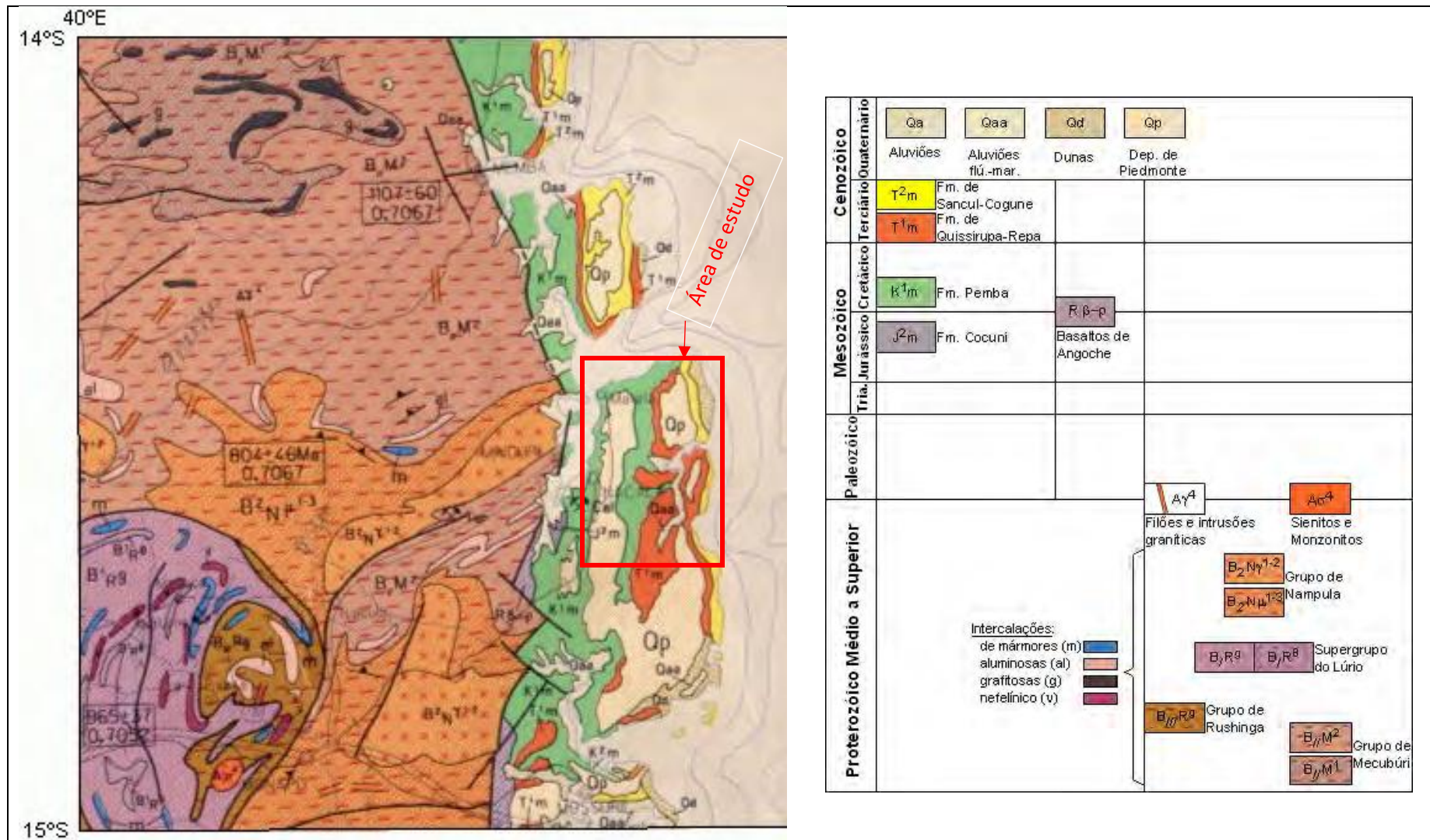


Figura 2.5: Extrato geológico da porção nordeste de Moçambique (Grau-Quadrado 1440) Fonte: Mapa Geológico de Moçambique (1:1.000.000), DNG (1987)

2.3 Geomorfologia

A cidade de Nacala localiza-se topograficamente numa zona baixa da Planície Costeira Moçambicana. Esta planície é constituída por sedimentos e rochas sedimentares, com pequenas manchas de vulcanitos (Bondirev, 1983). Trata-se de uma planície bastante homogénea do ponto de vista hipsométrico, não apresentando depressões muito pronunciadas, nem elevações significativas, com altitudes que não ultrapassam normalmente os 200m (Aurecon, 2010).

De acordo com Aurecon (2010), em função da sua génese, a cidade de Nacala pode enquadrar-se em 11 unidades geomorfológicas distribuídas cronologicamente em três grupos. O primeiro grupo é composto por superfícies rebaixadas do Cenozóico - Quaternário e inclui planícies de marés, esporões e praias arenosas, planície supratidal com mangal, cordão dunar litoral, planície aluvial, plataforma de abrasão intertidal, terraços flúvio-marinhos e pequenas elevações de sedimentos quaternários. O segundo grupo é composto por uma plataforma litoral talhada em conglomerados e grés do Cretácico Inferior. O terceiro grupo é composto por depressões, colinas, interflúvios e superfícies aplanadas talhadas nas rochas do Proterozóico Médio a Superior.

2.3.1 Planícies, Terraços Flúvio-marinhos e Depósitos de Piemonte (Superfícies Rebaixadas do Cenozóico - Quaternário).

As praias arenosas formam uma faixa estreita com menos de 10 metros de largura e ocupam as áreas de interface mar-continente. Estas apresentam declives suaves com inclinação de cerca de 10° a 12°. Na costa sul da baía de Nacala, a praia arenosa tem uma berma com cerca de 4 m de largura, a que se segue, em direção ao continente, uma paleo-berma com cerca de 30 m de largura. Os sedimentos da praia são constituídos por quartzo, fragmentos de diversos tipos de conchas e de corais e, localmente, podem apresentar concentrações de minerais pesados. A costa da cidade também possui, em alguns locais, plataformas de abrasão rochosas e esporões arenosos (Aurecon, 2010).

Nas baías e desembocaduras nota-se a ocorrência de planície supradital com mangal, com topografia plana ou quase plana, constituída essencialmente por silte e lama

orgânica de secreções de organismos e da acumulação de algas. Estas planícies são atravessadas por inúmeros canais de marés (Aurecon, 2010).

Os cordões dunares litorais têm maior expressão topográfica ao longo de uma faixa costeira muito estreita que se desenvolve na direção SE-NW na parte externa das baías, enquanto as planícies aluviais ocorrem nos fundos dos vales e adquirem a sua maior expressão espacial perto da costa (Aurecon, 2010).

Os terraços flúvio-marinhos têm maior expressão topográfica na margem oeste da baía Fernão Veloso, mas pequenos retalhos ocorrem também na margem leste da baía. A presença dos terraços de acumulação é notada pela ocorrência de mantos de areias brancas com fragmentos de conchas e acumulações cascalhentas. Adicionalmente, terraços de erosão ocorrem nas rochas do soco cristalino Pré-Câmbrico (Aurecon, 2010).

Pequenas colinas talhadas em sedimentos quaternários ocorrem na cidade de Nacala, numa faixa na direção Norte - Sul, culminando a aproximadamente 250 metros de altitude. Estas colinas estão talhadas em depósitos de material quaternário indiferenciado, constituídos por areias finas a médias, com conteúdos significativos de argila (Aurecon, 2010). As colinas têm topo plano ou levemente ondulado e as suas vertentes têm declives acentuados, da ordem de 30-40°, estando expostas em direção ao mar. Estas vertentes são regularmente afetadas por erosão hídrica (ravinamento) e erosão torrencial, libertando detritos que são transportados e depositados junto ao sopé, onde formam mantos de cobertura de sedimentos com cor amarelo-avermelhada (Aurecon, 2010). Estas vertentes foram ocupadas para o desenvolvimento habitacional, como ilustrado na figura 2.6, o que acentua a ocorrência de erosão acelerada e a consequente exposição a este perigo na cidade de Nacala.



Figura 2.6: Ocupação residencial em área declivosa no bairro de Triângulo, cidade de Nacala, foto tirada em Setembro de 2016.

2.3.2 Plataforma Litoral talhada nas rochas do Cretácico Inferior.

De acordo com Aurecon (2010), a Plataforma Litoral corresponde a uma faixa de elevações isoladas e alongadas na direção Norte - Sul, com altitudes que variam de 80 a 150 metros. Esta forma de relevo desenvolve-se sobre rochas sedimentares de idade Cretácica, representadas por conglomerados e grés. Estas rochas são geralmente mecanicamente friáveis, de fraca coesão e baixa resistência à erosão pluvial (Consultec, 2006), o que propicia a sua dissecação por ravinas de erosão (figura 2.7).



Figura 2.7: Uma área retalhada por ravina de erosão na área de estudo

2.3.3 Depressões e colinas dos interflúvios de rochas Pré-Cambrianas

Esta unidade ocupa, na totalidade, a faixa NW da cidade de Nacala e comporta colinas interfluviais com depressões de acumulação de sedimentos eluviais e aluviais. As colinas atingem altitudes médias de cerca de 150m, e as diferenças topográficas entre estes dois tipos de terrenos é de mais de 30 metros, conferindo à superfície um aspeto ondulado e dissecado. Estas formas de relevo desenvolvem-se sobre rochas de idade Pré-Câmbrica representadas por gneisses, migmatitos e rochas ígneas de textura pegmatítica. As vertentes são geralmente dissecadas por sulcos e ravinas.

2.4 Solos e erosão hídrica

Um estudo realizado pela Aurecon (2010), usando o Sistema de Classificação Taxonómica de Solos Sul-africano (Mac Vicar et al, 2ª edição, 1991, figura 2.8), confirmou para a cidade de Nacala a existência dos seguintes tipos de solos:

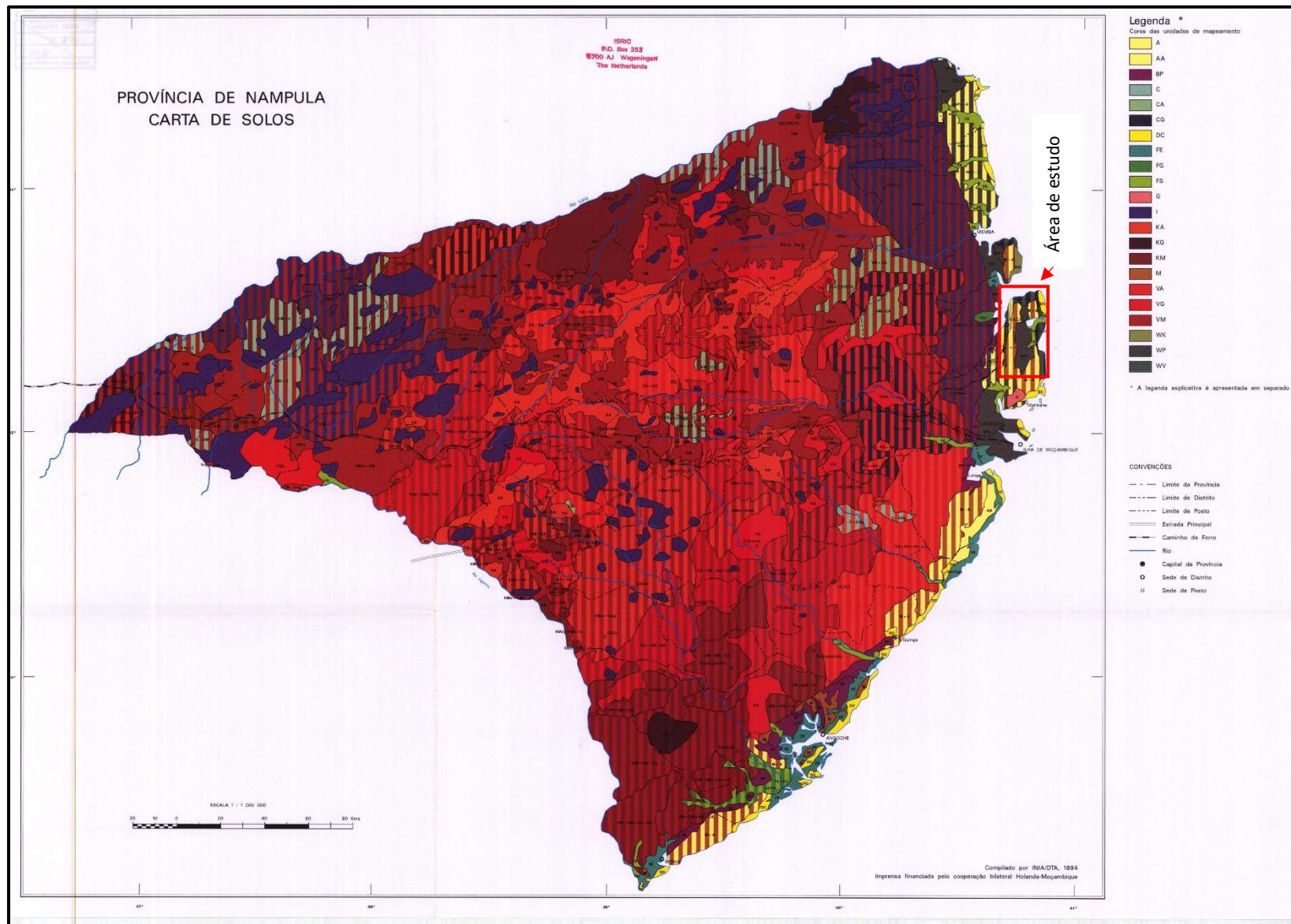


Figura.2.8: Sistema de Classificação Taxonómica de Solos Sul-africano (Mac Vicar et al, 2ª edição, 1991)

- Solos aluviais, ao longo das linhas de drenagem naturais e planícies estuarinas marinhas. Trata-se de solos moderadamente profundos, com elevados níveis de argila, fracamente drenados e sujeitos a inundações regulares por parte das águas do rio (áreas dos vales e planícies) e marés (áreas do estuário). São considerados solos bastante férteis, apesar de a sua utilização ser limitada devido às inundações (das marés).
- Solos com elevados níveis de argila, com cor escura, profundidade limitada e apenas moderadamente drenados. Estes solos são resultantes dos sedimentos associados ao *Karoo* e ocorrem em terrenos ondulados na forma de montes com suscetibilidade moderada à erosão. Geralmente são pouco férteis devido à reduzida disponibilidade de nutrientes e reduzida capacidade de manutenção de água.
- Solos desenvolvidos sobre rochas ácidas como granitos e gnaisses. Os solos contêm argila, são arenosos, castanhos, com perfil pouco profundo e uma elevada suscetibilidade à erosão.
- Solos desenvolvidos nas rochas basálticas das sequências do *Karoo*. São solos com bastante argila, pretos, pesados e com fendas associadas à presença de argilas expansivas. O nível de fertilidade natural é elevado, mas a adequação agrícola é apenas moderada, devido à dificuldade na preparação do solo e fraca drenagem na estação húmida.

A situação de erosão por ravinamento na Cidade de Nacala é relativamente grave, afetando não só o desenvolvimento urbano, mas também a baixa da cidade, onde se localiza o Porto. Quando ocorrem fortes chuvadas é frequente verificar-se a formação e alargamento de ravinas, a destruição de estradas e a acumulação de sedimentos ao longo das vias rodoviárias (figura 2.9), bem como na área do Porto, através da deposição de detritos provenientes das encostas envolventes.

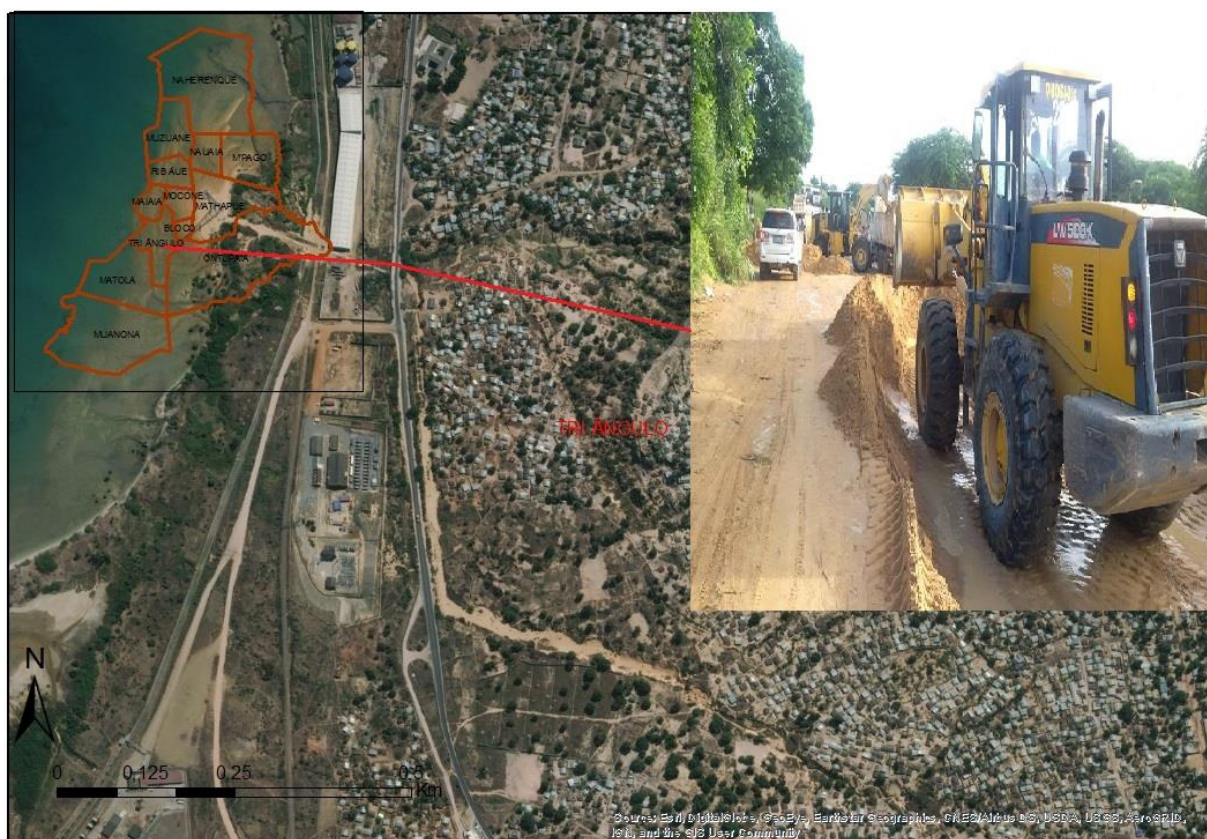


Figura 2.9: Remoção de sedimentos provenientes do escoamento e acumulação na via de acesso no bairro do Triangulo (foto tirada pelo autor em 23 de fevereiro de 2017)

O evento mais significativo a partir do qual a cidade de Nacala começou a registar processos erosivos acentuados foram as chuvas de fevereiro de 1989. O Jornal Noticias de Moçambique (JN) 2016, publicado em 17 fevereiro 2016, relata que, em 1989 a cidade de Nacala-Porto, particularmente a zona baixa, incluindo o próprio porto, sofreu grandes danos causados pelas maiores enxurradas que a urbe jamais viveu.

Uma análise dos dados da precipitação em trinta anos (1987-2016), mostra que para a cidade de Nacala (quadro 2.2), a precipitação no ano de 1989, esteve acima da média dos 30 anos em análise, mas não foi a mais alta daquele período. Portanto, o ano de 1989 não foi aquele que registou a maior precipitação na cidade, mas os efeitos das enxurradas foram maiores, o que poderá ser justificável por uma ocorrência concentrada de precipitação em alguns dias, ou horas.

As enxurradas de Fevereiro de 1989 foram responsáveis por muitos danos na baixa da cidade de Nacala. Na sequência das destruições, o Governo de Moçambique e parceiros estrangeiros levaram a cabo ações para travar a erosão na urbe, implementando o Projeto Integrado de Desenvolvimento de Nacala, em três fases. A primeira, entre Outubro de 1989 e Dezembro de 1992, tinha o objetivo de fortalecer a gestão municipal, reabilitação ambiental e realojamento das famílias transferidas das zonas de alto risco. A segunda fase, entre Janeiro de 1993 e Dezembro de 1995, visava melhorar as áreas de risco. A terceira fase, entre Janeiro de 1996 e Dezembro de 1998, visava capacitar e potencializar as autoridades municipais em matéria de gestão do risco municipal (CMCN, 2010).

Contudo, mesmo com a implementação do projeto e a relativa redução da erosão, a situação de ravinamento prevaleceu na cidade de Nacala. Segundo JN (2016), a razão da prevalência deveu-se a negligência por parte de todos os atores, nomeadamente os moradores e o Conselho Municipal. Por um lado, os moradores invadiram e construíram de forma desordenada residências nas encostas (zonas proibidas); por outro lado, os responsáveis da autarquia autorizaram a edificação de infraestruturas nessas áreas, o que veio anular o esforço de combate à erosão feito no âmbito do projeto integrado.

Embora a ocorrência das ravinas sejam um problema que tem sido observado e bastante reportado, para a cidade de Nacala são escassos os estudos que descrevem a forma de ocorrência, suas consequências e medidas de mitigação. Igualmente na literatura a nível do país, a análise de erosão em Moçambique pode ser encontrada apenas de forma dispersa em alguns estudos, nomeadamente: i) nos estudos sobre a erosão costeira e controle de erosão (Moreira, 2005, Hogue, 2007, Björnberg e Wahlström, 2012, Palalane *et al.*, 2015); ii) em estudos que fazem análise das dinâmicas de vegetação (Ribeiro *et al.*, 2010); iii) em estudos dedicados às alterações climáticas (Dasgupta *et al.*, 2009).

Embora não existam muitos estudos científicos que versam sobre a erosão hídrica em Moçambique, pela sua magnitude na cidade de Nacala, várias iniciativas locais e projetos internacionais já foram implementados. Com efeito, o Projeto de Adaptação Climática das cidades costeiras (CCAP), com financiamento da USAID, produziu para o município: i) um mapa de exposição (figura 2.10) baseado em dados da topografia

(declive e escoamento de água superficial); ii) um mapa de sensibilidade aos eventos climáticos (figura 2.11) baseado em dados da densidade populacional, tipo de casas e distribuição do mangal; iii) um mapa de capacidade de adaptação (figura 2.12), baseado em dados de proximidade às estradas, tipos de casa, escolas, hospitais e rios e no Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI); e iv) um mapa de vulnerabilidade aos eventos climáticos (figura 2.13) a partir dos dados da sensibilidade, exposição e capacidade de adaptação.

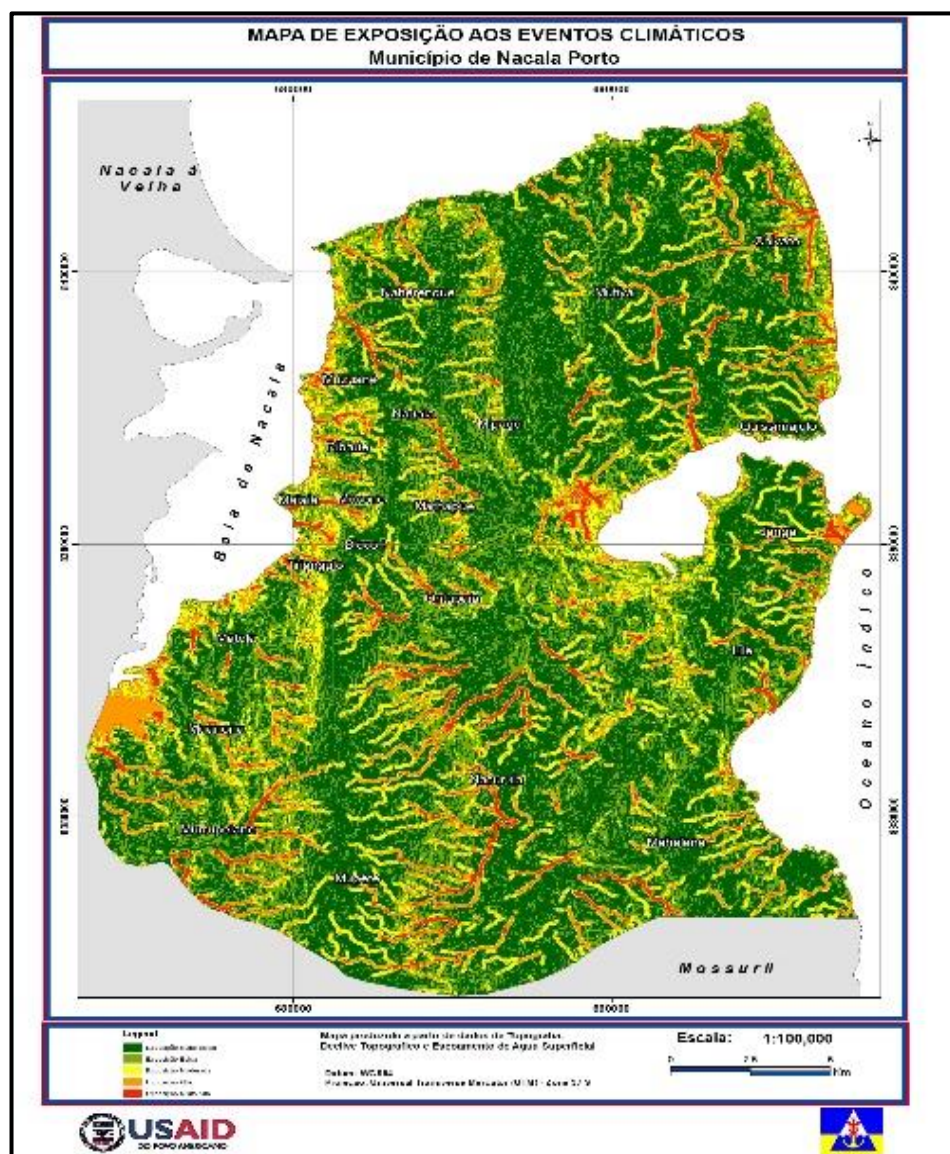


Figura 2.10: Mapa de Exposição aos eventos climáticos, USAID, 2018.

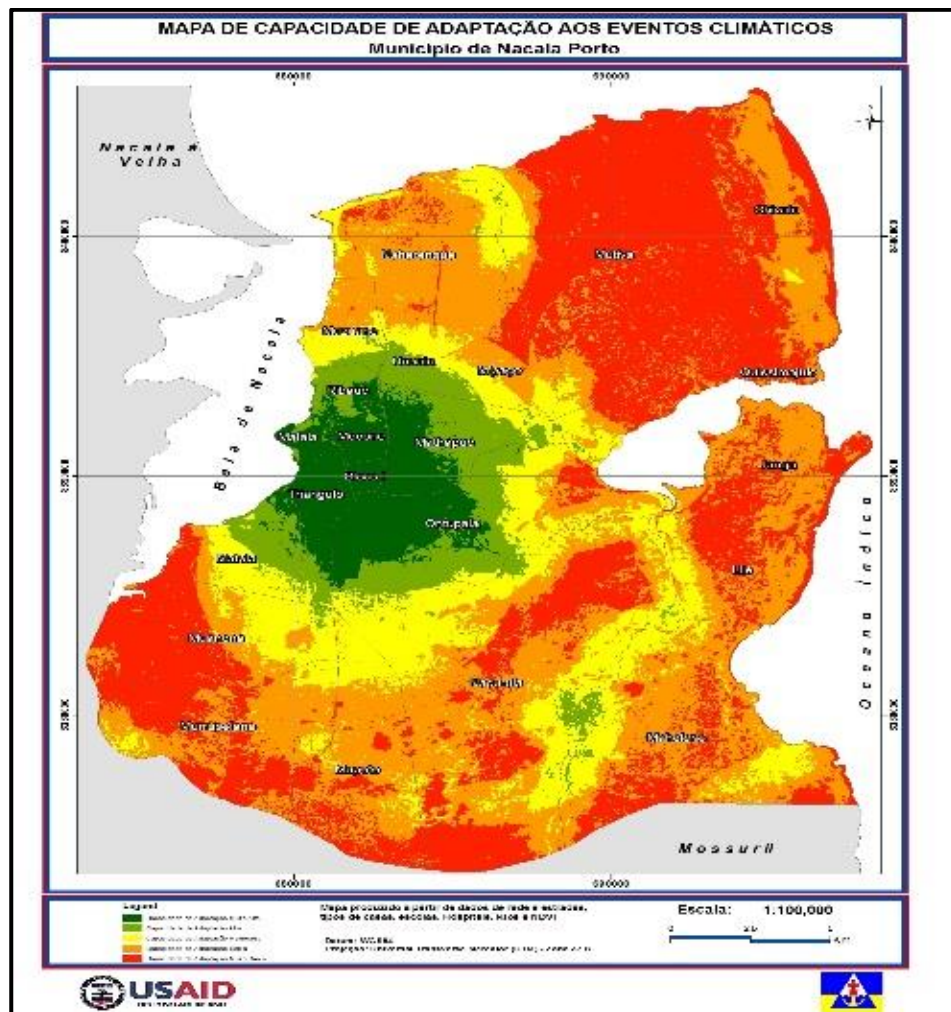


Figura 2.12: Capacidade de adaptação aos eventos climáticos, USAID, 2018

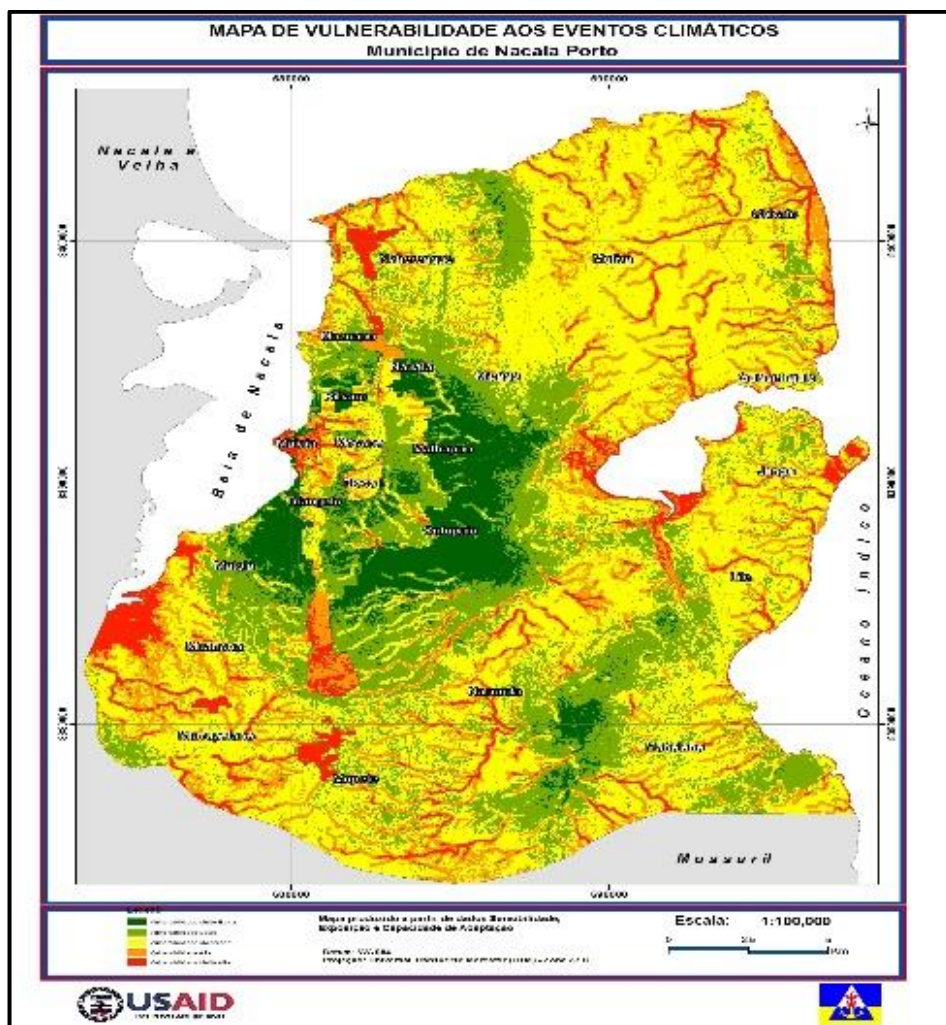


Figura 2.13: Vulnerabilidade aos eventos climáticos, USAID, 2018

As ravinas existentes na área de estudo podem enquadrar-se nos conceitos de ravinas de fundo (*valley-bottom gullies*) e ravinas de vertentes *valley-side gullies* (*Soil Science Society of America*, 2001). Segundo Poesen *et al.* 2003) apud Bergonse (2014, p.17), as ravinas de fundo (*valley-bottom gullies*) caracterizam-se por uma concentração do escoamento topograficamente definida, ocorrendo em fundos de vale e concavidades planares em vertentes. As ravinas de vertente (*valley-side gullies* ou *midslope gullies*) (Harvey e Gutierrez-Elorza, 2005) formam-se onde o escoamento se concentra localmente, por exemplo em áreas com pastagens, sulcos resultantes da lavra, limites de propriedades ou caminhos de gado. A concentração do fluxo não é determinada pela macro topografia, mas sim pela presença de perturbações na forma da superfície e/ou

por um aumento da erodibilidade do rególito (Bergonse 2014, p.17).

Os trabalhos realizados até agora parecem indicar que a precipitação e a forma de ocupação do espaço são os fatores mais importantes para a ocorrência da erosão no município de Nacala (Vahanne, 1997).

2.5 Clima

Moçambique possui uma rede de recolha de informação meteorológica, que é gerida pela rede de comunicações do Instituto Nacional de Meteorologia - INAM, formado pela Central Meteorológica (Maputo), Centros Meteorológicos Secundários (Beira e Nampula), estações sinópticas para a 1ª Classe (Capital da província) e 2ª Classe (Distritos), postos agroclimatológicos, postos de climatologia e pluviómetros. Assim, para fazer a caracterização do clima da cidade de Nacala, que é um município de classe C, utilizaram-se dados secundários obtidos do INAM.

As medições das condições meteorológicas feitas pelo INAM para a área que abrange a cidade de Nacala incluem as seguintes estações: Fernão Veloso, Nacala-a-Velha, Nacala-Porto, Mossuril, Lumbo, Ilha de Moçambique, Meconta, Muecate e Nampula. Contudo, das estações mencionadas, somente a estação de Lumbo com as coordenadas 15 ° 02'S e 40 ° 40'E, situada na zona costeira, se encontra funcional atualmente, tendo sido esta a base de referência nesta tese. Para obter os dados da precipitação local (quadro 2.2), foram levantados dados de precipitação dos registos do INAM para um período de 30 anos (1987-2016).

Quadro 2.2: Dados de precipitação dos registos do INAM para um período de 30 anos (1987-2016), na estação de Lumbo

ORDEM	ANO	MESES												TOTAL
		Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Agos	Set	Out	Nov	Dez	
1	1987	278,2	238,8	144,3	45,6	18,3	20,2	6,8	15,4	15,7	23,6	39,1	166,9	1013
2	1988	290,5	273,7	177,5	65,3	45,4	23,8	19,0	16,0	4,6	99,6	199,0	261,5	1476
3	1989	229,8	256,5	214,2	72,4	35,1	29,0	12,2	15,0	6,9	43,3	182,0	211,8	1308
4	1990	224,5	262,3	84,7	77,5	36,6	14,5	5,9	13,1	11,5	15,0	58,0	250,4	1054
5	1991	269,3	277,8	253,6	70,8	15,2	14,4	19,2	10,8	13,0	58,9	274,1	298,6	1576
6	1992	235,8	189,4	151,2	36,4	27,3	18,4	7,6	7,9	2,2	79,1	222,8	263,0	1241
7	1993	214,8	205,5	147,5	87,3	22,3	22,4	26,8	12,6	5,7	45,8	151,2	201,1	1143
8	1994	233,6	229,4	220,3	47,2	7,2	12,3	18,2	9,4	64,0	60,7	228,0	241,0	1371
9	1995	220,4	258,1	193,6	59,5	39,8	7,8	11,2	12,0	2,0	13,3	139,3	206,9	1164
10	1996	246,1	221,8	172,1	59,8	59,9	28,9	22,5	9,4	3,5	15,5	133,0	250,5	1223
11	1997	239,8	279,5	231,3	125,0	14,0	4,3	28,3	2,9	18,9	89,3	155,1	254,2	1443
12	1998	290,9	161,4	124,0	42,0	8,9	6,5	12,2	20,5	8,6	30,7	93,3	178,1	977
13	1999	206,0	253,3	211,0	100,9	18,2	19,1	25,0	13,2	6,8	14,6	76,4	117,3	1062
14	2000	105,9	201,0	113,2	82,0	32,1	24,5	19,8	7,7	12,1	21,3	140,7	188,4	949
15	2001	189,8	213,3	233,0	64,6	35,9	12,0	17,2	4,7	9,7	76,0	80,7	177,3	1114
16	2002	255,8	219,4	260,1	85,4	12,0	50,2	4,9	6,7	11,0	76,5	96,0	136,0	1214
17	2003	254,8	231,6	249,2	48,1	20,2	37,6	28,4	6,2	8,0	56,3	145,2	222,4	1308
18	2004	245,4	137,2	162,9	139,1	23,2	19,0	18,7	25,2	14,8	28,0	122,2	200,6	1136
19	2005	262,4	268,8	95,6	29,5	37,9	16,8	21,2	3,6	8,5	83,4	162,1	272,1	1262
20	2006	96,1	101,2	252,3	30,0	26,3	11,5	6,2	5,0	10,4	47,0	177,0	269,7	1033
21	2007	273,2	181,7	98,2	95,9	16,6	15,3	9,7	5,9	6,3	27,2	103,3	167,1	1000
22	2008	252,5	227,6	176,1	29,8	38,0	17,8	7,7	8,2	8,0	97,6	160,5	240,1	1264
23	2009	198,1	184,9	161,9	66,3	26,5	8,4	16,2	7,5	13,1	50,7	188,9	229,3	1152
24	2010	255,1	207,0	211,8	82,6	52,9	23,4	29,9	12,5	17,0	86,2	157,3	230,1	1366
25	2011	203,3	251,2	120,3	100,2	47,7	20,8	14,9	14,0	8,1	39,1	162,4	230,9	1213
26	2012	278,8	172,3	165,4	54,3	29,1	16,6	9,0	7,7	17,8	31,5	133,9	161,8	1078
27	2013	302,2	183,3	121,9	57,9	24,2	12,8	12,5	4,5	7,3	40,2	142,1	273,0	1182
28	2014	211,2	237,3	150,5	97,5	25,4	7,2	13,8	9,0	7,1	77,6	201,8	253,8	1292
29	2015	292,2	242,3	196,0	52,0	16,8	6,7	12,9	2,5	5,8	98,7	178,7	284,0	1389
30	2016	132,3	196,5	143,9	108,8	29,1	20,5	10,7	20,7	2,7	27,8	108,9	182,9	985
Média		233,0	218,8	174,6	70,5	28,1	18,1	15,6	10,3	11,0	51,8	147,1	220,7	1200

A figura 2.14 apresenta o gráfico termo pluviométrico da estação do Lumbo. O clima é caracterizado por uma distinta estação quente e húmida (Novembro a Abril), alternando com uma estação mais fresca e mais seca (Maio a Outubro). A precipitação média anual é de 1200 mm e a maior parte da precipitação ocorre durante os meses de Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março (220.7mm, 233.0mm, 218.8mm e 174.6mm, respetivamente). O período menos chuvoso ocorre durante os meses de Maio a Outubro, quando se regista menos de 20 mm de precipitação por mês.

A temperatura média anual no Lumbo é de 24,6°C. Há pouca variação nas temperaturas médias mensais (amplitude de cerca de 6°C), sendo Novembro o mês mais quente (temperatura média mensal de 27,1°C) e Julho o mês mais fresco (temperatura média mensal de 20,9°C) (INAM, 1979-2008).

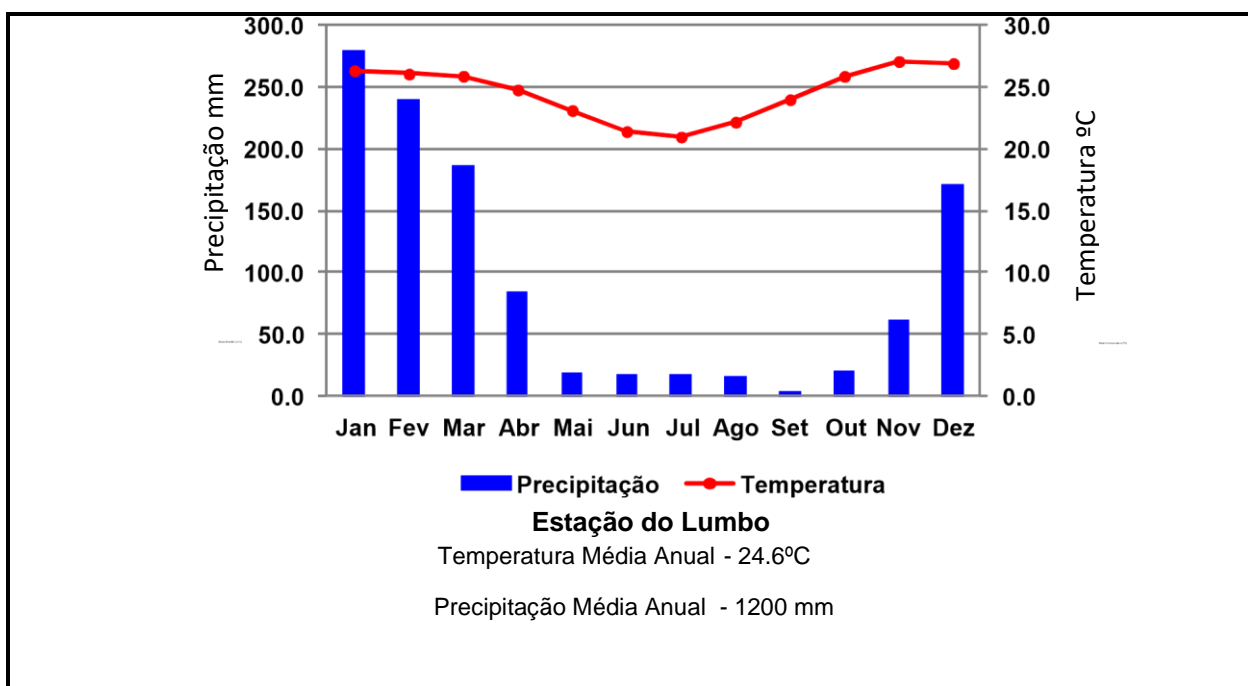


Figura 2.14: Precipitação e de temperatura média mensal em Nacala com base na Estação Meteorológica de Lumbo (INAM dados de 1979 a 2008)

Em termos de eventos climáticos extremos, a província de Nampula tem observado historicamente a ocorrência de ciclones. Desde 1953, Nacala foi atingida pelos ciclones *Gladys* em 1976 e *Nadia* em 1994. Mais recentemente, em 2008, o ciclone *Jokwe* atingiu

a costa perto de Nacala. Como refere Impacto (2012), Nacala apresenta um risco moderado de ser atingido por um ciclone (figura 2.15).

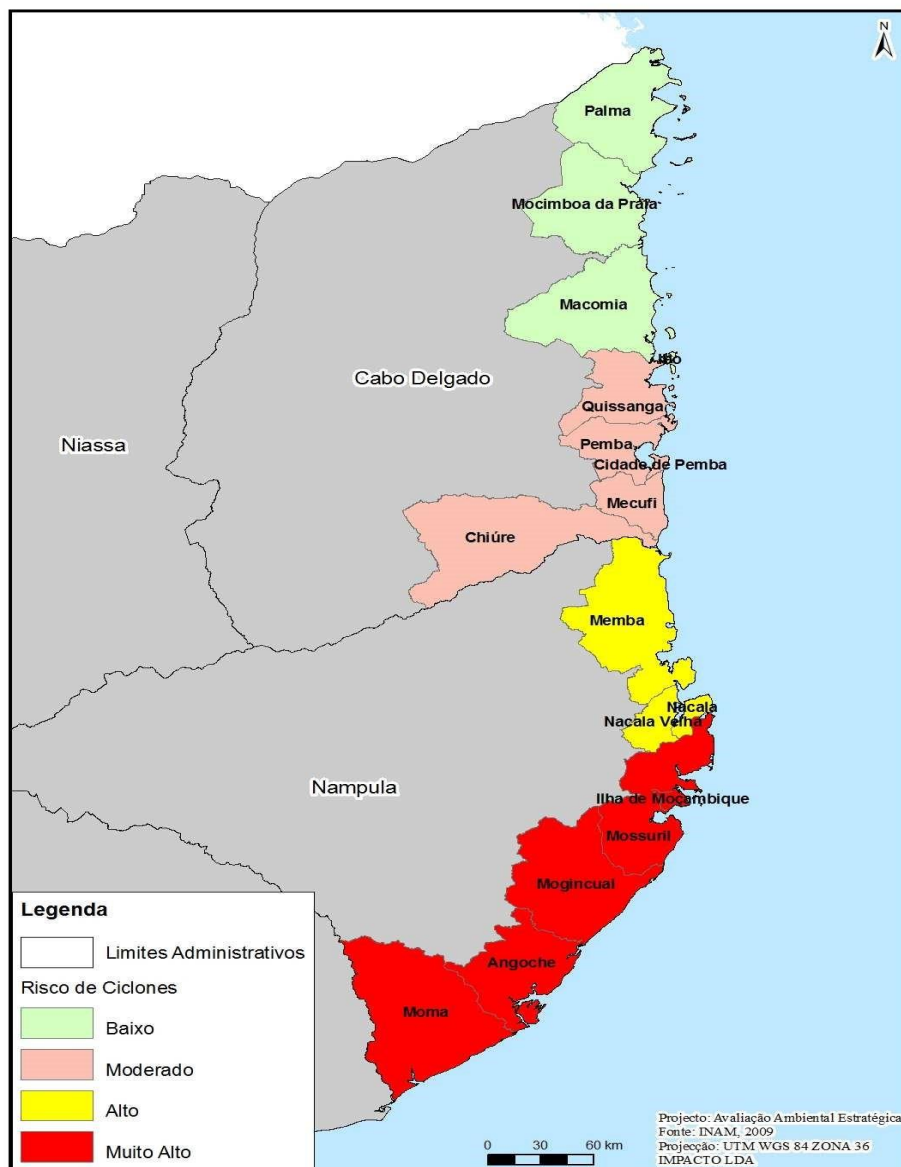


Figura 2.15: Risco de ocorrência de ciclones por distrito, ao longo da costa norte de Moçambique, Impacto (2012)

2.6 Hidrografia

O Município de Nacala tem uma rede hidrográfica constituída por poucos rios e todos perenes, sendo que área de estudo não é atravessada por nenhum desses rios (figura

2.16), possuindo apenas zonas baixas que só têm água durante o período das chuvas. O rio mais importante é o *Macutucha* que nasce no Posto Administrativo de Matibane, no distrito de Mossuril, atravessa o Posto Administrativo de Muanona na cidade de Nacala e desagua na Baía de Quissimajulo.



Figura 2.16: Rede hidrográfica da cidade de Nacala

Na parte central do Município de Nacala, a água subterrânea é salubre, sendo apenas localmente favorável para furos, ou às vezes pouco favorável, por estes possuírem baixa produtividade e/ou alto risco de insucesso. Contudo, ao longo da faixa ocidental do Município está confirmada a existência de nascentes mais pobres (Impacto, 2012).

2.7 Vegetação

Nacala tem uma faixa estreita de vegetação costeira no seu lado oriental, ao longo da costa oceânica no bairro Chivato. O resto do território não urbanizado é composto por áreas agrícolas ativas ou em pousio (vegetação secundária). Ocorre também o mangal na Baía de Quissimajulo e numa pequena região na praia de *Relanzapo*.

A vegetação nativa, situada nas dunas junto à costa, é composta por *Ipomea pés-caprae*, *Cyperus maritimus*, *Launea sarmentosa*, *Sporobolus virginicus*, *canavalia rósea*, *Scaevola plumieri*, *Cassythia filiformis*, *Dactyloctenium aegyptiacium* e *Opuntia vulgaris*. A partir da praia de Fernão Veloso até à praia de Mulala, existe uma vegetação secundária aberta de floresta seca decídua, com árvores dispersas tais como *Adansonia digitata*, *Cordyla africana*, *Ziziphus jujuba*, *Albizia fornesii*, *Dichrostachys Sp* e *Ulvaria acuminata*. (CMCN, 2010).

Na parte ocidental, ao redor da Baía de Nacala, existe também uma vegetação secundária aberta com *Adansonia digitata*, *Cassia afrofistula* e *Thylachium africanum*. As herbáceas dominantes são *Panicum maximum* e *Hypanthia birta*. A vegetação costeira (floresta decídua seca), no lado Oriental, é formada por *Adansonia digitata*, *Sterculia appendiculata*, *Azelaia quanzensis*, *Acácia nigrescens*, *Acácia sieberiana*, *Sclerocarya caffra*, *Dalbergia melanoxylon*, *Albizia harveyi*, *Combretum ghasalense* e *Dombeya sp*. O capim é dominado por *Andropogon sp* e *Setaria sp* (CMCN, 2010).

2.8 População da cidade de Nacala

A população da cidade de Nacala tem observado uma tendência de evolução positiva ao longo dos últimos três processos censitários. Na cidade de Nacala foram recenseadas 158.248 habitantes em 1997, 206.449 habitantes em 2007 e 225.034 em 2017 (figura

2.17). Entre os três censos, a população cresceu a um ritmo médio anual de 3%, o que denota alguma imigração, sendo que a taxa de crescimento natural anual se situa em 2,9% para o período em causa (INE, 2017).

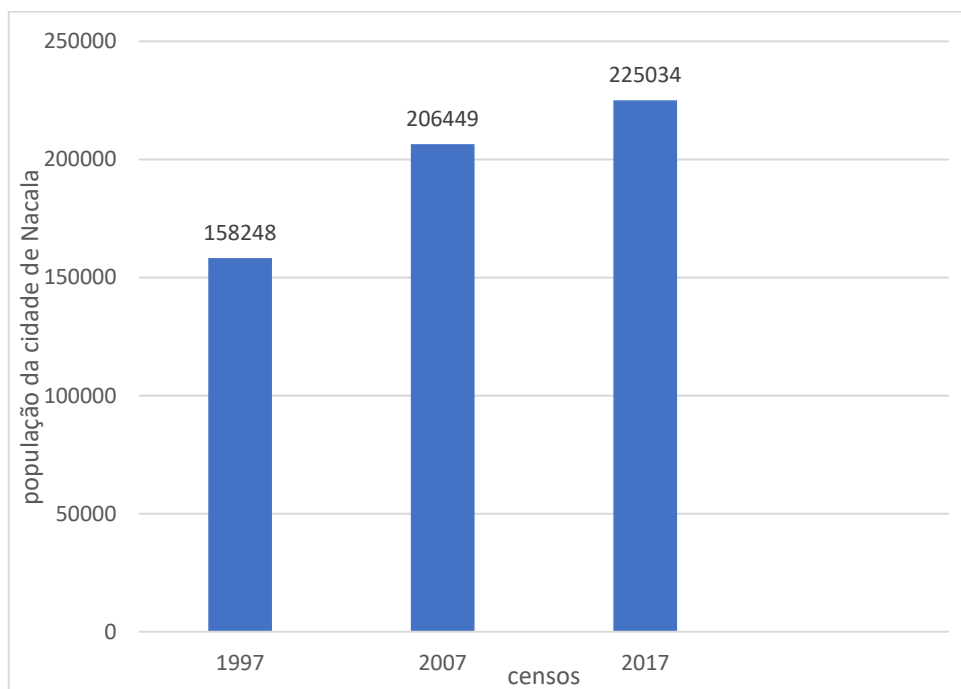


Figura 2.17: Evolução da população na cidade de Nacala nos três últimos Censos, INE, 2017

Para efeitos da presente análise, são usados os dados do censo 2007, porque durante o processo do trabalho de campo só foram publicados os dados preliminares do censo 2017 para o nível da cidade, não estando ainda disponíveis resultados definitivos ao nível dos bairros. Fazendo uma análise da distribuição da população por sexo dos dados do Censo 2007, verifica-se que a distribuição entre os homens e mulheres mostra uma superioridade numérica do género feminino em relação ao masculino, com efeito, dos 206499, 102342 (49,5%) são do sexo masculino e 104107 (50,5%) são do sexo feminino. Em termos de distribuição da população por bairro, ela não obedece a critérios rígidos, pois são vários fatores que atuam para a fixação da população num determinado bairro. Para a cidade de Nacala, os bairros mais povoados são os que se localizam próximo da

zona portuária e industrial (quadro 2.3). Segundo o Censo 2007, o bairro de Matapue era o mais populoso com 27.238 habitantes e uma densidade populacional de 1702 hab/km², seguido do Mocone com 26.437 habitantes e uma densidade populacional de 8812 hab/km².

Quadro 2.3: Distribuição da população por bairro, Censo 2007

BAIRRO	POPULAÇÃO	ÁREA (km²)	DENSIDADE (hab/km²)
Bloco I	8.499	6	1.417
Chivato	2.080	38	55
Janga	3.216	24	134
Lile	1.636	28	58
Mahelene	2.367	44	54
Maiaia	14.270	4	3.568
Matapué	27.238	16	1.702
Matola	4.859	28	174
Mocone	26.437	3	8.812
Muanona	840	28	30
Mupete	2.196	38	58
Murrupelane	3.399	27	126
Mutiva	6.098	66	92
Nacurrula	481	60	8
Muzuane	5497	7	785
Mpago	9.287	12	774
Naherenque	6.863	31	221
Nauaia	9.554	4	2.389
Ontupaia	25.767	36	716
Quissimajulo	9.466	27	351
Ribaué	12.179	5	2.436
Triângulo	24.220	2	12.110
Total	206.449	534	386,6

O bairro com a maior densidade populacional é o de Triângulo que, com apenas 2 km², possui 24.220 habitantes (figura 2.18), o que lhe confere uma densidade populacional de 12110 hab/km². Todos os bairros com densidades maiores situam-se perto do núcleo central da cidade de Nacala, o que pode indicar que as populações foram-se fixando nestas áreas para estarem próximo dos empreendimentos que fornecem mais emprego, tais como o Porto, o caminho-de-ferro e as indústrias.

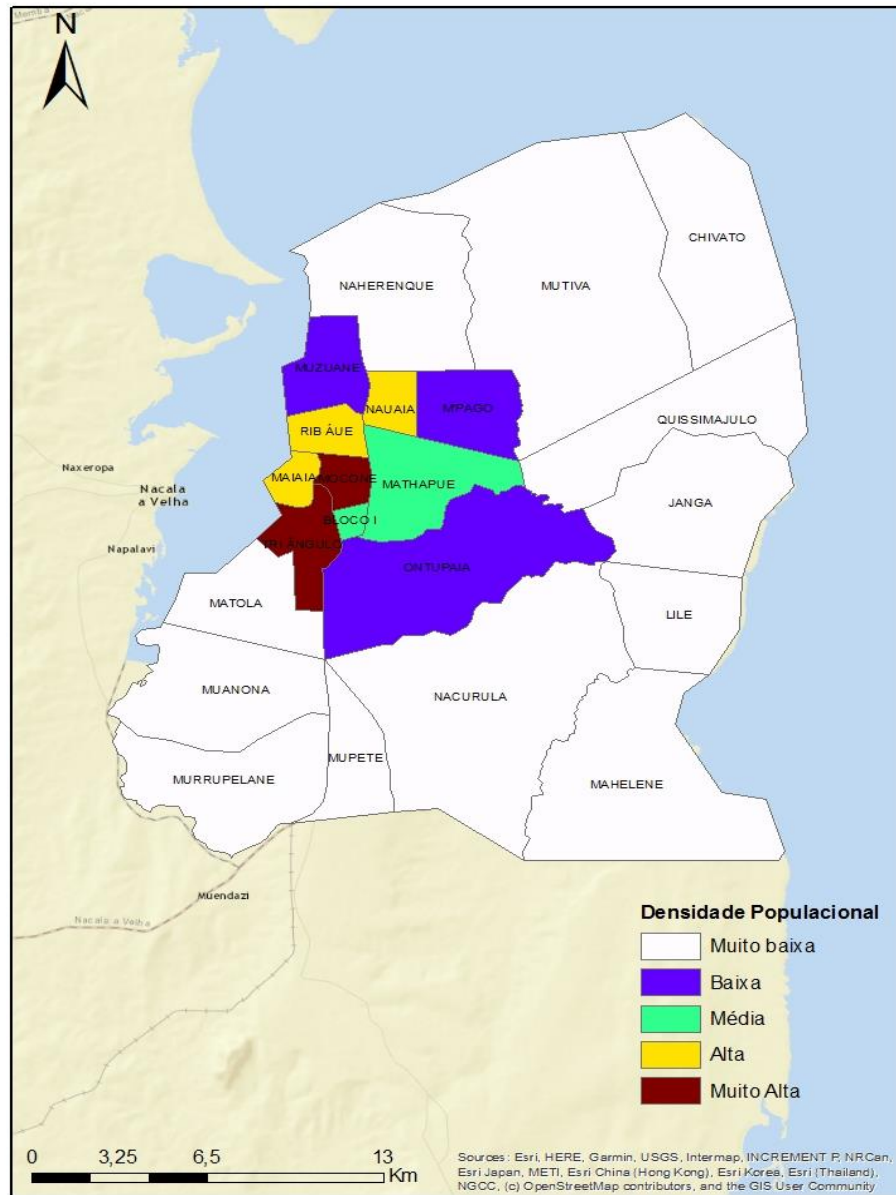


Figura 2.18: Densidade populacional por bairro na cidade de Nacala

O bairro com menor densidade populacional e com menor contingente populacional é o de Nacurula que, com 60 km², possui apenas 481 habitantes, o que lhe confere uma densidade de 8 hab/km². Este é um bairro relativamente distante do centro, sendo recentemente considerado de expansão, o que lhe confere potencialidades de melhor planificação, uma vez que sendo bairro de expansão poderá acolher mais população e empreendimentos nos próximos anos.

CAPÍTULO 3: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E DADOS DE BASE

Os instrumentos e procedimentos metodológicos usados neste trabalho foram escolhidos tomando como base os objetivos da pesquisa e visam responder as questões investigativas. Neste capítulo apresentam-se os métodos e dados de base que permitiram a efetivação desta pesquisa.

A metodologia usada pode ser resumida a quatro níveis: i) levantamento do perfil dos principais riscos em Moçambique, o que permitiu a elaboração da monografia dos riscos em Moçambique e na cidade de Nacala; ii) avaliação da suscetibilidade à erosão por ravinamento na área de estudo (cidade de Nacala); iii) avaliação da exposição à erosão por ravinamento em 4 bairros amostra da cidade de Nacala; e iv) avaliação da vulnerabilidade social em 2 bairros da cidade de Nacala, incluídos na amostra referida na alínea anterior.

Para garantir a realização do trabalho de campo, houve necessidade de formalizar o processo junto das autoridades municipais e do Governo do Distrito de Nacala. Com efeito, foi necessário ter uma credencial com origem numa universidade e, para efeito, a Universidade Pedagógica de Nampula, através do Departamento de Pesquisa e Extensão emitiu uma credencial para as autoridades municipais, o governo distrital, a delegação provincial de estatística de Nampula e a Delegação do Instituto Nacional de Meteorologia de Nampula.

Pela particularidade do tema em estudo, o governo distrital de Nacala indicou o sector de atividades económicas e o município indicou do sector do cadastro municipal um técnico que foi afeto como ponto focal para assistência durante todo o processo de levantamento de dados. Do mesmo modo, a delegação provincial de estatística de Nampula indicou um técnico que auxiliou no processo de cálculo da amostra para o estudo da vulnerabilidade social. Tendo em conta os objetivos do estudo, não se justificou a inclusão do técnico do sector de atividades económicas do distrito nos trabalhos de levantamentos de campo.

Com efeito, todos os trabalhos de levantamento foram realizados apenas na companhia do técnico do sector de cadastro do Município de Nacala, o senhor Rachide Mozica.

O procedimento metodológico encontra-se esquematizado na figura 3.1.

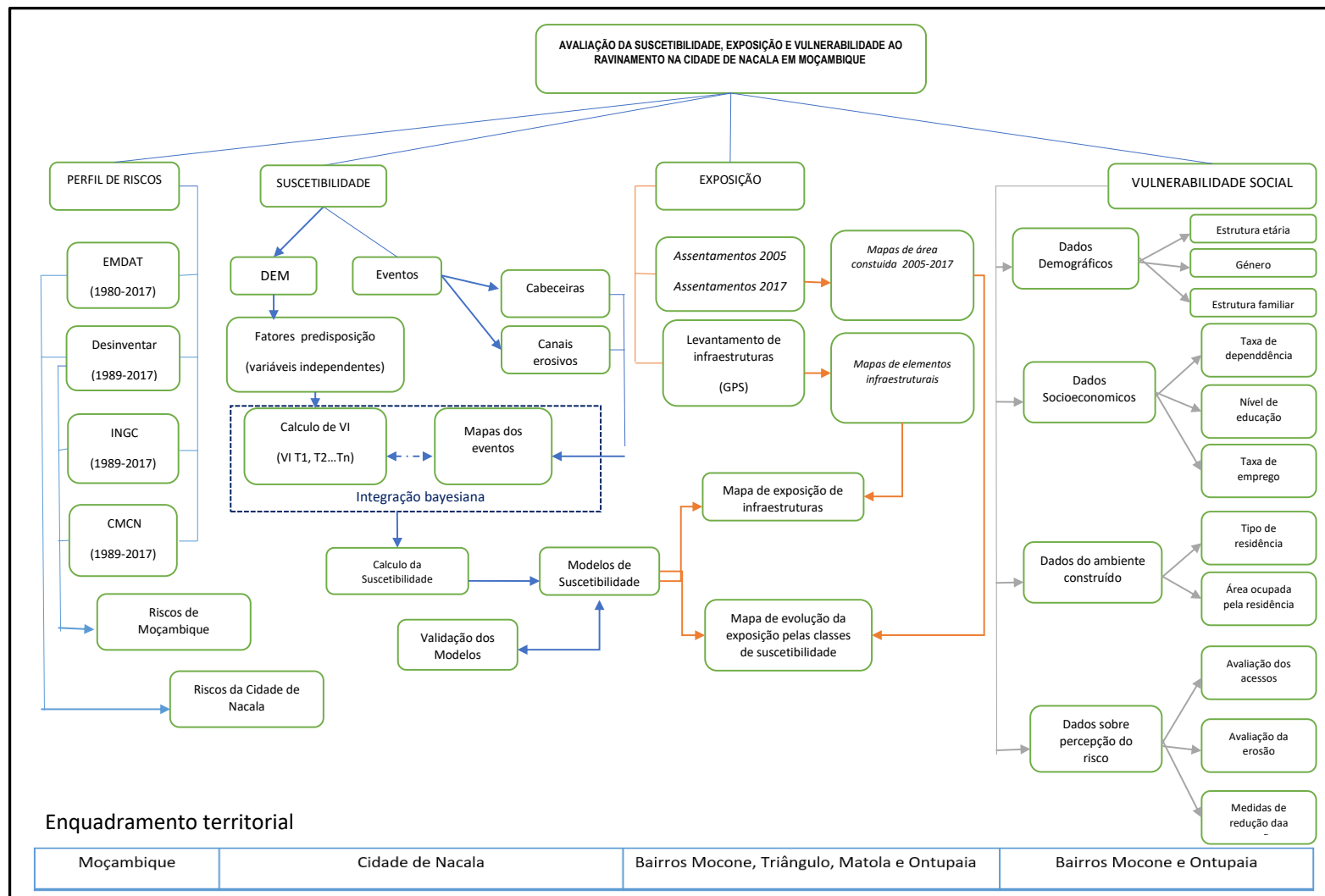


Figura 3.1: Esquema da metodologia utilizada para elaboração da tese.

3.1 Metodologia para o levantamento do perfil dos principais riscos em Moçambique

O perfil dos riscos para o nível do país foi elaborado a partir da informação contida nas Bases de Dados *Desinventar* e *Emergency Events Database -CRED-EM-DAT*. *Desinventar* é uma base de dados disponibilizada pelo Escritório das Nações Unidas para Redução de Riscos de Desastres (UNDRR), sendo disponibilizada em <https://www.desinventar.net/index.html>. Trata-se de um Sistema de Gestão de Informações sobre Desastres que realiza uma coleta sistemática de documentação e análise de dados sobre perdas causadas por desastres associados a riscos naturais (UNDRR, 2019). A *Desinventar* possui 65 conjuntos de dados para 85 países, sendo que para Moçambique cobre o período 1979 a 2012.

A *Desinventar* é uma ferramenta que ajuda a analisar as tendências de desastres e seus impactos de maneira sistemática. Com um maior entendimento das tendências de desastres e seus impactos, podem ser planeadas melhores medidas de prevenção, mitigação e preparação para reduzir as consequências dos desastres nas comunidades (UNDRR, 2019).

A *EM-DAT* é um Banco de Dados de Eventos de Emergência, lançado em 1988 pelo Centro de Pesquisa em Epidemiologia de Desastres (CRED). A *EM-DAT* foi criada com o apoio inicial da Organização Mundial da Saúde (OMS) e do governo belga (CRED, 2019). A *EM-DAT* contém dados sobre a ocorrência e os efeitos de mais de 22.000 desastres no mundo, desde 1900 até à atualidade. O banco de dados é compilado a partir de várias fontes, incluindo agências da ONU, organizações não-governamentais, companhias de seguros, institutos de pesquisa e agências de imprensa, universidades e centros de pesquisa sobre riscos, o que torna os dados verificáveis. A base de dados é disponibilizada em <https://www.emdat.be/>.

A partir das bases de dados internacionais consideradas, foi possível estabelecer o perfil de riscos para o país (Moçambique) para um período de 37 anos (1980 – 2017).

Contrariamente à EM-DAT, não existem registos de desastres em Moçambique anteriores a 1979 na base *Desinventar*.

A análise do perfil dos riscos para a cidade de Nacala baseia-se nas seguintes fontes: i) base de dados *Desinventar*; ii) relatórios do Município de Nacala; e iii) Instituto Nacional de Gestão de Calamidades (INGC). Foi possível estabelecer o perfil de risco para a cidade de Nacala apenas para um período de 28 anos (1989-2017), devido à não existência de informação referente à cidade para os períodos anteriores a 1989, nas fontes consultadas.

3.2 Metodologia para avaliação da suscetibilidade a erosão por ravinamentos

A avaliação da suscetibilidade baseou-se em métodos quantitativos com base estatística, que permitem fazer uma avaliação indireta da suscetibilidade (Corominas et al., 2014). Estes métodos permitem obter resultados objetivos e o zonamento é feito através da quantificação das relações entre cabeceiras de erosão e canais erosivos (variáveis dependentes) e as classes de fatores de predisposição (variáveis independentes).

A avaliação da suscetibilidade à ocorrência de cabeceiras de erosão e canais erosivos foi baseada no conceito de favorabilidade, no qual se assume que a possibilidade de ocorrência futura de um evento (cabeceiras de erosão e canais erosivos), pode ser avaliada quantitativamente, através de relações estatísticas bivariadas entre as cabeceiras de erosão e canais erosivos verificados no passado e conjuntos específicos de dados espaciais, assumidos como fatores independentes (Zêzere et al., 2008).

A aplicação dos métodos estatísticos requereu o cumprimento das seguintes etapas: i) mapeamento da variável dependente (cabeceiras e canais erosivos); ii) identificação, classificação e cartografia do conjunto de fatores de predisposição (variáveis independentes); iii) avaliação das relações estatísticas entre o conjunto de fatores de predisposição e a variável dependente; iv) classificação da área de estudo de acordo com

o grau de suscetibilidade; vi) validação dos modelos de suscetibilidade relativamente ao seu ajustamento aos dados de entrada e à sua capacidade preditiva.

3.2.1 Determinação da Unidade de Terreno

Para o estudo do meio físico é necessária a separação do território em áreas homogêneas que permitam a síntese das informações dentro dessas áreas e este processo pode ser feito através da definição de unidades de mapeamento do terreno (UT). De acordo com van Westen *et al.* (1997), uma UT representa uma porção de terreno, com fronteiras bem definidas, que apresenta características internas homogêneas na escala de análise. Portanto, trata-se de áreas com características fisiográficas que para além de homogêneas, são distintas daquelas observadas em áreas adjacentes (Zaine, 2011).

A delimitação de unidades do terreno deve ter em conta as diferenças de atributos ou parâmetros do meio ambiente (físico, biótico e antrópico), os quais induzem ou condicionam o desenvolvimento de processos. De acordo com Guzzetti *et al.* (1999), as UT são a base para a abordagem de classificação do sistema Terra e têm sido aplicadas em estudos de diferente índole.

Nesta tese foram usadas as unidades matriciais enquanto UT. As unidades matriciais são constituídas por estruturas matriciais de células regulares ou *raster*, sendo consideradas adequadas no estudo de processos geomorfológicos, como nos casos de movimento de vertentes (Carrara *et al.*, 1995).

As UT matriciais não refletem necessariamente as propriedades físicas do terreno ou limites naturais do solo; contudo, são muito apropriadas para trabalhos com modelos digitais de terreno, informação digital obtida de forma remota e análise espacial de dados (Hervás e Bobrowsky, 2009). Garcia *et al.* (2007) observaram que, com a utilização de UT matriciais em comparação com outros tipos de UT, a capacidade preditiva dos

modelos de suscetibilidade era sempre melhor, independentemente do método estatístico utilizado.

Neste trabalho, este tipo de estrutura de dados foi utilizado no tratamento da informação, considerando-se sempre um *pixel* de 20x20 m (400m²). Esta escolha deveu-se a: i) estrutura matricial de base a partir da qual também foram gerados os fatores de predisposição; ii) a ferramenta de modelação utilizada (ArcGIS 10.5); e iii) as exigências operacionais associadas aos métodos de análise estatística usados na avaliação da suscetibilidade à erosão por ravinamentos.

3.2.2 Mapeamento da variável dependente (cabeceiras e canais erosivos)

Os trabalhos de campo visando a inventariação das cabeceiras e canais erosivos foram realizados na cidade de Nacala, no período de março de 2016 a abril de 2017. No total, foram realizadas 5 campanhas de trabalho de campo, onde a primeira foi de apresentação às autoridades e reconhecimento do terreno e nas demais foram utilizados mapeamentos de registo de pontos de interesse com auxílio de GPS (*Garmin GPSMAP 64*), registos fotográficos e observação geral das condições de ocupação em relação à evolução dos processos de erosão hídrica.

O GPS foi utilizado para identificar e representar com um ponto cada cabeceira erosiva, que marca o setor montante de cada ravina. Adicionalmente, cada canal erosivo da ravina foi identificado e representado com uma linha, com o recurso ao GPS. Os dados do GPS foram posteriormente exportados para o ArcGIS 10.5.

No total, foram inventariados na área de estudo 32 cabeceiras de ravina e 41 canais erosivos. As cabeceiras estão representadas em pontos e os canais erosivos em linhas (figura 3.2). A soma do comprimento dos canais é de 26 km. O canal erosivo mais longo tem 2325 m, enquanto o mais curto tem apenas 100 m.

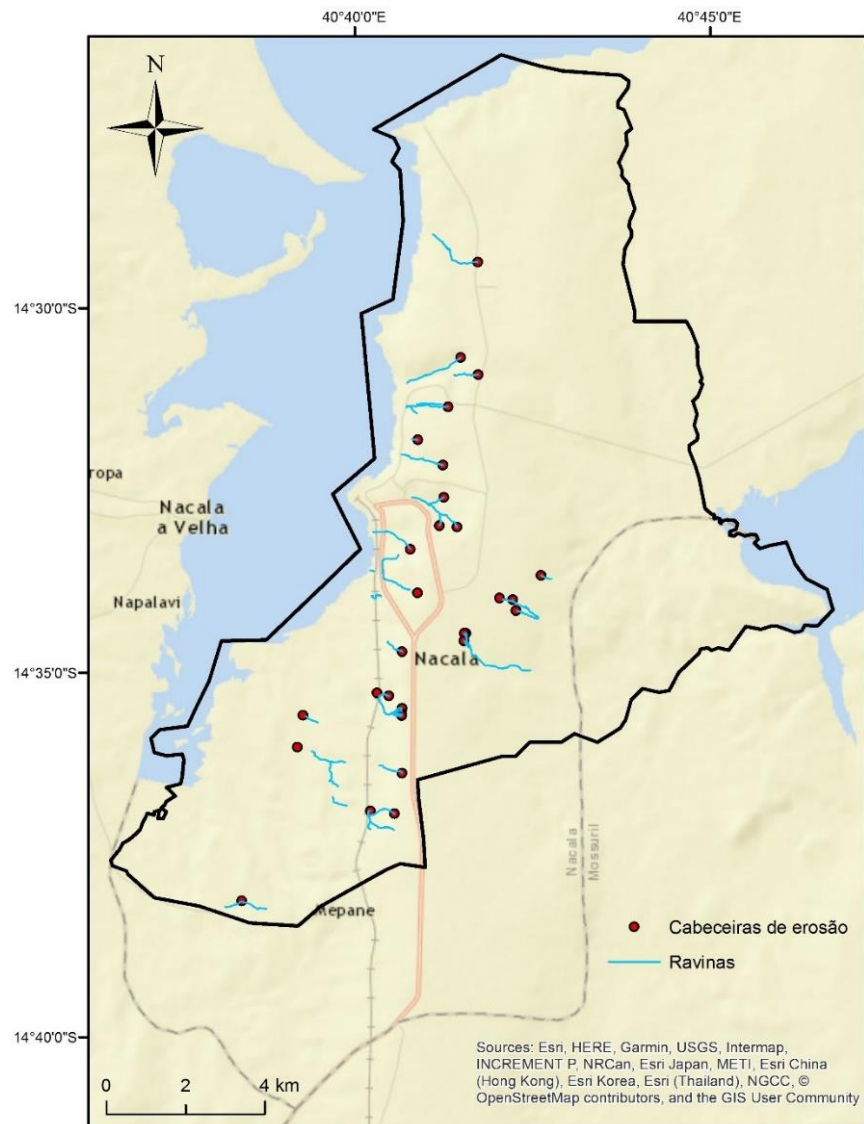
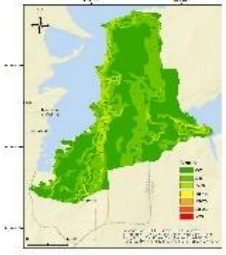
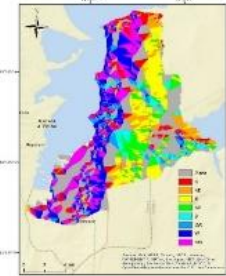
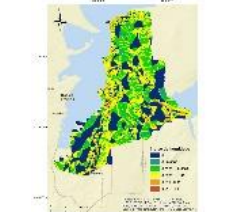
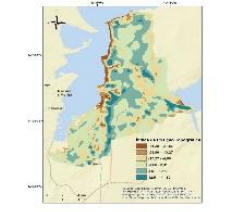


Figura 3.2: Inventário das cabeceiras e canais erosivos na área de estudo, delimitados com base em registos GPS.

3.2.3 Identificação, classificação e cartografia dos fatores de predisposição

Os fatores de predisposição para o presente estudo foram todos derivados do Modelo Digital do Terreno (MDT), gerado a partir de curvas de nível dum mapa topográfico com a equidistância de 20 m, tendo gerado o modelo com a resolução de 20 m e um total de 403.262 células.

O MDT foi criado mediante a definição de uma rede irregular triangulada (TIN- *Triangulated Irregular Network*), elaborada com recurso a extensão *3D Analyst* do programa ArcGIS, 10.5. O DEM inicial, criado a partir da informação altimétrica proveniente das curvas de nível e pontos cotados, foi corrigido visando eliminar as depressões (*sinks*) que constituíam erros do procedimento inicial. Em seguida, foram gerados 7 temas a partir do MDT (figura 3.3): o declive (*slope*), a exposição (*aspect*); o índice de humidade (*wetness index*), o índice de posição topográfica (*tpi*), a acumulação do fluxo (*flow accumulation*), a curvatura em perfil (*profile curvature*) e a curvatura em plano (*plan curvature*). Depois de classificados, estas temas foram utilizados como fatores de predisposição para a ocorrência de cabeceiras de ravina e de canais erosivos. No total, foram consideradas 40 classes (figura 3.3).

Mapa temático		Classes	ID	Fontes
declive		0-2°	dcv1	Modelo Digital de Terreno (pixel = 20 metros)
		2-5°	dcv2	
		5-10°	dcv3	
		10-15°	dcv4	
		15-20°	dcv5	
		20-25°	dcv6	
		>25°	dcv7	
exposição		Plano	asp1	
		Norte	asp2	
		Nordeste	asp3	
		Este	asp4	
		Sudeste	asp5	
		Sul	asp6	
		Sudoeste	asp7	
		Oeste	asp8	
		Noroeste.	asp9	
índice de humidade (wetness)		0	iht1	
		0 - 0,00001	iht2	
		0,00001 - 0,0001	iht3	
		0,0001 - 0,001	iht4	
		0,001 - 0,01	iht5	
		0,01 - 0,03	iht6	
Índice de Posição Topográfica		-45,29 - -21,86	tpi1	
		-21,86 - -13,27	tpi2	
		-13,27- -4,67	tpi3	
		-4,67 - 3,91	tpi4	
		3,91 - 12,51	tpi5	
		12,51 - 41,69	tpi6	


Acumulação de fluxo		20 - 4010	acu1
		4010 - 4670	acu2
		4670 - 8661	acu3
		8661 - 32773	acu4
		32773 - 178483	acu5
		178483 - 1059006	acu6
Forma das vertentes	Curvatura em Perfil	Convexo	cper1
		Retilíneo/plano	cper2
		Côncavo	cper3
	Curvatura em Plano	Côncavo	cpl1
	Retilíneo/plano	cpl2	
	Convexo	cpl3	

Figura 3.3: Mapas temáticos dos fatores de predisposição utilizados na avaliação da suscetibilidade a erosão por ravinamento

A análise da suscetibilidade teve como suporte unicamente a informação de base topográfica e análise das relações espaciais com a distribuição das evidências de ravinamento. Infelizmente, a cartografia geológica e de solos disponível para a região encontra-se a uma escala de 1:1.000.000, que, por ser bastante generalizada, não seria compatível com o nível de detalhe no estudo da erosão por ravinamento na área de estudo. Adicionalmente, não existe disponível uma cartografia de uso do solo a escala compatível com os objetivos deste trabalho.

O uso de variáveis topográficas enquanto fatores de predisposição tem permitido desenvolver modelos estatísticos de suscetibilidade com algum grau de confiabilidade. Zêzere *et al.*, (2008) aplicaram uma análise de sensibilidade a um modelo estatístico de suscetibilidade a deslizamentos translacionais superficiais ocorridos a norte de Lisboa, tendo verificado que é possível obter um mapa de suscetibilidade robusto usando um número limitado de fatores de predisposição no modelo de predição. Resultados

semelhantes foram também observados por Pereira *et al.*, (2012), no vale do Rio Douro. Assim, admite-se que a não existência de informação geológica, pedológica e de uso do solo a escala compatível na região de Nacala, apesar de limitadora, não constitui um impedimento para a avaliação da suscetibilidade ao ravinamento, com recursos a métodos estatísticos.

3.2.3.1 Declive

O Declive representa a inclinação que a superfície do terreno possui em relação ao plano horizontal. Para a área de estudo o declive foi classificado em 7 classes (em graus), usando a extensão *Spatial Analyst Tools*, no programa *ArcGIS 10.5* (figura 3.4).

O relevo influencia o escoamento das águas de chuva em diferentes trajetórias sobre o terreno; desta forma, o declive destaca-se como um dos principais responsáveis pelas perdas de solo (Poesen, 2018). O declive é descrito como um dos fatores preponderantes para avaliação da suscetibilidade à instabilidade das vertentes (Guzzeti, 2005, Guillard e Zêzere, 2012). Ayelew e Yagamishi (2005) observam que o declive produz diretamente as tensões tangenciais e afeta o conteúdo em água e pressão nos poros a nível local, o que também pode estar associado à possibilidade de desencadeamento não só de deslizamentos, mas também de erosão.

O quadro 3.1 mostra que a área de estudo apresenta predominantemente declives suaves de 0-2° (54,53%) e 2-5° (35,31%). Uma faixa de declives relativamente acentuados (5-10°) ocupa 9,39% da área de estudo. Os declives acima de 10° são residuais, abrangendo menos de 1% da totalidade da área estudada.

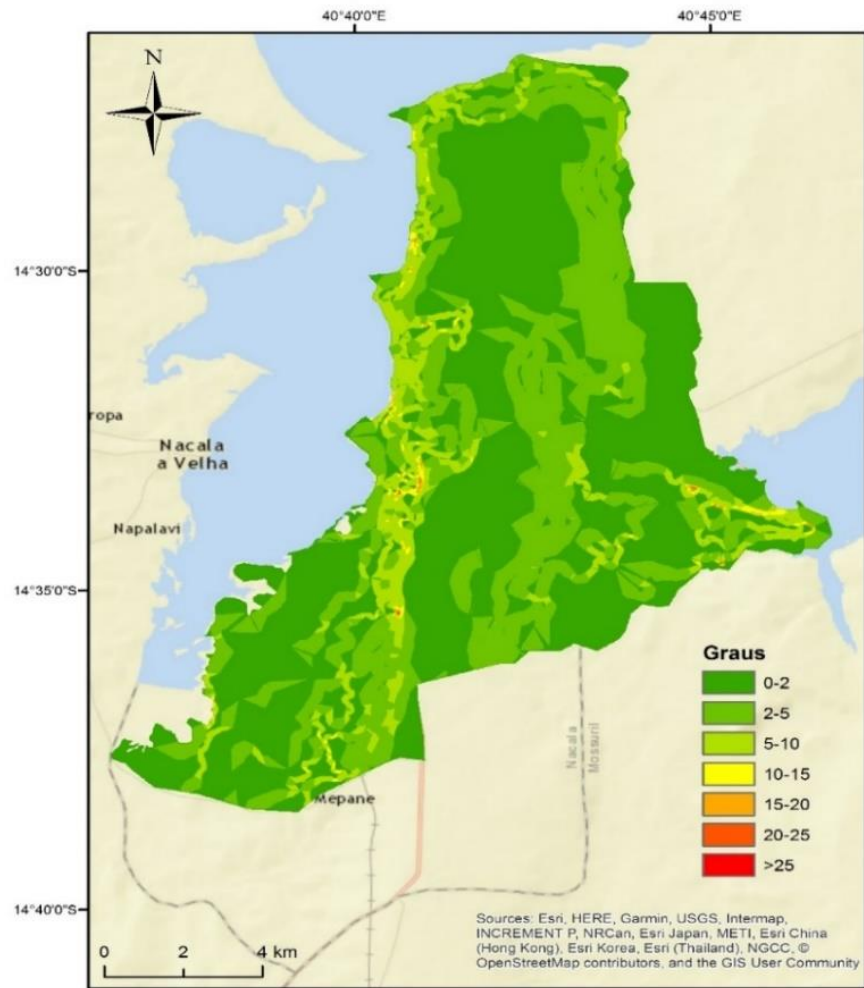


Figura 3.4: Declives classificados da área de estudo

Quadro 3.1: Frequências absolutas e relativas das classes de declive na área de estudo

Sigla	Classes (°)	#Pixéis	Área (m²)	Freq Relativa (%)
dcv1	0-2	219905	87962000	54,53
dcv2	2-5	142395	56958000	35,31
dcv3	5-10	37882	15152800	9,39
dcv4	10-15	2498	999200	0,62
dcv5	15-20	475	190000	0,12
dcv6	20-25	104	41600	0,03
dcv7	>25	3	1200	0,00
Total		403262	161304800	100,00

3.2.3.2 Exposição das vertentes

Segundo Burrough e McDonell (1998), a exposição das vertentes identifica a direção do declive da taxa máxima de mudança de valor de cada célula para as suas vizinhas. A exposição das vertentes é um dos parâmetros mais comumente utilizado na análise da instabilidade de vertentes em áreas vastas (Baeza *et al.*, 2010). A exposição para a área de estudo (figura 3.5) foi calculada no programa ArcGIS 10.5 através da extensão *Spatial Analyst Tools* e representa a orientação da projeção horizontal do vetor normal à superfície de maior inclinação entre uma determinada célula e as 8 células vizinhas (Baeza *et al.*, 2010).

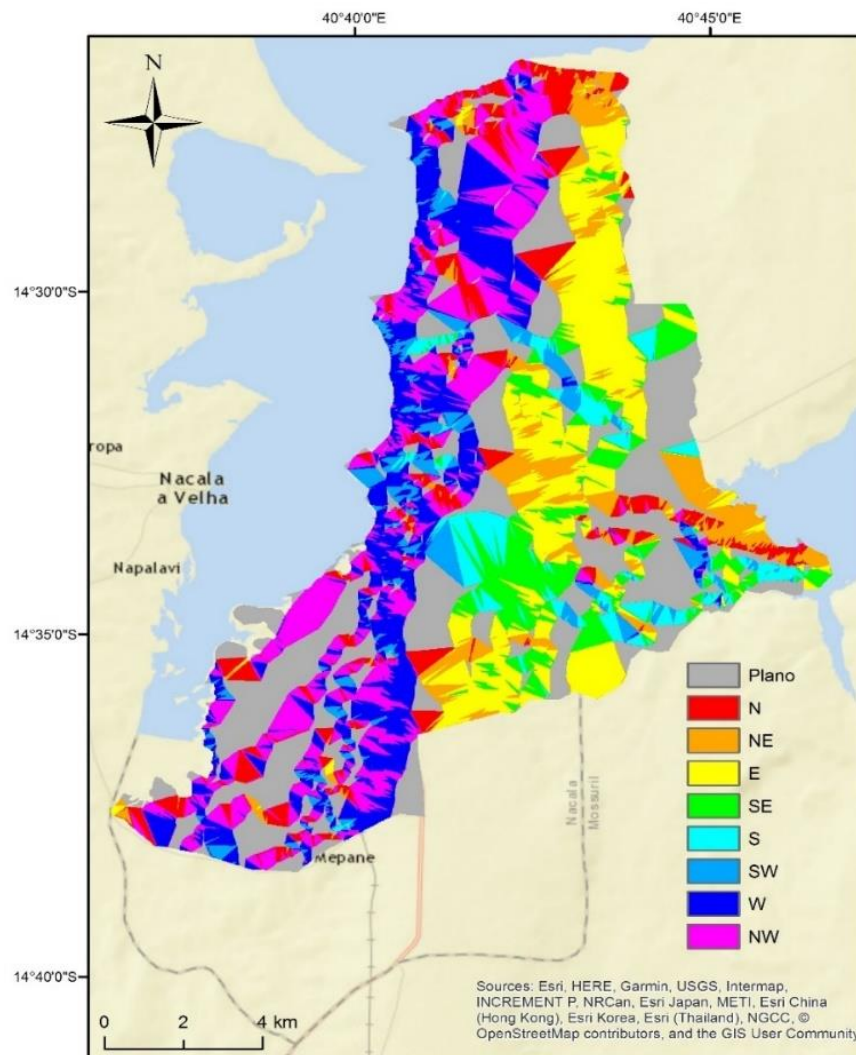


Figura 3.5: Exposição das vertentes da área de estudo

A exposição tem sido relacionada com o clima (Guillard e Zêzere, 2012), com fatores morfo-estruturais (Zêzere *et al.*, 2009), e com a radiação solar, uma vez que a orientação das vertentes face aos raios solares tem implicações no ciclo de humidade ou secura destas, influenciando a quantidade de água presente no solo (Guillard e Zêzere, 2012).

O método adotado neste estudo, divide a exposição em 9 classes com intervalos de 45° de abertura angular, definidos no sentido horário em graus do Norte 0 (0 graus) para 360° (novamente para o norte), chegando a um círculo completo. O valor de cada célula indica

a direção da inclinação da célula. Áreas planas sem direção descendente recebem um valor de -1.

O quadro 3.2 mostra que na área de estudo existem vertentes expostas a todas as direções, com domínio para áreas planas (27,34%). Vertentes expostas a Este representam 14,54% da área, seguidas pelas vertentes expostas a Noroeste e Oeste (14,23% e 13,52% da área total, respetivamente).

Quadro 3.2: Frequências absolutas e relativas das classes de exposição na área de estudo

Sigla	Classes	#Pixéis	Área (m²)	Freq Relativa (%)
asp1	Plano	110264	44105600	27,34
asp2	Norte	28885	11554000	7,16
asp3	Nordeste	30035	12014000	7,45
asp4	Este	58640	23456000	14,54
asp5	Sudeste	27475	10990000	6,81
asp6	Sul	16433	6573200	4,08
asp7	Sudoeste	19620	7848000	4,87
asp8	Oeste	54529	21811600	13,52
asp9	Noroeste.	57381	22952400	14,23
Total		403262	161304800	100,00

3.2.3.3 Índice de Humidade (Wetness)

O índice de humidade topográfica quantifica a retenção de humidade, o teor de água no solo e zonas de saturação superficial (Lopes da Fonseca, 2005 apud Guillard e Zêzere, 2012). O Índice de humidade (*Wetness*) é uma função da inclinação e da área de contribuição a montante por unidade de largura ortogonal à direção do fluxo (Regmi et al., 2010). Segundo Moore et al. (1988), a magnitude da humidade topográfica pode ajudar a prever a ocorrência de ravinas efémeras.

Neste trabalho utilizou-se o *Inverse of Topographic Wetness Index* (ITWI), calculado para cada pixel, com recurso à seguinte fórmula:

$$ITWI = \frac{\tan\beta}{a} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde: a é a área específica da bacia (em metros quadrados) e β é o declive (em graus).

Para o cálculo do ITWI, foi aplicado um algoritmo de base unidirecional, o método D8 (oito direções de fluxo). O método D8 é um dos mais antigos e simples para especificar direções de fluxo, consistindo em atribuir fluxo de cada pixel a um de seus oito vizinhos, adjacentes ou diagonais, na direção com maior inclinação descendente. Considera 8 direções possíveis de escoamento, coincidentes com os vetores de deslocamento direcionados para o centro geométrico das 8 células vizinhas, definidos em ângulos de 45°, com a determinação do fluxo a ser definida por blocos de 3x3 células (Tarboton, 1997).

A aplicação do método D8 foi concretizada com recurso ao *TauDEM* (Análise de terreno Utilizando Modelos Digitais de Elevação), desenvolvido para o ArcGIS (Tarboton, 2004). Inicialmente, foi construído o *flow direction* que é um modelo representativo da direção do fluxo (Tarboton, 1997).

Foram estabelecidas seis classes para o ITWI da área de estudo (figura 3.6), com amplitude de classes numa progressão logarítmica de base 10. A classe com valor 0 (zero) representa as áreas onde o declive é nulo. Estas áreas, apesar de ocorrerem tendencialmente em fundos de vale, abrangem também áreas planas em posição de interflúvio, como se depreende da observação da figura 3.6. Assim, estas áreas não correspondem sempre, necessariamente, a áreas com potencial de humidade máximo. O incremento dos valores do índice de humidade indica, normalmente, posições mais cimeiras nas vertentes, onde a acumulação do fluxo é habitualmente mais reduzida.

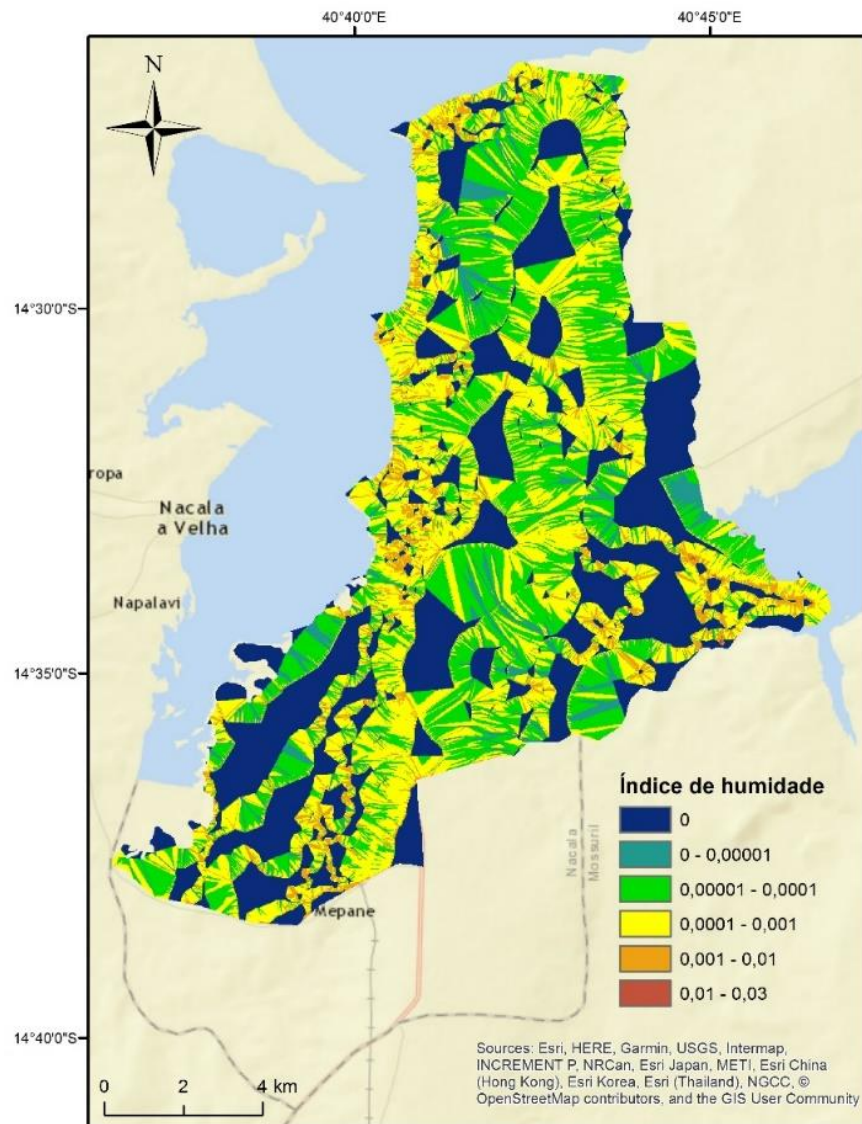


Figura 3.6: Índice de humidade classificada da área de estudo

Para além da importância das áreas planas (com índice de humidade = 0), o quadro 3.3 mostra a relevância territorial das classes com valores intermédios, iht4 e iht3, que abrangem, respetivamente, 32,38% e 26,34% da área de estudo. Embora as outras classes estejam representadas, os valores correspondentes são bastante menores. É também importante mencionar que, embora este seja um fator derivado no MDT, não foi possível manter o mesmo número total de células, devido a limitações computacionais

que a ferramenta utilizada apresenta; assim, o número total de células gerados para este fator e considerado para efeitos do presente estudo é de 397915, o corresponde a uma diferença de 5347 células em relação ao MDT.

Quadro 3.3: Freqüência absolutas e relativas de classes do índice de humidade na área de estudo

Sigla	Classes	#Pixéis	Área (m ²)	Freq Relativa (%)
iht1	0	117080	46832000	29,42
iht2	0 - 0,00001	20957	8382800	5,27
iht3	0,00001 - 0,0001	104817	41926800	26,34
iht4	0,0001 - 0,001	128854	51541600	32,38
iht5	0,001 - 0,01	26039	10415600	6,54
iht6	0,01 - 0,03	168	67200	0,04
Total		397915	159166000	100,00

3.2.3.4 Índice de Posição Topográfica (TPI)

O Índice de Posição Topográfica (*TPI*), compara a elevação de cada célula num Modelo Digital de Terreno para a elevação média de uma vizinhança especificada em torno dessa célula (Burrough e McDonell, 1998). Valores positivos de TPI representam localizações superiores à média dos seus arredores, como definido pela vizinhança (cumes). Valores negativos de TPI representam locais que são mais baixos do que seus arredores (vales, outras áreas topograficamente deprimidas). Valores TPI perto de zero são áreas planas (onde a inclinação é próxima de zero) ou áreas de declive constante.

O TPI foi gerado para a área de estudo (figura 3.7) a partir do MDT, em ambiente ArcGIS 10.5, usando a extensão *Topography*, considerando um raio de vizinhança de 20 m. Para o presente estudo o índice foi classificado em seis classes, definidas em função da média e desvio padrão do índice.

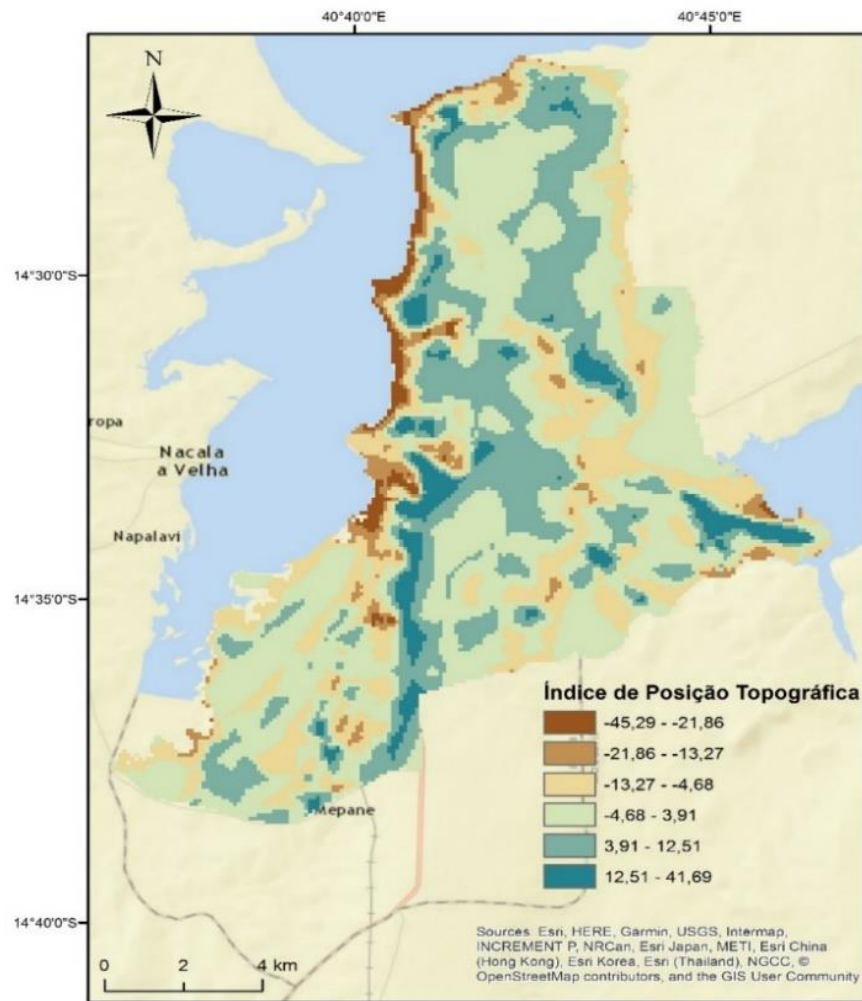


Figura 3.7: Índice de Posição Topográfica classificado da área de estudo

O quadro 3.4 assinala a concentração e uma importância relativa das classes centrais, tpi4 (44,34%), tpi5 (24,38%) e tpi3 (20,15%), que contrastam com as restantes classes, muito menos representadas na área de estudo. Tal como no fator anterior, devido a limitações computacionais o número total de células geradas para este fator e considerado para efeitos do presente estudo é de 402325, o corresponde a uma diferença de 937 células em relação ao MDT.

Quadro 3.4: Frequências absolutas e relativas das classes do índice de posição topográfica na área de estudo

Sigla	Classes	#Pixéis	Área (m ²)	Freq Relativa (%)
tpi1	-45,29 - -21,86	8150	3260000	2,03
tpi2	-21,86 - -13,27	15850	6340000	3,94
tpi3	-13,27 - -4,67	81050	32420000	20,15
tpi4	-4,67 - 3,91	178400	71360000	44,34
tpi5	3,91 - 12,51	98125	39250000	24,39
tpi6	12,51 - 41,69	20750	830000	5,16
Total		402325	160930000	100,00

3.2.3.5 Acumulação do fluxo

A acumulação de fluxo é um fator reconhecido na ocorrência de ravinamentos (Shit et al., 2015; Arabameri *et al.*, 2019). A acumulação de fluxo mostra os caminhos de acumulação e a quantidade de células em toda a bacia que contribuem para o fluxo numa célula específica (Jacinto *et al.*, 2015).

Para a geração da acumulação do fluxo para a área de estudo (figura 3.8), foram utilizados os dados de direção do fluxo para criar seis classes de acumulação de fluxo, definidas com intervalos geométricos.

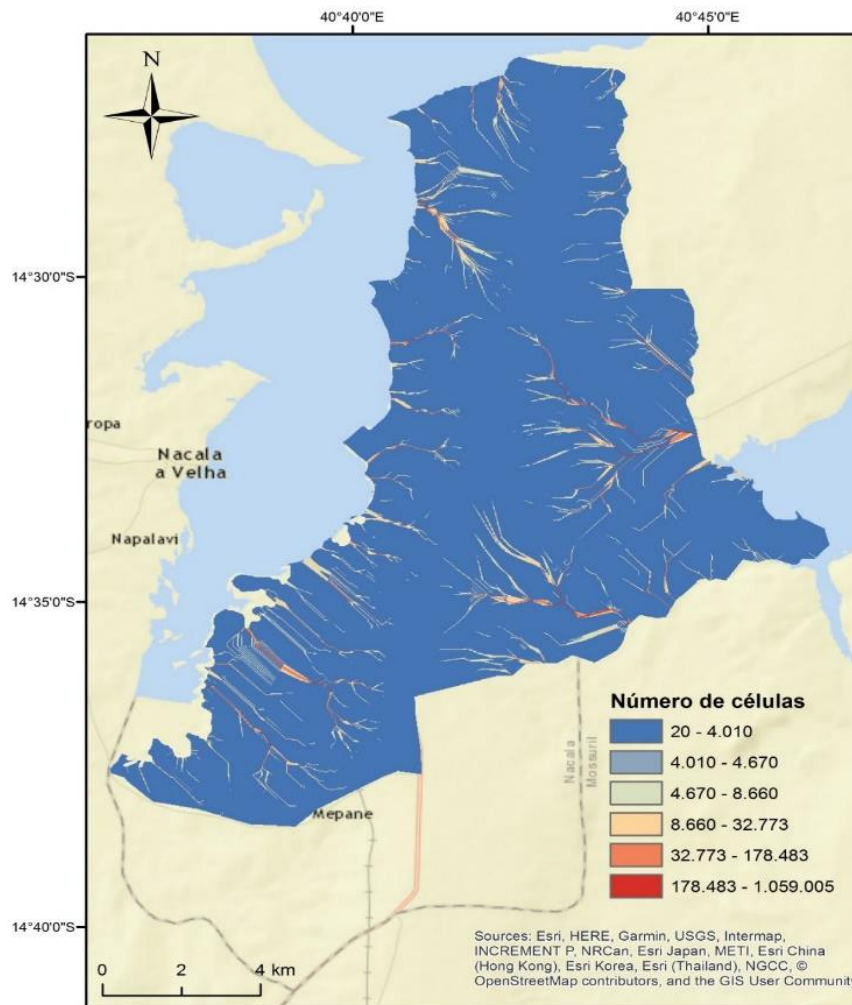


Figura 3.8: Acumulação do fluxo classificado da área de estudo

O quadro 3.5 mostra a concentração dominante na classe acu1 (94,55%) com uma distribuição do resto das percentagens de forma relativamente regular em todas as outras classes, com valores que variam entre 0,13% e 2,02% da área de estudo. Pelas razões mencionadas nos casos dos índices de humidade e de posição topográfica, o número total de células geradas para este fator e considerado para efeitos do presente estudo é de 397915, o que corresponde a uma diferença de 5347 células em relação ao MDT.

Quadro 3.5: Frequência absolutas e relativas das classes da acumulação de fluxo na área de estudo

Sigla	Classes	#Pixéis	Área (m ²)	Freq Relativa (%)
acu1	20 - 4010	376215	150486000	94,55
acu2	4010 - 4670	2826	1130400	0,71
acu3	4670 - 8661	8042	3216800	2,02
acu4	8661 - 32773	7297	2918800	1,83
acu5	32773 - 178483	3027	1210800	0,76
acu6	178483 - 1059006	508	203200	0,13
Total		397915	159166000	100,00

3.2.3.6 Curvatura em perfil

A curvatura é a segunda derivada da superfície (Burrough e McDonell, 1998). Dois tipos opcionais de curvatura de saída são possíveis: a curvatura em perfil, que representa a forma da vertente na direção da inclinação máxima, e a curvatura em plano, que representa a forma da vertente na perpendicular à direção da inclinação máxima.

Segundo Bispo *et al.* (2011) a saída da função curvatura pode ser usada para descrever as características físicas de uma bacia de drenagem, num esforço para entender os processos de erosão e escoamento. O valor da curvatura pode ser usado para encontrar os padrões de erosão do solo, bem como a distribuição da água no solo. A curvatura em perfil afeta a aceleração e desaceleração do fluxo e, portanto, influencia a erosão e a deposição.

Valor negativo da curvatura em perfil indica que a vertente é convexa (figura 3.9.A), enquanto valor positivo indica que a vertente é côncava (figura 3.9. B). Valores de zero ou próximos de zero indicam que a vertente é retilínea (figura 3.9-C), mas ocorrem igualmente nas áreas planas (fundos de vale e interflúvios planos).

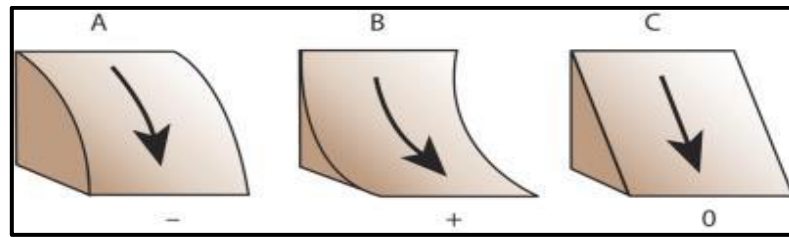


Figura 3.9: Curvaturas em Perfil (Buckley, 2010).

A curvatura em perfil da área de estudo foi gerada a partir do MDT, mediante uso do ArcGIS 10.5 na sua extensão *Spatial Analyst Tools* e foram criadas 3 classes, nomeadamente: 1) convexo, 2) retilíneo/plano e 3) côncavo (figura 3.10).

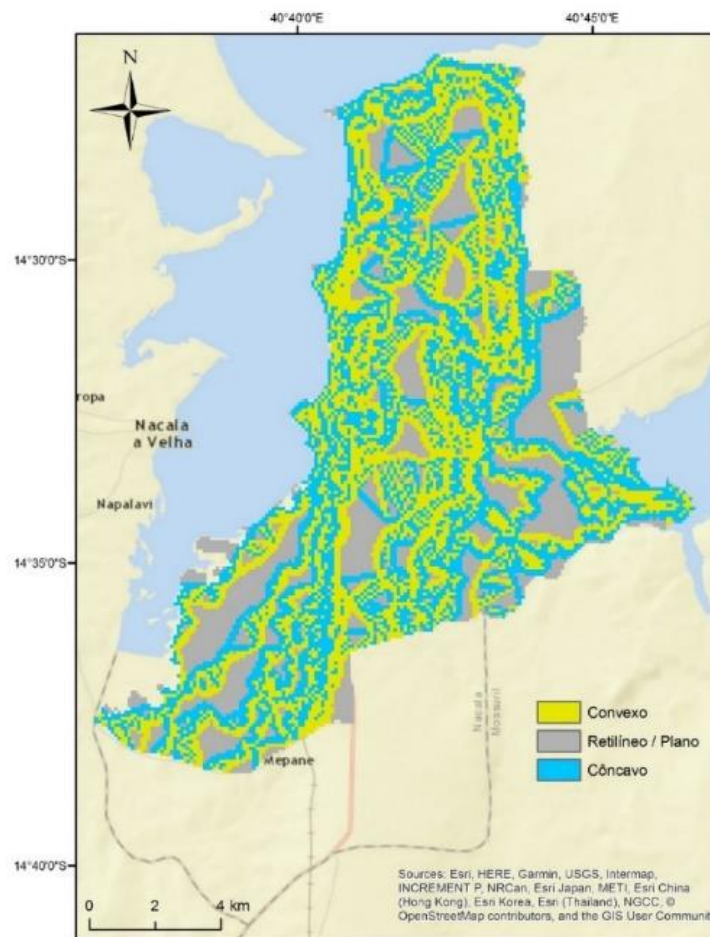


Figura 3.10: Curvatura em perfil classificada da área de estudo.

O quadro 3.6 evidencia algum equilíbrio entre as vertentes convexas e côncavas, que representam, respectivamente, 39,47%, e 37,68% da área total. As áreas planas e as vertentes retilíneas abrangem 22,85% do território. Pelas razões já indicadas anteriormente, para este fator e aquele que se apresenta em seguida (curvatura em plano), foram considerados 402325 células, o corresponde a uma diferença de 937 em relação ao MDT.

Quadro 3.6: Frequências absolutas e relativas das classes da curvatura em perfil na área de estudo

Sigla	Classes	#Pixéis	Área (m²)	Freq Relativa (%)
cper1	Convexo	158800	63520000	39,47
cper2	Retilíneo/plano	91925	36770000	22,85
cper3	Côncavo	151600	60640000	37,68
Total		402325	160930000	100,00

3.2.3.7 Curvatura em plano

A curvatura em plano é perpendicular à direção da inclinação máxima e influencia a convergência e a divergência de fluxo da água superficial e sub-superficial (Bispo *et al.*, 2011). Um valor positivo indica uma topografia convexa, com escoamento divergente (figura 3.11 A), enquanto um valor negativo indica uma topografia côncava, com escoamento convergente (figura 3.11 B). Um valor de zero ou próximo de zero indica que a vertente é retilínea (figura 3.11 C), podendo igualmente corresponder a uma área plana (i.e. com declive nulo).

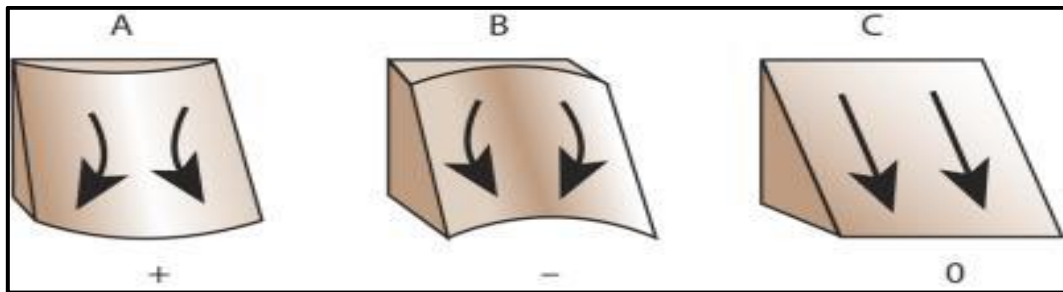


Figura 3.11: Curvaturas em Plano (Buckley, 2010).

Como no caso do tema anterior, para a curvatura em plano foram criadas 3 classes, nomeadamente: 1) convexo, 2) retilíneo/plano e 3) côncavo (figura 3.12).

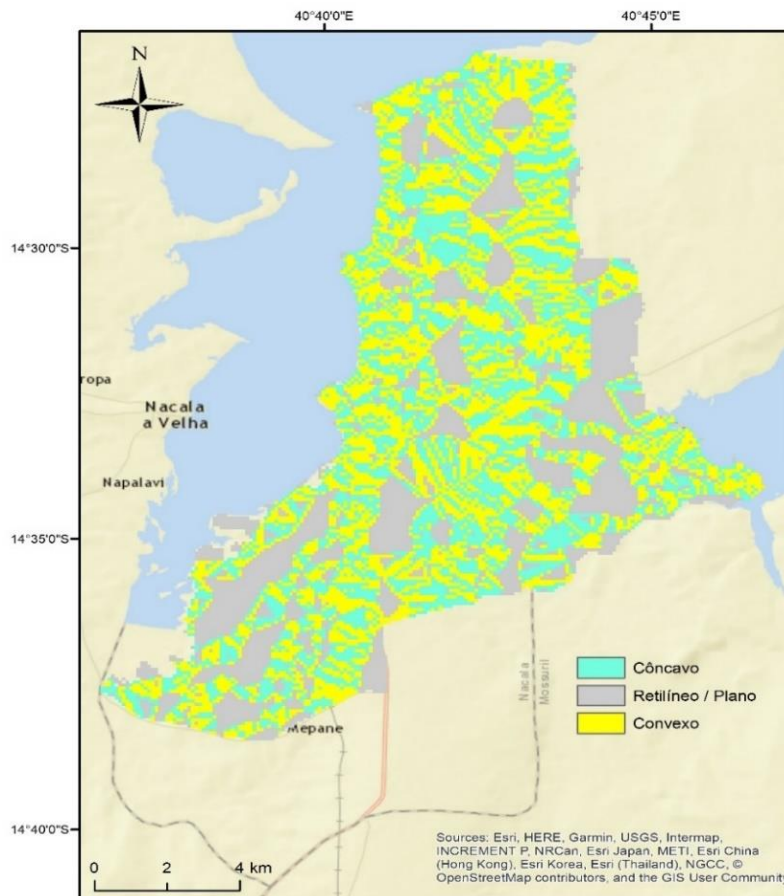


Figura 3.12: Curvatura em plano classificada da área de estudo

O quadro 3.7 mostra também uma distribuição equilibrada entre as 3 classes consideradas, sendo dominantes as áreas convexas (37,15%), seguidas pelas áreas côncavas (34,05%).

Quadro 3.7: Frequências absolutas e relativas das classes da curvatura em plano na área de estudo

Sigla	Classes	#Pixéis	Área (m²)	Freq Relativa (%)
cpl1	Côncavo	136975	54790000	34,05
cpl2	Retilíneo/plano	115875	46350000	28,80
cpl3	Convexo	149475	59790000	37,15
Total		402325	160930000	100,00

3.2.4 Avaliação das relações estatísticas entre o conjunto de fatores de predisposição e a variável dependente

A avaliação das relações estatísticas entre o conjunto de fatores de predisposição e as variáveis dependentes foi feito com recurso ao método do Valor Informativo (VI). O método do Valor Informativo tem sido amplamente usado e com eficácia no estudo da suscetibilidade (Yan, 1988; Yin & Yan, 1988; Zêzere, 1997; Pereira, 2009; Guillard & Zêzere, 2012, Cumbane, 2015, Arabameri et al, 2019a, Arabameri et al, 2019b), embora na literatura a sua utilização esteja mais relacionada com deslizamento de vertentes ou outros movimentos gravitacionais de massa.

Este é um método de base estatística que consiste numa função simplificada da probabilidade *bayesiana* (Garcia, 2012). Trata-se duma função logarítmica natural, combinando a distribuição espacial das variáveis dependentes (cabeceiras e ravinas), com cada uma das classes das variáveis independentes (fatores condicionantes). Para o cálculo do VI foram seguidos dois passos: i) o cálculo do peso de cada classe de cada fator condicionante (considerados variáveis independentes); e ii) a estimativa do Valor

Informativo para cada Unidade de Terreno do mapeamento de suscetibilidade, gerada pelo somatório dos Valores Informativos das variáveis independentes presentes na área de estudo.

O Valor Informativo de uma qualquer classe de um fator de predisposição (li) corresponde à expressão logarítmica da razão entre a probabilidade condicionada de ocorrência da variável dependente na presença da variável independente, pela probabilidade *à priori* de ocorrência da variável dependente, resumida na fórmula:

$$li = \ln \frac{Si/Ni}{S/N}$$

Eq.2

Onde:

li =Valor Informativo da variável independente Xi (correspondente a uma classe de um fator de predisposição)

Si =Número de pixéis com cabeceiras (ou canais erosivos) na presença da variável Xi

Ni = Número de pixéis da variável Xi

S = Número de pixéis com cabeceiras (ou canais erosivos) na área de estudo

N = Número de pixéis da área de estudo

O cálculo neste passo permite a avaliação e comparação entre a densidade média de cabeceiras de erosão ou canais erosivos na área de estudo e a densidade de cabeceiras ou canais erosivos existentes na classe selecionada, o que permite uma interpretação quantitativa do posicionamento da variável em relação à densidade média.

Valores de VI positivos indicam uma relação espacial positiva entre a presença da variável independente e a variável dependente, tanto mais elevada quanto mais elevado o *score* de VI. Pelo contrário, valores de VI negativos indicam uma relação espacial negativa entre as variáveis independente e dependente. Valores de VI próximo de zero resultam da elevada proximidade entre a probabilidade condicionada e a probabilidade *à priori*, pelo que são inconclusivas quanto à tendência da suscetibilidade.

O segundo passo consistiu na estimativa da suscetibilidade a partir do somatório dos Valores Informativos para cada Unidade do Terreno, levando em conta os fatores de predisposição analisados (classes da figura 3.3), segundo a equação:

$$I_j = \sum_{i=1}^n X_{ji} \times I_i \quad \text{Eq.3}$$

Onde:

I_j = Valor Informativo da Unidade do Terreno j

n = número de variáveis

X_{ji} = ausência (0) ou presença (1) na variável na Unidade de Terreno (j)

I_i = Valor Informativo da variável X_i .

Uma pontuação maior do Valor Informativo da Unidade do Terreno indica que a área será mais suscetível à ocorrência de cabeceiras de ravinas ou de desenvolvimento de canais erosivos. Pelo contrário, valores negativos tendem a indicar zonas seguras ao abrigo da erosão.

Nesta tese, o método de VI foi aplicado para os 7 fatores de predisposição descritos na seção 3.2.3, e considerou como variável dependente, separadamente, as cabeceiras e os canais erosivos.

3.2.5 Classificação da área de estudo de acordo com o grau de suscetibilidade

Para classificar a área de estudo de acordo com o grau de suscetibilidade foram construídos 5 modelos preditivos.

O modelo 1 considera como variável dependente a totalidade das cabeceiras da área de estudo e é validado com a taxa de sucesso. A taxa de sucesso é utilizada para dimensionar a forma como o modelo se adaptou nas relações entre a variável dependente (cabeceiras) e as distintas variáveis independentes (fatores de predisposição), não permitindo uma leitura preditiva, uma vez que todos os dados utilizados para validação já foram usados na modelação (Zêzere et al., 2008).

Os modelos 2 e 3 utilizam para modelação dois grupos distintos de cabeceiras (figura 3.13), gerados por partição aleatória do número total de cabeceiras identificadas na área de estudo, em dois grupos de igual dimensão (Grupo A e Grupo B). Os sub-grupos de cabeceiras (A e B) foram alternadamente usados como grupo de modelação e grupo de validação, de modos a permitir uma validação cruzada independente dos modelos de suscetibilidade para as cabeceiras de ravinas. Para os modelos 2 e 3 foram calculadas as taxas de sucesso e as taxas de predição. A taxa de predição resulta do cruzamento do modelo de suscetibilidade com a distribuição espacial das cabeceiras não utilizados para a elaboração do modelo, constituindo uma validação independente e permitindo uma leitura preditiva.

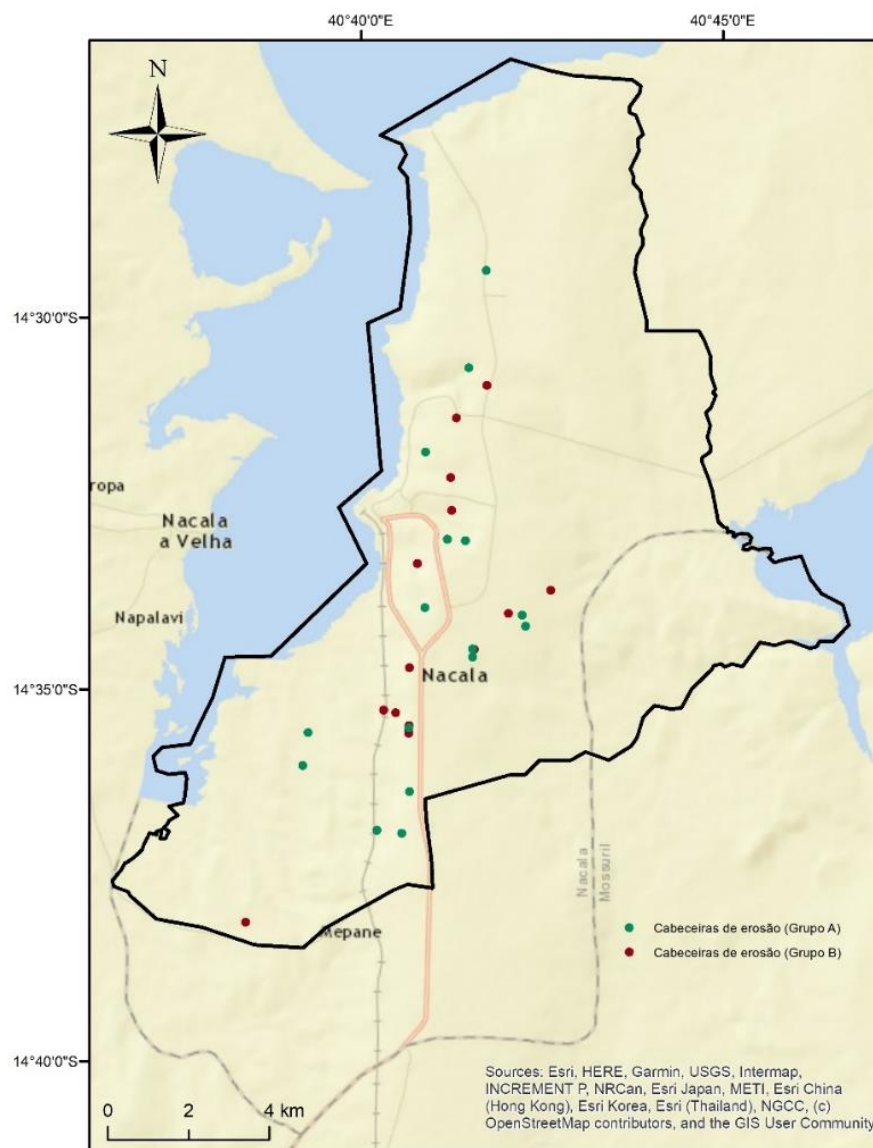


Figura 3.13: Grupos de Modelação e Validação das cabeceiras de erosão

O modelo 4 considera como variável dependente a totalidade dos canais erosivos da área de estudo e é validado com a taxa de sucesso, a exemplo do modelo 1.

Por último, o modelo 5 representa a classificação da área de estudo de acordo com o grau de suscetibilidade à erosão por ravinamento, resultando da integração entre os modelos de suscetibilidade das cabeceiras (modelo 1) e dos canais erosivos (modelo 4).

A combinação das 10 classes de suscetibilidade decílicas de cada um dos modelos referidos (1 e 4) foi efetuada numa matriz, permitindo a definição da suscetibilidade final da erosão por ravinamento, constituída em 5 classes (figura 3.14).



Figura 3.14: Matriz de suscetibilidade final da erosão por ravinamentos resultantes da combinação da combinação da suscetibilidade das cabeceiras e da suscetibilidade dos canais erosivos

3.2.6 Validação dos modelos de suscetibilidade relativamente ao seu ajustamento aos dados de entrada e à sua capacidade preditiva

Um modelo é uma representação da realidade, por isso, não é perfeito, o que faz com que seja necessário determinar o seu grau de confiança (Remondo *et al.*, 2003). A validação dos modelos de suscetibilidade permite avaliar a sua capacidade preditiva e melhor interpretação dos resultados obtidos, creditando um rigor científico ao trabalho de modelação desenvolvido (Chung e Fabbri, 2003).

A determinação da qualidade dos modelos pode ser realizada através da avaliação da das respetivas taxas de sucesso e taxa de predição (Zêzere *et al.*, 2008). Na avaliação

das taxas do sucesso, o mesmo inventário que representa a variável dependente é usado no cálculo da suscetibilidade e na validação do mapa, para analisar o ajuste do modelo aos dados e vice-versa. Na avaliação da taxa de predição, a validação é efetuada com um inventário diferente daquele que foi utilizado na construção do modelo de suscetibilidade, pelo que se trata de uma validação independente (Chung e Fabbri, 2003).

As curvas de sucesso e predição são amplamente usadas nos trabalhos de suscetibilidade com ênfase para suscetibilidade a instabilidade de vertentes (Guzzetti et al., 2006; Zêzere et al., 2008; Garcia, 2012). São um método de representação gráfica percentual ou em escala 0 e 1 (figura 3.15), que permite relacionar a percentagem da área de estudo representada por ordem decrescente de suscetibilidade e a percentagem de eventos (cabeceiras ou canais erosivos no caso em estudo), justificada pela referida percentagem da área, permitindo identificar qual é o tamanho da área de estudo necessária para ter um determinado contributo percentual dos eventos (Zêzere *et al.*, 2008).

Na presente tese, como foi referenciado na seção 3.2.4, dois modelos (2 e 3) foram gerados a partir de partição aleatória do inventário de cabeceiras erosivas em dois grupos independentes (A e B), com 16 cabeceiras cada. Os modelos criados com os Grupos A e B de cabeceiras foram posteriormente validados de forma cruzada, usando curvas de sucesso e curvas de predição. No caso dos modelos 1 e 4 a validação foi efetuada apenas com curvas de sucesso.

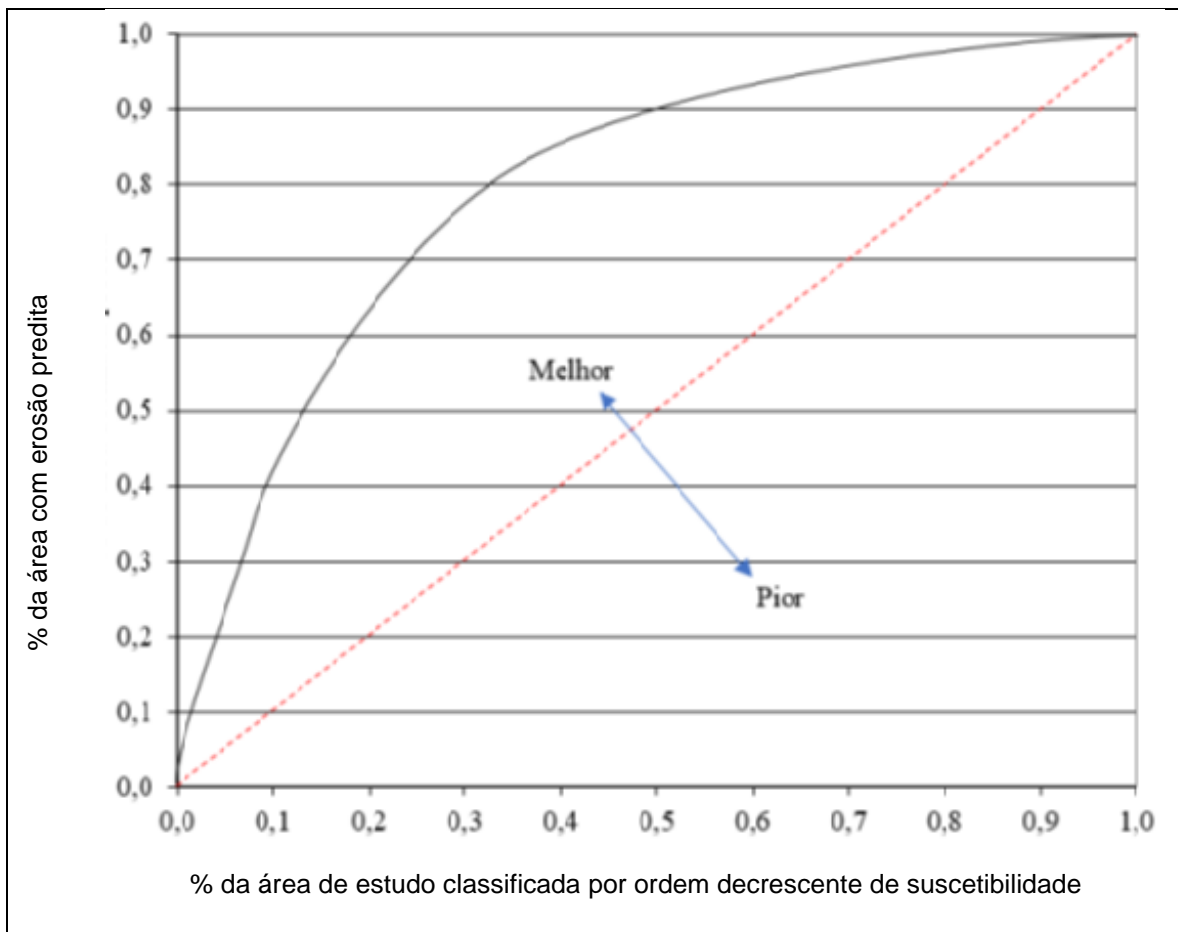


Figura 3.15: Definição gráfica de uma curva de Sucesso ou de Predição (adaptado a partir de Guillard e Zêzere, 2012)

A quantificação da qualidade das curvas de sucesso e de predição foi efetuada através da Área Abaixo da Curva (AAC). O Conceito de AAC foi criado por Swets (1988) e desenvolvido para os trabalhos de gestão do risco por diversos pesquisadores (e.g. Zêzere *et al.*, 2008; Piedade *et al.*, 2011; Garcia, 2012).

O cálculo da AAC é dado pela seguinte fórmula (Garcia, 2012), aplicada numa curva de sucesso ou de predição:

$$AAC = \sum_{i=1}^n \left[(L_{s_i} - l_{i_i}) \times \frac{(a_i + b_i)}{2} \right]$$

Eq.4

Onde:

L_s - O Valor superior do intervalo (Abcissas);

L_i - O Valor inferior do intervalo (Abcissas);

a_i - O Valor da ordenada correspondente a L_i;

b_i - O Valor da ordenada correspondente a L_s;

i - Número de intervalo de valor ou número da classe.

Os valores da AAC podem variar, teoricamente, de 0 a 1 e a qualidade da previsão do modelo aumenta com o aumento do valor da AAC (Zêzere et al., 2008). Swets (1988) classifica os modelos em fracos (AAC abaixo de 0,7), aceitáveis (AAC entre 0,7 e 0,9) e excelentes ou extremamente satisfatórios (AAC acima de 0,9) (Quadro 3.8). De acordo com Guzzetti *et al.* (2005), valores de AAC entre 0,75 e 0,80 indicam um modelo aceitável, enquanto AAC entre 0,80 e 0,90 definem um modelo de suscetibilidade bom. Valores de AAC > 0,90 representam modelos excelentes. Thuiler *et al.*, (2009) utiliza os mesmos limites para definir modelos bons e excelentes.

Quadro 3.8: Classificação da qualidade dos modelos preditivos em função da AAC (adaptado de Ribeiro, 2016)

CLASSIFICAÇÃO	AAC		
	Swets (1988)	Guzzetti (2005)	Thuiler (2009)
Excelente ou Extremamente Satisfatório	>0.9	>0.9	>0.9
Boa		0.8-0.9	0.8-0.9
Aceitável ou razoável	0.7-0.9	0.75-0.8	0.7-0.8
Fraca	0.5-0.7		0.6-0.7
Muito Fraca			0.5-0.6

3.3 Metodologia para avaliação da exposição à erosão por ravinamento na cidade de Nacala

Para a avaliação da exposição à erosão por ravinamento foi necessário verificar os processos de mudança de uso e ocupação do solo em quatro bairros da cidade de Nacala, nomeadamente, Mocone, Triângulo, Matola e Ontupaia (figura 3.16).

De entre os bairros escolhidos, um faz parte do posto administrativo de Muanona (bairro Matola) e três fazem parte do posto administrativo de Mutiva (bairros Triângulo, Mocone e Ontupaia). A escolha dos bairros de Triângulo e Mocone deveu-se ao facto de serem bairros antigos e terem notável tendência de crescimento ocupacional, incluindo em alguns casos áreas previamente definidas pelas autoridades municipais como áreas de risco. Os bairros de Matola e Ontupaia foram escolhidos por serem considerados bairros relativamente novos e de expansão rápida, onde as autoridades municipais definiram a natureza do uso, sendo Ontupaia para uso residencial e Matola para uso industrial.

O objetivo da análise dos processos de uso e ocupação do solo visou, através da exploração de imagens do *Google Earth*, mostrar evidências de realidades passadas e atuais na dinâmica de ocupação dos solos da cidade de Nacala num horizonte temporal de 12 anos. Com efeito, imagens foram exportadas do *Google Earth* para o ArcGIS tendo como referência dois períodos, 16 de julho de 2005 data da imagem de referência inicial e 13 de dezembro de 2017- data de referência da segunda imagem. A escolha dos intervalos e datas foi condicionada pela qualidade das imagens disponíveis no *Google Earth*, sem cobertura de nuvens e abrangendo um período em que Nacala parece ter sofrido as maiores alterações de uso de solo.

Usando o *Google Earth*, áreas ocupadas por construções na data de 16 de julho de 2005 foram demarcadas e gravadas em formato *kml*. Em ambiente do ArcGIS 10.6, foi usada a ferramenta *convert to* do *arctoolbox* para converter os ficheiros *kml* para *shapefile* (*shp*). As *shapefiles* foram posteriormente ajustadas através da ferramenta *edit* e convertidas para o formato matricial (*raster*), permitindo quantificar os pixels representando as áreas ocupadas até aquela data em cada um dos 4 bairros estudados em pormenor. Este

procedimento foi repetido para a data de 13 de dezembro de 2017, tendo resultado no mapeamento das áreas construídas em 2005 e 2017.



Figura 3.16: Bairros da cidade de Nacala onde foi efetuada avaliação da exposição

Para cada bairro, os mapas de ocupação gerados para os dois períodos de análise foram sobrepostos num ambiente ArcGIS 10.6 ao mapa de suscetibilidade geral (modelo 5), o que gerou um mapa de exposição para cada um dos bairros e permitiu verificar em que

classes de suscetibilidade houve crescimento urbano. Os dados de tabulação foram extraídos posteriormente para o formato Excel, para efeitos de análise da exposição, que foi feita para cada um dos bairros individualmente.

Adicionalmente, para efeitos de enquadramento do tipo de uso e ocupação dos solos, e para efeitos comparativos, foi usada a totalidade da área de estudo e foram utilizados os dados do sector de cadastro do Conselho Municipal da Cidade de Nacala (CMCN) relativos aos registos dos processos de ocupação e uso de solos produzida nos anos 2005-2017. Foram consideradas 6 classes de uso do solo geradas a partir das classes usadas pelo CMCN, nomeadamente: i) áreas urbanizadas de uso múltiplo (habitação, comércio, serviços e equipamentos), ii) áreas de ocupação turística, iii) áreas de desenvolvimento industrial, iv) áreas de desenvolvimento habitacional e serviços, v) áreas de proteção e reserva, vi) áreas de prática agrícola. Estes dados permitiram fazer uma análise quantitativa das mudanças de uso do solo ao longo do período em análise e fazer uma comparação entre os mapas de exposição gerados a partir do *Google Earth* e a informação oficial de ocupação disponível.

De forma a verificar o nível de exposição de elementos estratégicos, vitais e sensíveis na cidade de Nacala foram feitos levantamentos, usando GPS, de equipamentos sociais (escolas e hospitais), infraestruturas económicas (fábricas, hotéis e mercados) e equipamentos desportivos e culturais (campos desportivos, igrejas, mesquitas e cemitérios). Os dados da localização específica de cada um dos elementos expostos derivados do GPS foram combinados em ambiente ArcGIS 10.5 com as 5 classes de suscetibilidade, o que permitiu determinar o seu nível de exposição.

3.4 Metodologia para avaliação da vulnerabilidade social

3.4.1 Área de estudo e aspetos gerais

A avaliação da vulnerabilidade social incidiu sobre dois bairros amostrais da cidade de Nacala, nomeadamente Mocone e Ontupaia (figura 3.17), com o objetivo de traçar o perfil dos residentes de Nacala e as características habitacionais.

Os dois bairros escolhidos foram objeto de análise da exposição no âmbito desta tese, o que permite ter um conhecimento do seu nível de risco. O bairro de Mocone foi escolhido por tratar-se de um bairro relativamente antigo e com ocupação mais consolidada, marcado por uma elevada densidade populacional. Em contrapartida, o bairro de Ontupaia é relativamente recente e considerado de expansão, sendo definido pelas autoridades municipais como residencial. Ao escolher bairros contrastados pretende-se verificar em que medida a vulnerabilidade social pode acentuar as consequências do risco de erosão por ravinamento na cidade de Nacala.

Nos bairros de amostra foi administrado um questionário único. Este instrumento teve como foco buscar variáveis que, segundo Almeida (2011), são indicadores da vulnerabilidade social e resiliência.

Com efeito, foi recolhida informação relacionada com os seguintes aspetos: o género, a idade, o nível de escolaridade, o acesso ao emprego, o número de pessoas por agregado familiar, o tipo de material usado na construção da residência dos agregados, a área total ocupada pela residência do agregado, o nível de acessibilidade da residência do agregado, a perceção do risco de erosão, e a existência de práticas que potenciam o risco de erosão como retirada de solos para construção ou outras práticas similares.

A avaliação da vulnerabilidade social foi feita em 2017, como a última parte do exercício de campo realizado no município de Nacala. A avaliação da vulnerabilidade social foi baseada na adaptação simplificada do Índice de Vulnerabilidade Social de Cutter *et al.* (2003) tendo como pressupostos os desenvolvidos nos trabalhos de Mendes *et al.* (2009) e Mendes *et al.* (2011).

Os dados populacionais de referência correspondem ao censo 2007, uma vez que no decurso dos trabalhos para esta tese só foram publicados os dados preliminares do censo 2017 para o nível da cidade, não sendo, por isso, nem abrangentes ao nível dos bairros, nem definitivos.



Figura 3.17: Bairros da cidade de Nacala onde foi efetuada avaliação da Vulnerabilidade Social

3.4.2 Desenho da Amostra do Inquérito aos agregados familiares nos bairros de Mocone e Ontupaia

O total do universo de agregados considerados para o estudo da Vulnerabilidade Social contou com todos os residentes dos bairros de Mocone e Ontupaia. Segundo o censo de

2007, o total nos dois bairros considerados é de 52204 habitantes, sendo 25918 do sexo masculino e 26286 do sexo feminino (quadro 3.9).

Quadro 3.9: Universo populacional segundo total de agregados familiares dos dois bairros amostrais

Bairro	Censo 2007			
	Número de Residentes	Porcentagem em Relação ao Total	Homens	Mulheres
Mocone	26437	51	13241	13196
Ontupaia	25767	49	12677	13090
Total	52204	100	25918	26286

Em termos de classificação a amostra considerada foi **não probabilística intencional**. Trata-se de uma amostragem em que há uma escolha deliberada dos elementos da amostra. Durante o processo de recolha de dados decidiu-se que em cada casa seria entrevistado o chefe do agregado familiar e, na ausência deste, os entrevistadores deviam dirigir-se para a casa seguinte. Este procedimento visava garantir que os dados do inquérito se reflitam ao nível dos agregados familiares, isto porque foi difícil definir a quantidade dos agregados e respetivas áreas de enumeração em função dos dados populacionais disponíveis.

O período de levantamento e as imposições de ordem logística foram determinantes para a definição da dimensão máxima da amostra. Com efeito, foi decidida como amostra máxima 382 agregados familiares, distribuídos pelos dois bairros tendo como base somente critérios de eficiência estatística. Assim, optou-se por 195 chefes de agregados do bairro de Mocone e 187 do bairro de Ontupaia.

3.4.3 Características do inquérito

Foi preparado um inquérito com um total de treze questões organizadas de forma a permitir um fluxo e compreensão por parte dos respondentes (figura 3.18). Antes das questões, o questionário incluía uma apresentação do propósito do trabalho.

<p>Bom dia / Boa tarde.</p> <p>Estamos a fazer uma recolha de dados no âmbito de um Doutoramento em Territórios, Riscos e Políticas Públicas a ser realizado por Artur Afonso, aluno do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa. Este questionário serve para a recolha de informação para o trabalho de tese que visa fazer uma avaliação da suscetibilidade, exposição e vulnerabilidade à erosão por ravinamento na cidade de Nacala.</p> <p>Agradecemos a sua participação respondendo a algumas questões relacionadas ao seu agregado. O questionário não levará mais de 10 minutos e a participação neste inquérito é voluntária e anónima, e se tiver qualquer pergunta que não queira responder pode dizer-nos e passaremos para a pergunta seguinte; ou pode interromper a entrevista a qualquer momento.</p> <p>Agradecemos mais uma vez pela participação</p>
<p>1.Quantos anos completos tem?</p> <p>a)18-26 b) 27-35 c) 36-44 d) + 44</p>
<p>2. Género:</p> <p>a) Feminino b) Masculino</p>
<p>3.Qual é o seu nível de escolaridade concluído?</p> <p>a) Sem escolaridade b) Alfabetização c) Primário d) Básico e) Médio F) Superior</p>
<p>4.Qual é a sua profissão/ocupação principal?</p> <p>a) Sem ocupação/Desempregado b) Assalariado (Estado ou Privado) c) Trabalhador por conta Própria</p>
<p>5.Quantas pessoas habitualmente vivem neste agregado?</p> <p>a) 1 pessoa b) 2-4 pessoas c)5 ou mais pessoas</p>
<p>6.Quantas pessoas são do género feminino?</p> <p>a) Nenhuma b) 1 c) 2 ou mais</p>
<p>7. Existem neste agregado pessoas menores de 5 anos?</p> <p>a) Sim b) Não</p>
<p>8. A residência deste agregado é de:</p> <p>a) Alvenaria em adobe/ pau-a-pique; Cobertura de capim; Sem revestimento consolidado b) Pelo menos um dos materiais de construção duradouros (alvenaria ou cobertura) c) Alvenaria em blocos de cimentos/tijolos; Cobertura em chapas metálicas/ fibrocimento não acabada d) Alvenaria em blocos de cimento/tijolo, Acabamentos em pintura/ outros duráveis; cobertura em chapas metálicas e/ou laje de betão/ fibrocimento; piso acabado em mosaico cerâmico</p>
<p>9. Onde é retirada a areia para a construção das casas?</p>

a) Tira-se dos buracos abertos na área b) Tira-se dum areeiro municipal c) Não sabe
10. Qual é a área total ocupada pela residência deste agregado? a) Menor de 600m ² ; b) 600m ² c) Maiores de 600m ²
11. Como avalia as vias de acesso neste bairro? a) Boas b) Razoáveis c) Más d) Intransitáveis.
12. Como avalia a erosão neste bairro. a) Não existente; b) Pouca intensa c) Muito intensa
13. Em caso de surgimento de sinais de erosão qual das ações tem implementado? a) Deitar lixo b) Colocar sacos de areia e paus c) Comunicar ao CMCN d) Nenhuma

Figura 3.18: Questionário administrado aos residentes da amostra na avaliação da vulnerabilidade social a erosão por ravinamento na cidade de Nacala.

O processo de levantamento envolveu 6 inquiridores distribuídos 3 para cada um dos bairros. Antes do processamento, foram verificadas folhas de resposta que mostraram alguma inconsistência e corrigidas mediante um regresso aos locais para confirmação. No total, foi necessária verificação de 3 folhas de resposta no bairro de Mocone e 4 no bairro de Ontupaia. Os dados do inquérito foram processados e tratados com recurso ao Software *IBM SPSS Statistics 23*.

CAPÍTULO 4: PERFIL DE RISCOS EM MOÇAMBIQUE

Em Moçambique a gestão de calamidade encontra-se enquadrada na lei nº 15/2014 (lei de gestão de calamidades), que foi criada em reconhecimento do país ser vulnerável às calamidades, tais como cheias, secas, ciclones e outras resultantes da ação humana. Esta lei estabelece os princípios e mecanismos visando a gestão e redução dos impactos de desastres na economia e nas comunidades. No artigo 6 nº1, a lei estabelece que a prevenção toma como base a história das calamidades ocorridas, a análise dos respetivos impactos e estudos científicos sobre as previsões de ocorrência de fenómenos capazes de causar calamidades.

Este capítulo apresenta a visão geral do histórico de ocorrências de desastres em Moçambique e, de forma particular, na cidade de Nacala. O perfil para o nível do país foi elaborado a partir dos registos das Bases de Dados *Desinventar* e *Emergency Events Database -CRED-EM-DAT*, considerando um horizonte temporal de 37 anos (1980-2017). O perfil para o nível da cidade baseia-se na base *Desinventar*, Instituto Nacional de Gestão de Calamidades (INGC) e Conselho Municipal da Cidade de Nacala (CMCN), considerando um horizonte temporal de 28 anos (1989-2017), o que fica a dever-se à não existência de informação referente à cidade para o período anterior a 1989. O contraste entre os resultados da EM-DAT e a *Desinventar* resulta em larga medida do facto de a EM-DAT registar eventos, enquanto a *Desinventar* regista ocorrências. Um evento pode incluir muitas ocorrências.

A figura 4.1 sumariza os tipos de riscos naturais, tecnológicos e ambientais com maior ocorrência em Moçambique.

Riscos naturais	<p>Geológico e geomorfológico</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Erosão marinha 2. Movimentos de vertentes 3. Sismos <p>Climático e hidrológico</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Secas 2. Cheias e inundações 3. Ciclones 4. Situações meteorológicas adversas (vento muito forte, vagas de calor)
Riscos tecnológicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Acidentes industriais 2. Incêndios em zonas urbanas
Riscos ambientais	<ol style="list-style-type: none"> 1. Poluição ambiental (atmosférica, hídrica e de solos) 2. Desflorestação 3. Incêndios florestais 4. Erosão hídrica dos solos

Figura 4.1: Tipos de riscos com ocorrência em Moçambique.

4.1 Principais ocorrências de desastres em Moçambique

A base de dados EM-DAT (*Emergency Events Database*) apresenta, para Moçambique no período 1980-2017, a ocorrência de 94 catástrofes naturais, nomeadamente, cheias, epidemias, ciclones, secas, incêndios florestais, tremores de terra, deslizamentos de terra e infestação por insetos (figura 4.2), que foram, no conjunto, responsáveis pela morte de 105.338 pessoas. Do total registado, 29 eventos correspondem a cheias, 28 epidemias, 21 ciclones e 12 secas, tendo os restantes (incêndios florestais, tremores de terra, deslizamentos de terra e infestação por insetos) ocorrido só uma vez.

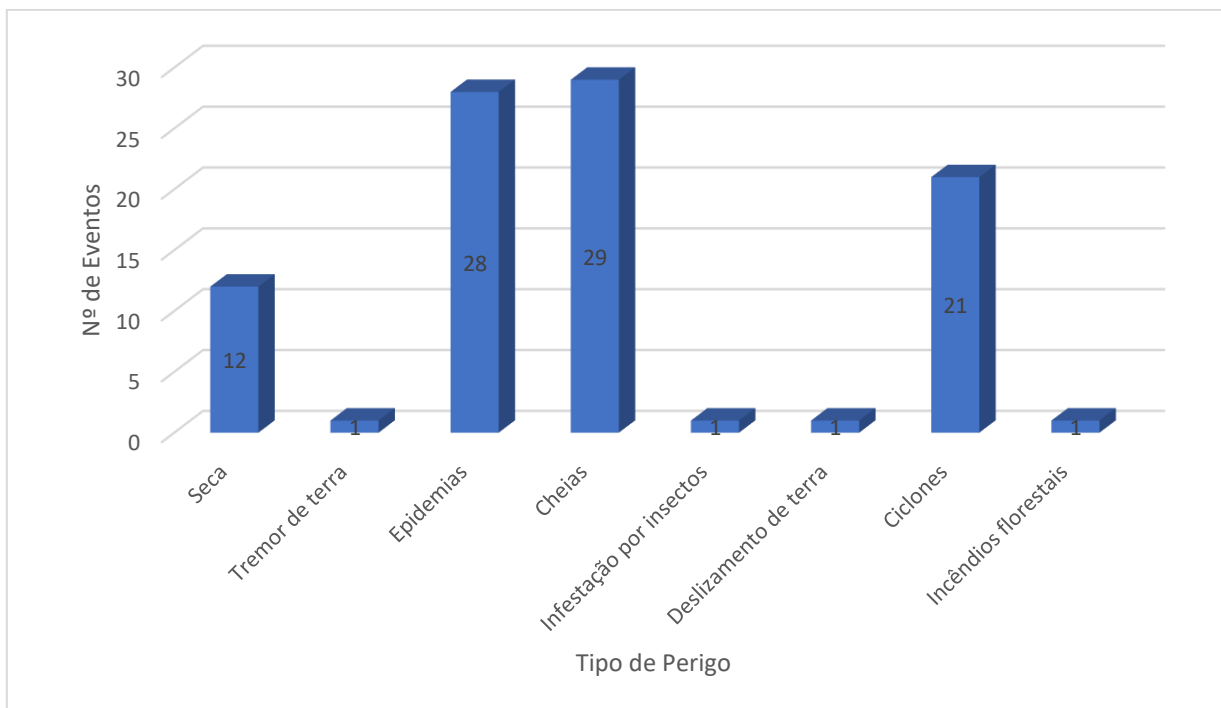


Figura 4.2: Ocorrências de desastres em Moçambique (1980-2017) (Fonte: EM-DAT: The Emergency Events Database - Universite catholique de Louvain (UCL) CRED, D. Guha-Sapir - www.emdat.be, Brussels, Belgium)

Embora a seca tenha ocorrido com relativa menor frequência, ela foi responsável por 95% (100.068), da totalidade de mortes. O número de mortes por cheias representou 1,4%, o que nos sugere que esta avaliação foi feita por defeito, tendo em conta a magnitude e frequência da sua ocorrência no território moçambicano.

A base de dados *Desinventar*, contém informação consolidada sobre ocorrências em Moçambique cobrindo o período de 1980 a 2012. Nesta base, estão registadas 5075 ocorrências, que incluem 927 casos de seca com o total de 100.579 mortos, 668 epidemiais com total de 7701 mortos e 1127 ocorrências de cheias progressivas e cheias rápidas com um total de 1655 mortos. Foram registados 190 ciclones, com a destruição de 398.410 casas. Esta base acrescenta novas categorias de casos, tais como acidentes, conflitos homem e fauna bravia e outras categorias que concorrem para o aumento dos registos. Outro elemento relevante é o facto de nesta base de dados um mesmo evento poder ser contabilizado múltiplas vezes, caso tenha afetado diversas províncias. Porém, embora não possam ser utilizados para dimensionar a frequência das ocorrências de

calamidades no país de forma geral, esses dados indicam quantas vezes cada província reportou ter sido afetada por diferentes ameaças.

Moçambique está particularmente exposto aos riscos de cheias, secas e ciclones, por razões variadas (CM, 2017). No caso das cheias, destaca-se a localização geográfica do território moçambicano, na foz de nove rios internacionais. As secas resultam da existência de zonas áridas e semiáridas e da longa extensão do território nacional localizado na zona de convergência intertropical sujeita a perdas e ganhos excessivos de humidade. Por último, os ciclones tropicais fazem sentir a sua influência ao longo de uma zona costeira muito extensa.

4.1.1 Cheias e inundações

As cheias são fenómenos naturais extremos e temporários, provocados por precipitações excessivas que fazem aumentar o caudal dos cursos de água, originando o extravase do leito menor e a inundação das margens e áreas circunvizinhas, que se encontram frequentemente ocupadas por atividades humanas (Zêzere *et al.*, 2006).

O perigo de inundação em Moçambique ocorre nas planícies aluviais dos rios que compõem a maior parte das bacias hidrográficas, Moçambique tem como principais bacias hidrográficas, do norte para o sul do país (figura 4.3): a bacia do Rovuma, Messalo, Lúrio, Monapo, Meluli, Ligonha, Licungo, Zambeze, Púnguè, Búzi, Save, Limpopo, Incomati, Umbeluze e Maputo.

Nas bacias hidrográficas de dimensão mais reduzida ocorrem cheias rápidas durante ou logo após a ocorrência de precipitação muito intensa. Adicionalmente, as cidades também têm registado inundações rápidas, como efeito de ocorrência de precipitação e em condições de má drenagem.

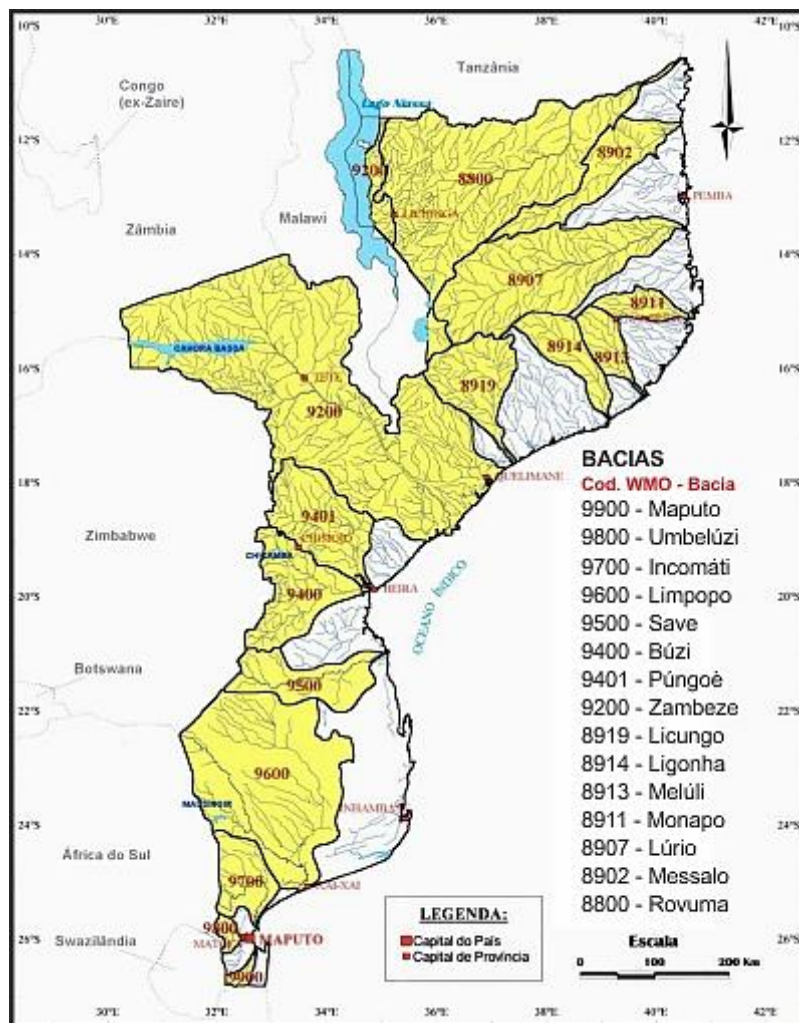


Figura 4.3: Principais bacias hidrográficas de Moçambique
 (Fonte: http://www.cobagroup.com/NOTICIAS/arg_2015/arquivo_2015_PT.html).

No período entre 1980-2012, o país registou, segundo a *Desinventar*, um total de 617 ocorrências de cheias progressivas. Em termos de ocorrência espacial pelas 10 províncias moçambicanas, durante o período em análise, as províncias de Sofala (122), Tete (107), e Zambézia (80), reportaram mais eventos, enquanto as províncias de Nampula (32) e Niassa (18) reportaram menos eventos (figura 4.4). As províncias de Sofala, Tete e Zambézia fazem parte da bacia do Zambeze, que é a mais extensa do país, ocupando 140.000 km², ou seja 17,5% da área total do país que é de 801.590 km². Esta bacia estende-se por extensas áreas das províncias referidas, incluindo também a

província de Manica, o que pode justificar o elevado número de ocorrências registadas de cheias progressivas.

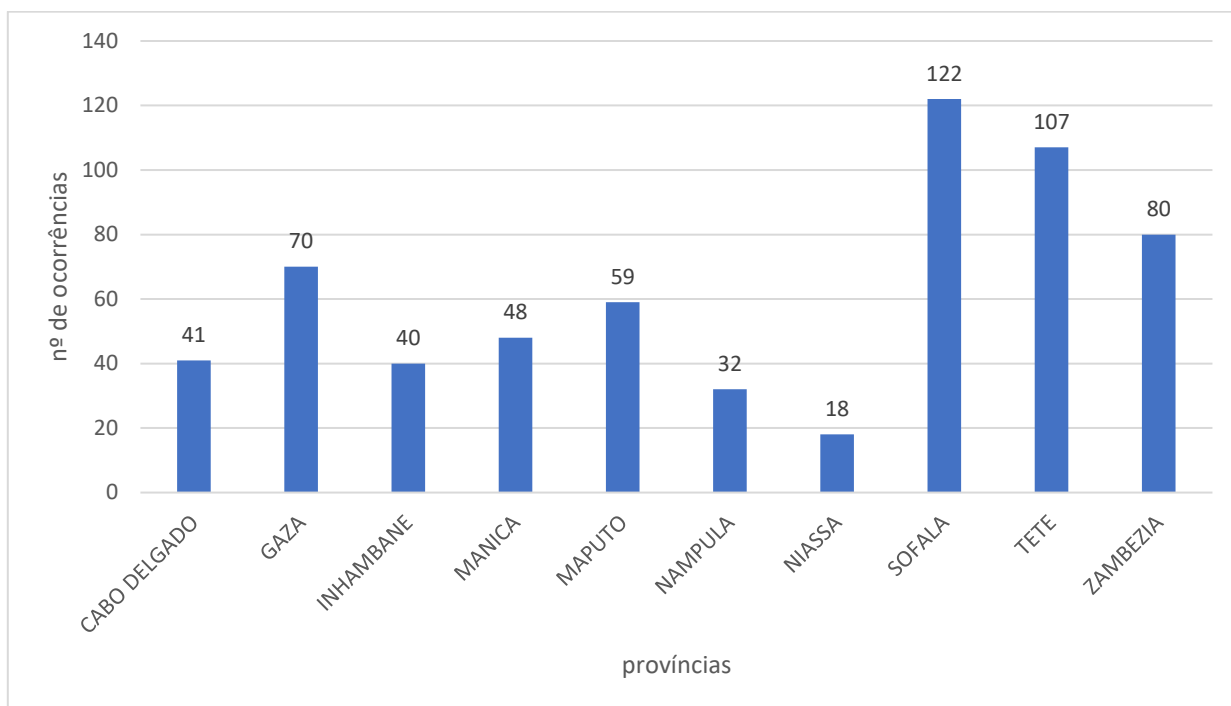


Figura 4.4: Ocorrência de cheias progressivas por província em Moçambique no período 1980-2012 (Fonte: Desinventar, disponível em <https://www.desinventar.net/index.html>)

Ao longo do período em análise, os dados da *Desinventar* mostram que a maior parte das ocorrências verificou-se em 2000, com o registo de 96 casos, coincidido com as maiores cheias registadas nos últimos 50 anos (Jury e Lucio, 2004). Em posição secundária encontra-se o ano de 2007, com 89 ocorrências de cheia em todo o país. Os dados analisados não apresentam um padrão que possa levar a concluir existir uma certa periodicidade na ocorrência de cheias progressivas, mas mostram uma regularidade dos eventos e uma tendência sensível de aumento do número de ocorrências ao longo do tempo (figura 4.5).

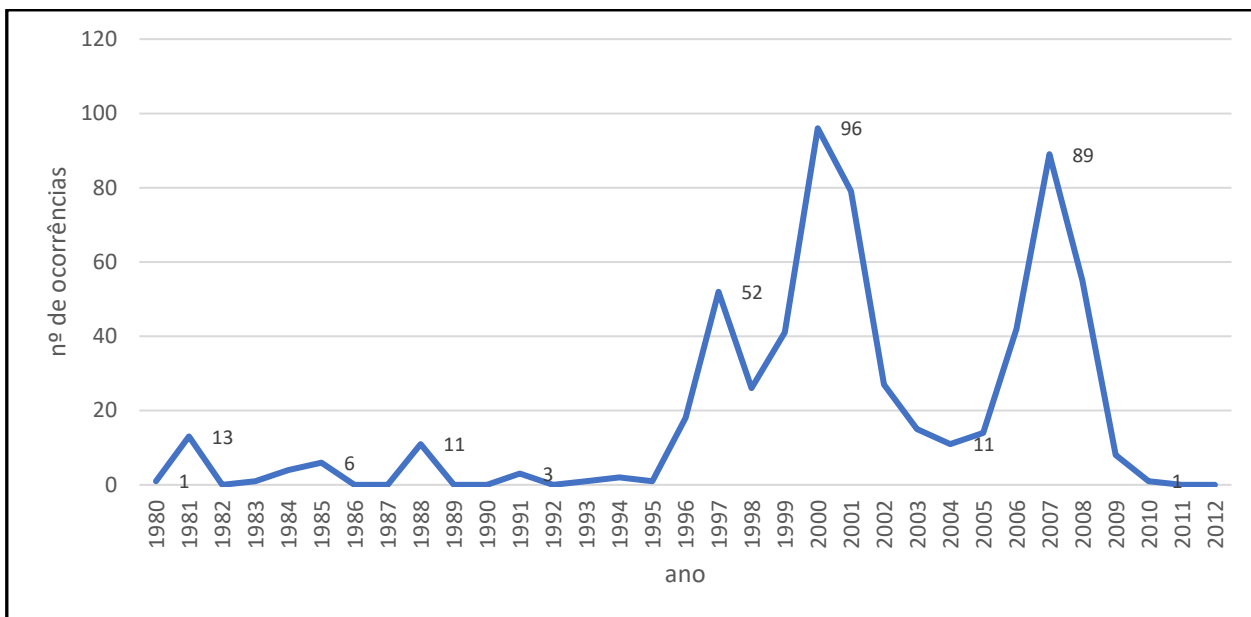


Figura 4.5: Ocorrência de cheias progressivas em Moçambique no período 1980-2012 (Fonte: Desinventar, disponível em <https://www.desinventar.net/index.html>).

A base de dados da EMDAT registou em todos os dados disponíveis a ocorrência de 38 eventos de inundações até 2017, sendo que o primeiro evento data de 1967. No período 1980-2017 foram registados 29 eventos. A EMDAT, por ser uma base de dados que trata de eventos sumarizados a nível do país, omite a maior parte das ocorrências que podem ser identificadas em bases de dados que têm uma abrangência até o nível de província. Este aspeto cria o desafio na tomada de decisão entre dados de ocorrências bastante detalhadas e por isso suscetíveis de terem repetições (exemplo da *Desinventar*), ou dados bastante globalizados em eventos e suscetíveis a omissões, como é o caso dos dados da EMDAT. Mesmo assim, os dados da EMDAT também mostram que a frequência de eventos de inundações é recorrente em todos os anos, principalmente a partir de 1999.

De entre as ocorrências arroladas na base de dados *Desinventar*, existem aquelas que, pelos seus impactos, merecem uma menção particular. Em 2000 e 2001 Moçambique sofreu as consequências de um dos maiores desastres hidrológicos. Entre outubro de 1999 e janeiro de 2000, as chuvas tinham atingido níveis 70% acima do normal em Maputo e 26% acima do normal na foz do Rio Limpopo (CM, 2017). Na vizinha África do

Sul, as chuvas eram igualmente intensas, aumentando os caudais dos rios que atravessam o território Moçambicano em direção ao Oceano Índico. Em janeiro de 2000, os rios Incomáti, Umbelúzi e Limpopo transbordaram, afetando cinco milhões de pessoas, causando mortes e destruindo infraestruturas e campos agrícolas (Jury e Lucio, 2004).

As primeiras avaliações feitas e publicadas pelo Banco Mundial em 2001 indicavam que os prejuízos totais para a economia moçambicana foram de 600 milhões de dólares³, resultantes de perdas de bens (273 milhões de dólares), diminuição da produção e redução do estímulo à economia (247 milhões de dólares), redução das exportações (48 milhões de dólares) e aumento de importações para consumo (31 milhões de dólares) (WB, 2000). Posteriormente, o custo real da reposição de infraestruturas excedeu em muito os prejuízos calculados (WB, 2001).

Segundo GoM (2002) “as cheias provocaram uma descida abrupta do PIB de 7,5% em 1999 para 1,6% em 2000, a inflação atingiu 12,7% em 2000 contra os 2,9% de 1999 e a taxa de câmbio sofreu uma brusca depreciação a uma taxa anual de 28,2% ao ano em 2000, acima dos 7,7 % em 1999”. Houve igualmente o colapso do sistema de transportes, em resultado da destruição de estradas, pontes e linhas férreas, o que resultou num isolamento das pessoas das zonas afetadas, e em quebras no abastecimento de comida e água e dos serviços essenciais (WB, 2001).

Segundo dados do Plano Diretor de Prevenção e Mitigação das Calamidades Naturais (CM, 2017), a combinação das cheias, inundações e ciclone no ano de 2000, teve um impacto devastador com cerca de 700 mortes, 500.000 deslocados e cerca de 12% de área cultivada destruída.

4.1.2 Ciclones

A região do oceano Índico entre 5-25°S, 40-80°E é atravessada anualmente em média 10 vezes por sistemas de ciclones tropicais entre dezembro e março, criando perdas

³ No período da realização da referida análise este valor correspondia a mais do que o dobro das receitas anuais das exportações (Jury e Lucio, 2004).

humanas e em propriedades ao longo da costa e colocando em causa a economia (Jury e Lucio, 2004). Em alguns anos, principalmente aqueles em que também acontece o *la Niña*, há a tendência para que as massas de ar instável atinjam a costa moçambicana, resultando em chuvas intensas que muitas vezes provocam inundações (Rocha, 1992).

A base de dados Desinventar registou 190 ciclones no período 1980-2012, tendo 43,5% (83) ocorrido na província de Nampula, 15,2% (29) em Inhambane e 11,5% na Zambézia (figura 4.6).

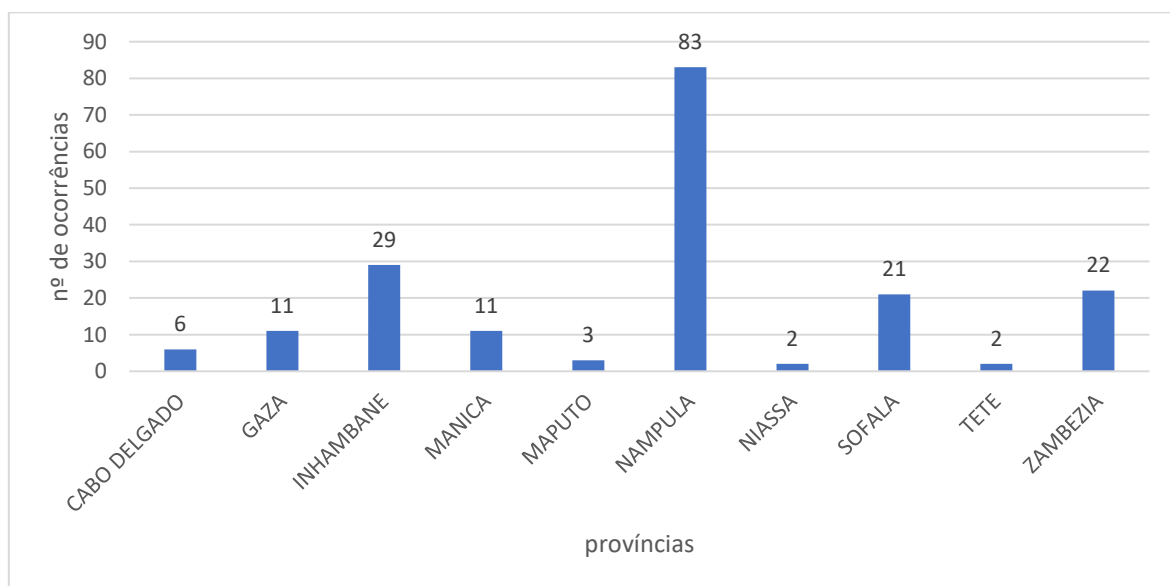


Figura 4.6: Ocorrência de ciclones por província em Moçambique no período 1980-2012 (Fonte: Desinventar, disponível em <https://www.desinventar.net/index.html>)

Os dados mostram uma cada vez maior frequência da ocorrência dos ciclones. Nos primeiros 20 anos do período em análise (1980-2000), houve um total de 74 casos, mas o número subiu para 116 nos restantes 11 anos (2001-2012), sugerindo um aumento em 157% em quase metade do período.

A tendência geral a partir do ano 2000 foi ascendente (figura 4.7), com ocorrência de 21 ciclones em 2000, 23 em 2004, 28 em 2007 e 38 em 2008. A partir de 2000 verifica-se

também que os intervalos de ocorrência de ciclone passam a ser menores, ou seja, em quase todos os anos há registo de alguma(s) ocorrência(s).

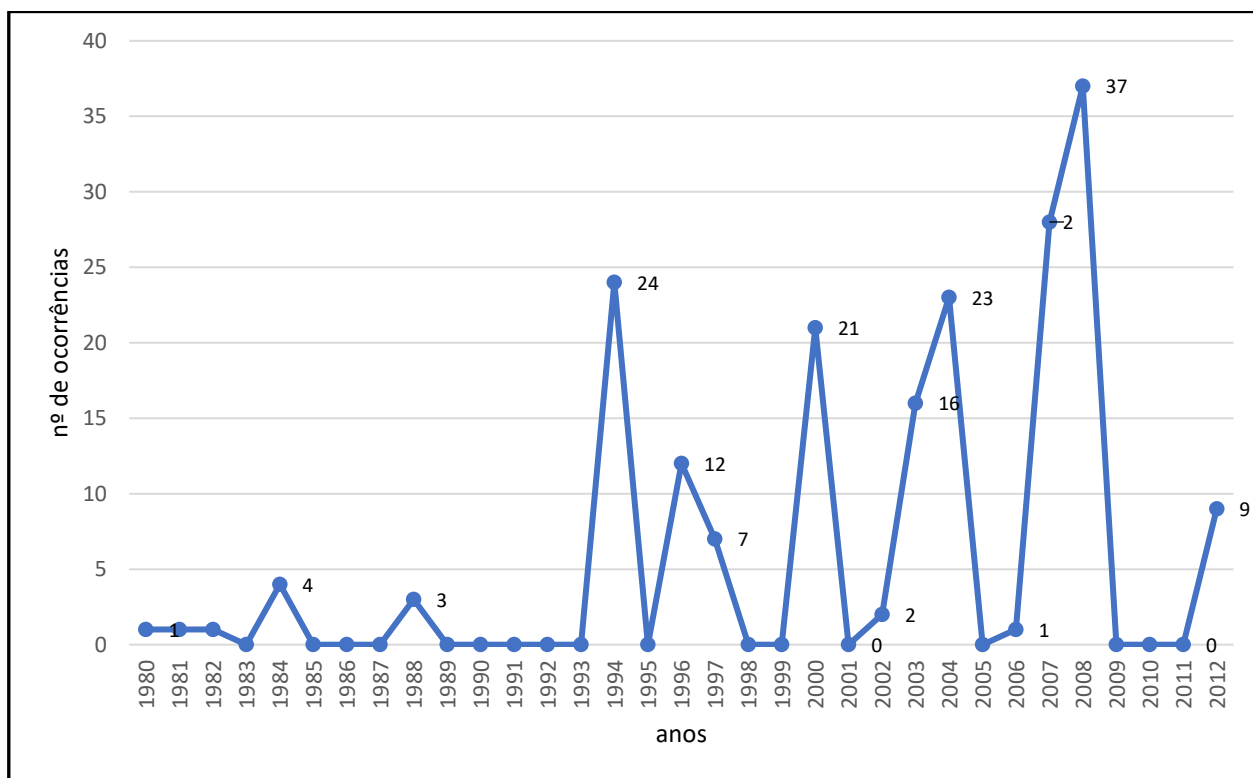


Figura 4.7: Ocorrência de ciclones em Moçambique no período 1980-2012 (Fonte: Desinventar, disponível em <https://www.desinventar.net/index.html>).

A base de dados da EMDAT tem registado até 2017 um total de 24 eventos de ciclones, tendo o mais antigo ocorrido em 1956. No intervalo entre o primeiro evento (1956) até 1980, portanto um período de 24 anos, houve registo de apenas 3 eventos, enquanto que nos 30 anos posteriores registaram-se 21 eventos, mostrando uma tendência de maior frequência durante o período em análise.

A ocorrência dos eventos ciclónicos não só é mais frequente nos últimos anos, mas também a sua magnitude é, aparentemente, cada vez mais elevada. Com efeito, o ciclone Eline atingiu 192 km/h em 2000, velocidade também atingida pelo *Japhet* em 2003. O *Fábio* atingiu 200 km/h em 2007, velocidade também atingida pelo ciclone *Funso* em 2012 (figura 4.8).

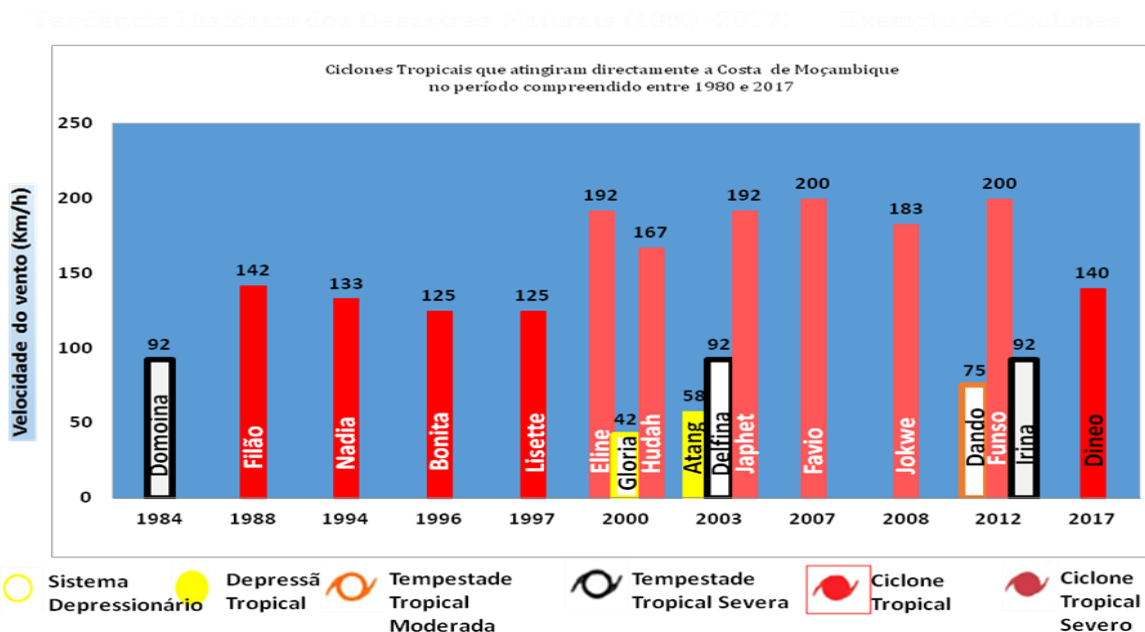


Figura 4.8: Ciclones que atingiram a costa Moçambicana no período 1980-2017
(Fonte: CM, 2017 baseado em dados da EM-DAT)

4.1.3 Secas

A seca é uma anomalia climática, caracterizada pelo suprimento deficiente de humidade resultante de chuvas subnormais, distribuição irregular das chuvas, maior necessidade de água ou uma combinação dos três fatores (Chary *et al.*, 2010). Existem várias definições de seca dadas por vários especialistas e não existe uma definição universalmente aceite do termo.

O conceito de seca é multifacetado. A maioria das definições de seca é baseada em observações meteorológicas, problemas agrícolas, condições hidrológicas e considerações socioeconómicas (Sharma *et al.*, 2006). Schneider (1996) definiu seca como um período prolongado - uma estação, um ano ou vários anos - de chuvas deficientes em relação à média estatística numa região. Dracup *et al.*, (1980) consideraram quatro variáveis para definir adequadamente a seca: (i) natureza do déficit hídrico, precipitação, humidade do solo ou vazão; (ii) unidade de tempo básica dos dados, por exemplo, mês, estação ou ano; (iii) truncamento que distingue fluxos baixos de fluxos

normais / altos, por exemplo, média, mediana, moda ou outro valor limite derivado; e (iv) regionalização e / ou padronização.

O conceito de seca adotado em Moçambique é aquele usado por Cunha (1985), segundo o qual a seca pode genericamente ser definida como a ocorrência dum défice significativo nas disponibilidades de água durante um período suficientemente longo e abrangendo uma área suficientemente extensa. A seca pode subdividir-se em meteorológica, hidrológica e agrícola. A severidade da seca depende do grau da deficiência da água, da duração e do tamanho da área afetada. Baseada nesta definição em Moçambique foi feita uma distribuição dos locais de risco de secas e suas causas (quadro 4.1) através do plano nacional de combate a desertificação, publicado em 2004.

Quadro 4.1: Locais de risco de seca segundo o plano nacional de combate a desertificação, MICOA, 2004

Província	Distritos	Causas da existência do risco
Maputo	Moamba	Insuficiência de água superficial; baixa precipitação; queimadas descontroladas, abate de árvores para a produção de carvão vegetal e de lenha.
	Namaacha	Redução do caudal dos rios; défice pluviométrico; queimadas descontroladas; abate indiscriminado de árvores para a produção de carvão vegetal e de lenha.
	Magude	Redução do caudal do Incomáti; défice pluviométrico; queimadas descontroladas; abate de árvores para a produção de carvão vegetal, de lenha e de madeira; erosão.
Gaza	Malalane Chiculacuala Massagena	Redução do caudal do rio Incomáti; défice pluviométrico; queimadas descontroladas; abate indiscriminado de árvores para produção de carvão vegetal, de lenha e de madeira.
Inhambane	Massinga Funhalouro Vilankulo Inhassoro Govuro	Défice pluviométrico; queimadas descontroladas; abate indiscriminado de árvores para a produção de carvão, de lenha e de madeira.
Sofala	Nhamatanda Gorongosa Chemba Caia	Défice pluviométrico; queimadas descontroladas; desmatção; alguma erosão eólica e fluvial.
Tete	Moatize	Redução do caudal dos rios; queimadas descontroladas; desmatamento
	Mágoé	Queimadas descontroladas; desmatamento; erosão.
	Changara	
Manica	Macossa Manica	Queimadas descontroladas; uso excessivo do solo; desmatamento

A base de dados *Desinventar* arrolou para o período 1980-2012 920 ocorrências de seca. Durante este período a província de Gaza teve mais casos (186), seguida pelas províncias de Inhambane (171), Tete (135), Nampula (106), Maputo (77), Sofala (73) e Cabo-Delgado (72). A província do Niassa foi aquela que teve menos ocorrências de secas (15) (figura 4.9).

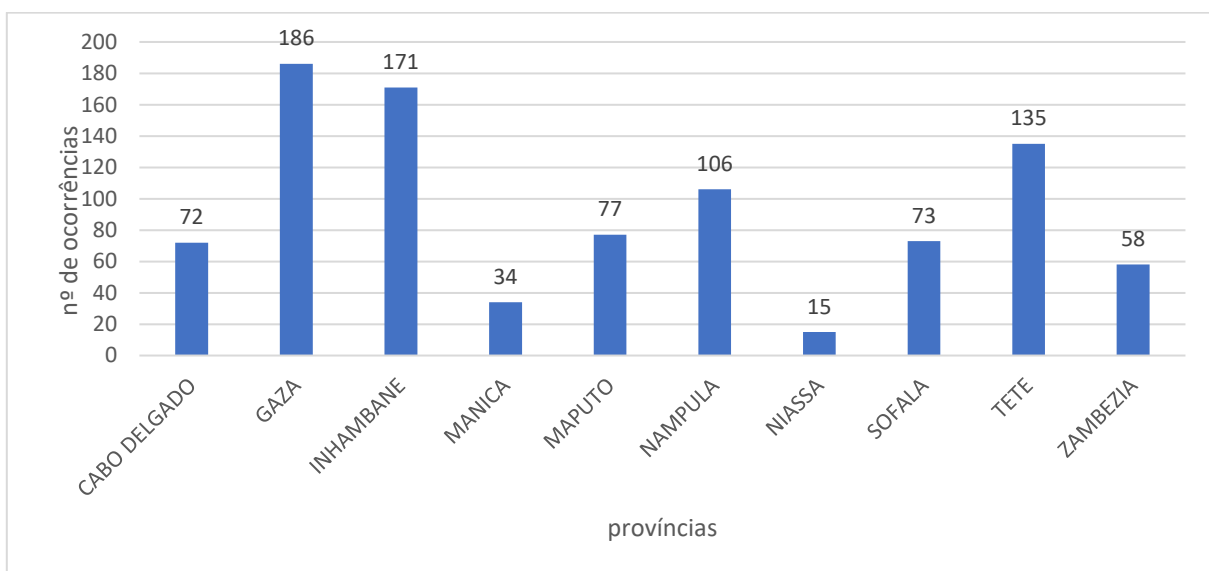


Figura 4.9: Ocorrência de secas por província em Moçambique no período 1980-2012 (Fonte: Desinventar, disponível em <https://www.desinventar.net/index.html>)

É importante mencionar que o levantamento dos dados da *Desinventar* é feito até à escala de Posto Administrativo, o que sugere que no plano nacional de combate a desertificação podem estar omissos locais com risco de secas, nomeadamente as províncias que não estão mencionadas no quadro 4.1, mas possuem registos de ocorrência como Nampula e Cabo Delgado. Em alternativa, o plano nacional de combate à desertificação pode necessitar de atualização, para incluir novas áreas que poderão ter surgido após a elaboração do plano em 2004, tendo em conta que o pico de eventos ocorreu em 2005 (figura 4.10).

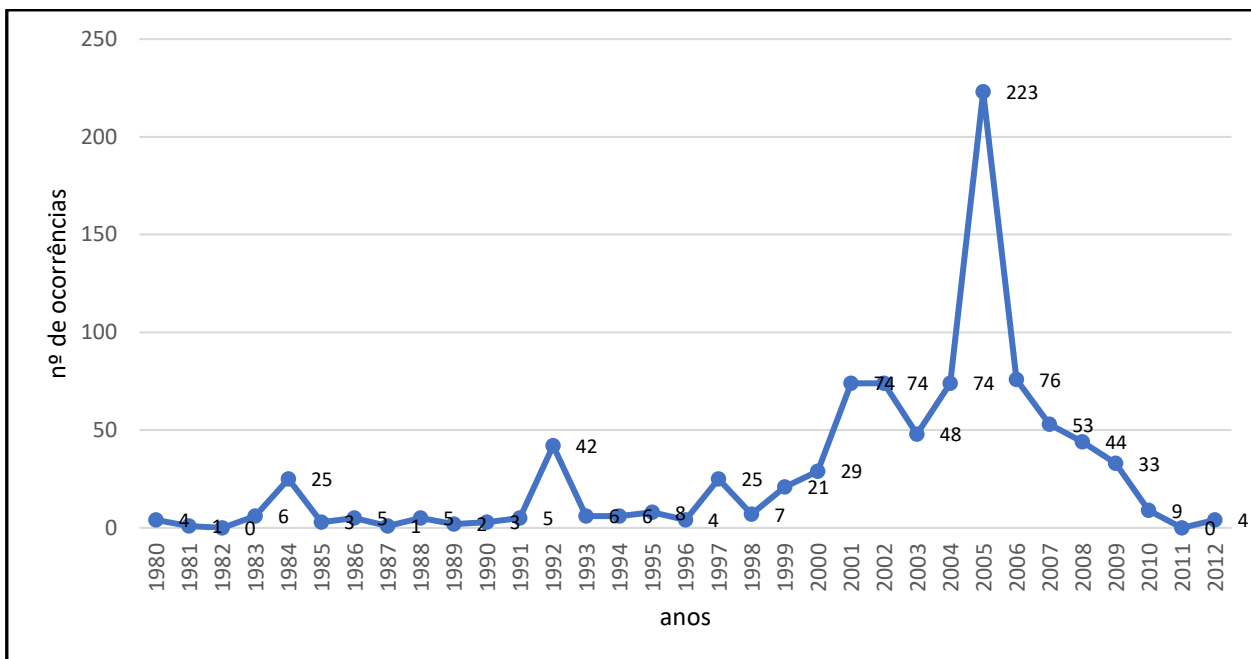


Figura 4.10: Ocorrência de secas em Moçambique no período 1980-2012 (Fonte: Desinventar, disponível em <https://www.desinventar.net/index.html>).

Os dados da EMDAT indicam um total de 13 eventos em treze anos alternados desde 1979 a 2016. A EM-DAT, assim como a *Desinventar*, faz menção às secas de 1981 que assolaram todo o país, tendo resultado em mais de 100.000 mortos.

Embora as secas ocorram em número menor do que as cheias, os dados indicam que elas contribuíram com maior número de mortos, ao longo do período em análise. Em contrapartida, as cheias e ciclones foram responsáveis pela maior parte da destruição de infraestruturas. A prevalência do número de mortos provocados pela seca, em termos globais, explica-se porque a seca afeta diretamente o setor agrícola que é a principal fonte de economia de Moçambique, contribuindo não só para a ocorrência da fome por falta de alimentos, mas também para a redução da renda familiar e da economia do país.

Segundo o Programa das Nações Unidas para Alimentação (FAO, 2017), estimava-se que mais de 1,5 milhões de pessoas se encontravam em situação de insegurança alimentar devido à seca que se registou no sul e centro de Moçambique em 2016, por força do fenómeno climático *El Niño* mais forte das últimas décadas, e que atingiu também outros países da África Austral.

4.2 Perfil de risco na cidade de Nacala

O conceito de risco urbano está associado à noção de que as consequências da ocorrência de perigos variados tendem a ser acrescidas nas áreas mais densamente povoadas, com maior concentração de construções, veículos e atividades (Mateus, 2009). Na urbe os meios de transporte multiplicam-se e diversificam-se, enquanto as mobilidades crescem de forma quase exponencial. A essa densificação e concentração, contingências que aumentam o grau de exposição e os níveis de vulnerabilidade, podem estar, de facto, associadas situações de risco urbano (Mateus, 2009).

Em Moçambique, o risco urbano está a emergir à medida que a população urbana vai crescendo, acentuando os efeitos dos desastres causados por fenómenos naturais. A UNHabitat (2014), sugeriu que em Moçambique o crescimento populacional até 2014 era de 32% e os riscos eram maiores devido aos efeitos das alterações climáticas. Assim, a redução do impacto dos desastres exigirá uma combinação de intervenções que assegurem a integração da redução do risco de desastres e da resiliência climática nas políticas e planos de desenvolvimento.

A cidade de Nacala apresenta quatro riscos principais, nomeadamente: ciclone, inundação, seca e erosão, cuja ocorrência é mencionada de forma recorrente nas fontes consultadas (*Desinventar*. Instituto Nacional de Gestão de Calamidades e Conselho Municipal da Cidade de Nacala). Os dados recolhidos foram compilados no quadro 4.2, permitindo comparar a informação das três fontes utilizadas. Os perigos mais recorrentes são a erosão, os ciclones e as cheias rápidas e inundações, que serão detalhadas nas subseções seguintes. As secas são mencionadas 4 vezes pelo INGC e 3 vezes pela *Desinventar*. No entanto, os documentos do CMCN não fazem menção às secas como risco em Nacala.

Quadro 4.2: Dados das ocorrências de desastres na cidade de Nacala no período 1989-2017 (Fonte: Sistematização dos dados da Desinventar e Relatórios do INGC/CENOE E CMCN).

Ano	CICLONE			INUNDAÇÃO			SECA			EROSÃO		
	DES	INGC	CMCN	DES	INGC	CMCN	DES	INGC	CMCN	DES	INGC	CMCN
1989					1	1						1
1990												
1991												
1992						1						1
1993												
1994	1	1	1		1	1					1	1
1995		1				1						1
1996	1	1	1		1	1					1	1
1997	1	1				1						1
1998						1						1
1999					1	1					1	1
2000		1				1						1
2001	1	1			1	1					1	1
2002		1	1			1						1
2003		1						1				1
2004	1						1	1				
2005							1	1				1
2006					1		1	1			1	1
2007				1	1	1				1	1	1
2008	1	1	1		1	1					1	1
2009		1			1	1					1	1
2010												
2011		1				1						1
2012		1			1	1					1	1
2013		1			1	1					1	1
2014						1						1
2015					1	1					1	1
2016						1						1
2017						1						1
Total	6	13	4	1	12	21	3	4	0	1	11	24

DES=Desinventar. INGC=Instituto Nacional de Gestão de Calamidades. CMCN=Conselho Municipal da Cidade de Nacala.

As três fontes apresentam diferenças numéricas quanto aos quatro perigos considerados. Os dados da *Desinventar* não reportam ocorrências posteriores a 2008, o que leva a crer numa interrupção no registo de dados na província nessa data, pese embora a

Desinventar indique que a informação contida sobre Moçambique se alargue até 2012. Por outro lado, os dados recolhidos pelo INGC e CMCN refletem o mandato que cada uma das instituições possui. Enquanto o INGC tem um vasto mandato de gestão de emergências, que abrange todo o território de Moçambique, o CMCN preocupa-se com a gestão municipal, priorizando questões relacionadas com o uso de terra e mecanismos de gestão territorial. Assim, não é estranho o número superior de ocorrências de inundações e de erosão reportadas por esta última instituição.

No entanto, de forma geral, existe uma tendência de ocorrência regular dos eventos de erosão, ciclones, cheias e inundações a partir de 1994 (figura 4.11). Deste essa data, somente em 3 anos (2005, 2006 e 2010) não houve registo de, pelo menos, um desses processos perigosos.

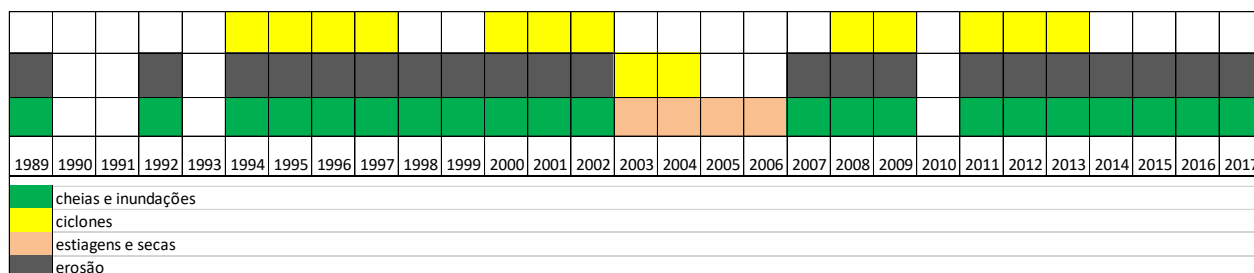


Figura 4.11: Sumário de desastres ocorridos na cidade de Nacala no período 1989-2017, mostrando a quase sistemática ocorrência de erosão a partir de 1994 (Fonte: Sistematização dos dados da *Desinventar* e Relatórios do INGC/CENOE E CMCN)

4.2.1 Ciclones tropicais

Para o período em análise (1989-2017), os ciclones encontram-se mais mencionados nos documentos e relatórios do INGC (13 ocorrências), seguidos pelos dados da *Desinventar* (6 ocorrências), enquanto os relatórios do Conselho Municipal da Cidade de Nacala (CMCN) mencionam apenas 4 ocorrências.

A cidade de Nacala encontra-se numa região, localizada entre Angoche e Pemba, que é considerada de elevada vulnerabilidade à ocorrência de ciclones tropicais (WMO, 2003,

apud Aurecon, 2010). Em março de 1994, a região foi gravemente afetada pelo ciclone *Nadia*. Este ciclone, que atingiu uma velocidade do vento de cerca de 190 km/h e uma pressão mínima de 925 hPa, atravessou o Canal de Moçambique e entrou no Norte do país, causando mortes e deixando cerca de 1 milhão de pessoas desalojadas (INAM, 2005 - não publicado).

A região foi também atingida pelo Ciclone *Delfina* em meados de dezembro de 2002 e janeiro de 2003. O *Delfina* formou-se no Norte do Canal de Moçambique e causou chuvas fortes na área costeira de Nampula, com velocidades do vento de cerca de 60 km/h. De acordo com o INAM, este ciclone terá atingido uma velocidade máxima de 96 km/h e uma pressão mínima de 984 hPa (INAM, 2005 - não publicado). Cerca de 50 pessoas perderam as suas vidas, mais de 280 mil famílias ficaram desalojadas, cerca de 17 mil hectares de colheitas foram destruídos e também ocorreram danos significativos nas infraestruturas existentes na região (WMO, 2003, *apud* Aurecon, 2010).

Em janeiro de 2004, a cidade de Nacala foi novamente atingida pelas chuvas torrenciais causadas pelo ciclone tropical *Eline*, formado na costa ocidental de Madagáscar, no Canal de Moçambique. De acordo com o INAM (2005), o ciclone atingiu a costa de Moçambique com uma velocidade máxima de 120 km/h e uma pressão mínima de 974 hPa.

Em 2008 o ciclone *Jockwe* também atravessou a cidade de Nacala com ventos até 183 km/h. O impacto deste ciclone afetou fundamentalmente a rede secundária de transporte rodoviário, ao longo de 3.500 kms, a infraestruturas de saúde (70 Postos de Saúde e 50 Centros de Saúde) e mais de 200 mil habitantes, dos quais 59% estavam concentrados na Cidade de Angoche, na província de Nampula. Outros distritos afetados foram: Mogincual, Mossuril, Ilha de Moçambique, Moma, Mogovolas, Nacala Porto e Monapo (INE, 2009).

4.2.2 Cheias e inundações

As inundações na cidade de Nacala resultam basicamente de cheias rápidas que ocorrem na sequência de chuvas intensas e que são agravadas por uma drenagem deficiente das águas pluviais. Nestas condições, as águas acumulam-se na parte baixa da cidade e desaparecem depois de algumas horas. Estas ocorrências são muito comuns e nas fontes consultadas foram mais mencionadas nos dados do CMCN (21 ocorrências), seguidos dos dados do INGC (12 ocorrências). Na *Desinventar* foram mencionadas uma única vez, no período em análise.

As inundações têm-se intensificado nos últimos anos em resultado de intensas precipitações, mas também de um ordenamento do território deficiente. Com efeito, às construções desordenadas associam-se infraestruturas implantadas em áreas de drenagem, que eram consideradas de reserva no passado, o que faz com que a água abandone a sua direção natural de escoamento e origine enchentes em locais que antes não eram inundados. A culminar este processo, tem-se assistido à destruição de infraestruturas pelas inundações, principalmente da parte baixa da cidade.

4.2.3 Erosão dos solos

A erosão é mencionada 24 vezes pelos dados do Conselho Municipal de Nacala (CMCN), 11 vezes pelo INGC e somente uma vez pelos dados da *Desinventar*.

O CMCN, como órgão de gestão territorial, apresenta de forma recorrente a erosão como uma das maiores ameaças da cidade, uma vez que esta constitui um elemento fundamental de degradação da terra e infraestruturas sob gestão municipal. Por sua vez, o Instituto Nacional de Gestão de Estatísticas (INGC), que tem como vocação a prevenção e mitigação de calamidades naturais, tradicionalmente não considerava a erosão como uma ameaça recorrente. Com efeito, a erosão só foi introduzida como ameaça a ter em conta através da lei das calamidades naturais, que alargou o conceito de calamidade aos incêndios, queimadas, epidemias, erosão, aluimentos de terras e derrames de hidrocarbonetos (Lei nº15/2014 de 20 de junho).

Como revelam os dados do CMCN, a erosão tem sido reconhecida como um dos principais problemas ambientais em Nacala, particularmente em áreas de ocupação espontânea. O processo de ocupação do território, que teve seu auge em 2016 devido a instalação de infraestruturas importantes como o Porto de Nacala a Velha, a construção do aeroporto de Nacala e melhoramento do porto de Nacala Porto, resultou em registo de ravinas especialmente nas áreas dos bairros Triângulo, Nicandavala, Mocone e Ribáuè, Estas ravinas, que chegam a atingir 15 metros de profundidade, têm constituído preocupação e motivo de manchetes em vários órgãos de informação (figura 4.12).



Figura 4.12: Informação sobre erosão em Nacala destacada nos órgãos de informação Fonte: Portais dos Jornais Verdade, VOA, Folha de Maputo.

Os problemas relacionados com o risco de erosão expõem de forma desigual os cidadãos, já que os aspetos sociais e económicos condicionam o grau de vulnerabilidade das populações e o seu nível de resistência aos eventos extremos.

A erosão em Nacala ameaça tanto infraestruturas económicas ou sociais, bem como habitações de muitos residentes e o problema tem-se agravado pelas rápidas mudanças verificadas no uso do solo. Por outro lado, as iniciativas desenvolvidas pelo município para reduzir ou prevenir o problema da erosão têm-se revelado insuficientes.

As consequências da erosão em Nacala estendem-se, para além da destruição de

infraestruturas e bens, à degradação generalizada da paisagem (figura 4.13). Embora não exista até agora um estudo que tenha feito o levantamento sistemático das consequências da erosão, alguma intervenção é necessária e, como já referiu Vahanne (1997), o método de controle de erosão a ser usado em Nacala (figura 4.14) deveria ser uma combinação de medidas vegetativas, construção de baixo custo e algumas obras pesadas. O papel da vegetação é crucial e uma componente de reassentamento também será necessária, para diminuir a exposição excessiva ao risco.



Figura 4.13: Área de erosão acentuada com habitações desordenadas no bairro de Triângulo (foto tirada pelo autor 26.09.2016)



Figura 4.14: Uso de gabiões para contenção da erosão (foto tirada pelo autor 23.02.2016).

4.3 Algumas considerações sobre o perfil de riscos em Moçambique

As duas bases de dados usadas para desenho do perfil de riscos apresentam limitações que colocam um desafio de escolha entre dados generalizados e que podem omitir informação pela limitação na sua escala (EMDAT), ou dados com mais detalhes, mas que podem apresentar repetições (*Desinventar*). Parece evidente que dados bastante generalizados (EM-DAT) não permitem capturar as necessidades reais de intervenção em países como Moçambique, e isto se impõe como um desafio para Moçambique, no sentido de criar uma concordância na escala necessária de recolha de dados sobre

desastres, para melhor tomada de decisão que contribua para a redução do risco de desastres.

Os períodos de seca severa têm-se repetido nos últimos anos em Moçambique, parecendo ter uma clara tendência para se acentuar, provavelmente em consequência das alterações climáticas. Este facto é tal modo relevante que justificou uma atualização do plano nacional de combate a desertificação.

Embora a ocorrência de epidemias seja notória e generalizada, o país encontra-se exposto a riscos de natureza climática e hidrológica, como secas, cheias e inundações e ciclones que, quando se desencadeiam, não só perturbam o sistema normal de funcionamento da sociedade, provocando mortes e a destruição de infraestruturas, mas são também responsáveis pela eclosão de epidemias.

Os anos com ocorrência de ciclones intensos coincidem frequentemente com os anos de ocorrência de cheias e inundações, uma vez que o mau tempo originado pelos ciclones conduz a precipitações acima do normal, que são responsáveis pelas cheias e inundações. Deste modo, o conhecimento da tendência de ocorrência de ciclones na região pode ser crucial para uma preparação atempada para eventos de cheias. As províncias situadas na parte sul do país tendem a ser mais afetadas por cheias, devido ao seu enquadramento geomorfológicos e hidrológico.

O crescimento das cidades tem conduzido ao incremento da exposição aos riscos como ciclones e inundações, mas provoca desafios adicionais associados ao processo de uso de terra, como a erosão por ravinamento. Este processo perigoso não foi considerado pelo INGC como uma ameaça recorrente, mas passou a integrar a lista dos fatores das calamidades naturais em 2014.

A análise efetuada coloca em evidência a necessidade de dados mais fiáveis que possam ser usados para o desenho dum perfil de riscos mais consistente para Moçambique, sendo certo que os dados disponíveis dão uma indicação de existência de riscos de ciclones, cheias e inundações e secas em todo o país, a que se acrescenta a erosão nas cidades, cuja redução passará pelo seu conhecimento mais aprofundado.

CAPÍTULO 5: AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO POR RAVINAMENTO NA CIDADE DE NACALA

A avaliação da suscetibilidade à erosão por ravinamento na cidade de Nacala baseou-se na aplicação de um método estatístico bivariado – Valor Informativo, aplicado individualmente às cabeceiras de erosão e aos canais das ravinas. Os resultados da modelação foram depois integrados numa matriz que permitiu a produção de um mapa final de suscetibilidade à erosão por ravinamento. Os procedimentos metodológicos foram detalhados na seção 3.2 e neste capítulo faz-se a apresentação e discussão dos resultados.

5.1 Relação entre fatores de predisposição e o inventário da variável dependente (cabeceiras e canais erosivos)

Este estudo considerou como variável dependente as cabeceiras das ravinas e os seus canais erosivos, identificados na área de estudo, cujas características estão descritas na seção 3.2.2. Os sete fatores de disposição considerados encontram-se descritos na seção 3.2.3. e foram derivados do MDT: declive, exposição, índice de humidade topográfica, índice de posição topográfica, acumulação do fluxo, curvatura em plano e curvatura em perfil.

O quadro 5.1 mostra a distribuição das cabeceiras e canais erosivos pelas classes do declive na área de estudo, os quais se encontram distribuídos quase exclusivamente nas três primeiras classes. Este facto não surpreende, visto que estas classes, em conjunto, abrangem mais de 99% da totalidade da área estudada (ver quadro 3.1).

A maior parte das cabeceiras ocorre em vertentes com declive entre 5-10° (40,63%), valor que é tanto mais relevante quanto esta classe abrange apenas 9,39% da área total. Destaca-se ainda a elevada representatividade das cabeceiras em áreas planas ou quase planas, com declive abaixo de 2° (37,5%). Embora este valor esteja abaixo da frequência relativa desta classe na área de estudo (54,53%), ele indica que o declive

fraco não é impeditivo do desenvolvimento de cabeceiras de ravina, sendo certo que se desconhece qual é a amplitude da erosão regressiva verificada nestas ravinas.

No caso dos canais erosivos, destaca-se a classe de 2-5° com 45,44%, valor que está acima da frequência relativa da classe na área de estudo (35,31%; ver quadro 5.1). Como no caso das cabeceiras, segue-se a classe com declives abaixo de 2° (31,44%) e só depois a classe com declives entre 5 e 10° (22,45%).

Os dados apresentados mostram que há uma tendência para que as cabeceiras ocorram em declives mais acentuados (5-10°) do que os canais erosivos (2-5°), sendo certo que a ocorrência de declives muito baixos (abaixo de 2°) não inibe o desenvolvimento de uns e outros. A não ocorrência de cabeceiras e canais erosivos nas classes de declive mais elevado não permite a retirada de ilações, exatamente pela muito reduzida expressão territorial dessas classes na área de estudo.

Quadro 5.1: Distribuição das cabeceiras e canais erosivos nas classes do declive

Sigla	Classes (°)	# Total de Pixéis	cabeceiras		canais erosivos	
			# de pixéis com presença	Freq Relativa (%)	# de pixéis com presença	Freq Relativa (%)
dcv1	0-2	219905	4800	37,50	521	31,44
dcv2	2-5	142395	2800	21,88	753	45,44
dcv3	5-10	37882	5200	40,63	372	22,45
dcv4	10-15	2498	0	0,00	11	0,66
dcv5	15-20	475	0	0,00	0	0,00
dcv6	20-25	104	0	0,00	0	0,00
dcv7	>25	3	0	0,00	0	0,00
Total		403262	12800	100,0	1657	100,00

A distribuição das cabeceiras e canais erosivos pelas classes de exposição está apresentada no quadro 5.2. A maior parte das cabeceiras ocorre nas vertentes expostas a oeste (31,25%) e a noroeste (18,75%), Estes valores são tanto mais relevantes, quanto as vertentes expostas a estes quadrantes abrangem apenas, respetivamente, 13,52% e 14,23% da área de estudo (ver quadro 3.2). Destaca-se ainda a exposição a sudeste, onde a frequência relativa das cabeceiras mais que duplica a frequência relativa da classe

na área de estudo (15,63% e 6,81%, respetivamente). Por último, 12,5% das cabeceiras ocorrem em áreas planas sem orientação específica, o que confirma que a ausência pontual de declive não é uma condição inibidora para a ocorrência de cabeceiras de ravinas na área de estudo.

A distribuição das frequências relativas dos canais erosivos pelas classes de exposição acompanha de muito perto a já descrita para as cabeceiras. As vertentes expostas a oeste e noroeste continuam a destacar-se, embora agora com valores mais equilibrados entre si (29,63% e 23,54%, respetivamente). A exposição a sudeste afirma-se novamente em posição secundária (11,47%) e o peso das áreas planas, sem orientação definida, aumenta (21,42%), o que está em linha com o observado na análise da relação dos canais erosivos com o declive.

Quadro 5.2: Distribuição das cabeceiras e canais erosivos nas classes da exposição

Sigla	Classes	# Total de Pixéis	cabeceiras		canais erosivos	
			# de pixéis com presença	Freq Relativa (%)	# de pixéis com presença	Freq Relativa (%)
asp1	Plano	110264	1600	12,50	355	21,42
asp2	Norte	28885	1200	9,38	82	4,95
asp3	Nordeste	30035	0	0,00	19	1,15
asp4	Este	58640	800	6,25	71	4,28
asp5	Sudeste	27475	2000	15,63	190	11,47
asp6	Sul	16433	400	3,13	5	0,30
asp7	Sudoeste	19620	400	3,13	54	3,26
asp8	Oeste	54529	4000	31,25	491	29,63
asp9	Noroeste.	57381	2400	18,75	390	23,54
Total		403262	12800	100,00	1657	100,00

O quadro 5.3 mostra a distribuição das cabeceiras e canais erosivos pelas classes do índice de humidade na área de estudo. As cabeceiras concentram-se exclusivamente nas primeiras quatro classes do índice, com destaque para a classe iht4 (0,0001-0,001), que representa uma situação intermédia em termos de posição nas vertentes e abrange 62,5% da totalidade das cabeceiras. Este valor quase duplica a frequência relativa desta classe na área de estudo (32,38%, ver quadro 5.3). A classe iht1 (0) representa as áreas

onde o declive é nulo e engloba 21,88% das cabeceiras erosivas. Apesar de se tratar de um valor elevado, ele fica aquém da frequência relativa da classe na área de estudo (29,42%, ver quadro 3.3).

Os canais erosivos estão distribuídos de forma mais equilibrada, só não ocorrendo na última classe (iht6). Por comparação com as cabeceiras, o peso da classe iht4 reparte-se mais com a classe iht3 (35,37% e 24,92%, respetivamente), valores que se aproximam dos das frequências relativas destas classes na área de estudo (ver quadro 3.3). A importância da classe iht1 é maior do que no caso das cabeceiras (26,43%), mas ainda fica aquém da frequência relativa da classe na área estudada.

Quadro 5.3: Distribuição das cabeceiras e canais erosivos nas classes do índice de humidade

Sigla	Classes	# Total de Pixéis	cabeceiras		canais erosivos	
			# de pixéis com presença	Freq Relativa (%)	# de pixéis com presença	Freq Relativa (%)
ih1	0	117080	2800	21,88	438	26,43
ih2	0 - 0,00001	20957	400	3,13	161	9,72
ih3	0,00001 - 0,0001	104817	1600	12,50	413	24,92
ih4	0,0001 - 0,001	128854	8000	62,50	586	35,37
ih5	0,001 - 0,01	26039	0	0,00	59	3,56
ih6	0,01 - 0,03	168	0	0,00	0	0,00
Total		397915	12800	100,00	1657	100,00

A distribuição das cabeceiras e canais erosivos pelas classes do índice de posição topográfica está sistematizada no quadro 5.4. Pese embora todas as classes registarem a presença de ambas variáveis dependentes consideradas, estas apresentam uma distribuição contrastada.

As cabeceiras concentram-se predominantemente nas classes tpi4 e tpi5 (40,63% e 34,38%, respetivamente) que correspondem a valores do índice próximo de zero e ligeiramente positivos, indicadores de declive reduzidos e/ou constantes, em posição topográfica tipicamente dominante em relação às áreas envolventes. Estas duas classes são,

igualmente, as mais representadas na área de estudo (44,34% e 24,39%, respectivamente, ver quadro 3.4).

Em contraponto, os canais erosivos concentram-se em classes de tpi mais baixas: tpi4, tpi3 e tpi2 (36,03%, 29,09% e 15,99%, respectivamente). Estas classes correspondem quase exclusivamente a valores negativos de tpi, indicadores de áreas topograficamente deprimidas, favoráveis à instalação dos canais erosivos.

Quadro 5.4: Distribuição das cabeceiras e canais erosivos nas classes do índice de posição topográfica

Sigla	Classes	# Total de Pixéis	cabeceiras		canais erosivos	
			# de pixéis com presença	Freq Relativa (%)	# de pixéis com presença	Freq Relativa (%)
tpi1	-45,29 - -21,86	8150	1200	9,38	148	8,93
tpi2	-21,86 - -13,27	15850	800	6,25	265	15,99
tpi3	-13,27 - -4,67	81050	800	6,25	482	29,09
tpi4	-4,67 - 3,91	178400	5200	40,63	597	36,03
tpi5	3,91 - 12,51	98125	4400	34,38	149	8,99
tpi6	12,51 - 41,69	20750	400	3,13	16	0,97
Total		402325	12800	100,00	1657	100,00

O quadro 5.5 mostra a distribuição das cabeceiras e canais erosivos pelas classes de acumulação do fluxo. As cabeceiras ocorrem apenas em duas classes, predominantemente na classe acu1 (90,63%) e secundariamente na classe acu4 (9,38%). A concentração na classe de acumulação de fluxo mais baixa não surpreende, uma vez que esta classe é largamente dominante na área de estudo (94,55% do total, ver quadro 3.5). As ocorrências na classe acu4 são mais relevantes, uma vez que esta classe abrange apenas 1,83% da área de estudo (ver quadro 3.5).

Os canais erosivos encontram-se distribuídos por todas as classes de acumulação do fluxo, registrando igualmente uma maior concentração na primeira classe (acu1, 82,74%), em linha com a maior expressão territorial desta classe. A classe acu4 tem uma representação de canais erosivos relevante (7,66%), embora abaixo da verificada nas cabeceiras, secundada pelas classes acu5 e acu3 (4,77% e 3,56%, respectivamente).

Quadro 5.5: Distribuição das cabeceiras e canais erosivos nas classes da acumulação do fluxo

Sigla	Classes	# Total de Pixéis	cabeceiras		canais erosivos	
			# de pixéis com presença	Freq Relativa (%)	# de pixéis com presença	Freq Relativa (%)
acu1	20 – 4010	376215	11600	90,63	1371	82,74
acu2	4010 - 4670	2826	0	0,00	19	1,15
acu3	4670 - 8661	8042	0	0,00	59	3,56
acu4	8661 - 32773	7297	1200	9,38	127	7,66
acu5	32773 - 178483	3027	0	0,00	79	4,77
acu6	178483 - 1059006	508	0	0,00	2	0,12
Total		397915	12800	100,00	1657	100,00

A distribuição das cabeceiras e canais erosivos pelas classes da curvatura em perfil está resumida no quadro 5.6. As cabeceiras apresentam uma ocorrência dominante partilhada entre vertentes com perfil longitudinal convexo (50%) e côncavo (43.75%), o que está em linha com a predominância destas classes na área de estudo (respetivamente 39,47% e 37,68%, ver quadro 3.6). A frequência de ocorrência de cabeceiras em áreas de perfil longitudinal retilíneo/plano é bastante mais reduzida (6,25%), o que contrasta com a importância relativa da classe na área estudada (22,85%).

No caso dos canais erosivos, a classe das vertentes com perfil longitudinal côncavo sobressai (52,2%), seguida pela classe correspondente ao perfil convexo (37,42%). No entanto, enquanto a frequência de ocorrência de canais nas vertentes côncavas está acima da frequência de ocorrência da classe (37,68%), o mesmo não acontece nas vertentes convexas (39,47%). Esta última situação verifica-se também na classe do perfil retilíneo/plano, onde a frequência de ocorrência de canais erosivos fica aquém da frequência relativa da classe (10,38% e 22,85%, respetivamente).

Quadro 5.6: Distribuição das cabeceiras e canais erosivos nas classes da curvatura em perfil

Sigla	Classes	# Total de Pixéis	cabeceiras		canais erosivos	
			# de pixéis com presença	Freq Relativa (%)	# de pixéis com presença	Freq Relativa (%)
cper1	Convexo	158800	6400	50,00	620	37,42
cper2	Retilíneo/plano	91925	800	6,25	172	10,38
cper3	Côncavo	151600	5600	43,75	865	52,20
Total		402325	12800	100,00	1657	100,00

O quadro 5.7 mostra a distribuição das cabeceiras e canais erosivos nas classes da curvatura em plano. No caso das cabeceiras é notória a predominância das vertentes com perfil transversal côncavo (59,38%), bastante acima das vertentes convexas (31,25%) e retilíneas/planas (9,38%). O valor observado nas vertentes côncavas é tanto mais significativo quanto esta classe abrange apenas 34,05% da área de estudo (ver quadro 3.7).

A tendência descrita acerca das cabeceiras acentua-se no caso dos canais erosivos, uma vez que a frequência de ocorrência destes nas vertentes com curvatura côncava se alarga a 65,24%. Adicionalmente, a distribuição dos canais erosivos é mais equilibrada nas classes convexa e retilínea/plano (18,95% e 15,81%, respetivamente).

Quadro 5.7: Distribuição das cabeceiras e canais erosivos nas classes da curvatura em plano

Sigla	Classes	# Total de Pixéis	cabeceiras		canais erosivos	
			# de pixéis com presença	Freq Relativa (%)	# de pixéis com presença	Freq Relativa (%)
cpl1	Côncavo	136975	7600	59,38	1081	65,24
cpl2	Retilíneo/plano	115875	1200	9,38	262	15,81
cpl3	Convexo	149475	4000	31,25	314	18,95
Total		402325	12800	100,00	1657	100,00

5.2 Modelação da suscetibilidade

A modelação da suscetibilidade foi feita com base em 4 modelos de base estatística, com recurso ao método do Valor Informativo, que estão resumidos no quadro 5.8. Os modelos 1, 2 e 3 utilizaram como variável dependente as cabeceiras das ravinas, enquanto no modelo 4 a variável dependente corresponde aos canais erosivos. Os modelos 1 e 4 foram realizados com a totalidade dos inventários que constituem as variáveis dependentes e tiveram o objetivo de captar, da forma mais robusta possível a relação entre a ocorrência espacial das classes dos fatores de predisposição e a localização das cabeceiras das ravinas (modelo 1) e dos canais erosivos (modelo 4). Os modelos 2 e 3 tiveram como objetivo avaliar a capacidade preditiva dos modelos de suscetibilidade, no caso das cabeceiras, a partir de uma validação cruzada independente, estabelecida com base na partição aleatória do inventário original de cabeceiras em dois subgrupos com igual dimensão (Grupo A e Grupo B).

Os mapas de suscetibilidade foram classificados em 10 classes quartílicas para facilitar a sua análise e comparação. Assim, salvo pequenas diferenças resultantes da configuração das combinações de condições únicas decorrentes da sobreposição dos 7 fatores de predisposição considerados, cada classe de suscetibilidade abrange 10% da área de estudo.

Quadro 5.8: Síntese dos modelos de suscetibilidade de base estatística (Valor Informativo) desenvolvidos com as cabeceiras de ravina e canais erosivos da área de estudo

Modelo de suscetibilidade	Grupo de Modelação	Formato do Inventário	AAC- Curva de Sucesso	AAC- Curva de Predição
1	Inventário completo de cabeceiras	Pontos	0.813	-
2	Grupo de cabeceiras A	Pontos	0.847	0.663
3	Grupo de cabeceiras B	Pontos	0.815	0.777
4	Inventário completo de canais erosivos	Linhas	0.800	-

5.2.1 Valor Informativo das classes dos fatores de predisposição

As pontuações do Valor Informativo foram determinadas para cada classe de cada fator de predisposição, com recurso à equação (2) (ver capítulo 3). A equação foi aplicada de forma independente para as cabeceiras (totalidade do inventário, Grupo A e Grupo B, correspondentes, respetivamente aos modelos 1, 2 e 3) e para os canais erosivos (totalidade do inventário, correspondente ao modelo 4) e os resultados obtidos estão sintetizados no quadro 5.9. Os valores informativos mais significativos estão assinalados a negrito.

Devido à normalização logarítmica, o valor informativo é indeterminável quando uma classe de qualquer fator de predisposição não regista presença da variável dependente ($S_i = 0$). Nestes casos, o valor informativo da classe foi atribuído manualmente e corresponde ao decimal imediatamente abaixo do valor informativo mais reduzido determinado para as classes do fator de predisposição correspondente. Estes casos estão assinalados a vermelho no quadro 5.9.

Quadro 5.9: Valores Informativos obtidos para as classes dos fatores condicionantes nos modelos de suscetibilidade à ocorrência de cabeceiras de erosão (modelos 1, 2 e 3) e de canais erosivos (modelo 4) na área de estudo.

Variáveis	Siglas	Classes	Valor Informativo			
			Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Declive	dcv1	0-2	-0,374	-0,557	-0,22	-0,551
	dcv2	2-5	-0,479	-0,633	-0,633	0,252
	dcv3	5-10	1,464	1,672	1,384	0,871
	dcv4	10-15	-0,500	-0,700	-0,700	0,069
	dcv5	15-20	-0,500	-0,700	-0,700	-0,600
	dcv6	20-25	-0,500	-0,700	-0,700	-0,600
	dcv7	>25	-0,500	-0,700	-0,700	-0,600
Exposição	asp1	Plano	-0,783	-1,476	-0,377	-0,244
	asp2	Norte	0,269	0,557	-0,136	-0,37
	asp3	Nordeste	-0,900	-1,500	-0,900	-1,871
	asp4	Este	-0,844	-0,844	-0,844	-1,222
	asp5	Sudeste	0,830	1,012	0,607	0,521
	asp6	Sul	-0,265	-1,500	0,428	-2,603
	asp7	Sudoeste	-0,443	0,25	-0,900	-0,401
	asp8	Oeste	0,838	1,02	0,615	0,785
	asp9	Noroeste.	0,276	-0,13	0,564	0,503
Índice de Humidade	iht1	0	-0,296	-1,549	0,243	-0,107
	iht2	0-0,00001)	-0,522	0,171	0,200	0,612
	iht3	0,00001-0,0001	-0,745	-0,052	0,200	-0,055
	iht4	0,0001-0,001	0,658	0,658	0,658	0,088
	iht5	0,001-0,01	-0,800	-1,600	0,200	-0,609
	iht6	0,01-0,3	-0,800	-1,600	0,200	-0,700
Índice de Posição Topográfica	tpi1	-45,29 - -21,86	1,532	-0,500	2,225	1,484
	tpi2	-21,86 - -13,27	0,462	0,462	0,462	1,401
	tpi3	-13,27 - -4,67	-1,17	-0,477	-0,400	0,367
	tpi4	-4,67 - 3,91	-0,088	0,120	-0,350	-0,208
	tpi5	3,91 - 12,51	0,343	0,248	0,430	-0,998
	tpi6	12,51 - 41,69	-0,501	-0,500	0,192	-1,675
Acumulação de Fluxo	acu1	20-4010	-0,042	-0,077	-0,008	-0,133
	acu2	4010-4670	-0,100	-0,100	-0,100	0,479
	acu3	4670-8661	-0,100	-0,100	-0,100	0,566
	acu4	8661-32773	1,632	1,919	1,226	1,430
	acu5	32773-178483	-0,100	-0,100	-0,100	1,835
	acu6	178483-1059006	-0,100	-0,100	-0,100	-0,056
Curvatura em Perfil	cper1	Convexo	0,236	0,103	0,354	-0,053
	cper2	Retilíneo/plano	-1,296	-1,296	-1,296	-0,789

	cper3	Côncavo	0,149	0,283	-0,005	0,326
Curvatura em Plano	cpl1	Côncavo	0,556	0,251	0,790	0,650
	cpl2	Retilíneo/plano	-1,122	-1,528	-0,835	-0,600
	cpl3	Convexo	-0,173	0,297	-1,089	-0,673

De acordo com os dados sistematizados no quadro 5.9 conclui-se que as condições ideais para o desenvolvimento de cabeceiras de ravinas correspondem a vertentes com declive entre 5 e 10°, expostas a oeste e sudeste. Os modelos 1, 2 e 3 são absolutamente consistentes no que respeita ao valor informativo das classes de declive, revelando-se um pouco menos estáveis no fator exposição, uma vez que, para lá do domínio dos dois quadrantes já referidos, a exposição a noroeste surge com um valor informativo (VI) relativamente elevado no modelo 3 (construído com o Grupo B de cabeceiras), o que contrasta com o valor negativo de VI registado no modelo 2 (construído com o Grupo A de cabeceiras). O sinal contraditório nesta classe de exposição traduz-se num VI relativamente baixo, ainda que positivo, no modelo 1 (construído com a totalidade das cabeceiras da área de estudo).

As cabeceiras encontram condições ótimas para o seu desenvolvimento em classes intermédias do índice de humidade (iht4) e da acumulação do fluxo (acu4), as quais, com raras exceções, são as únicas que se destacam com VI positivo, nos modelos 1, 2 e 3. Estes resultados apontam para um contexto ideal de posição intermédia na topografia das vertentes, que se traduz também por valores intermédios de acumulação do fluxo.

O índice de posição topográfica evidencia uma relação mais complexa com a distribuição espacial das cabeceiras, a avaliar pelo VI sistematizados no quadro 5.9. O destaque das duas primeiras classes, com valores de tpi negativos, indica uma associação das cabeceiras a áreas topograficamente deprimidas. No entanto, verifica-se alguma inconsistência entre os modelos parciais, sendo de realçar que na classe que globalmente tem VI mais alto (tpi1) não ocorrem cabeceiras do Grupo A (modelo 2), o que se traduz num VI negativo (-0,5) e contrasta com o VI máximo verificado nesta classe no modelo 3 (2,225). Por outro lado, os VI positivos na classe tpi5 verificados em todos os modelos realizados com cabeceiras de ravina mostram que estas formas erosivas não

se associam apenas a áreas topograficamente deprimidas, ocorrendo também em contextos de meia-vertente.

Por último, na relação com a curvatura topográfica, as cabeceiras ocorrem predominantemente em vertentes com perfil longitudinal convexo e perfil transversal côncavo. A este respeito, registre-se que o modelo 3, construído com o grupo de cabeceiras B, tende a acentuar os resultados obtidos com a totalidade do inventário (modelo 1), enquanto o modelo 2, construído com o grupo de cabeceiras A, realça relações contrárias com o perfil das vertentes, atestadas pelos VI mais elevados na curvatura em perfil côncava e na curvatura em plano convexa.

As condições ideais para o desenvolvimento de canais erosivos verificam-se em declives entre 5 e 10° e, secundariamente, em declives mais suaves, entre 2 e 5°. Registre-se que a classe de declive 0-2° apresenta VI negativo (-0,551) o que indica uma relação negativa com a ocorrência da variável dependente, pese embora 31,44% dos canais erosivos ocorram nesta classe.

As vertentes mais propícias à instalação dos canais erosivos estão expostas a oeste, noroeste e sudeste, repetindo uma tendência já verificada na distribuição das cabeceiras das ravinas. No entanto, o mesmo não se acontece no que respeita ao índice de humidade topográfica e à acumulação do fluxo. No primeiro fator de predisposição, pese embora a classe iht4 apresente um valor positivo baixo (0,088), a denunciar alguma relação entre variáveis, esta é muito mais reduzida do que a observada no caso das cabeceiras, destacando-se uma outra classe (iht2) como a mais favorável à ocorrência de canais erosivos (VI = 0,612). Com efeito, esta classe configura uma situação de maior acumulação de fluxo, associada a declives baixos, favorável à instalação dos canais das ravinas. No caso do fator acumulação do fluxo, em vez de se destacar uma única classe, como acontece com as cabeceiras, registam-se valores de VI positivos em 4 classes (acu2 a acu5), com destaque para aquelas onde a acumulação do fluxo é maior, acu4 e acu5, com VI de, respetivamente, 1,430 e 1,835. Esta associação entre canais e fluxo acumulado é lógica e seria de esperar que se verificasse também na classe com acumulação de fluxo mais elevado (acu6). No entanto, tal não acontece, muito

provavelmente pela muito reduzida extensão territorial da classe, que abrange apenas 0,13% da área de estudo.

A relação entre os canais erosivos e o índice de posição topográfica mostra, como seria de esperar, uma associação privilegiada dos canais às classes de tpi negativo (tpi1 e tpi2, sobretudo), a destacar a importância da topografia deprimida para o desenvolvimento dos canais erosivos. Registe-se que, neste caso, ao contrário do observado para as cabeceiras, não se observam valores de VI positivos para classes de tpi correspondentes a situações topográficas de meia-vertente.

Por último, os canais erosivos associam-se espacialmente a vertentes com perfil côncavo, seja em perfil ou em plano. Com efeito, estas situações são as únicas que registam VI positivo no modelo 4, pelo que é lícito concluir que as outras classes de perfil das vertentes não favorecem a instalação de canais erosivos.

5.2.2 Mapeamento da suscetibilidade e validação dos modelos

5.2.2.1 Modelo 1: Inventário completo de cabeceiras

O Modelo 1 avalia a suscetibilidade à ocorrência de cabeceiras de ravinas, a partir da ponderação das classes dos fatores de predisposição ponderadas por cruzamento com a totalidade do inventário de cabeceiras.

O mapa de suscetibilidade, resultante do somatório das pontuações do VI de cada classe dos fatores de predisposição, foi classificado em 10 classes que correspondem a decis, onde a classe 1 representa a suscetibilidade mínima e a classe 10 representa a suscetibilidade máxima (figura 5.1).

A suscetibilidade é mais elevada na parte ocidental da área de estudo, ao longo das vertentes que dominam a baía de Nacala, correspondentes essencialmente aos bairros Murrupelane, Muanona, Matola, Triângulo, Bloco1, Mocone, Maiaia, Ribaué e Muzuane

(ver figura 2.1). Em termos relativos, a suscetibilidade é mais reduzida nos bairros Ontupaia, Mathapuê, Nauaia, Mpage e Naherenque.

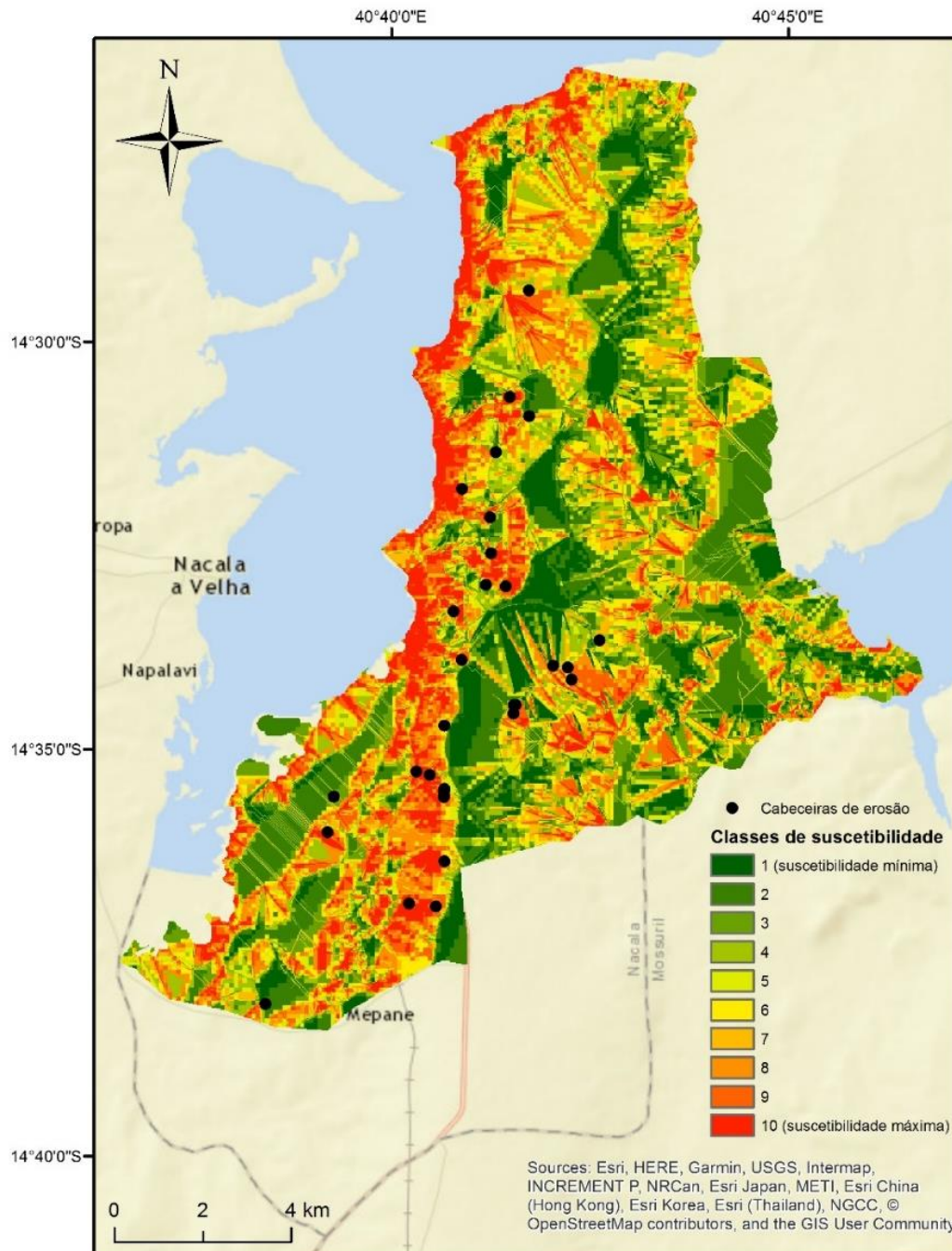


Figura 5.1: Modelo 1 de suscetibilidade desenvolvido com base na totalidade das cabeceiras da área de estudo

A figura 5.2, representa a taxa de sucesso do modelo 1, que capta corretamente 50% das cabeceiras do inventário nos 8% da área de estudo classificadas como mais suscetíveis pelo modelo. Alargando a área de interesse classificada como mais suscetível aos 30% (equivalente às 3 classes de suscetibilidade mais elevadas), verifica-se que a fração de cabeceiras capturadas se alarga a 81%. No entanto, o inventário só é completamente validado quando se alarga a área suscetível a 95% da área de estudo. A área abaixo da curva (AAC) de sucesso corresponde a 0,813, o que é considerado um bom resultado (Guzzetti, 2005, Thuiler 2009).

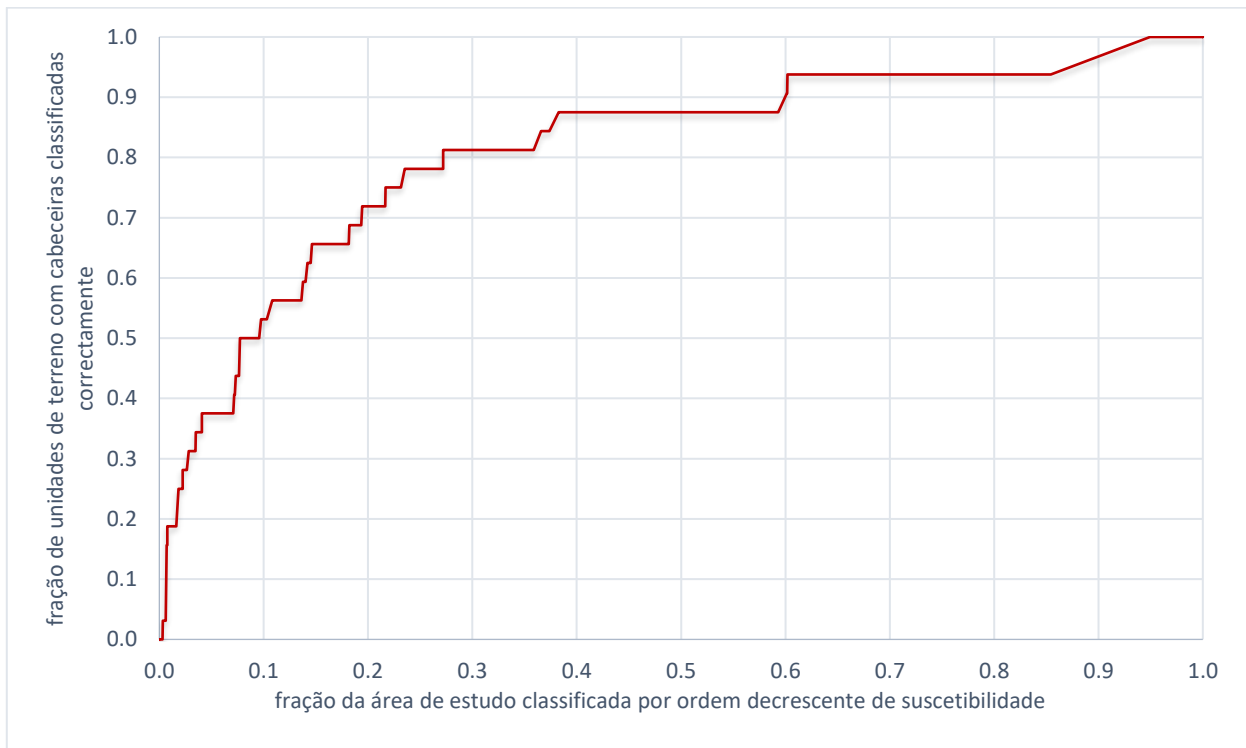


Figura 5.2: Curva de sucesso do modelo 1 de suscetibilidade desenvolvido com base na totalidade das cabeceiras da área de estudo

5.2.2.2 Modelo 2: Grupo de cabeceiras A

O Modelo 2 avalia a suscetibilidade à ocorrência de cabeceiras de ravinas, a partir da ponderação das classes dos fatores de predisposição ponderadas por cruzamento com o grupo A de cabeceiras, resultante da partição aleatória da totalidade do inventário de cabeceiras.

Como no caso anterior, o mapa de suscetibilidade resultante foi classificado com base em decim em 10 classes, sendo que a classe 1 corresponde à suscetibilidade mínima e a classe 10 corresponde à suscetibilidade máxima (figura 5.3).

O mapa de suscetibilidade gerado pelo modelo 2 é muito semelhante ao correspondente ao modelo 1, traduzindo a influência similar das classes dos fatores de predisposição referidas na seção 5.2.1. Assim, como no caso anterior, a suscetibilidade é maior na parte oeste da área de estudo, essencialmente ao longo das vertentes que confinam com a baía de Nacala. No pormenor, por comparação com o modelo 1, verifica-se no modelo 2 uma suscetibilidade ligeiramente menor na parte SW da área de estudo, correspondente aos bairros de Muanona e Matola. Em contrapartida, regista-se um incremento da suscetibilidade na parte SE da área de estudo, correspondente ao bairro Ontupaia.

A figura 5.4 representa as curvas de sucesso e de predição do modelo 2. A primeira resulta do cruzamento dos resultados do modelo com o grupo de cabeceiras A (usado na modelação), enquanto a segunda reflete a validação independente do grupo de cabeceiras B (não utilizado na modelação).

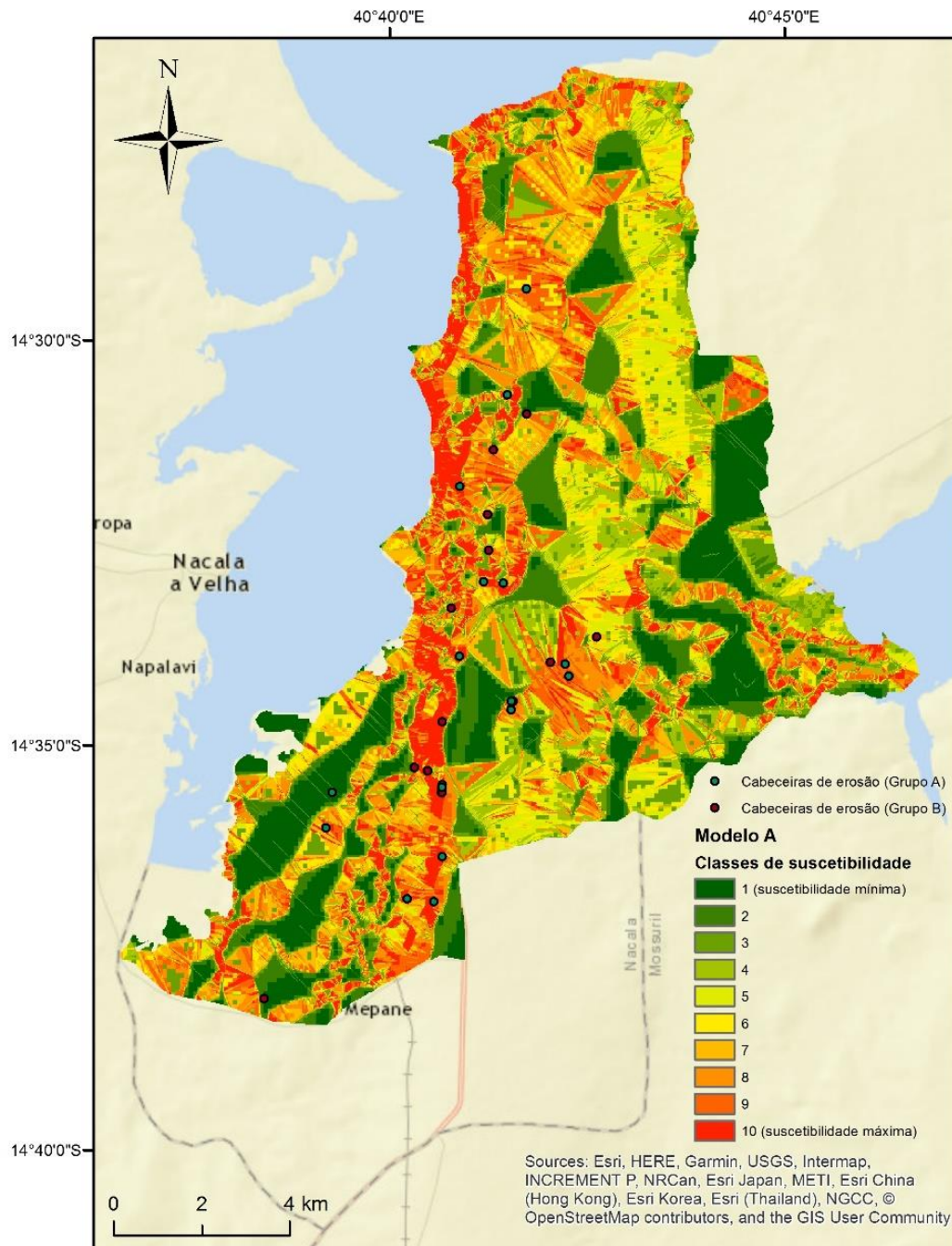


Figura 5.3: Modelo 2 de suscetibilidade desenvolvido a partir do grupo A de cabeceiras, geradas por partição aleatória do inventário de cabeceiras da área de estudo

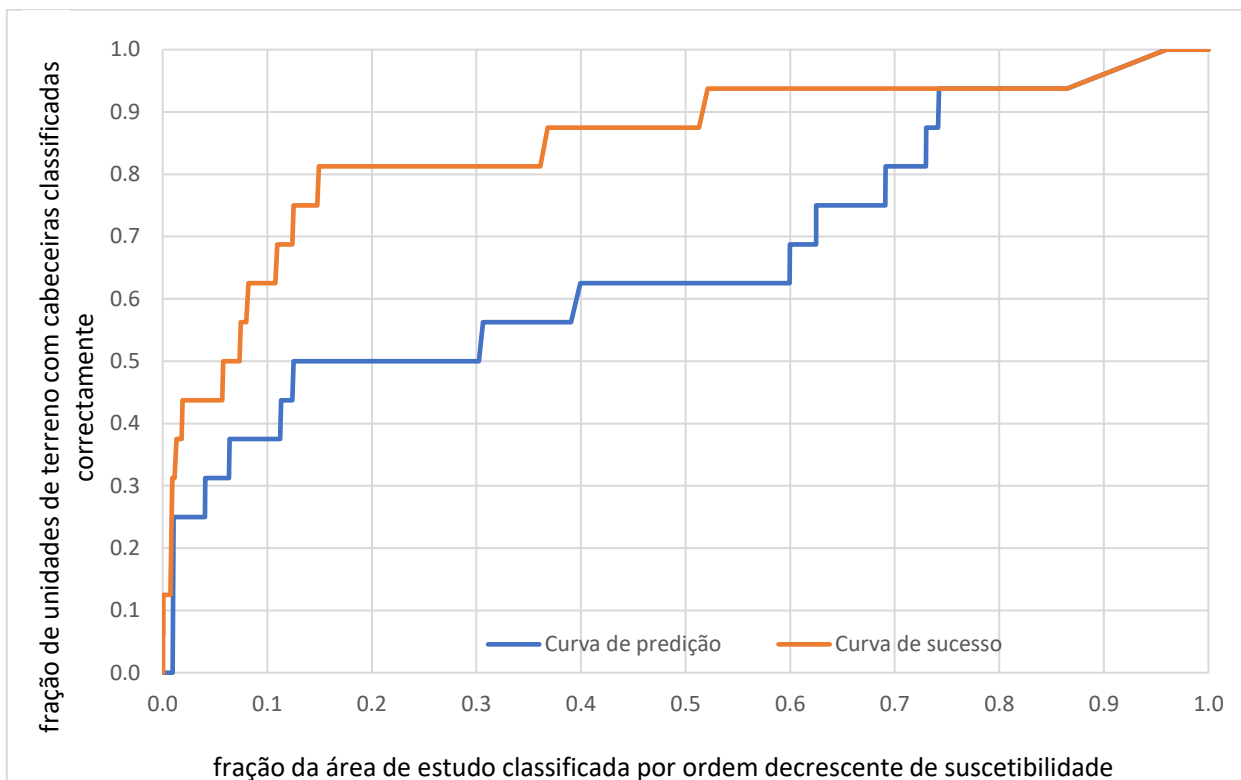


Figura 5.4: Curvas de sucesso e de predição do modelo 2 de suscetibilidade, desenvolvido a partir do grupo A de cabeceiras, geradas por partição aleatória do inventário de cabeceiras da área de estudo

A taxa de sucesso do modelo 2 capta corretamente 50% das cabeceiras do Grupo A nos 6% da área de estudo classificados como mais suscetíveis pelo modelo. Alargando a área de interesse classificada como mais suscetível aos 30%, verifica-se que a fração de cabeceiras capturadas se é de 81%, valor exatamente igual ao observado no modelo 1, na área abrangida pelas 3 classes de suscetibilidade mais elevada. O inventário só é totalmente integrado no mapa de suscetibilidade quando se alarga a área suscetível a 96% da área de estudo, valor que é igualmente muito próximo do verificado no modelo 1. A área abaixo da curva (AAC) de sucesso é elevada (0,847), cerca de 0,03 pontos acima da correspondente ao modelo 1.

Como seria de esperar, a taxa de predição apresenta resultados bastante mais modestos, por comparação com a taxa de sucesso. O modelo 2 valida 50% das cabeceiras do Grupo B nos 12,5% da área de estudo classificados como mais suscetíveis pelo modelo, o que pode ser considerado um resultado promissor. No entanto, a taxa de acerto não se altera

com o alargamento da área suscetível aos 30% da área de estudo, o que degrada o potencial preditivo do modelo 2. Registe-se que a partir dos 75% de área classificada como mais suscetível a curva de predição passa a coincidir com a curva de sucesso, pelo que a validação da totalidade das cabeceiras do grupo B só ocorre com o alargamento da área suscetível a 96% da área de estudo.

A AAC da curva de predição do modelo 2 é de apenas 0,663, o que é considerado fraco, de acordo com os critérios de Swets (1988) e Thuiler *et al.* (2009).

5.2.2.3 Modelo 3: Grupo de cabeceiras B

O Modelo 3 avalia a suscetibilidade à ocorrência de cabeceiras de ravinas, a partir da ponderação das classes dos fatores de predisposição realizada por cruzamento com o grupo B de cabeceiras, resultante da partição aleatória da totalidade do inventário de cabeceiras.

Como nos casos dos modelos 1 e 2, o mapa de suscetibilidade produzido com o modelo 3 foi classificado em 10 classes decílicas, onde a classe 1 corresponde à suscetibilidade mínima e a classe 10 corresponde à suscetibilidade máxima (figura 5.5).

O mapa de suscetibilidade gerado pelo modelo 3 é muito semelhante ao correspondente ao modelo 2. Por comparação com o modelo 1, mantém-se o decréscimo relativo da suscetibilidade na parte sudoeste da área de estudo, a exemplo do verificado no modelo 2, nomeadamente nos bairros Matola e Muanona. Em contrapartida, a suscetibilidade acentua-se na parte sudeste da área de estudo, no setor correspondente ao bairro Ontupaia. Adicionalmente, observa-se uma maior extensão das classes de suscetibilidade mais baixas na parte norte da área de estudo, com exposição a este, correspondente ao bairro de Naherenque.

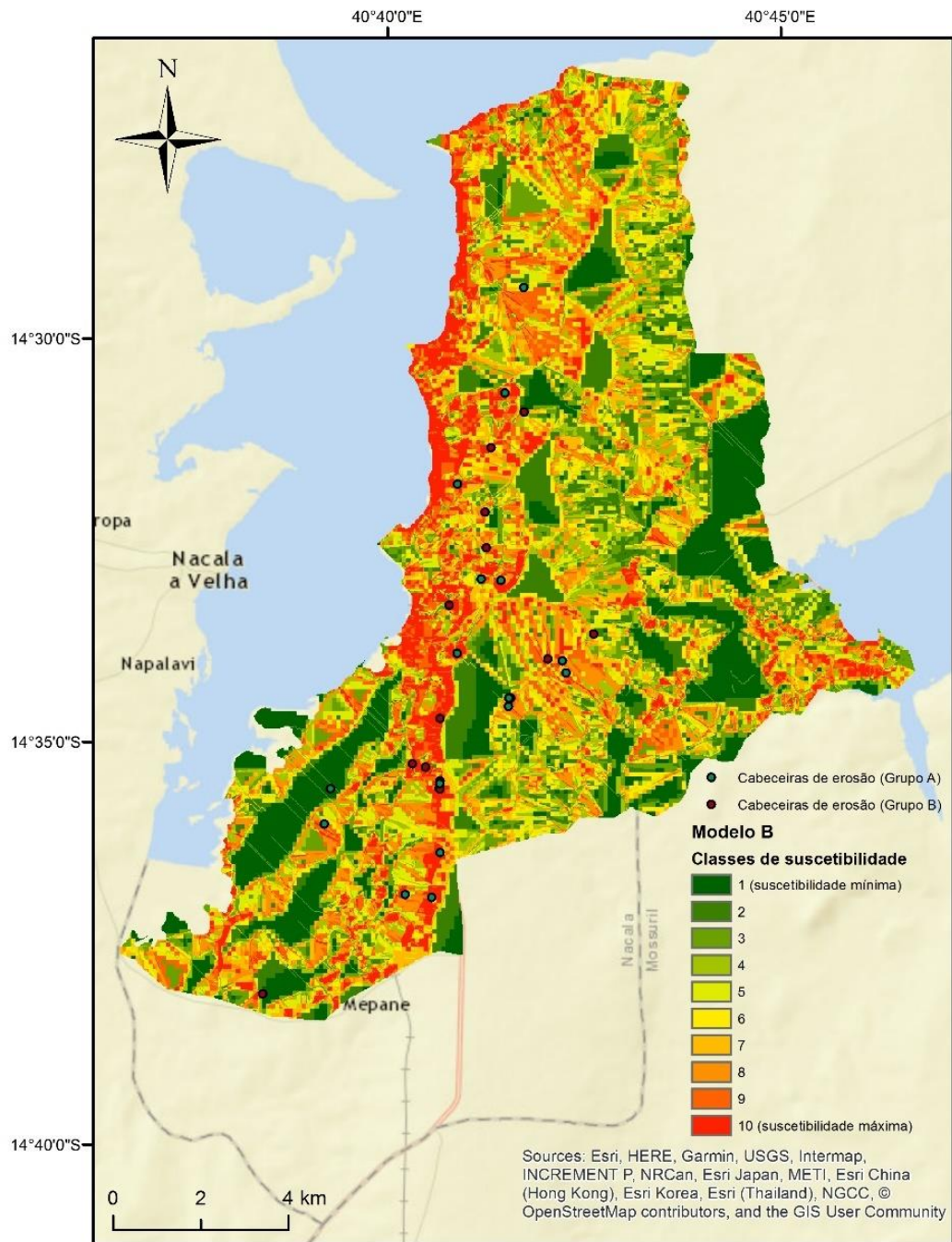


Figura 5.5: Modelo 3 de suscetibilidade desenvolvido a partir do grupo B de cabeceiras, gerado por partição aleatória do inventário de cabeceiras da área de estudo

As curvas de sucesso e de predição do modelo 3 estão representadas na figura 5.6. A curva de sucesso resulta do cruzamento do modelo 2 com o grupo de cabeceiras utilizadas na modelação (grupo B), enquanto a curva de predição foi construída a partir do cruzamento dos resultados do modelo com o grupo de cabeceiras A, não utilizado na modelação.

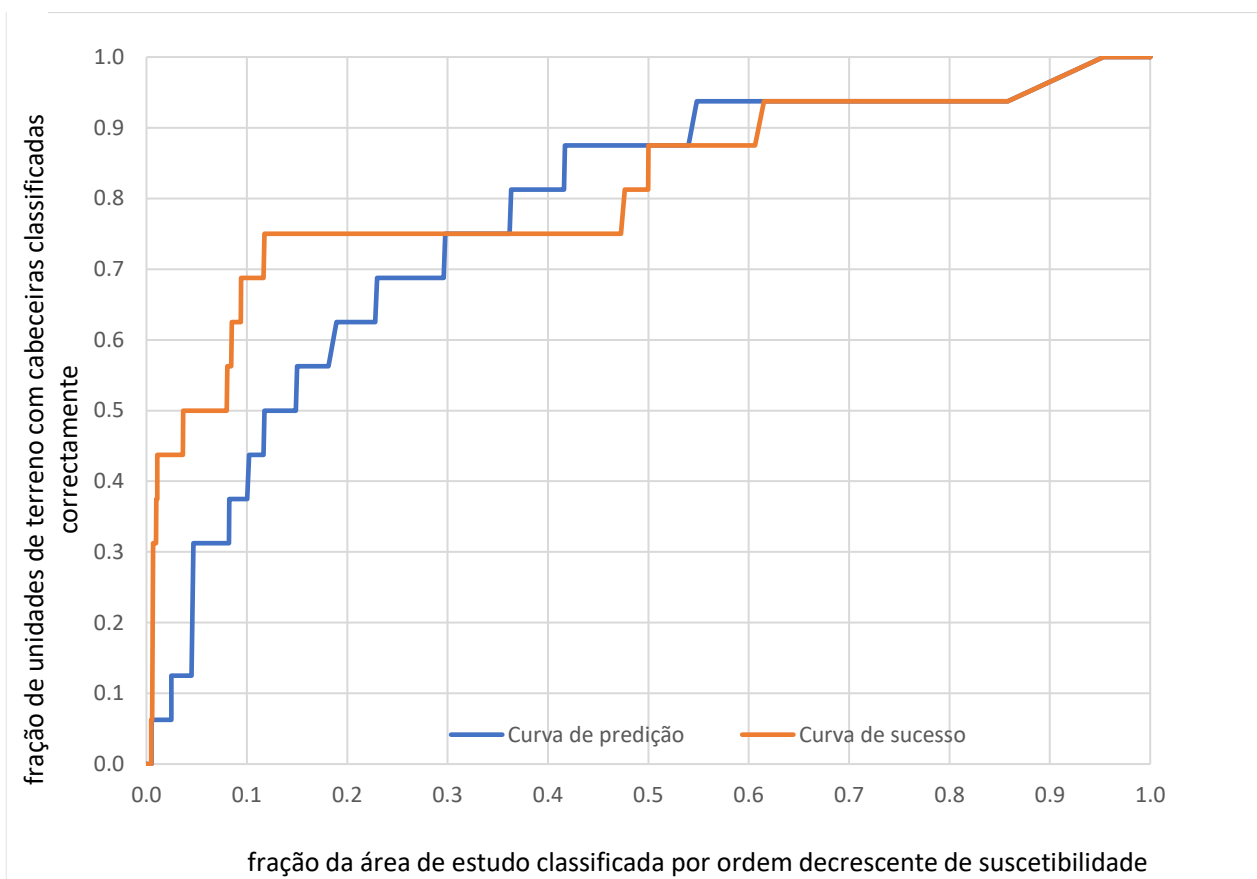


Figura 5.6: Curvas de sucesso e de predição do modelo 3 de suscetibilidade, desenvolvido a partir do grupo B de cabeceiras, gerado por partição aleatória do inventário de cabeceiras da área de estudo

A taxa de sucesso do modelo 3 capta corretamente 50% das cabeceiras do Grupo B nos 4% da área de estudo classificados como mais suscetíveis pelo modelo, o que representa um resultado melhor do que qualquer dos anteriores. Porém, alargando a área de interesse classificada como mais suscetível aos 30%, verifica-se que a fração de

cabeceiras capturadas é de 75%, o que fica aquém das taxas de sucesso dos modelos 1 e 2. O inventário só é totalmente integrado no mapa de suscetibilidade quando se alarga a área suscetível a 95% da área de estudo, valor que é exatamente igual ao verificado no modelo 1. A área abaixo da curva (AAC) de sucesso é 0,851, apenas ligeiramente acima da do modelo 1 e um pouco abaixo da correspondente ao modelo 2. Como nos casos anteriores, a AAC desta curva de sucesso é indicadora de um modelo com boa qualidade (Guzzetti, 2005; Thuiler, 2009).

A taxa de predição apresenta resultados mais modestos do que anterior. No entanto, o modelo 3 valida 50% das cabeceiras do Grupo A nos 11,8% da área de estudo classificados como mais suscetíveis, e a taxa de acerto aumenta para 75% com o alargamento da área suscetível aos 30% da área de estudo, o que confirma o potencial preditivo do modelo 3. Como nos casos anteriores, a validação da totalidade das cabeceiras do grupo A só ocorre tardiamente, com o alargamento da área suscetível a 95% da área de estudo.

A AAC da curva de predição do modelo 3 é de 0,777, bastante acima da correspondente ao modelo 2, sendo considerada aceitável, de acordo com os critérios de Swets (1988), Guzzetti (2005) e Thuiler *et al.* (2009).

5.2.2.4 Modelo 4: Inventário completo de canais erosivos

O Modelo 4 avalia a suscetibilidade à ocorrência de canais erosivos, a partir da ponderação das classes dos fatores de predisposição baseada no cruzamento com a totalidade do inventário de canais.

Como nos casos anteriores, o mapa de suscetibilidade, resultante do somatório das pontuações do VI de cada classe dos fatores de predisposição, foi classificado em 10 classes que correspondem a decis, onde a classe 1 representa a suscetibilidade mínima e a classe 10 representa a suscetibilidade máxima (figura 5.7).

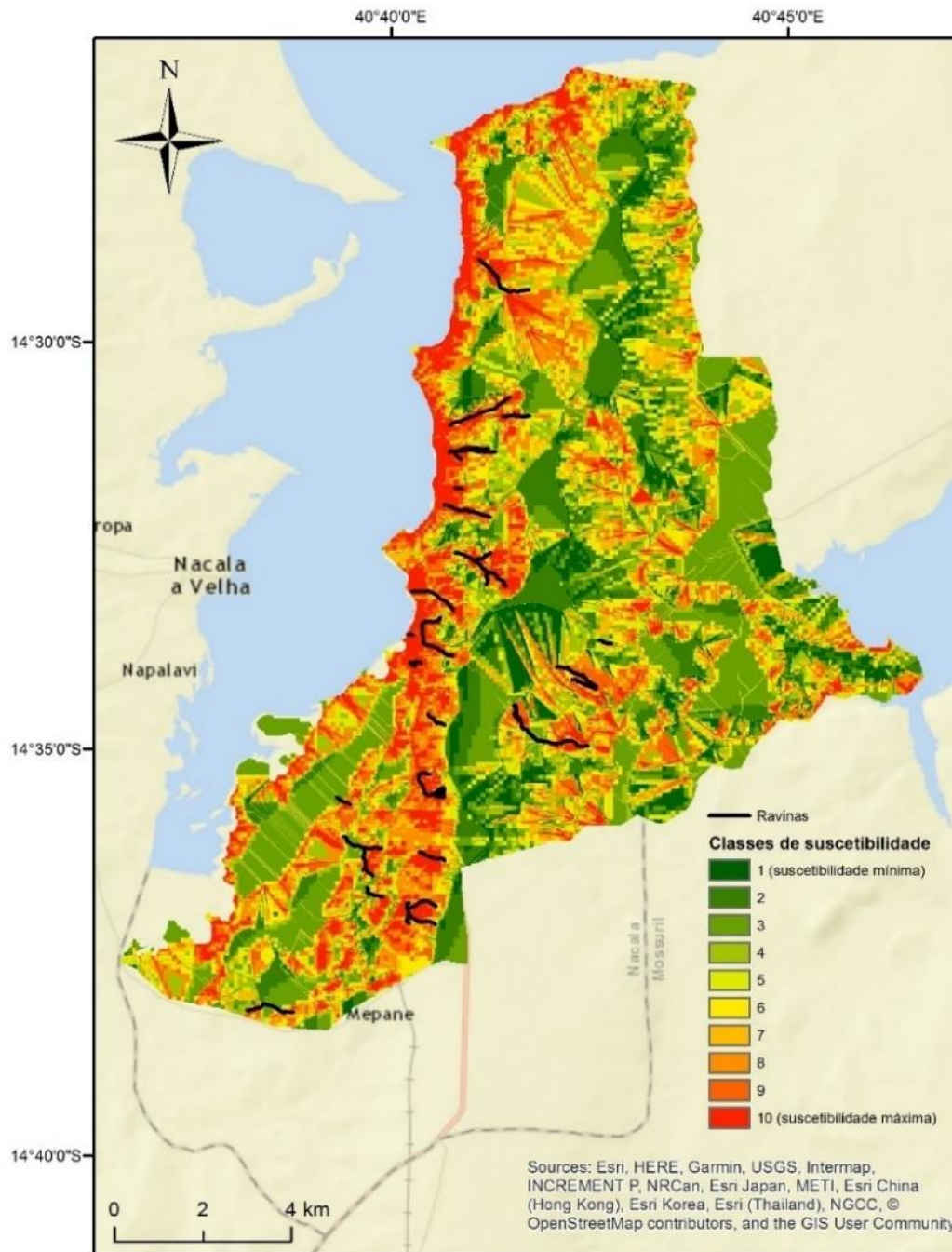


Figura 5.7: Modelo 4 de suscetibilidade desenvolvido com base na totalidade dos canais erosivos da área de estudo

Pese embora a existência de algumas diferenças relevantes nos valores informativos das classes dos fatores de predisposição à ocorrência de canais erosivos e cabeceiras, que foram destacadas na secção 5.2.1, verifica-se que o mapa de suscetibilidade correspondente ao modelo 4 é visualmente muito semelhante ao corresponde ao modelo 1, construído com recurso à totalidade do inventário das cabeceiras (ver figura 5.1). Assim, a suscetibilidade à ocorrência de canais erosivos é mais elevada na parte ocidental da área de estudo, nas vertentes que confinam com a baía de Nacala, abrangendo áreas significativas dos bairros Murrupelane, Muanona, Matola, Triângulo, Bloco1, Mocone, Maiaia, Ribaué e Muzuane. Em contraponto, nos bairros Ontupaia, Mathapué, Nauaia, Mpagó e Naherenque a suscetibilidade é mais reduzida.

A figura 5.8, representa a taxa de sucesso do modelo 4. O modelo capta corretamente 50% da área dos canais erosivos do inventário nos 11,9% da área de estudo classificados como mais suscetíveis pelo modelo. Alargando a área de interesse classificada como mais suscetível aos 30% (equivalente às 3 classes de suscetibilidade mais elevadas), verifica-se que a fração de canais erosivos capturadas se alarga a 78% da respetiva área. No entanto, a exemplo dos modelos anteriores, o inventário só é completamente validado quando se alarga a área suscetível a 95% da área de estudo. A área abaixo da curva (AAC) de sucesso corresponde a 0,800, o que é considerado um bom resultado (Guzzetti, 2005, Thuiler 2009).

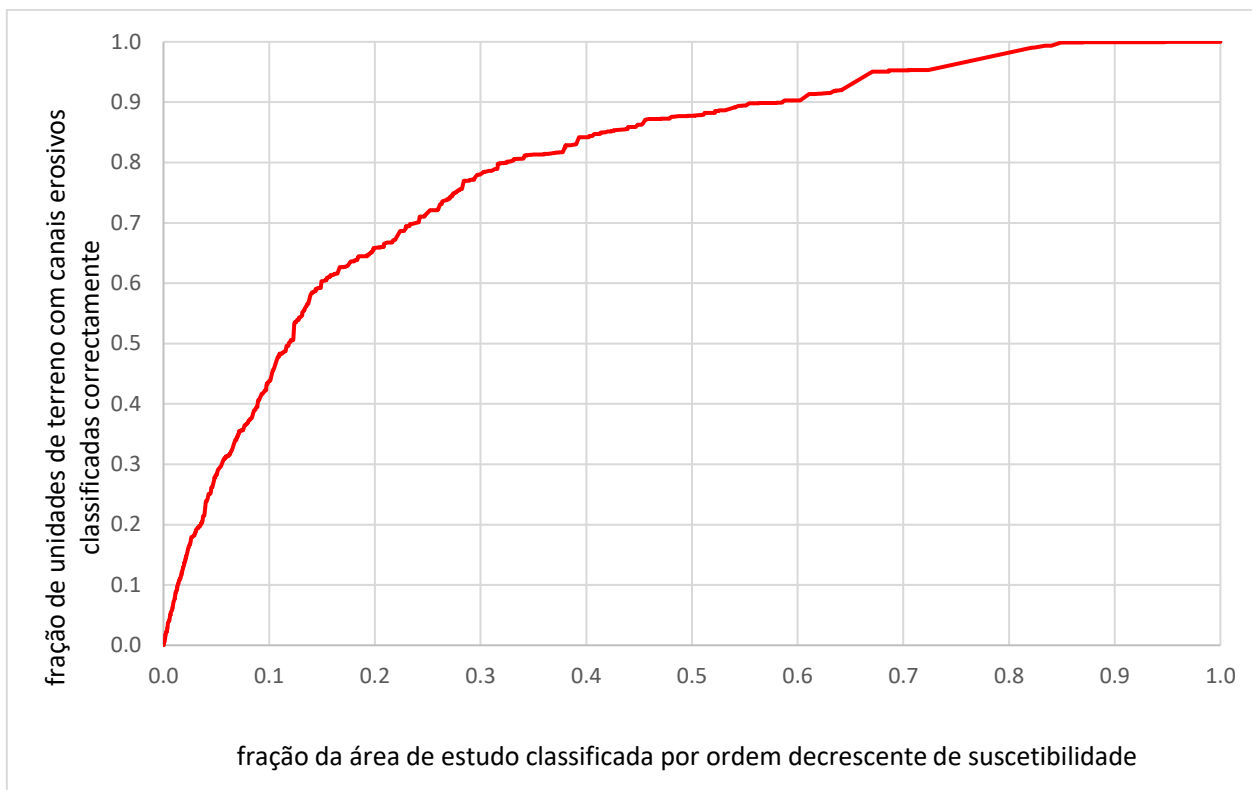


Figura 5.8: Curva de sucesso do modelo 4 de suscetibilidade, desenvolvido com base na totalidade dos canais erosivos da área de estudo

5.2.2.5 Modelo 5: Suscetibilidade final

O modelo 5 é um modelo de suscetibilidade final, que classifica a suscetibilidade à erosão por ravinamento, a partir da integração em matriz das classes dos modelos de suscetibilidade 1 e 4, construídos, respetivamente, com a totalidade das cabeceiras e dos canais erosivos (ver figura 3.14). A cada uma das dez classes dos mapas de suscetibilidade de referência, correspondentes aos modelos 1 e 4, foram atribuídos valores de 1 a 10, onde 1 corresponde à suscetibilidade mínima e 10 à suscetibilidade máxima. Os dois mapas foram depois cruzados e os valores das classes interseccionadas foram somados. Os resultados obtidos, entre 2 e 20, foram reclassificados em 5 classes qualitativas de suscetibilidade, de acordo com as seguintes regras: valores entre 2 e 5 - suscetibilidade muito baixa; valores entre 6 e 8 - suscetibilidade baixa; valores entre 9 e

13 – suscetibilidade moderada; valores entre 14 e 16 – suscetibilidade elevada; valores entre 17 e 20 – suscetibilidade muito elevada.

A figura 5.9 mostra o modelo 5 de suscetibilidade, que pretende sintetizar a predisposição à ocorrência de erosão por ravinamento, combinando cabeceiras e canais erosivos. A metodologia utilizada para gerar este modelo é diferente da usada nos anteriores, não devolvendo scores de suscetibilidade para cada unidade de terreno (pixel), mas antes resultados que indiciam uma classificação. Por esta razão, não se apresenta uma curva de sucesso para o modelo de suscetibilidade.

O quadro 3.10 sistematiza a distribuição das 5 classes de suscetibilidade à erosão por ravinamento nos 13 bairros de Nacala que constituem a área de estudo. No total, as classes de suscetibilidade muito elevada e elevada abrangem superfícies que correspondem, respetivamente, a 15,77% e 26,91% da área de estudo. No extremo oposto, as classes de suscetibilidade muito baixa e baixa representam 24,32% e 17,22% da área total, respetivamente. Por fim, a classe de suscetibilidade moderada é a mais extensa em área, individualmente, abrangendo 26,91% da área de estudo.

Os bairros de Triângulo, Maiaia e Ribaué destacam-se como os mais suscetíveis à erosão por ravinamento na cidade de Nacala. Nestes bairros as duas classes de suscetibilidade mais alta (elevada + muito elevada) abrangem entre 62% e 67% das respetivas áreas. A situação desfavorável acentua-se em Ribaué e Maiaia, onde a extensão dos territórios seguros (classes de suscetibilidade baixa + muito baixa) corresponde apenas a 7% e 11% das áreas respetivas.

Os bairros de Mocone e Muzuane encontram-se numa posição secundária no que respeita à suscetibilidade à erosão por ravinamento, uma vez que as duas classes de suscetibilidade mais alta abrangem ainda mais de metade dos territórios, entre 53% e 55%.

Na hierarquia da suscetibilidade segue-se um grupo de 3 bairros: Muanona, Matola e Naherenque. Aqui, as duas classes de suscetibilidade mais alta abrangem entre 32% e 39% das áreas dos bairros, valores que se encontram ligeiramente acima do valor médio estabelecido para a área de estudo (31,5%).

Os bairros de Ontupaia e Nauaia registam uma suscetibilidade mais baixa, testemunhada por uma expressão das duas classes de suscetibilidade mais elevada variável entre 21% e 27% da superfície total.

Por último, os bairros Mathapue, Bloco I e M'Pago são os menos suscetíveis à erosão por ravinamento na cidade de Nacala. Nestes bairros a expressão das duas classes de suscetibilidade mais alta reduz-se a menos de 13% da área total e as classes de suscetibilidade baixa e muito baixa são largamente dominantes em termos territoriais (entre 56% e 69% da área total do bairro).

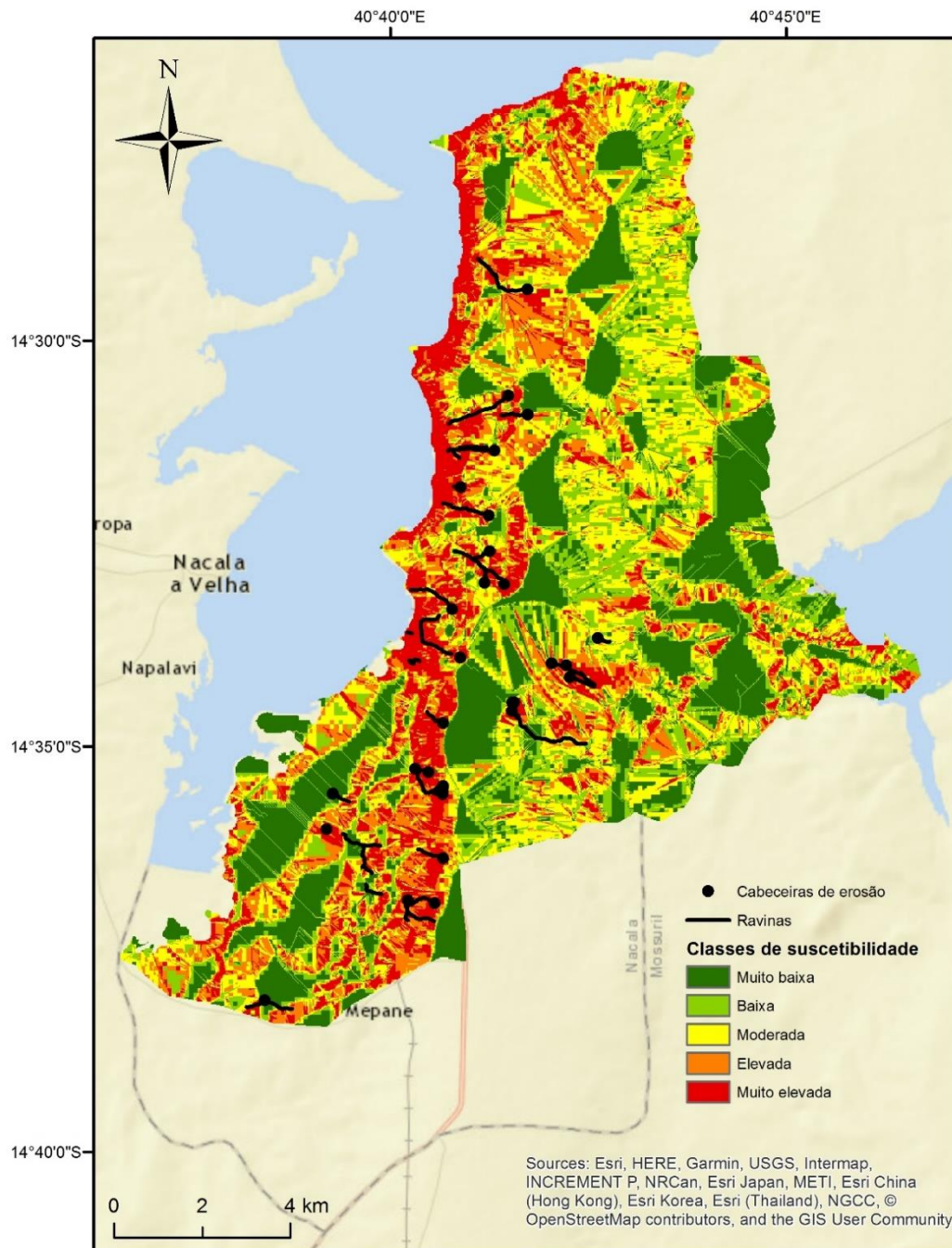


Figura 5.9: Modelo 5 de suscetibilidade à erosão de ravinamento na área de estudo.

Quadro 5.10: Distribuição (%) das classes de suscetibilidade à erosão por ravinamento (modelo 5) nos bairros da área de estudo

Bairros	Classes de suscetibilidade				
	Muito baixa	Baixa	Moderada	Elevada	Muito elevada
Muanona	29,10	12,49	19,30	20,65	18,45
Matola	27,77	11,84	21,49	20,82	18,08
Bloco I	36,07	32,56	21,58	6,58	3,21
Ontupaia	30,28	21,66	26,97	11,63	9,46
Triângulo	15,58	7,32	13,68	16,17	47,24
Mocone	10,07	10,70	26,17	17,53	35,53
Maiaia	3,09	4,05	25,85	26,90	40,12
Mathapue	29,18	26,58	30,97	8,66	4,61
Ribaué	5,88	4,70	27,08	22,13	40,21
Nauaia	27,26	13,64	32,57	17,00	9,53
M'Pago	33,94	22,34	33,26	7,66	2,80
Muzuane	12,84	9,35	22,89	21,66	33,26
Naherenque	14,88	18,17	34,19	18,64	14,11
Área total	24,34	17,22	26,91	15,75	15,77

CAPÍTULO 6: AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO AOS RAVINAMENTOS NA CIDADE DE NACALA

Neste capítulo avalia-se a exposição ao perigo de erosão por ravinamento na cidade de Nacala, tendo como referência o uso e ocupação do solo observados na área de estudo e os resultados da avaliação da suscetibilidade à erosão por ravinamento, apresentados no capítulo 5. Deste modo, procura-se saber “onde”, “como” e “quando” se efetuaram as grandes alterações de uso do solo e de que modo isso se traduziu na exposição ao perigo de ravinamento. A avaliação foi feita em quatro bairros amostrais, nomeadamente, Triângulo, Mocone, Matola e Ontupaia e os procedimentos metodológicos estão descritos no capítulo 3 (seção 3.3). Os bairros Triângulo e Mocone têm uma implantação consolidada há mais tempo, contrastando com os bairros de Matola e Ontupaia que têm uma origem mais recente e têm sido marcados por uma expansão rápida. Adicionalmente, os quatro bairros selecionados têm características contrastadas no que respeita à suscetibilidade à erosão por ravinamento, como ficou demonstrado no capítulo 5. O bairro do Triângulo integra-se no conjunto que apresenta maior suscetibilidade, onde as classes de suscetibilidade elevada e muito elevada abrangem mais de 60% da área total. O bairro Mocone integra um segundo conjunto de bairros onde as 2 classes de suscetibilidade mais altas correspondem a um pouco mais de metade da área total. O bairro Matola é, comparativamente aos anteriores, menos suscetível à erosão por ravinamento, como o atestam os 39% de área abrangida pelas duas classes de suscetibilidade mais alta. Por fim, o bairro Ontupaia é representativo de um conjunto de bairros onde a extensão territorial das classes de suscetibilidade atrás referidas não chega a atingir 30% da respetiva superfície.

6.1 Estatísticas municipais de ocupação do solo

Para efeitos de enquadramento do uso do solo, foram usados dados do sector de cadastro do Conselho Municipal da Cidade de Nacala (CMCN) relativas aos pedidos de ocupação e uso dos solos nos 13 bairros da área de estudo, no período 2004-2016. O levantamento foi feito tendo em conta 4 classes de uso do solo geradas a partir das

classes usadas pelo CMCN, nomeadamente: i) áreas residenciais; ii) área de ocupação turística; iii) área de desenvolvimento industrial; e iv) área de serviços.

Os dados do CMCN mostram que, entre 2004 e 2016, as quatro modalidades de uso de solo tiveram uma tendência de incremento, atingindo máximos em 2012, ano em que foram solicitados 112 hectares para serviços, 60 hectares para residências, 28 hectares para indústrias e 13 hectares para ocupação turística (figura 6.1). Em 2014 assistiu-se a um pico secundário na procura de terreno, essencialmente para fins residenciais e serviços, registando-se depois uma quebra acentuada em 2015. Os serviços recuperaram no ano seguinte, mas o incremento não foi acompanhado pelas restantes modalidades de uso do solo. Ao longo do período em análise, o uso residencial foi o mais elevado até 2012, tendo sido suplantado pelos serviços a partir dessa altura.

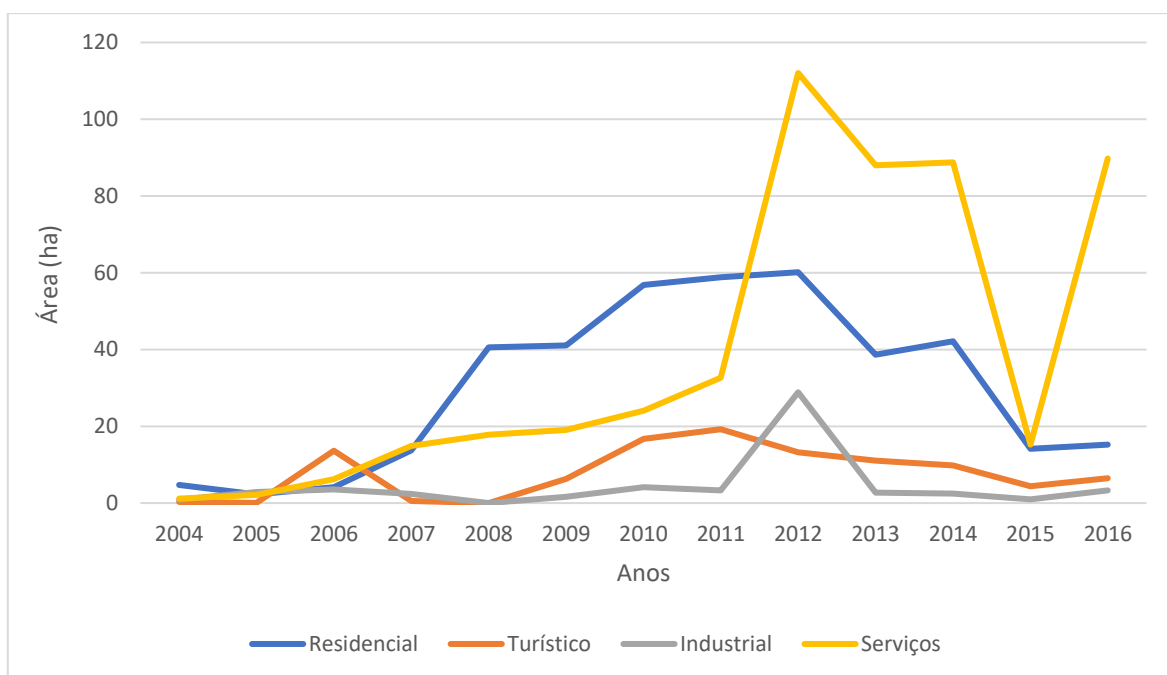


Figura 6.1: Território solicitado para construção segundo o tipo de uso no Município de Nacala entre 2004 e 2016 (fonte CMCN, 2017.)

Durante o período em análise foram parcelados 10.630 hectares, o que corresponde a 3% da superfície total do município de Nacala. Deste espaço, 50% foram destinados para

serviços, 35% para uso residencial, 9% para fins turísticos e 5% para uso industrial (figura 6.2). No período em análise, foram mobilizados 678,5 hectares para efeitos de construção de habitação. Tomando em consideração que a dimensão média da parcela para construção de habitação na área de estudo é de 600 m², equivale dizer que neste período foram criadas 11.309 parcelas para construção de habitações.

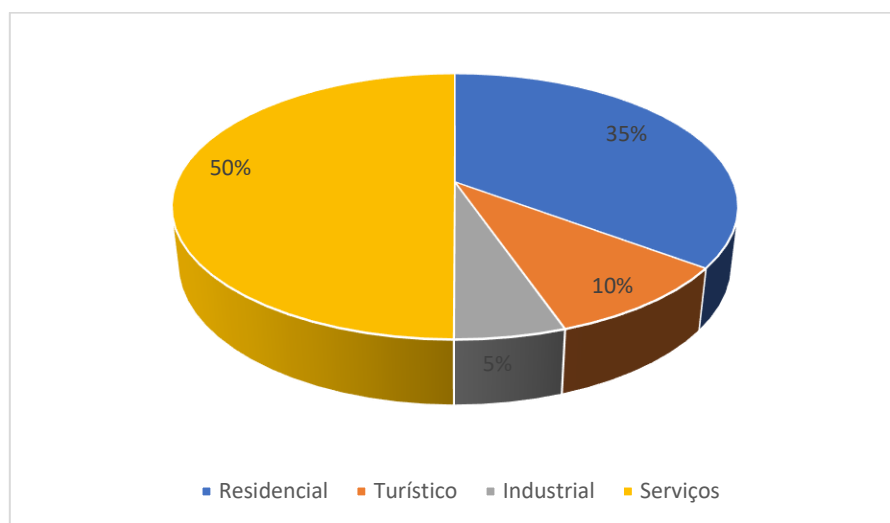


Figura 6.2: Novas ocupações do solo no período 2004-2016, por tipologia de uso, no Município de Nacala (fonte CMCN, 2017.)

A procura de espaços para habitação na área de estudo parece estar associada a dois fatores: i) crescimento natural da população, ii) intensa imigração devido às oportunidades de emprego que Nacala passou a ter, em resultado dos grandes projetos de desenvolvimento do corredor de Nacala.

Com efeito, no período em análise, Nacala caracterizou-se como uma economia vibrante, com estabelecimento de novas unidades de serviços, que inclui serviços de logística e hoteleiras e conseqüente pressão sobre as autoridades municipais para o parcelamento de novos lotes residenciais.

6.2 Evolução da exposição em bairros amostrais na área de estudo

6.2.1 Evolução da exposição no bairro de Triângulo

O bairro do Triângulo é um dos bairros mais antigos e de localização central, que resultou da expansão da ocupação efetuada pela população de baixa renda com trabalhos associados às atividades portuárias, mas não diretamente contratados pelo porto. A figura 6.3 representa as áreas construídas e/ou ocupadas nos anos de 2005 e 2017.

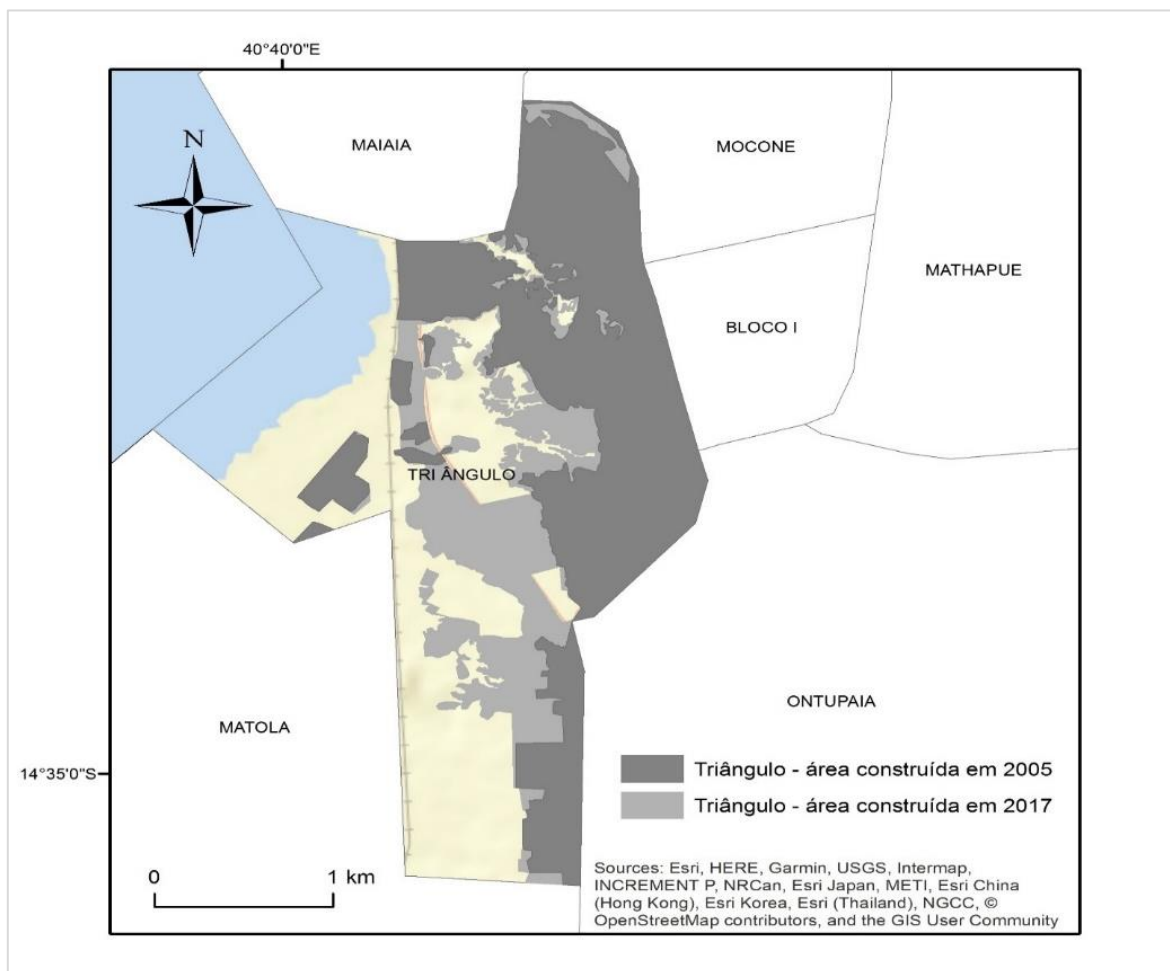


Figura 6.3: Áreas construídas no bairro Triângulo em 2005 e 2017

Em 2005 a área construída era de 306,96 hectares, correspondentes a 46,2% da área total do bairro, tendo aumentado para 447,28 hectares em 2017 (67,3% da área do bairro), num crescimento equivalente a 21% da área de estudo (quadro 6.1). Em termos de exposição (figura 6.4), a maior parte da área ocupada em 2005 verificava-se na classe de suscetibilidade muito baixa (30,7%), seguida pela classe de suscetibilidade muito elevada (27,0%). As restantes classes de suscetibilidade abrangiam frações de áreas construídas variáveis entre 11% e 18% do total.

Em 2017, a exposição acentuou-se nas classes de suscetibilidade muito elevada e elevada, tendo diminuído, em termos relativos, nas restantes classes. A área total construída nas duas classes de suscetibilidade mais elevada equivale a 228,72 hectares, o que corresponde a mais de metade (51,1%) do total da área edificada em 2017. Globalmente, 74,9% do crescimento urbano verificado entre 2005 e 2017 ocorreu nas classes de suscetibilidade alta ou muito alta, o que atesta a importância da expansão urbana verificada em área perigosa.

Quadro 6.1: Áreas construídas por classes de suscetibilidade, no bairro de Triângulo

Classes de suscetibilidade	Área (ha)	%	Área construída em 2005 (ha)	%	Área construída em 2017 (ha)	%	Crescimento urbano (ha)	%	Área das classes de suscetibilidade ocupadas por construções (%)
Muito Baixa	103,72	15,6	94,24	30,7	103,72	23,2	9,52	6,8	100,0
Baixa	48,36	7,3	34,80	11,3	40,92	9,1	6,36	4,5	84,6
Moderada	91,16	13,7	54,48	17,7	73,72	16,5	19,20	13,7	80,9
Elevada	107,56	16,2	40,52	13,2	69,00	15,4	27,96	20,0	64,2
Muito elevada	313,68	47,2	82,92	27,0	159,72	35,7	76,80	54,9	50,9
Total	664,48	100,0	306,96	100,0	447,28	100,0	139,84	100,0	67,3
% em relação ao total			46,2		67,3		21,0		

Em 2017 as áreas de suscetibilidade muito baixa, baixa e moderada encontravam-se ocupadas quase na totalidade (100%, 84,6% e 80,9%, respetivamente). Estes valores indicam que os espaços relativamente seguros quanto à erosão por ravinamento já escasseiam neste bairro, o que pode explicar, pelo menos em parte, a amplitude do crescimento verificado em áreas perigosas. Assinale-se ainda que os 217,20 hectares ainda não ocupados por construções em 2017 (32,7% da área total) correspondem maioritariamente a zonas de suscetibilidade muito elevada, que deverão vir a ser ocupadas proximamente, a manter-se a procura de terrenos para construção verificada nos últimos anos.

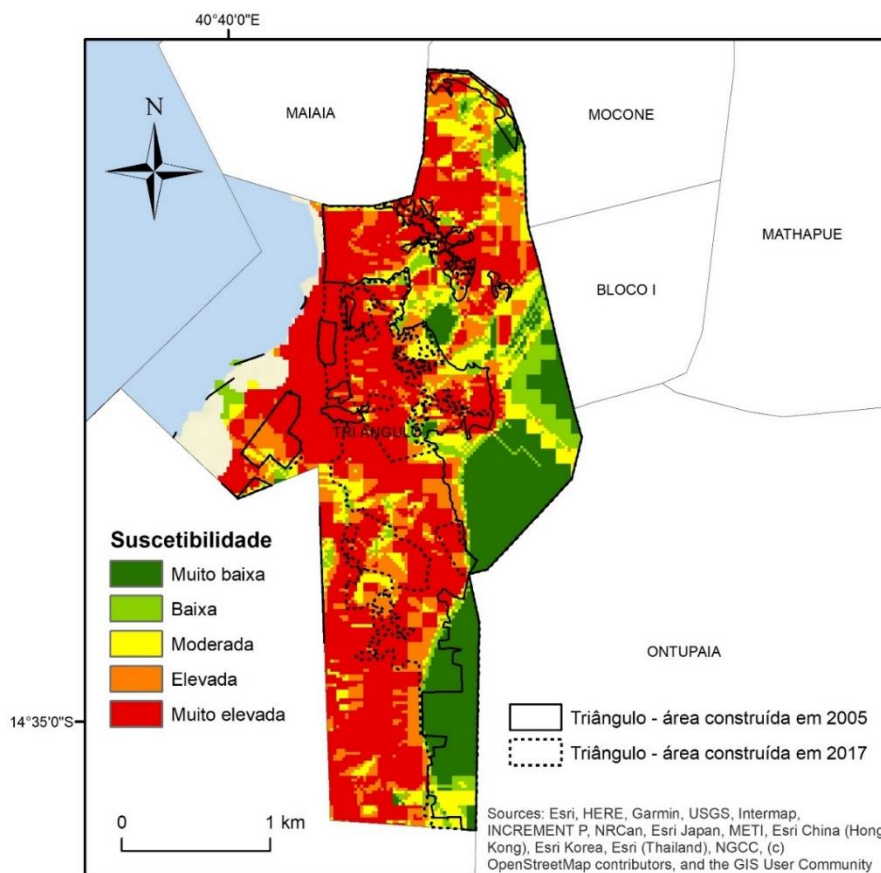


Figura 6.4: Suscetibilidade à erosão no bairro de Triângulo e áreas construídas em 2005 e 2017.

Os dados mostram que, no intervalo de tempo estudado, foram sendo ocupadas áreas do bairro de Triângulo em que o nível de suscetibilidade à ocorrência de erosão por ravinamentos é bastante acentuado. Trata-se, na maior parte dos casos, de habitações construídas sem observância de qualquer código de construção, frequentemente sem autorização municipal. A figura 6.5 mostra a evolução temporal dos registos pelo conselho municipal de áreas ocupadas no bairro de Triângulo. Os registos foram relativamente reduzidos até 2010 e incrementaram imenso entre 2011 e 2014. Os anos de 2015 e 2016 são de quebra, com retorno a valores comparáveis aos verificados antes de 2011.

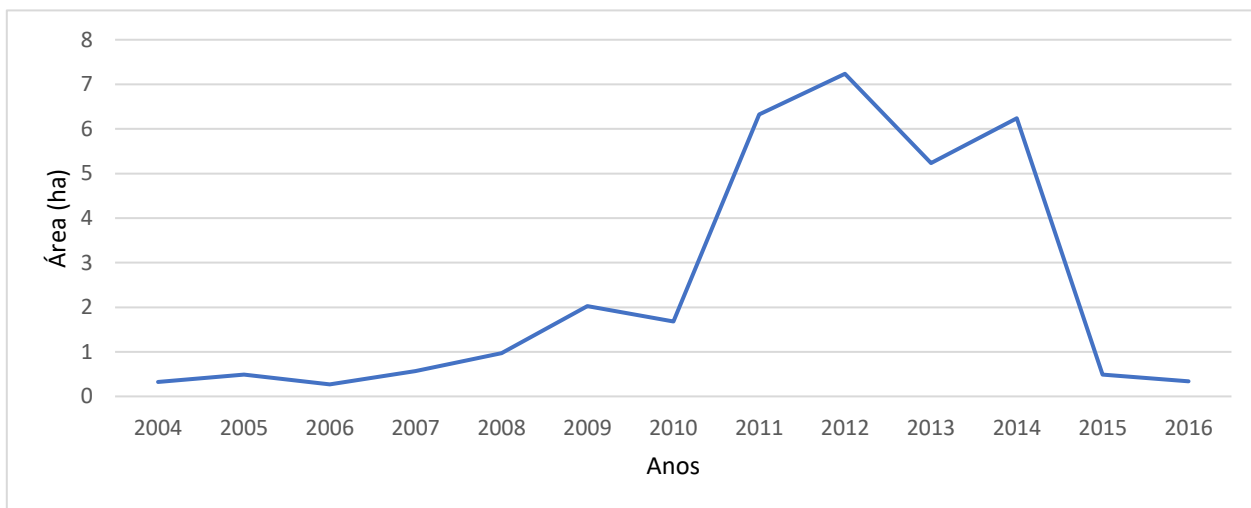


Figura 6.5: Novas áreas ocupadas (hectares) no Bairro de Triângulo entre 2004 e 2016, segundo registos do CMCN

A maior parte dos registos verificados neste bairro referem-se a regularizações de áreas já anteriormente ocupadas, cujos proprietários sentiram a necessidade de efetuar a legalização, devido à enorme procura de terrenos entretanto verificada. Adicionalmente, os máximos observados entre 2011 e 2014 estarão associados a ocupações feitas por alguns empreendimentos que acorreram a Nacala a partir de 2009, em resultado do início das atividades de construção do aeroporto de Nacala e do novo porto de Nacala a Velha.

6.2.2 Evolução da exposição no bairro de Mocone

O bairro de Mocone é um pequeno bairro de localização central na cidade de Nacala. Trata-se de um dos bairros onde a ocupação é mais acentuada, como se verifica na figura 6.6, que retrata as manchas de áreas construídas em 2005 e 2017.

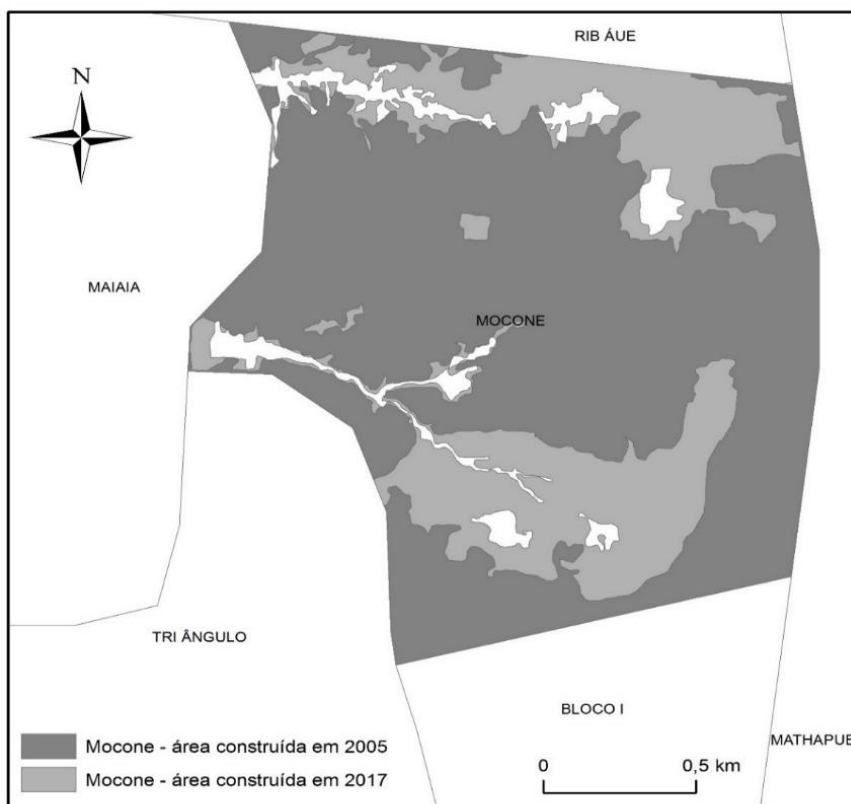


Figura 6.6: Áreas construídas no bairro Mocone em 2005 e 2017

A área construída era de 235,16 hectares em 2005 (68,6% da área total do bairro), tendo aumentado para 325,64 hectares em 2017 (95% da área do bairro), num crescimento equivalente a 26,4% da área de estudo (Quadro 6.2). A área não ocupada em 2017 corresponde a apenas 5% da superfície total e respeita, no essencial, aos leitos de duas ribeiras sujeitas a cheias rápidas.

Quadro 6.2: Áreas construídas por classes de suscetibilidade, no bairro de Mocone

Classes de suscetibilidade	Área (ha)	%	Área construída em 2005 (ha)	%	Área construída em 2017 (ha)	%	Crescimento urbano (ha)	%	Área das classes de suscetibilidade ocupadas por construções (%)
Muito Baixa	35,24	10,3	31,32	13,3	34,04	10,5	2,88	3,2	96,6
Baixa	36,76	10,7	29,24	12,4	34,60	10,6	5,48	6,1	94,1
Moderada	89,24	26,0	70,80	30,1	85,72	26,3	15,24	16,8	96,1
Elevada	60,08	17,5	41,72	17,7	57,32	17,6	15,00	16,6	95,4
Muito elevada	121,28	35,4	62,08	26,4	113,96	35,0	51,92	57,4	94,0
Total	342,60	100,0	235,16	100,0	325,64	100,0	90,52	100,0	95,0
% em relação ao total			68,6		95,0		26,4		

Em 2005, cerca de 56% das ocupações localizavam-se em áreas de suscetibilidade moderada, baixa ou muito baixa (Figura 6.7), enquanto a percentagem de edificações em áreas de suscetibilidade muito elevada equivalia a 26,4% do total. Em 2017, a área construída aumentou em todas as classes de suscetibilidade, mas o incremento foi muito mais acentuado na classe de muito elevada suscetibilidade, que registou 57,4% do crescimento urbano total. Deste modo, a situação em 2017 inverteu-se comparativamente a 2005, uma vez que as edificações passam a ser dominantes nas classes de suscetibilidade elevada e muito elevada (52,6% do total das edificações), com destaque para a classe de suscetibilidade muito elevada, que concentra 35% das edificações.

Cerca de 74% do crescimento urbano observado entre 2005 e 2017 ocorreu em áreas com suscetibilidade elevada e muito elevada. Este facto resulta, em primeiro lugar, da exiguidade de áreas seguras para construção, encontrando-se disponíveis apenas áreas perigosas, próximas de fundos de vale, que, por via de regra, não têm autorização municipal para novos desenvolvimentos urbanos.

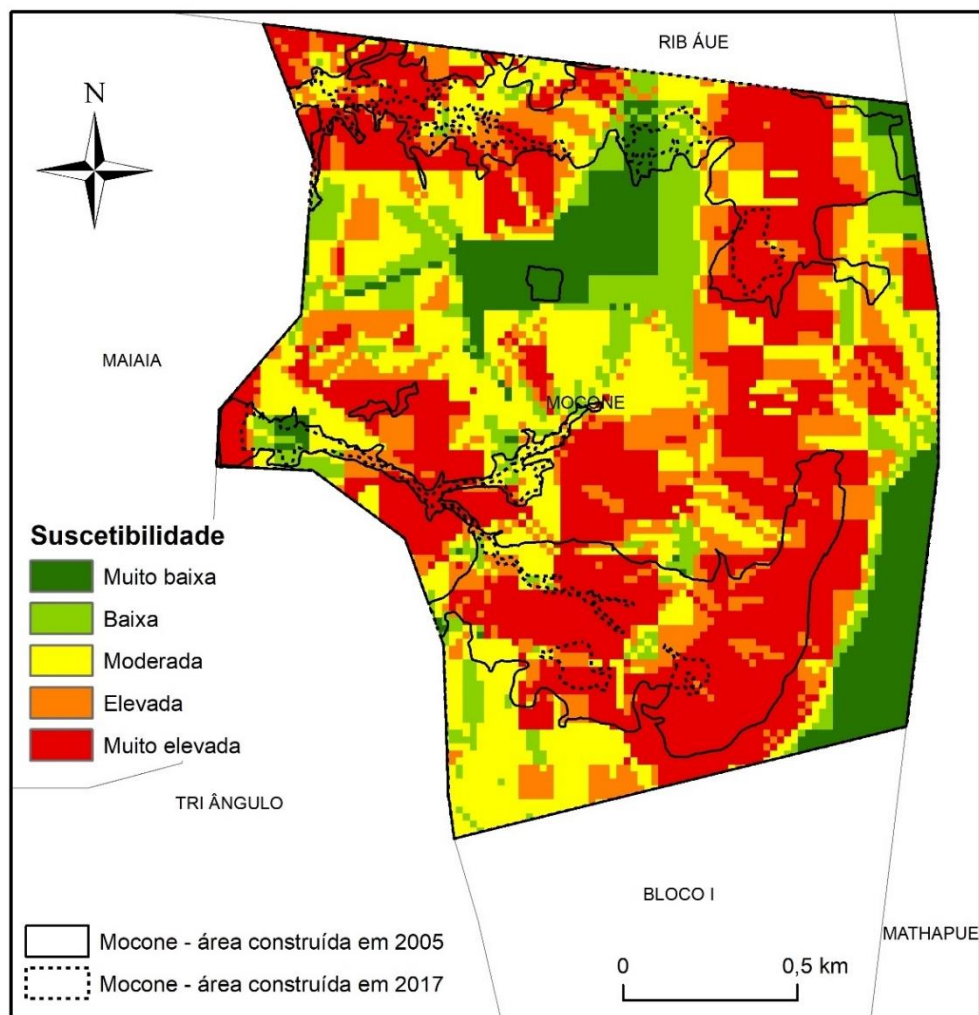


Figura 6.7: Suscetibilidade à erosão no bairro de Mocone e áreas construídas em 2005 e 2017.

Os dados do cadastro municipal, sintetizados na figura 6.8, mostram números muito modestos de áreas licenciadas para ocupação, entre 2004 e 2016, sempre abaixo de 1 hectare por ano, com a exceção de 2006, quando foi autorizada a ocupação de 1,4 hectares de terreno.

Deste modo, admite-se que grande parte das edificações inventariadas em 2017, e que marcam o crescimento verificado em relação a 2005, corresponderão a situações não reconhecidas pelas autoridades municipais, que foram erguidas de forma ilegal e

frequentemente com material precário, sem obedecer a qualquer instrumento de ordenamento territorial.

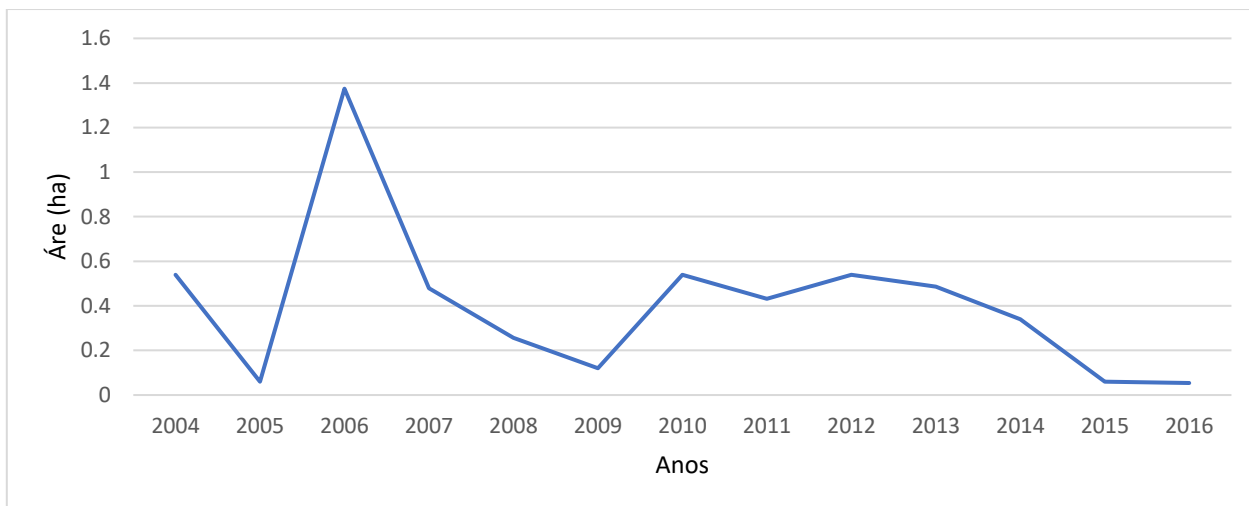


Figura 6.8: Novas áreas ocupadas (hectares) no Bairro de Mocone 2004-2016, segundo registos do CMCN

6.2.3 Evolução da exposição no bairro de Matola

O bairro de Matola situa-se na zona industrial de Nacala e ocupa uma área relativamente vasta na parte sul da cidade de Nacala. A figura 6.9 representa a evolução do espaço construído no bairro de Matola nos anos de 2005 e 2017. Ao contrário dos bairros anteriormente apresentados, a área edificada é relativamente reduzida e encontra-se circunscrita às imediações do principal eixo rodoviário: Estrada Nacional 8, que liga a cidade de Nacala a Chiponde na província do Niassa.

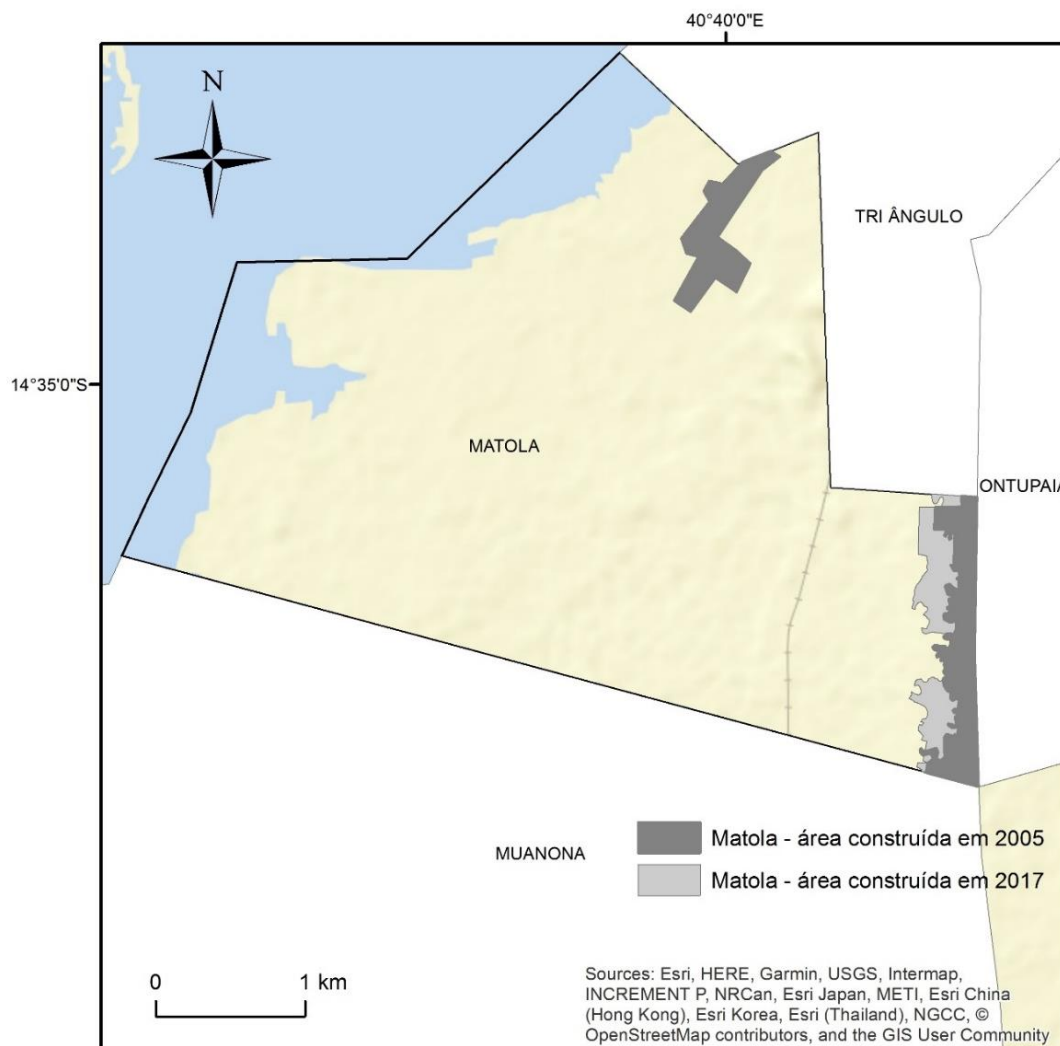


Figura 6.9: Áreas construídas no bairro Matola em 2005 e 2017

Em 2005 a área construída era de 63,56 hectares, correspondentes a apenas 5,1% da área total do bairro, tendo aumentado para 88.08 hectares em 2017 (7,0% da área do bairro), num crescimento equivalente a 2,2% da área de estudo (Quadro 6.3). Trata-se do crescimento mais baixo registado durante o período em análise em todos os bairros de estudo. Uma vez que este bairro incorpora uma área extensa reservada ao estabelecimento de um parque industrial, os dados obtidos sugerem que a ocupação para fins industriais foi relativamente reduzida no período em análise.

No que respeita à exposição ao perigo de erosão por ravinamento (figura 6.10), a maior parte da área ocupada em 2005 verificava-se na classe de suscetibilidade muito baixa (39,0%), seguida pelas classes de suscetibilidade moderada e baixa (30,8% e 15,7%, respetivamente). As classes de suscetibilidade elevada e muito elevada abrangiam, em conjunto, apenas 14,6% da área edificada.

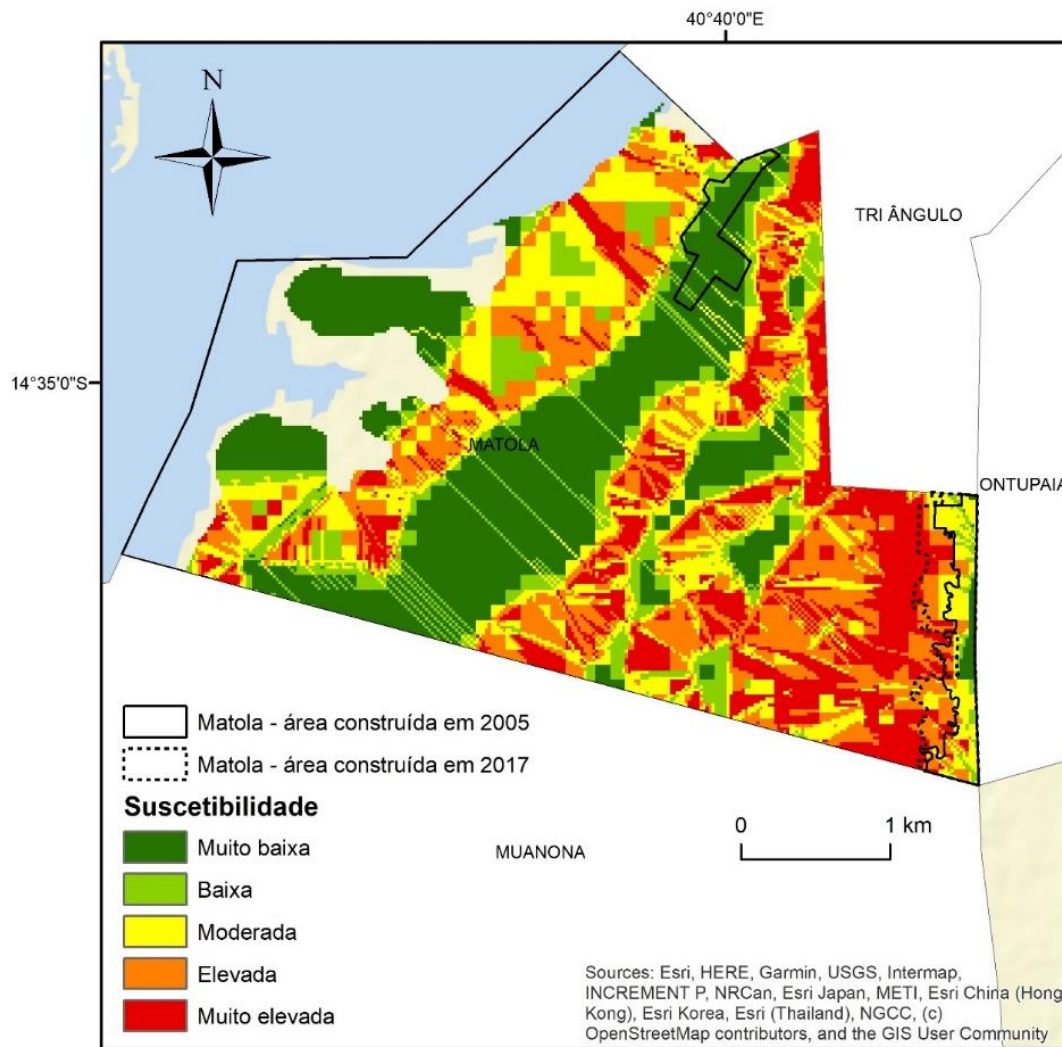


Figura 6.10: Suscetibilidade à erosão no bairro de Matola e áreas construídas em 2005 e 2017.

Em 2017, as classes de suscetibilidade muito baixa e moderada continuam a concentrar a maior parte da área edificada (28,1% e 27,8%, respectivamente), mas a exposição acentuou-se nas classes de suscetibilidade muito elevada e elevada, que passaram a incluir 32,5% da área edificada. Globalmente, 78,6% do crescimento urbano verificado entre 2005 e 2017 ocorreu nas classes de suscetibilidade alta ou muito alta, essencialmente ao longo da Estrada Nacional 8, que separa os bairros de Matola e Ontupaia.

A expansão da edificação em áreas perigosas no bairro de Matola não pode ser imputada à inexistência de terrenos seguros. Com efeito, ao contrário do observado por exemplo no bairro do Triângulo, os terrenos com suscetibilidade baixa e muito baixa são dominantes no bairro de Matola e estão muito longe de estar totalmente ocupados, uma vez que a percentagem de utilização destas classes varia entre 6,9% e 7,0% (Quadro 6.3). Embora o bairro de Matola ainda possua manchas extensas de classes de muito baixa e baixa suscetibilidade, as ocupações têm tido preferência pela proximidade às principais vias de acesso, o que pode estar associado a facilidade de evacuação dos produtos produzidos.

Quadro 6.3: Áreas construídas por classes de suscetibilidade, no bairro de Matola

Classes de suscetibilidade	Área (ha)	%	Área construída em 2005 (ha)	%	Área construída em 2017 (ha)	%	Crescimento urbano (ha)	%	Área das classes de suscetibilidade ocupadas por construções (%)
Muito Baixa	351,24	28,0	24,76	39,0	24,76	28,1	0	0,1	7,0
Baixa	149,28	11,9	9,96	15,7	10,24	11,6	0,32	1,2	6,9
Moderada	264,36	21,1	19,56	30,8	24,48	27,8	5,56	20,1	9,3
Elevada	261,72	20,9	6,76	10,6	18,84	21,4	13,52	48,8	7,2
Muito elevada	227,44	18,1	2,52	4,0	9,76	11,1	8,24	29,8	4,3
Total	1254,04	100,0	63,56	100,0	88,08	100,0	27,68	100,0	7,0
% em relação ao total			5,1		7,0		2,2		

Os registos municipais de licenciamento de novas áreas no bairro de Matola (figura 6.11), mostram uma realidade contrastada, por comparação com os bairros de Triângulo e Mocone. Com efeito, a quantidade de hectares licenciados para novas construções ao longo dos anos entre 2004 e 2016 é largamente superior ao verificado no terreno, por comparação e análise das imagens disponibilizadas pelo Google Earth. Assim, no período referido foram registados mais de 129 hectares, valor muito acima dos 27,68 hectares efetivamente observados. Refira-se que este último valor é praticamente alcançado num único registo anual, correspondente a 2015 (25,3 hectares registados).

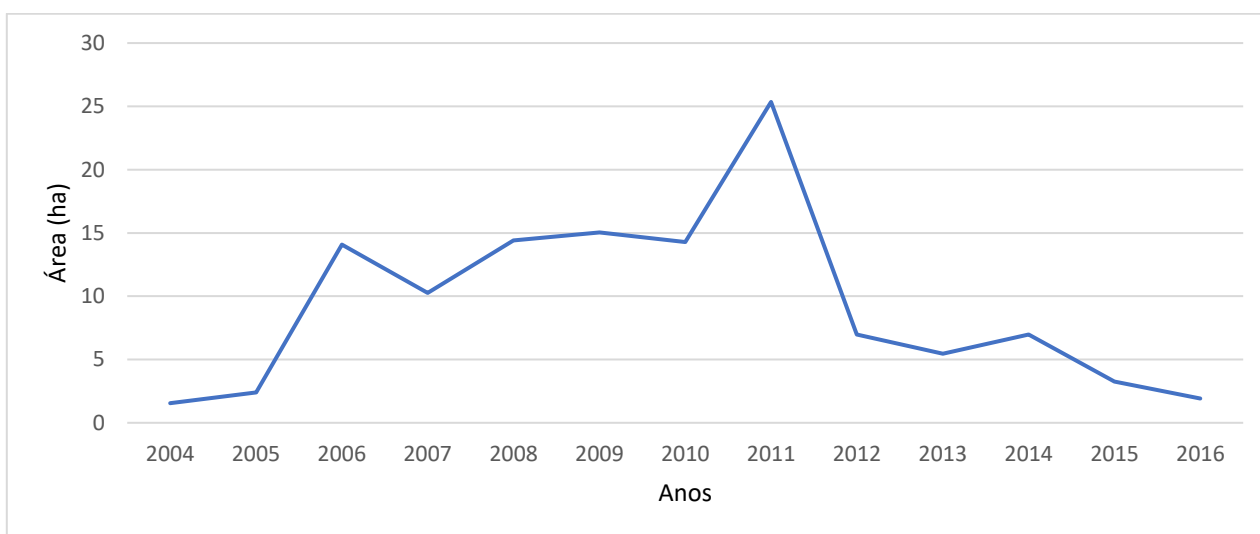


Figura 6.11: Novas áreas ocupadas (hectares) no Bairro de Matola 2004-2016, segundo registos do CMCN

A explicação para esta desconformidade entre os dados oficiais e a observação empírica do terreno residirá no carácter essencialmente industrial do bairro. As empresas industriais procedem à tramitação legal dos processos de instalação antes da sua efetivação no terreno. Essa tramitação ficou registada nos dados oficiais, mas, em larga medida, ainda não se traduziu na ocupação do território.

6.2.4 Evolução da exposição no bairro de Ontupaia

O bairro de Ontupaia é um bairro de expansão que em 2011 beneficiou de um Plano de Pormenor. Trata-se de um bairro que, antes da existência do Plano, era caracterizado por ocupações espontâneas, sendo que, em 2005, a maior parte da área ocupada concentrava-se ao longo da Estrada Nacional 8 (figura 6.12), que dá acesso ao porto e à cidade de Nacala.

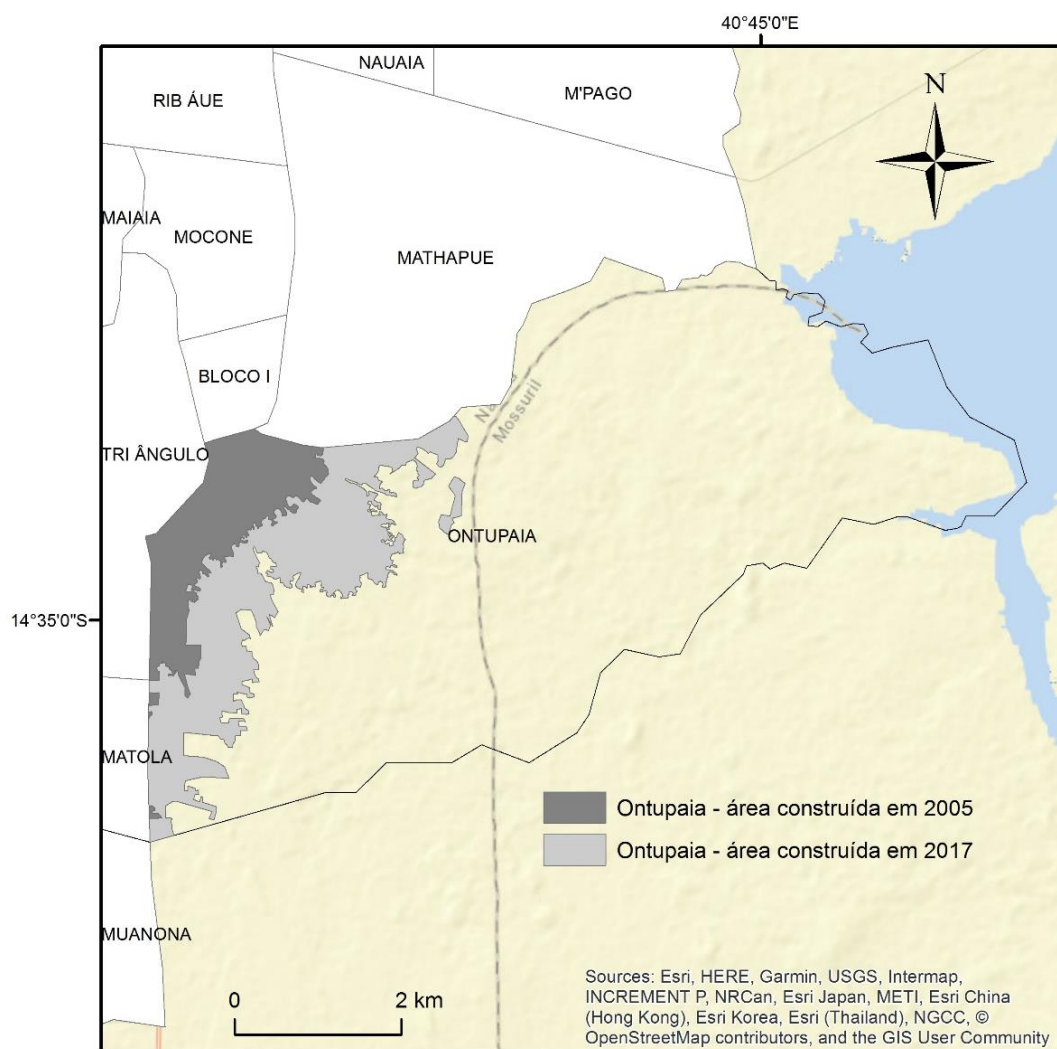


Figura 6.12: Áreas construídas no bairro Ontupaia em 2005 e 2017

A área construída era de 261,52 hectares em 2005 (7,3% da área total do bairro), tendo aumentado cerca de 2,9 vezes para 754,36 hectares em 2017 (21,1% da área do bairro), num crescimento equivalente a 13,7% da área de estudo (Quadro 6.4).

Em 2005, a grande maioria das ocupações (87,6%) localizava-se em áreas de suscetibilidade muito baixa, baixa ou moderada (figura 6.13), enquanto a percentagem de edificações em áreas de suscetibilidade muito elevada representava apenas 2,8% do total.

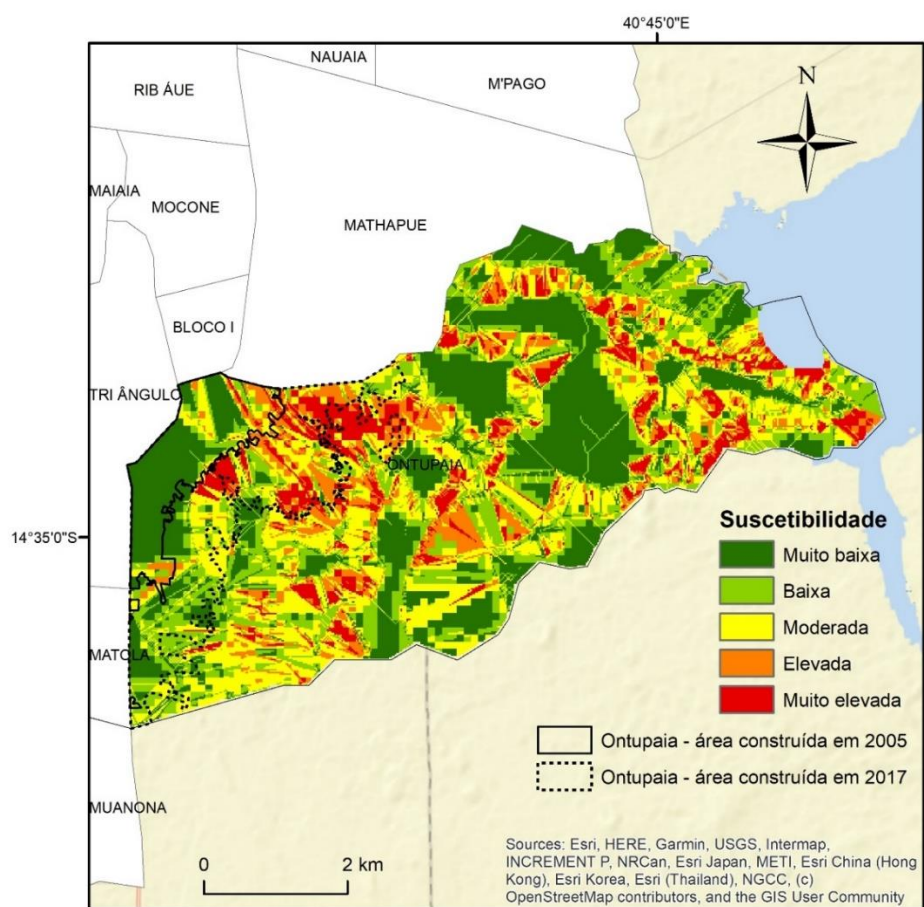


Figura 6.13: Suscetibilidade à erosão no bairro de Ontupaia e áreas construídas em 2005 e 2017.

Em 2017, verificou-se uma expansão da área construída em direção ao interior do bairro, a partir da zona já consolidada junto ao principal eixo viário (figura 6.12). A área construída aumentou em todas as classes de suscetibilidade, mas o incremento foi mais acentuado na classe de muito elevada suscetibilidade. No entanto, esta classe de suscetibilidade ainda é aquela que detém a menor parcela de área construída (10,3%).

O crescimento urbano verificado entre 2005 e 2017 foi o mais acentuado no conjunto dos bairros selecionados para o estudo da exposição e distribuiu-se de forma relativamente equilibrada pelas 5 classes de suscetibilidade à erosão por ravinamento, sendo de realçar que 71,6% das edificações construídas entre 2005 e 2017 foram implantadas em terrenos classificados com suscetibilidade moderada, baixa ou muito baixa. O facto de se tratar de um bairro com um Plano de Pormenor pode justificar estes resultados, que são mais favoráveis do que os observados nos restantes bairros analisados.

Quadro 6.4: Áreas construídas por classes de suscetibilidade, no bairro de Ontupaia

Classes de suscetibilidade	Área (ha)	%	Área construída em 2005 (ha)	%	Área construída em 2017 (ha)	%	Crescimento urbano (ha)	%	Área das classes de suscetibilidade ocupadas por construções (%)
Muito Baixa	1085,92	30,3	156,84	60,0	251,68	33,4	96,08	19,5	23,2
Baixa	762,44	21,3	32,76	12,5	152,92	20,3	118,60	24,1	20,1
Moderada	974,84	27,2	39,36	15,1	177,28	23,5	137,72	28,0	18,2
Elevada	422,84	11,8	25,32	9,7	95,04	12,6	69,20	14,1	22,5
Muito elevada	336,56	9,4	7,24	2,8	77,44	10,3	70,20	14,3	23,0
Total	3582,60	100,0	261,52	100,0	754,36	100,0	491,80	100,0	21,1
% em relação ao total			7,3		21,1		13,7		

O potencial de expansão é bastante elevado no bairro de Ontupaia, uma vez que existem áreas extensas disponíveis com suscetibilidade baixa e muito baixa. Em 2017 estas duas classes estavam ocupadas apenas no equivalente a 23,2% e 20,1% da sua extensão, respetivamente.

Os registos municipais mostram uma procura de terrenos relativamente baixa até 2011, ano de elaboração do Plano de Pormenor do bairro de Ontupaia. Em 2012 com a implantação do plano, o CMCN registou um máximo de 42,3 hectares requisitados para uso habitacional, a que se seguiram dois anos com valores registados igualmente assinaláveis.

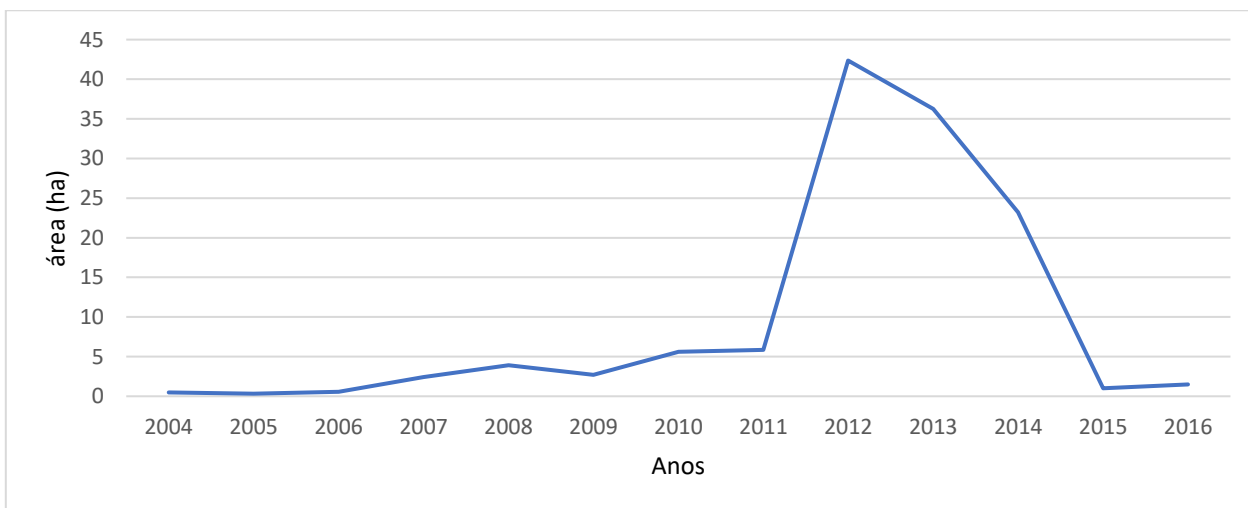


Figura 6.14: Novas áreas ocupadas (hectares) no Bairro de Ontupaia 2004-2016, segundo registos do CMCN

A conjugação da procura de espaços parcelados e a demanda ocasionada pela implantação do aeroporto de Nacala e do Porto de Nacala velha podem ter concorrido para muita procura de espaços no período 2011 - 2013, a exemplo do verificado no bairro de Triângulo entre 2011 e 2014.

Em todo o caso, é de assinalar que as novas áreas ocupadas registadas no bairro de Ontupaia ficam muito aquém das observadas na análise das imagens disponibilizadas pelo *Google Earth* entre 2005 e 2017 (124,67 ha e 491,80 ha, respetivamente), o que significa que, apesar da existência do Plano de Pormenor, a construção informal e não legalizada é também dominante no bairro de Ontupaia. A menor expansão para zonas perigosas explica-se pela suscetibilidade globalmente mais reduzida que caracteriza este bairro, bem como pela disponibilidade de zonas relativamente seguras para ocupar.

6.3 Análise comparativa da evolução da exposição nos bairros de Triângulo, Mocone, Matola e Ontupaia

O quadro 6.5 sistematiza a distribuição das classes de suscetibilidade à erosão por ravinamento nos quatro bairros amostra estudados. A maior parte das áreas dos bairros do Triângulo e Mocone encontram-se nas classes de suscetibilidade muito elevada e elevada (63,4% e 52,9%, respetivamente). Pelo contrário, a distribuição dos territórios pelas 5 classes de suscetibilidade é mais equilibrada nos bairros de Matola e Ontupaia. Adicionalmente, a classe de suscetibilidade muito baixa é a mais representada nestes dois bairros (28% no bairro de Matola e 31% no bairro de Ontupaia).

Quadro 6.5: Distribuição de área ocupada por cada classe de suscetibilidade nos bairros estudados

Classes	% de área ocupada por cada classe de suscetibilidade nos bairros			
	Triângulo	Mocone	Matola	Ontupaia
Muito Baixa	15,6	10,3	28,0	30,3
Baixa	7,3	10,7	11,9	21,3
Moderada	13,7	26,0	21,1	27,2
Elevada	16,2	17,5	20,9	11,8
Muito elevada	47,2	35,4	18,1	9,4

Os bairros em análise possuem algumas particularidades que podem estar associadas à sua gênese e processo de expansão. Por um lado, bairros mais antigos e de localização central, como Triângulo e Mocone, resultaram da expansão da ocupação por população de baixa renda, trabalhadora em posições de apoio às atividades portuárias. Estes dois bairros observaram uma densidade bastante acentuada no período em análise. O bairro de Triângulo tinha em 2005 uma área construída total correspondente a 46,2%, tendo aumentado para 67,3% em 2017. O bairro de Mocone tinha em 2005 uma área construída equivalente a 68,6% da área total do bairro, tendo aumentado para 95% em 2017. Importa realçar que a área não ocupada em 2017 corresponde ao leito de duas ribeiras sujeitas a cheias rápidas.

Por outro lado, os bairros de Matola e Ontupaia apresentam uma gênese e evolução diferente. Matola surgiu como um bairro industrial de Nacala Porto e tem a particularidade de ter as suas edificações circunscritas às imediações do principal eixo rodoviário (EN8). O bairro tinha em 2005 uma área construída correspondente a 5,1% da área total do bairro, tendo evoluído para 7,0% em 2017. O bairro de Ontupaia é um bairro de expansão com um Plano de Pormenor elaborado em 2011. Com uma ocupação inicialmente desordenada no período em análise, notou-se concentração inicial ao longo da EN8, com uma ocupação de 7,3% da área total do bairro em 2005 e um relativo desenvolvimento para o interior do bairro em 2017 com uma ocupação de 21,1% da área do bairro.

O crescimento das áreas ocupadas foi significativo entre 2005 e 2017 nos quatro bairros amostra e os dados obtidos evidenciam um incremento acentuado da exposição, por expansão para áreas perigosas (quadro 6.6). Nos bairros mais antigos, como Triângulo e Mocone, entre 74% e 75% do crescimento ocorreu nas classes de suscetibilidade elevada ou muito elevada. No bairro industrial de Matola o crescimento das edificações nas duas classes de maior suscetibilidade ainda foi mais acentuado (78,6% do total), apesar da disponibilidade de terrenos com níveis de suscetibilidade mais reduzida. O bairro de Ontupaia é o único onde o crescimento da área edificada não se concentrou nas classes de suscetibilidade elevada e muito elevada. Neste bairro, houve mais ocupações nas classes de suscetibilidade moderada (28,0%), baixa (24,1%) e muito baixa (19,5%).

Quadro 6.6: Crescimento urbano por cada classe de suscetibilidade nos bairros estudados entre 2005 e 2017

Classes	% de crescimento urbano por cada classe de suscetibilidade nos bairros entre 2005 e 2017			
	Triângulo	Mocone	Matola	Ontupaia
Muito Baixa	6,8	3,2	0,1	19,5
Baixa	4,5	6,1	1,2	24,1
Moderada	13,7	16,8	20,1	28,0
Elevada	20,0	16,6	48,8	14,1
Muito elevada	54,9	57,4	29,8	14,2

O crescimento urbano dominante nas classes de suscetibilidade alta ou muito alta, verificado entre 2005 e 2017, com exceção do bairro de Ontupaia, resulta da inexistência de instrumentos de ordenamento territorial eficazes para a redução da exposição. A este respeito, o facto do bairro de Ontupaia possuir um Plano de Pormenor pode ter contribuído para uma ocupação mais equilibrada pelas classes de suscetibilidade.

O crescimento urbano em áreas perigosas nos bairros de Triângulo e Mocone decorre da pressão que estes sofrem pelo facto de estarem localizados perto do principal centro urbano, permitindo o acesso aos serviços básicos com maior facilidade. Sendo bairros antigos e sem nenhum ordenamento territorial, algumas áreas consideradas de risco pelas autoridades municipais têm sido usadas para a construção de habitações precárias que, com o tempo, são melhoradas ao ponto de se tornarem completamente constituídas com material convencional (figura 6.15). No entanto, estas construções continuam sem legalização por parte das autoridades municipais.

A expansão do bairro de Matola para áreas de suscetibilidade elevada a muito elevada parece estar associado à necessidade de ocupação nas proximidades das principais vias de acesso, que se encontram em áreas declivosas sujeitas a ocorrência da erosão por ravinamento.



Figura 6.15: Vertente perigosa sujeita a ravinamento no bairro de triângulo onde começam a surgir casas com material convencional circulasdas a vermelho (foto tirada pelo autor em 26-09-2016)

Um paradoxo observado durante o trabalho de campo, é o fato de, pese embora existirem proibições para construção por parte das autoridades municipais nas vertentes perigosas, são fornecidos nestes locais serviços básicos como eletricidade e a água, através da EDM e FIPAG respetivamente, mesmo sem a devida estruturação. Isto pode querer indicar que não há uma coordenação entre as diversas instituições para garantir que se reduzam os riscos associados à ocupação de vertentes perigosas. Com efeito, no processo de criação de novas áreas o acompanhamento por serviços básicos é deficitário e mesmo que o CMCN defina áreas de risco e demarque novas áreas mais seguras, há mais incentivo para permanecer nas áreas de risco, que são próximas ao centro urbano e possuem eletricidade e água.

Os dados do registo municipal mostram a evolução temporal dos registos pelo conselho municipal de áreas ocupadas nos quatro bairros amostrais, com pico entre 2010 e 2012 (figura 6.16). A tendência de ascensão foi modesta em todos os bairros até 2010, ano a

partir do qual parece ter havido uma corrida para o registo de espaços em todos os bairros, principalmente em Matola e Ontupaia.

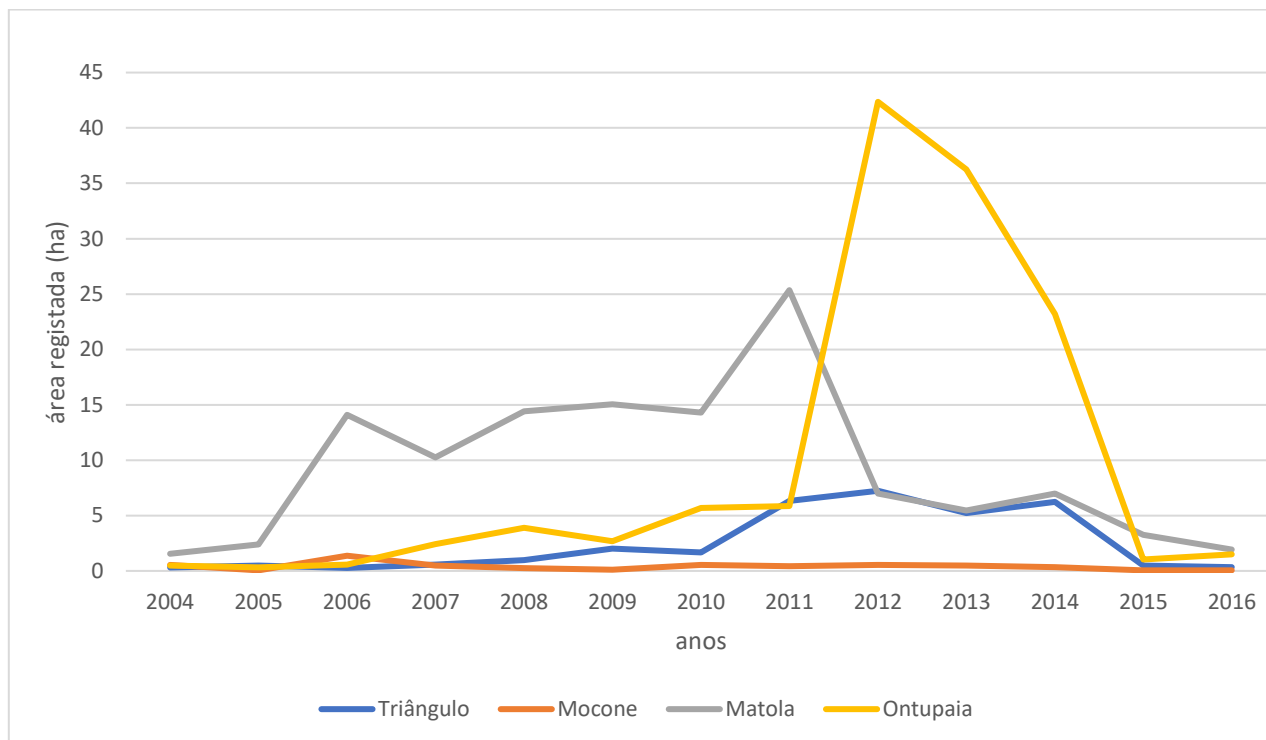


Figura 6.16: Evolução temporal dos registos pelo conselho municipal de áreas ocupadas nos quatro bairros amostrais

Nos bairros mais antigos como Triângulo e Mocone existem números modestos em termos de registos. A maior parte dos registos está relacionada com processos de regularização de áreas já anteriormente ocupadas. Deste modo, as alterações identificadas na utilização do solo nestes dois bairros a partir da análise das imagens do *Google Earth* em 2005 e 2017, devem corresponder a construções consideradas ilegais pelas autoridades.

O bairro de Ontupaia destaca-se pela elevada área registada depois de 2011. Para estes registos terá contribuído a oferta de espaços mediante processo de parcelamentos efetuados pelo CMCN e a procura cada vez mais crescente para construção de edifícios que pudessem responder não só à demanda habitacional mas, principalmente, à demanda de estabelecimento de serviços.

6.4 Elementos expostos estratégicos, vitais e sensíveis

A figura 6.17 apresenta a distribuição de equipamentos estratégicos, vitais e sensíveis nas classes de suscetibilidade à erosão por ravinamento na cidade de Nacala. Refira-se que esta análise tem como base de referência toda a área de estudo e não somente os 4 bairros amostrais discutidos nas secções anteriores deste capítulo.

Na cidade de Nacala foram identificados 19 equipamento escolares, que se encontram listados no quadro 6.7. A maior parte dos equipamentos escolares (47,3%) situa-se em áreas com suscetibilidade à erosão por ravinamento muito baixa ou baixa (26,3% e 21,0%, respetivamente). No entanto, identificaram-se 8 equipamentos (42,1% do total) nas classes de suscetibilidade elevada ou muito elevada. De entre estes equipamentos destacam-se o Campus da Universidade Pedagógica (na pousada dos CFM) e a Escola Secundária de Nacala, cujas infraestruturas são bem estabelecidas e construídas com material convencional e resistente, o que faz diminuir a vulnerabilidade física dos equipamentos. Deste modo, nestes casos, pese embora a suscetibilidade elevada ou muito elevada, o risco não é muito alto, devido à resistência física das infraestruturas.

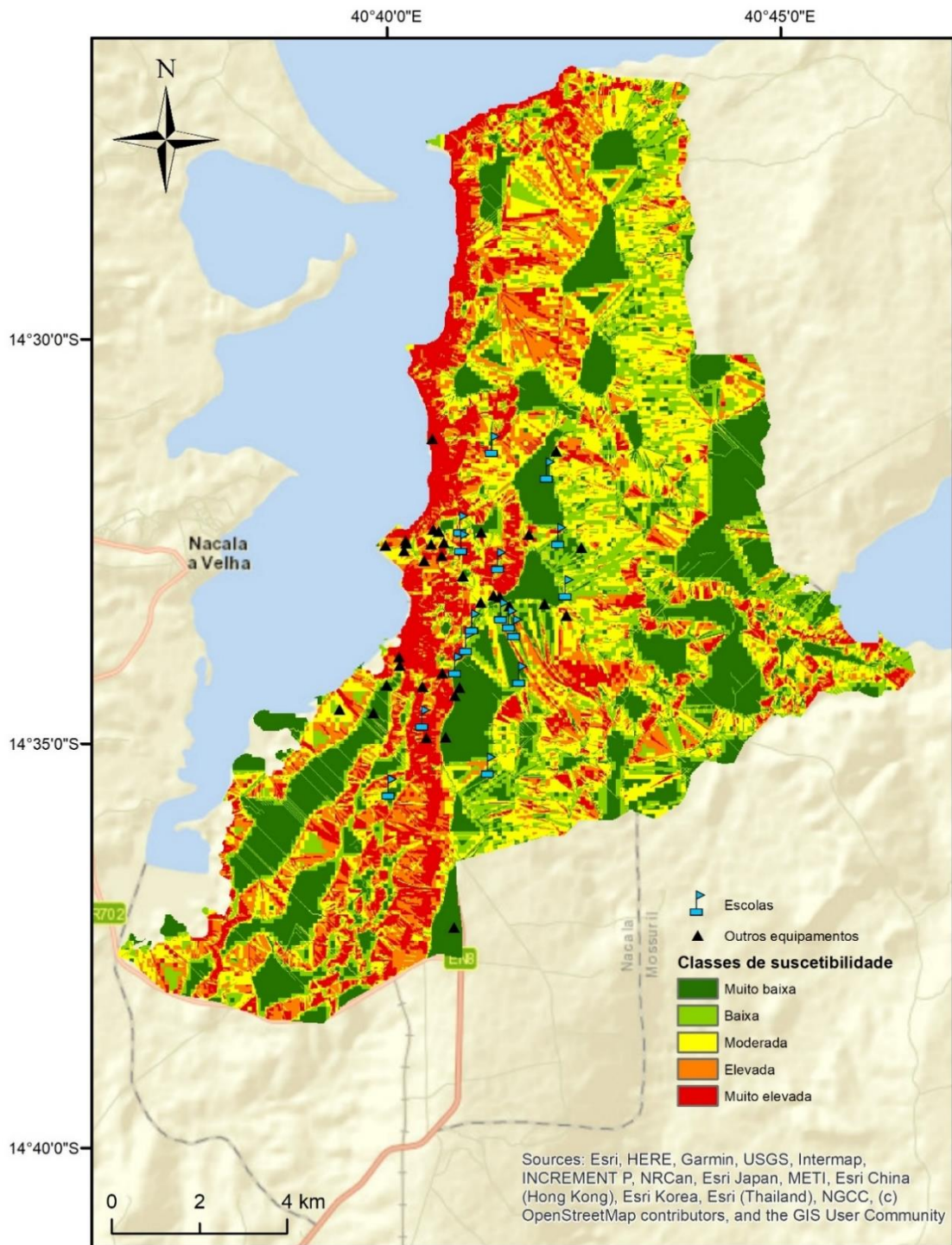


Figura 6.17: Exposição de equipamentos estratégicos, vitais e sensíveis

Quadro 6.7: Exposição dos equipamentos educacionais por classes de suscetibilidade

Nome do Equipamento Educacional	Classes de suscetibilidade				
	Muito baixa	Baixa	Moderada	Elevada	Muito elevada
EPC da Matola	0	0	1	0	0
Escola 25 de Setembro_Escola Feminina	0	0	0	1	0
EP1 Socaj	0	0	0	0	1
EP1 Nacurula	0	1	0	0	0
EP1 Triângulo	0	1	0	0	0
Campus da Universidade Pedagógica	0	0	0	1	0
Praça dos Heróis	1	0	0	0	0
Instituto Superior de Contabilidade e Gestão	1	0	0	0	0
EP2 Cidade Alta	0	1	0	0	0
EP1 Cidade Alta	0	1	0	0	0
EP1 Cristo é Vida	0	0	1	0	0
Escola III Congresso	1	0	0	0	0
EP1 de Namicuto II	1	0	0	0	0
Escola IV Congresso	1	0	0	0	0
EP1 Maiaia	0	0	0	1	0
Escola Secundária de Nacala	0	0	0	0	1
EP1 Mocone	0	0	0	1	0
Escola Mathapue Expansão	0	0	0	0	1
Escola Portuguesa	0	0	0	1	0
Número de Escolas por classe de suscetibilidade	5	4	2	5	3
%	26,3	21,0	10,5	26,3	15,8

O quadro 6.8. sistematiza a distribuição de outras 31 infraestruturas e equipamentos estratégicos, vitais e sensíveis (e.g. hospitais, fábricas, hotéis, mercados, campos desportivos, igrejas, mesquitas e cemitérios) pelas classes de suscetibilidade à erosão por ravinamento. Como no caso dos equipamentos escolares, a maior parte dos outros equipamentos considerados estratégicos, vitais e sensíveis encontra-se em áreas seguras, com suscetibilidade muito baixa ou baixa (32,2% e 12,9%, respetivamente). No entanto, 34,5% dos equipamentos localizam-se em áreas perigosas no que concerne à

erosão por ravinamento (19,4% na classe de suscetibilidade elevada e 15,1% na classe de suscetibilidade muito elevada).

Quadro 6.8: Exposição de outros equipamentos estratégicos, vitais e sensíveis por classes de suscetibilidade

Nome do Equipamento	Classes de suscetibilidade				
	Muito baixa	Baixa	Moderada	Elevada	Muito elevada
Moageira Industrial Farinal	0	0	0	0	1
Complexo Industrial da Matola 1	1	0	0	0	0
Armazens Matola1	0	0	0	1	0
Silos Matola1	0	0	0	0	1
Complexo Industrial da Matola2	1	0	0	0	0
Salinas Matola	0	1	0	0	0
Bakheresa_Grupo de Indústrias	1	0	0	0	0
Area de Armazens e Fábricas N8	1	0	0	0	0
Porto de Nacala	0	0	0	1	0
Nacala Business Hotel	1	0	0	0	0
Campo de Desportivo de Nacala	1	0	0	0	0
Condominio Autoridade Tributária	0	0	0	1	0
Silos Porto1	0	0	1	0	0
Mesquita Central	0	0	0	0	1
Hotel Maiaia	0	0	0	1	0
Comando de Bombeiros	0	0	0	1	0
Catedral de Nacala	1	0	0	0	0
CMC Nacala	0	0	1	0	0
Fábrica de Cimentos de Nacala	0	0	0	0	1
Campo de Ferroviario de Nacala	0	0	1	0	0
Terminal de Transporte Urbano	0	0	0	0	1
Mercado Namapa	1	0	0	0	0
Mercado da Alta	0	1	0	0	0
Mercado de Roupa	1	0	0	0	0
Telecomunicações de Moçambique	0	0	1	0	0
Feira	0	0	1	0	0

Centro de Saúde	0	1	0	0	0
Hospital Geral de Nacala	0	1	0	0	0
Cemitério Municipal	0	0	1	0	0
Cemitério	1	0	0	0	0
Mercado da Baixa	0	0	0	1	0
Número de Equipamentos por classe de suscetibilidade	10	4	6	6	5
%	32,2	12,9	19,4	19,4	16,1

Apesar deste quadro pouco favorável, é de realçar que a maioria dos equipamentos expostos à erosão por ravinamento apresenta uma vulnerabilidade física relativamente baixa, uma vez que as suas infraestruturas foram construídas obedecendo aos padrões de construção estabelecidos pelas autoridades municipais, o que lhes confere alguma segurança, ao contrário do que se verifica nas habitações familiares, construídas maioritariamente com materiais precários.

No entanto, apesar da resistência das infraestruturas fazer reduzir a vulnerabilidade física dos equipamentos, alguns equipamentos sensíveis caracterizam-se por propiciar elevadas concentrações de pessoas, como são os casos do Terminal de Transporte Urbano e da Mesquita Central, ambos localizados na classe de suscetibilidade muito elevada. Esta situação propicia a ocorrência de acidentes pessoais no decurso de um eventual evento erosivo com maior magnitude.

CAPÍTULO 7: AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SOCIAL NA CIDADE DE NACALA

Neste capítulo apresentam-se os resultados da avaliação da vulnerabilidade social em dois bairros amostrais da cidade de Nacala, nomeadamente Mocone e Ontupaia. O processo metodológico encontra-se descrito na secção 3.3, do capítulo 3 da presente tese.

7.1 Bairro de Mocone

7.1.1 Estrutura da População

Durante o processo de recolha de dados decidiu-se que em cada casa seria entrevistado o chefe do agregado familiar e, na ausência deste, os entrevistadores deslocar-se-iam para a casa seguinte. Este procedimento visou garantir que os dados do inquérito se reflitam ao nível dos agregados familiares, sendo certo que foi difícil definir a quantidade dos agregados e respetivas áreas de enumeração, em função das limitações dos dados populacionais disponíveis e da cartografia existente.

Deste modo, as dimensões das variáveis demográficas do estudo são referentes aos chefes dos agregados familiares. O quadro 7.1 mostra a distribuição dos chefes dos agregados familiares por grupos de idade e género. A larga maioria dos inquiridos são do sexo masculino (80%), que domina em todos os grupos etários considerados. Os agregados familiares são chefiados maioritariamente por indivíduos com mais de 44 anos (46,2%), seguido pela classe entre 36-43 anos (30,3%). Apenas 4,1% dos agregados são liderados por pessoas com idades entre 18 e 26 anos.

Quadro 7.1: Distribuição dos chefes dos agregados familiares por grupos de idade e género no bairro de Mocone

		Grupos de Idade (%)				Total (%)
		18-26	27-35	36-44	Mais de 44	
Género	Feminino	0,5	2,6	6,7	10,3	20,0
	Masculino	3,6	16,9	23,6	35,9	80,0
Total (%)		4,1	19,5	30,3	46,2	100,0

7.1.2 Perfil Educacional

O nível de escolaridade a que pertence a maior parte dos chefes de agregados familiares inquiridos no bairro de Mocone é o nível médio, totalizando 74,4%, seguido do nível superior com 14,9%. Os níveis básico, primário e alfabetização atingem em conjunto, apenas 10,8% do total (figura 7.1).

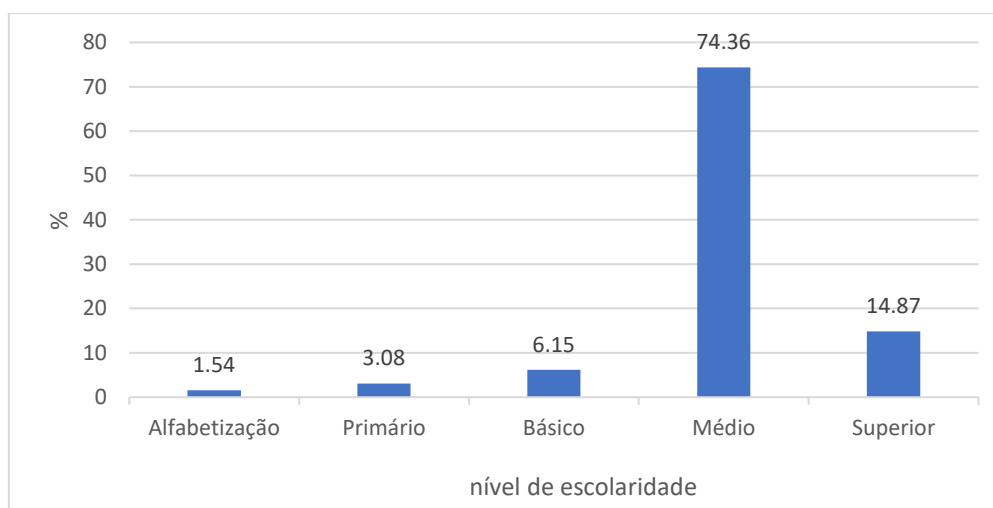


Figura 7.1: Nível de Escolaridade dos chefes dos agregados familiares no bairro de Mocone

O quadro 7.2 mostra a relação entre o nível de escolaridade e o género, evidenciando algumas assimetrias entre homens e mulheres, sendo a representação das mulheres maior nos níveis de escolaridade mais baixos (alfabetização e primário). No entanto, a representatividade dos dois géneros é muito idêntica nos níveis de escolaridade mais

altos, nomeadamente no médio e superior. Registe-se que, em termos relativos, há mais mulheres chefes de agregado familiar com formação superior.

Quadro 7.2: Nível de escolaridade por género dos chefes dos agregados familiares no bairro de Mocone

		Nível de Escolaridade (%)					Total (%)
		Alfabetização	Primário	Básico	Médio	Superior	
Género	Feminino	5,0	5,0	2,5	72,0	15,5	100,0
	Masculino	0,6	2,6	7,0	75,0	14,8	100,0

7.1.3 Situação ocupacional dos agregados

A maior parte dos inquiridos tem alguma forma de ocupação assalariada, no sector público e/ou no sector privado (62,1%), bastante acima daqueles que trabalham por conta própria (16,4%). Os chefes de agregado familiar sem ocupação representam 21,5% do total dos inquiridos (figura 7.2).

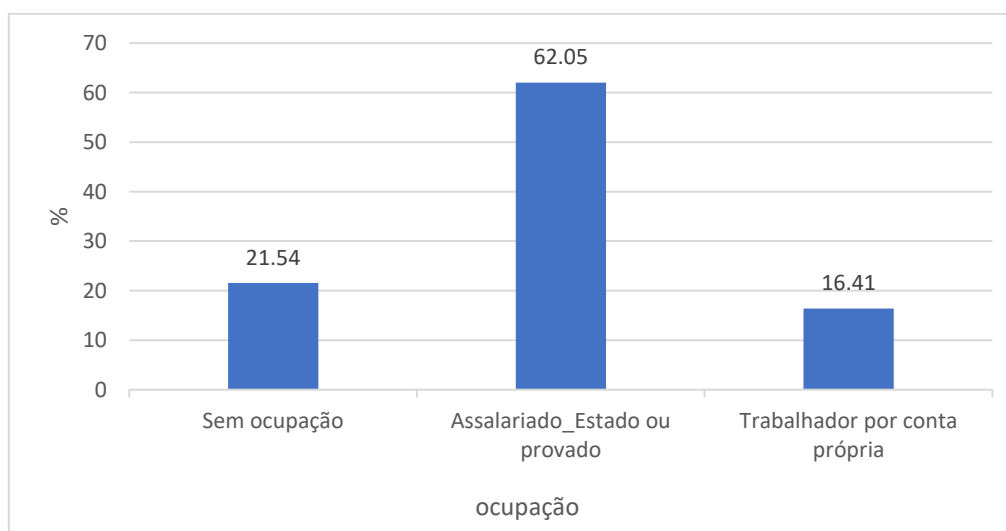


Figura 7.2: Ocupação dos chefes dos agregados familiares no bairro de Mocone

Quando comparada a ocupação em relação ao género (quadro 7.3), verifica-se que, em termos relativos, os homens destacam-se enquanto assalariados e trabalhadores por conta própria. Em contrapartida, 28% das mulheres chefes de família não têm ocupação, o que sugere que existe possibilidade deste grupo estar mais vulnerável.

Quadro 7.3: Ocupação em relação ao género dos chefes dos agregados familiares no bairro de Mocone

		Ocupação (%)			Total (%)
		Sem ocupação	Assalariado Estado ou privado	Trabalhador por conta própria	
Género	Feminino	28,0	59,0	13,0	100,0
	Masculino	19,9	62,9	17,2	100,0

7.1.4 Situação Habitacional

A maior parte dos residentes possui habitações construídas com material local com cobertura metálica (39,0%), seguida de residências construídas com material convencional não acabadas (36,9%). As casas construídas de material convencional totalmente acabadas são em número mais reduzido (22,6%). Adicionalmente, as habitações mais frágeis, construídas com material local sem cobertura metálica são as menos numerosas no bairro estudado (1,5%), de acordo com a amostragem efetuada (quadro 7.4).

Quadro 7.4: Tipo de Residência no bairro de Mocone

	Número de casos	%
Material local sem cobertura metálica	3	1,5
Material local com cobertura metálica	76	39,0
Material convencional não acabada	72	36,9
Material convencional acabada	44	22,6
Total	195	100,0

O Quadro 7.5 mostra a relação entre a ocupação dos chefes dos agregados familiares e o tipo de construções no bairro Mocone. A maior parte das pessoas sem ocupação/emprego, têm casas feitas de material local, mas com cobertura metálica (16,4%). As casas feitas de material convencional (com acabamentos completos ou não) são mais habituais nos agregados assalariados (27,2%).

Quadro 7.5: Relação entre ocupação dos chefes dos agregados familiares e tipo de residência no bairro de Mocone

		Tipo de Residência (%)				Total (%)
		Material local sem cobertura metálica	Material local com cobertura metálica	Material convencional não acabada	Material convencional acabada	
Ocupação (%)	Sem ocupação	1,5	16,4	2,6	1,0	21,5
	Assalariado_ Estado ou privado	0,0	18,5	27,2	16,4	62,1
	Trabalhador por conta Própria	0,0	4,1	7,1	5,2	16,4
Total (%)		1.5	39.0	36.9	22.6	100,0

Os talhões para ocupação residencial no município de Nacala têm uma área de 600m², de acordo com o estabelecido pelo Código de Postura Municipal. Todas as implantações com área diferente, inferior ou superior ao padrão estabelecido podem ser resultado de uma ocupação irregular. No caso das implantações com área superior existe a possibilidade de terem resultado da junção de dois ou mais talhões para ocupação residencial. Como se observa no quadro 7.6, apenas 10,6% das residências ocupam 600 m², respeitando assim o padrão estabelecido pelas autoridades municipais.

A esmagadora maioria das residências ocupam áreas abaixo de 600 m² (82,6%), tendência que se verifica em todos os tipos de residência. No entanto, as residências com áreas superiores a 600 m² são predominantemente construídas com material convencional (acabadas ou não acabadas), o que indicia uma maior qualidade e resistência à erosão.

Quadro 7.6: Relação entre tipo de residência e área ocupada no bairro de Mocone

Tipo de Residência (%)	Área ocupada pela residência (%)			Total (%)
	<600m ²	600m ²	>600m ²	
Material local sem cobertura metálica	1,3	0,2	0,0	1,5
Material local com cobertura metálica	30,8	4,0	4,2	39,0
Material convencional não acabada	32,8	3,7	0,4	36,9
Material convencional acabada	17,7	2,7	2,2	22,6
Total (%)	82,6	10,6	6,8	100,0

7.1.5 Percepção do risco de erosão

As percepções de risco variam entre indivíduos de acordo com o tipo de riscos bem como da interpretação subjetiva do risco por parte do indivíduo. De acordo com Winsen *et al.* (2014), é de esperar que indivíduos com alto nível de percepção do risco tenham maior possibilidade de se envolver em ações de gestão e controle do risco.

Para verificar o nível de percepção do risco de erosão, os indivíduos inqueridos foram convidados a fazer uma avaliação do nível de erosão nos seus bairros, bem como da qualidade da acessibilidade das vias.

A figura 7.3 ilustra a avaliação que os indivíduos do bairro de Mocone fazem das vias de acesso. Mais de 94% dos inquiridos consideram as vias como estando em más condições, enquanto somente 5,6% consideram as vias num estado de conservação razoável.

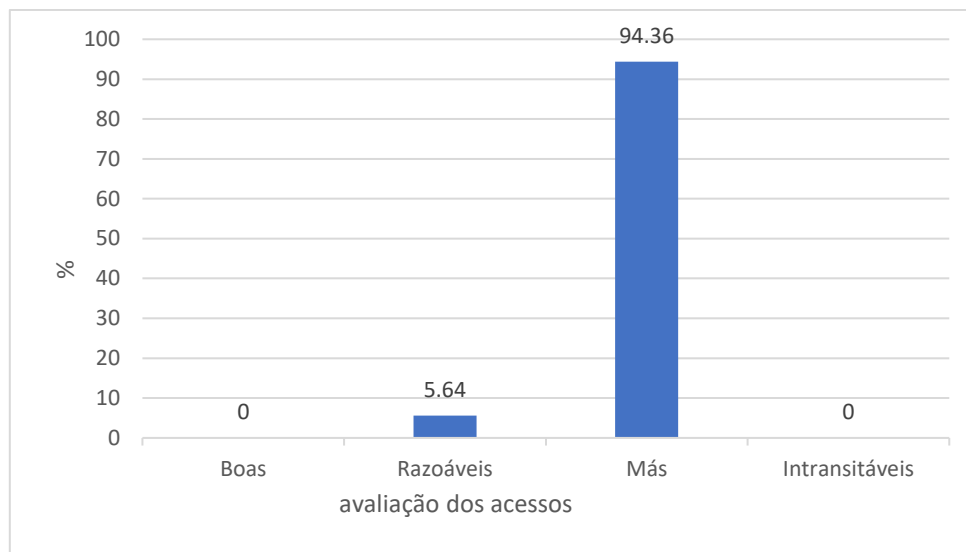


Figura 7.3: Avaliação dos acessos por parte dos chefes dos agregados familiares no bairro de Mocone

A avaliação feita sobre a importância da erosão (quadro 7.7), mostra que quase todos os inquiridos consideram que a erosão é muito intensa no seu bairro. Somente dois indivíduos em 195 (1%) desvalorizam a importância da erosão na área de estudo.

Quadro 7.7: Avaliação da erosão por parte dos chefes dos agregados familiares no bairro de Mocone

		Número de respostas	%
Erosão	pouco intensa	2	1,0
	muito intensa	193	99,0
Total		195	100,0

7.1.6 Medidas de Mitigação do risco de erosão

O quadro 7.8 apresenta as medidas de mitigação à erosão, que correspondem às ações que os indivíduos inquiridos implementam para reduzir a erosão no seu bairro. Todos os inquiridos declararam envolver-se em alguma forma de ação de redução da erosão no

seu bairro, sendo que 49,2% colocam sacos de areia para obliteração das ravinas, enquanto 40,0% depositam resíduos sólidos nas ravinas, com o mesmo fim. Um número mais reduzido de respostas (9,7%) indica a criação de barreiras com troncos e apenas 1,0% comunica ao Conselho Municipal da Cidade de Nacala para este fazer alguma intervenção.

Quadro 7.8: Ações de intervenção por parte dos chefes dos agregados familiares no bairro de Mocone

	Número de respostas	%
Deitar lixo	78	40,0
Colocar sacos de areia	96	49,2
Criar barreiras com troncos	19	9,7
Comunicar ao CMCN	2	1,0
Total	195	100,0

7.2 Bairro de Ontupaia

7.2.1 Estrutura da População

O Quadro 7.9 mostra a distribuição dos chefes dos agregados familiares por grupos de idade e género no bairro de Ontupaia. Dos 187 inquiridos, a maior parte é do sexo masculino (57,2%) contra 42,8% do sexo feminino, o que mostra algum equilíbrio quando comparado com o bairro de Mocone, onde a larga maioria dos inquiridos é do sexo masculino. Igualmente em contraste com o bairro de Mocone, os agregados familiares em Ontupaia são chefiados maioritariamente por indivíduos na faixa etária de 36-44 (50,3%), seguido por indivíduos de 27-35 anos (29,9%). As classes com mais de 44 anos e entre 18-26 anos estão menos representadas, com 12,8% e 7%, respetivamente.

Quadro 7.9: Distribuição dos chefes dos agregados familiares por grupos de idade e género Ontupaia

		Grupos de Idade (%)				Total (%)
		18-26	27-35	36-44	Mais de 44	
Género	Feminino	3,2	3,2	27,8	8,6	42,8
	Masculino	3,7	26,7	22,5	4,3	57,2
Total (%)		6,9	29,9	50,3	12,9	100,0

7.2.2 Perfil Educacional

A figura 7.4 mostra que o nível de escolaridade a que pertence a maior parte dos chefes de agregados familiares inquiridos no bairro de Ontupaia é o nível médio, totalizando 68,4%, seguido do nível superior com 22,4% e o nível básico com 9,0%. É de realçar a ausência de chefes de agregados familiares nas duas classes de escolaridade mais baixas (alfabetização e primário).

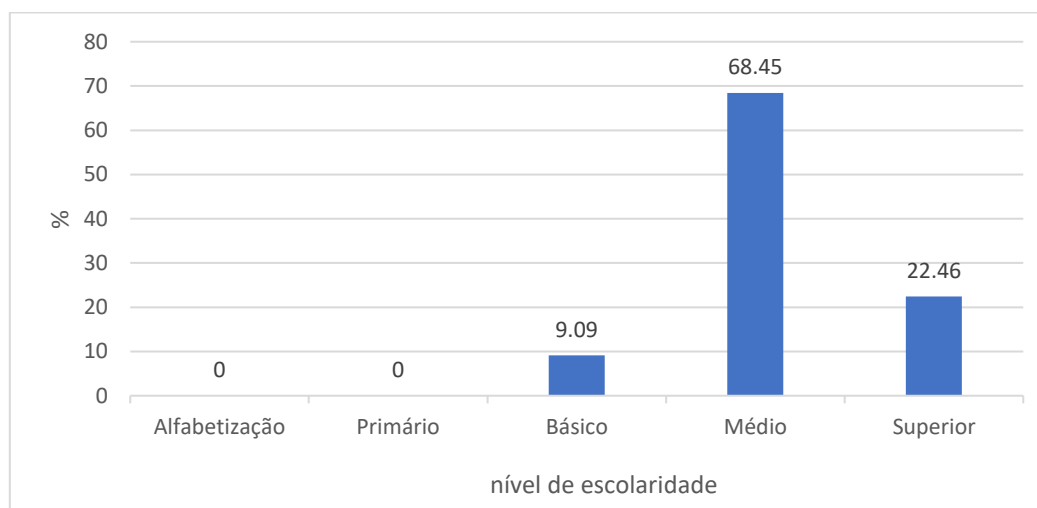


Figura 7.4: Nível de Escolaridade dos chefes dos agregados familiares no Bairro de Ontupaia

A relação entre o nível de escolaridade e o género (quadro 7.10) mostra que o género masculino é dominante nos níveis médio e básico (69,5% e 9,1% respetivamente),

enquanto o género feminino é predominante no nível superior (30,4%) sobre o masculino (21,3%), acentuando uma tendência já observada no bairro de Mocone.

Quadro 7.10: Nível de escolaridade por género dos chefes dos agregados familiares no bairro de Ontupaia

		Nível de Escolaridade (%)					Total (%)
		Alfabetização	Primário	Básico	Médio	Superior	
Género	Feminino	0,0	0,0	8,7	60,9	30,4	100,0
	Masculino	0,0	0,0	9,1	69,5	21,3	100,0

7.2.3 Situação ocupacional dos agregados

Tal como em Mocone, a maior parte dos inquiridos tem alguma forma de ocupação assalariada no sector público e/ou no sector privado (71,7%), sendo menor o número dos que trabalham por conta própria (19,2%). O total de pessoas sem nenhuma ocupação é de apenas 9,1% (figura 7.5), valor bastante inferior ao registado em Mocone.

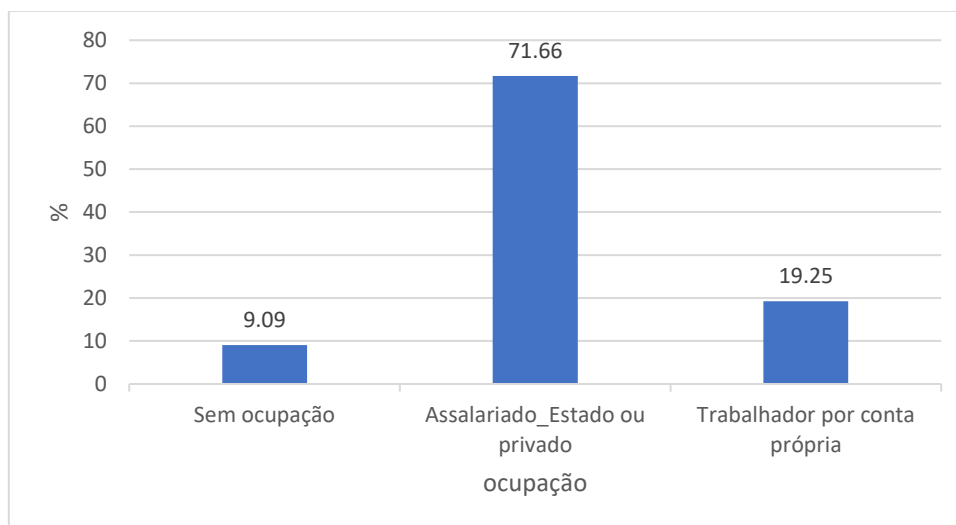


Figura 7.5: Ocupação dos chefes dos agregados familiares no bairro de Ontupaia

A relação entre género e ocupação (quadro 7.11) mostra que os homens ocupam posições de assalariado em maior número do que as mulheres (72,6% contra 65,3%). Pelo contrário, há mais mulheres trabalhadoras por conta própria do que homens (21,7% contra 18,9%). Este indicador de eventual maior empreendedorismo por parte das mulheres no bairro de Ontupaia pode estar relacionado com o maior nível de escolaridade referido na secção anterior.

Quadro 7.11: Ocupação em relação ao género dos chefes dos agregados familiares no bairro de Ontupaia

		Ocupação (%)			Total (%)
		Sem ocupação	Assalariado Estado ou privado	Trabalhador por conta própria	
Género	Feminino	13,0	65,3	21,7	100,0
	Masculino	8,5	72,6	18,9	100,0

7.2.4 Situação Habitacional

De acordo com a amostragem efetuada, a situação habitacional no bairro de Ontupaia (quadro 7.12) mostra que 83,4% das habitações são construídas com material convencional, encontrando-se 28,9% concluídas e 54,5% inacabadas. As habitações construídas com material local com cobertura metálica representam somente 16,6% do total, e não foi encontrado, dentro da amostragem, nenhum agregado familiar cuja residência fosse de material local e sem cobertura metálica, o que contrasta com o bairro de Mocone, onde as casas construídas com material convencional totalmente acabadas são em número mais reduzido.

Quadro 7.12: Tipo de Residência no bairro de Ontupaia

	Número de casos	%
Material local sem cobertura metálica	0	0,0
Material local com cobertura metálica	31	16,6
Material convencional não acabada	102	54,5
Material convencional acabada	54	28,9
Total	187	100,0

Do total de inquiridos, 41,0% de indivíduos assalariados no sector público ou privado possuem residências contruídas e não totalmente acabadas com material convencional, 22,7% possuem casas construídas com material convencional e acabadas. A maior parte dos inquiridos sem ocupação formal possui casas contruídas de material local com cobertura metálica (5,6%), enquanto 3,4% possui residências com material convencional, não acabadas (2,2%) e acabadas (1,2%). Os trabalhadores por conta própria possuem residências com material convencional num total de 16,3%, entre acabadas e não acabadas. Os dados evidenciam a existência de alguma relação entre a capacidade de geração de renda e o tipo de residência (quadro 7.13).

Quadro 7.13: Relação entre ocupação dos chefes dos agregados familiares e tipo de residência no bairro de Ontupaia

		Tipo de Residência (%)				Total (%)
		Material local sem cobertura metálica	Material local com cobertura metálica	Material convencional não acabada	Material convencional acabada	
Ocupação (%)	Sem ocupação	0,0	5,6	2,2	1,2	9,0
	Assalariado Estado ou privado	0,0	8,0	41,0	22,7	71,7
	Trabalhador por conta Própria	0,0	3,0	11,3	5,0	19,3
Total (%)		0,0	16,6	54,5	28,9	100,0

No bairro de Ontupaia, segundo a amostragem (quadro 7.14), a esmagadora maioria das residências encontra-se em espaços de 600m² (76,6%), enquanto 17,5% ocupam áreas superiores a 600m². A ocupação de espaços com áreas de 600m² será o resultado da existência de um Plano de Pormenor implementado neste bairro, o que facilita o acesso a espaços devidamente parcelados.

Quadro 7.14: Relação entre tipo de residência e área ocupada no bairro de Ontupaia

Tipo de Residência (%)	Área ocupada pela residência (%)			Total (%)
	<600m ²	600m ²	>600m ²	
Material local sem cobertura metálica	0,0	0,0	0,0	0,0
Material local com cobertura metálica	1,3	11,6	3,7	16,6
Material convencional não acabada	4,6	38,6	11,3	54,5
Material convencional acabada	0,0	26,4	2,5	28,9
Total (%)	5,9	76,6	17,5	100,0

7.2.5 Perceção do risco de erosão

A figura 7.6 representa a avaliação que os indivíduos da amostragem no bairro de Ontupaia fazem das vias de acesso. A existência dum parcelamento permite a existência de vias de acesso, não sendo surpreendente que do total da amostragem 90,9% considerem as vias como sendo razoáveis e 9,1% como estando em boas condições, ao contrário do verificado no bairro de Mocone onde, por falta de parcelamento, as poucas vias existentes são consideradas como más pela esmagadora maioria dos inquiridos.

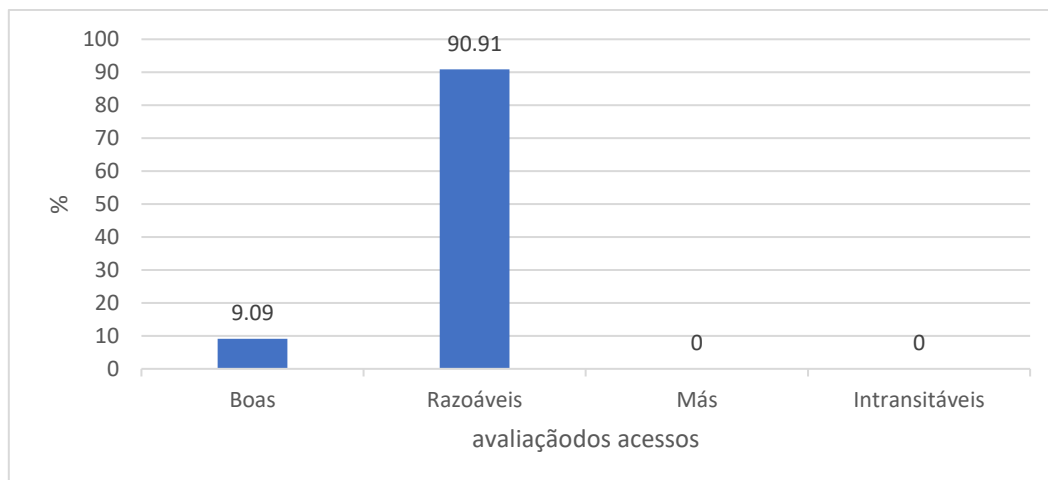


Figura 7.6: Avaliação dos acessos feita pelos chefes dos agregados familiares no bairro de Ontupaia

O quadro 7.15 apresenta a avaliação da percepção da erosão por ravinamento pelos residentes do bairro de Ontupaia. A maioria dos inquiridos (82,9%) considera a erosão pouco intensa, enquanto apenas 17,1% atribui maior importância à erosão.

Quadro 7.15: Avaliação da erosão por parte dos chefes dos agregados familiares no bairro de Ontupaia

		Número de respostas	%
Erosão	pouco intensa	155	82,9
	muito intensa	32	17,1
Total		187	100,0

7.2.6 Medidas de Mitigação do risco de erosão

Todos os inquiridos envolvem-se em alguma forma de ação de redução da erosão no seu bairro (quadro 7.16), sendo que 89,3% colocam sacos de areia para obliteração nas

ravinas e 10,7% comunica ao Conselho Municipal da Cidade de Nacala para fazer alguma intervenção.

Quadro 7.16: Ações de intervenção por parte dos chefes dos agregados familiares no bairro de Ontupaia

	Número de respostas	%
Deitar lixo	0	0,0
Colocar sacos de areia	167	89,3
Criar barreiras com troncos	0	0,0
Comunicar ao CMCN	20	10,7
Total	187	100,0

7.3 Análise comparativa e discussão da Vulnerabilidade nos dois bairros amostrais

Dos resultados da amostragem nos bairros de Mocone e Ontupaia verifica-se a existência de claras distinções nos indicadores relacionados com a estrutura populacional, educação, emprego e tipo de habitação. As razões que podem explicar as diferenças resultam da génese e contexto de evolução dos próprios bairros.

O bairro de Mocone resultou dum processo de expansão do núcleo urbano, realizado essencialmente por pessoas que se instalaram em Nacala no período da guerra civil (1977-1992) ou vindos de outros distritos à procura de emprego e sem muitas condições financeiras para uma habitação condigna. Pelo contrário, o bairro de Ontupaia é de implantação mais recente e resultou da grande procura de espaços para habitação, acompanhado pela elaboração de um plano de pormenor em 2011.

7.3.1 Estrutura da População

A distribuição da população por género e idade são indicadores demográficos muito importantes e exercem um papel importante na planificação para o desenvolvimento da

vida económica e cultural da sociedade moçambicana. A distribuição percentual dos inquiridos (figura 7.7), mostra que o bairro de Mocone é o mais envelhecido, com 46,2% dos chefes dos agregados familiares com idade superior a 44 anos. O bairro de Ontupaia tem mais inquiridos na faixa dos 36-44 anos (50,3% do total). Como já foi referido, Mocone é um bairro antigo e ocupado há mais tempo, o que justifica a presença de pessoas mais velhas em maior número. Pelo contrário, o bairro de Ontupaia é relativamente novo, sendo bastante procurado por jovens que, por via de regra, são recém-formados ou quadros médios que investem na primeira habitação.

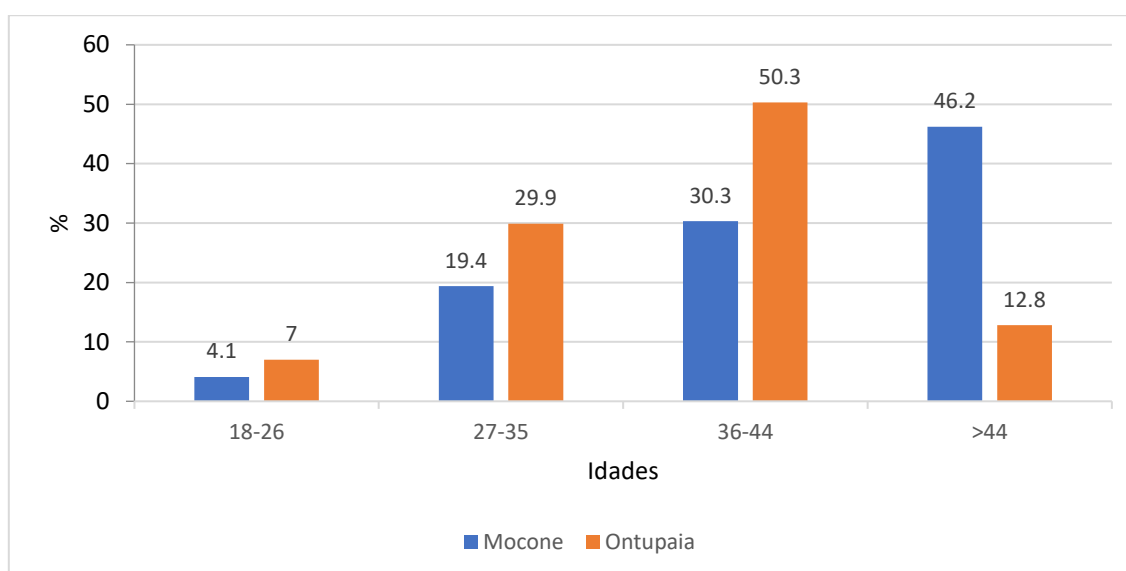


Figura 7.7: Distribuição etária dos chefes dos agregados familiares nos dois bairros estudados

7.3.2 Perfil Educacional

A educação é um indicador determinante dos níveis de vulnerabilidade numa sociedade. A educação condiciona o acesso a oportunidades, que serão determinantes para a capacidade de resposta a um evento perigoso. Como referem Hummel & Van (2013), a educação formal desempenha um papel importante na redução da vulnerabilidade ao stress ambiental, porque as pessoas com um nível mais alto de educação são geralmente

menos dependentes de atividades económicas ambientalmente sensíveis, como a agricultura.

Em Moçambique, o direito à educação é constitucional. Com efeito, segundo o artigo 88, a educação constitui direito e dever de cada cidadão e cabe ao Estado promover a extensão da educação à formação profissional contínua e a igualdade de acesso de todos os cidadãos ao gozo deste direito (Constituição da República de Moçambique, 2004). O nível de escolaridade a que pertence a maior parte dos chefes de agregados familiares amostrados é o nível médio, totalizando 74,4% em Mocone e 68,5% em Ontupaia (figura 7.8).

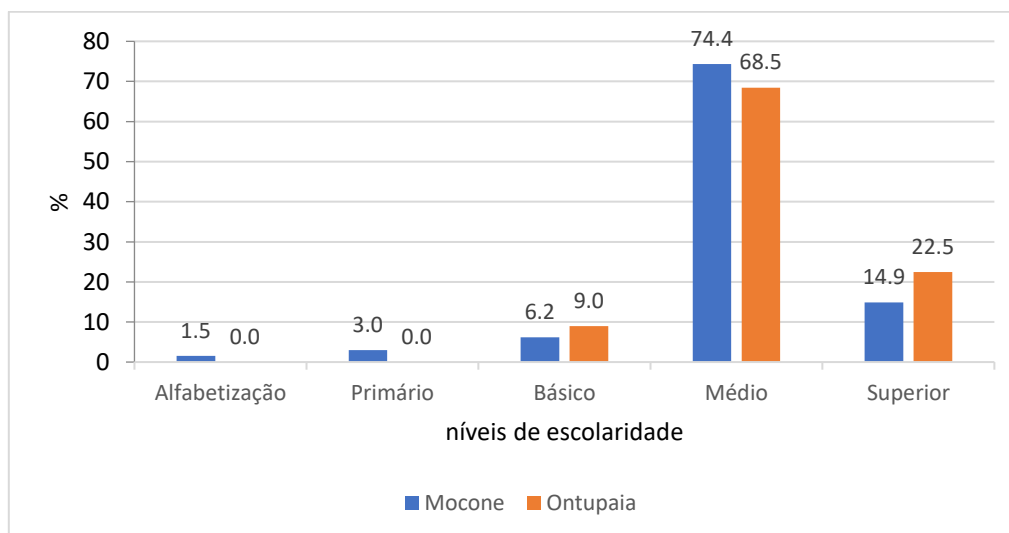


Figura 7.8: Nível de escolaridade dos chefes dos agregados familiares nos dois bairros estudados

No entanto, existem também diferenças entre os dois bairros, com destaque para o maior número de indivíduos com nível superior no bairro de Ontupaia. Adicionalmente, no bairro de Ontupaia o nível de escolaridade mais baixo é o básico, enquanto em Mocone os indivíduos com níveis de escolaridade mais reduzidos (primário e alfabetização) correspondem a quase 5% do total.

O cruzamento do nível de escolaridade com o género dos chefes de família mostra que no bairro de Mocone a percentagem de mulheres com níveis de escolaridade mais baixo (alfabetização e primário) é mais elevada do que nos homens. No entanto, a representatividade das mulheres com nível de escolaridades superior é ligeiramente mais elevada no género feminino. Esta tendência acentua-se de modo marcado no bairro de Ontupaia, onde a percentagem de mulheres com escolaridade superior é superior à dos homens em quase 10 pontos. Dweyer *et al.*, (2004), referem que se uma pessoa é considerada vulnerável, um programa de educação pode reduzir a sua vulnerabilidade. Partindo deste pressuposto, se o nível de escolarização de um grupo social for reduzido, isso pode implicar maior vulnerabilidade para esse grupo.

As assimetrias entre homens e mulheres têm-se verificado em todo o país de maneira global. Em termos históricos, as oportunidades dadas às crianças para acesso a educação em Moçambique foram sempre maiores para os meninos que para as meninas. Um estudo conduzido pelo INE em 2015 mostrou que as províncias da região norte e centro, com a exceção da província de Tete, apresentam disparidade a favor dos alunos do sexo masculino. Nas províncias da região sul verifica-se equilíbrio de género e há paridade na Maputo Cidade (INE, 2015). Adicionalmente, as taxas dos alunos do sexo masculino que concluem os vários níveis de ensino são ligeiramente mais elevadas, havendo muitas estudantes do sexo feminino que não conseguem terminar os seus níveis de formação. No mesmo sentido, um estudo sobre género no ensino superior em Moçambique destacou que, em 2012, do total de estudantes matriculados nas instituições de ensino superior, 60,5% eram homens e 39,5 % mulheres (António e Hunguana, 2013).

A situação descrita para a realidade moçambicana ajuda a explicar o número relativamente elevado de mulheres com baixo nível de escolaridade observado no bairro de Mocone. No entanto, a elevada representatividade de mulheres chefes de família com escolaridade superior é aparentemente contraditória face à situação descrita para o país. Foi verificado em ambos os bairros que o papel de chefe de família é desempenhado predominantemente por homens, sendo esta tendência mais acentuada em Mocone. Neste quadro, é de admitir que o assumir da liderança familiar por parte das mulheres, ocorrendo minoritariamente, seja facilitada quando o nível de escolaridade das mulheres

é mais elevado. Assim, é provável que a amostragem dos chefes de família não seja suficientemente representativa da realidade social nos bairros amostrados, evidenciando um viés no que respeita à escolaridade superior da população feminina, que poderá estar sobrestimada. Não constituindo este um assunto central desta tese, será necessário efetuar investigação adicional sobre este tema futuramente.

7.3.3 Situação ocupacional dos agregados

A literatura sugere que a ocupação é uma dimensão importante da vulnerabilidade. Como referem Dweyer et al, (2004), a ocupação ou emprego, independentemente da renda, indica que uma pessoa faz parte de uma rede de pessoas e tem a capacidade de ganhar dinheiro, sendo que ambas são importantes na reação ao impacto de um perigo natural.

A figura 7.9 mostra que a maior parte dos inquiridos tem alguma forma de ocupação assalariada (62,1% em Mocone e 71,7% em Ontupaia) ou trabalha por conta própria (16,4% em Mocone e 19,2% em Ontupaia). Os chefes de família sem ocupação representam 9,0% do total em Ontupaia e ascendem a 21,5% em Mocone.

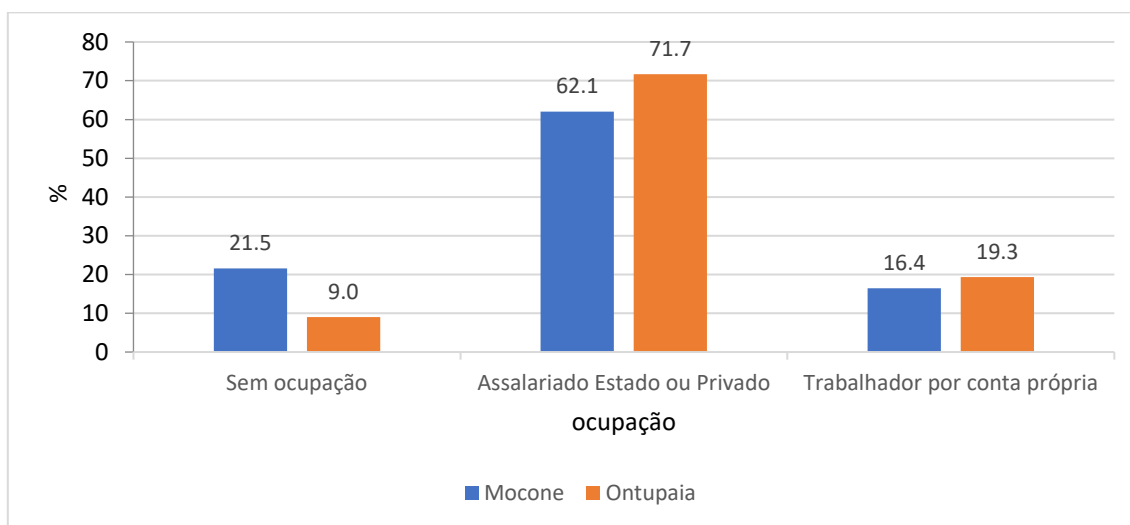


Figura 7.9: Ocupação dos chefes dos agregados familiares nos dois bairros estudados

Registe-se que, no bairro de Mocone, as mulheres sem ocupação representam 28% do total de mulheres chefes de família, enquanto nos homens esse valor não atinge 20%. No bairro de Ontupaia os resultados são mais baixos, verificando-se que as mulheres sem ocupação representam apenas 13% do número total das mulheres chefes de família. No entanto, este valor é mais elevado do que o observado nos homens chefes de família desocupados (8,5% do total). Estes dados estão em linha com uma tendência nacional observada em Moçambique, onde há mais pessoas do sexo masculino economicamente ativas, que tenham no mínimo ensino secundário (INE, 2015).

Tendo em conta o perfil educacional dos inquiridos, também se pode dizer com alguma segurança que, em bairros mais antigos como o de Mocone, devido ao acesso mais reduzido à educação, as mulheres acabam ficando sem capacidade suficiente para concorrer ao mercado de emprego cada vez mais competitivo, ficando muitas vezes desempregadas ou com empregos mais “subalternos” em relação aos homens, reduzindo a sua capacidade de renda. Este facto pode fazer aumentar a sua vulnerabilidade, através da redução da capacidade de resposta e resiliência, aquando da ocorrência de uma ameaça.

7.3.4 Situação Habitacional

Para a análise da situação habitacional recorreremos ao conceito de vulnerabilidade estrutural e à área ocupada pela residência do agregado. Sob o ponto de vista estrutural, a ADPC (2017) considera a existência de alguns fatores determinantes da vulnerabilidade, nomeadamente o tipo de construção e os materiais empregues na construção. Na componente de tipologia de construção são consideradas casas de adobe, alvenaria, alvenaria de pedra, alvenaria de cimento-bloco, e armação de concreto, por serem os principais tipos de construção civil em cidades Moçambicanas.

O tipo de residência observado nos dois bairros é bastante revelador das diferenças existentes entre eles (figura 7.10). Enquanto a maior parte dos inquiridos do bairro de Mocone (39,0%) possui habitações construídas com material local com cobertura

metálica, no bairro de Ontupaia, a maior parte dos inquiridos tem residências construídas com material convencional não acabadas (54,5%) e totalmente acabadas (28,9%). Adicionalmente, não foi registado em Ontupaia qualquer caso de residência com material local sem cobertura metálica.

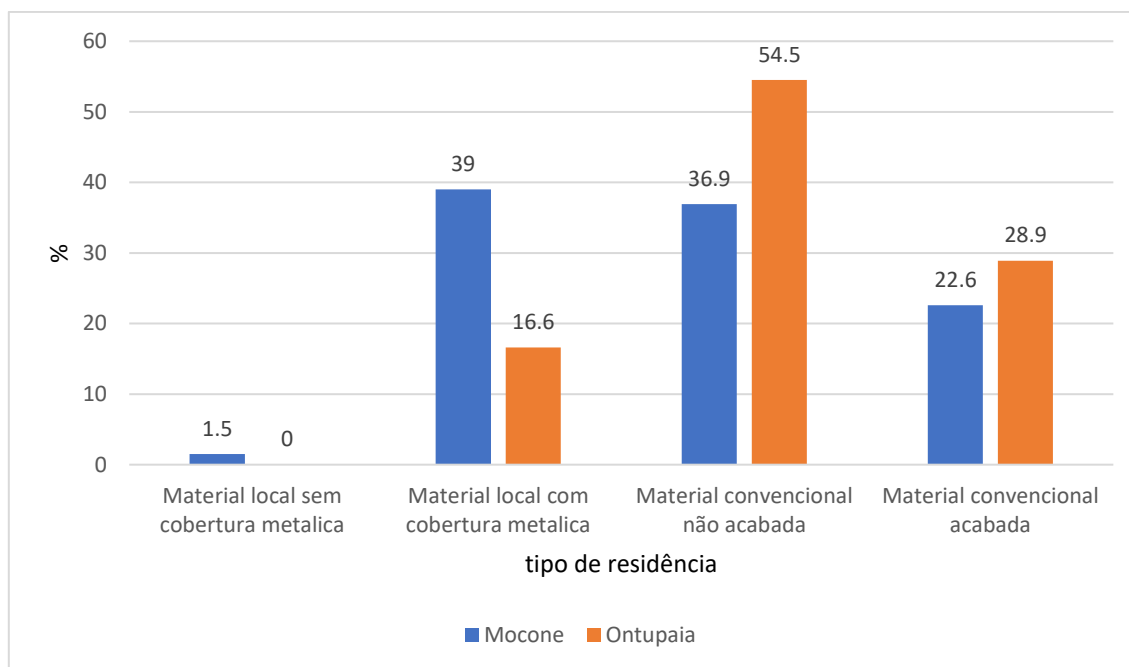


Figura 7.10: Tipo de Residência nos dois bairros estudados

A existência de residências construídas com material local é reveladora da incapacidade dos seus proprietários em obter o material convencional. À medida que as condições económicas melhoram num agregado, as casas passam a ser cobertas por chapas (normalmente de zinco) e serão substituídas por material convencional, na medida da melhoria das condições económicas.

Há também claras diferenças no tamanho das áreas ocupadas pelas residências nos dois bairros (figura 7.11). Em Mocone foi detetada uma situação dominante de ocupação irregular, caracterizada por residências construídas em áreas menores do que 600 m² (83,6% do total), enquanto em Ontupaia observa-se o resultado de um processo de parcelamento adequado, em que as residências na sua maior parte (76,6% do total) estão implantadas em áreas padronizadas de 600m².

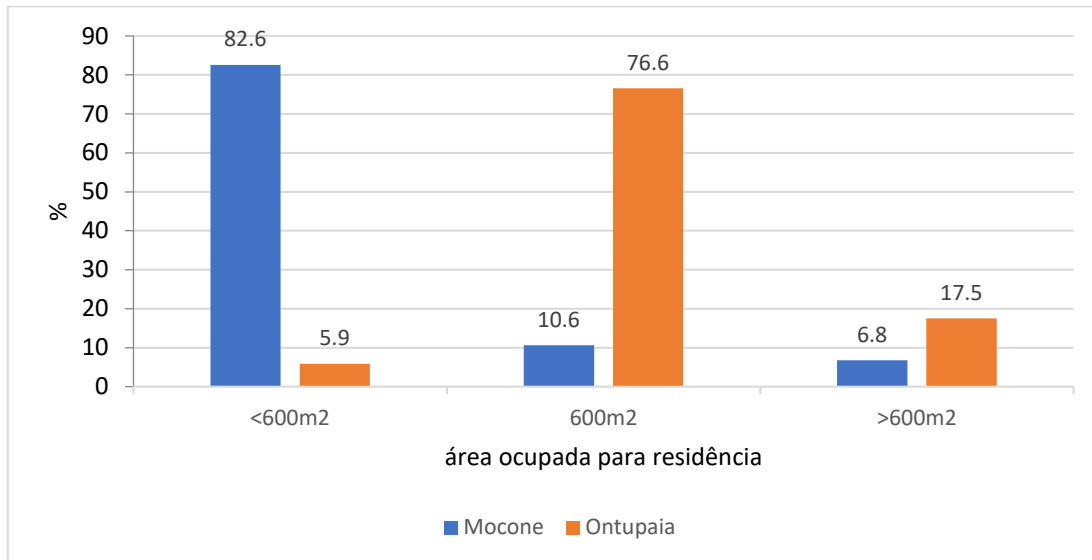


Figura 7.11: Área ocupada pelas residências nos dois bairros estudados

A ocupação de espaços menores para habitação implica não só maior densidade nos bairros, mas propicia também o desordenamento territorial e a ocupação de áreas potencialmente perigosas, nomeadamente aquelas onde se verifica a concentração do escoamento das águas de escorrência superficial, que deveriam estar desocupadas para facilitar o escoamento natural.

A ocupação em áreas padronizadas no bairro de Ontupaia pode também associar-se ao tipo de casas maioritariamente feitas de material convencional, ao contrário do que acontece em Mocone, onde as casas são maioritariamente constituídas de material local. Normalmente, quando o território do bairro se encontra parcelado e com acessos estruturados, há incentivos para investimentos em habitações duradouras e as construções são devidamente autorizadas. Em contrapartida, áreas de ocupação espontânea não oferecem incentivo para construção de habitações duradouras, uma vez que estas não são autorizadas pelas autoridades municipais. Adicionalmente, verifica-se que, em regra, as famílias que têm capacidade económica para construir com material convencional tendem a evitar as áreas de ocupação espontânea.

7.3.5 Percepção do risco de erosão

As percepções de risco variam entre indivíduos de acordo com tipo de riscos a que o indivíduo está exposto, mas também devido à interpretação subjetiva do risco.

Os indivíduos nos dois bairros avaliam a erosão mediante a realidade existente, sendo que a quase totalidade dos inquiridos no bairro de Mocone (99%) considera que a erosão por ravinamento é muito intensa, o que contrasta com uma muito menor consideração pelo processo erosivo no bairro de Ontupaia, onde apenas 17% dos inquiridos considera a existência de uma erosão por ravinamento muito intensa. Esta percepção da intensidade dos processos erosivos está perfeitamente alinhada com a suscetibilidade avaliada para estes bairros, sendo que a expressão territorial das duas classes de suscetibilidade mais altas (elevada e muito elevada) é de 53% em Mocone, enquanto em Ontupaia é de apenas 21%.

A distinta incidência da erosão por ravinamento manifesta-se no estado de conservação das vias, que se encontram mais degradadas no bairro de Mocone. A este respeito, a apreciação efetuada por parte dos chefes de família é muito distinta: 94,4% dos inquiridos em Mocone consideram as vias como estando em más condições, enquanto que 90,9% dos inquiridos em Ontupaia as consideram razoáveis (figura 7.12).

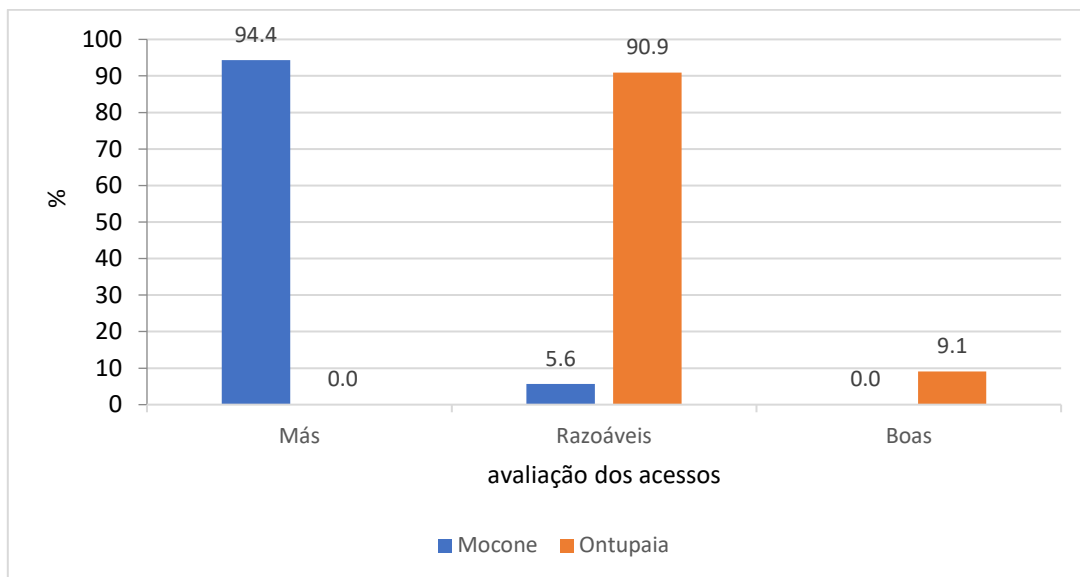


Figura 7.12: Avaliação dos acessos feita pelos chefes dos agregados familiares nos dois bairros estudados

7.3.6 Medidas de Mitigação do risco de erosão

Os inquiridos nos dois bairros revelaram realizar alguma forma de intervenção em caso de ocorrência de erosão por ravinamento (quadro 7.17), sendo que a colocação de sacos de areia constitui a ação mais comum (49,2% em Mocone e 89,3% em Ontupaia). Adicionalmente, de entre os resultados obtidos há dois aspetos que merecem destaque. Em primeiro lugar, 40% dos indivíduos usam as ravinas como locais de deposição de resíduos sólidos em Mocone, o que não só é inapropriado para redução do risco de erosão, como também cria condições péssimas de salubridade. Em segundo lugar, cerca de 11% dos residentes no bairro de Ontupaia comunicam ao Conselho Municipal em caso de erosão, revelando algum conhecimento das responsabilidades e alguma confiança naquela instituição.

Quadro 7.17: Ações de intervenção por parte dos chefes dos agregados familiares nos dois bairros estudados

	Percentagem por bairro	
	Mocone	Ontupaia
Deitar lixo	40,0	0,0
Colocar sacos de areia	49,2	89,3
Criar barreiras com troncos	9,7	0,0
Comunicar ao CMCN	1,0	10,7
Total	100,0	100,0

Em suma, analisada a situação de vulnerabilidade social nos bairros amostrais, observam-se contrastes em todos os indicadores analisados, que permitem concluir que a vulnerabilidade social no bairro de Mocone é mais elevada do que em Ontupaia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Moçambique tem sido atingido por catástrofes naturais, algumas com consequências devastadoras. O perfil do risco de Moçambique, estabelecido a partir da informação contida nas Bases de Dados *Desinventar*, *Emergency Events Database -CRED-EM-DAT* é caracterizado pela ocorrência de cheias, secas e ciclones. Adicionalmente, existem ocorrências localizadas de tremores de terra, erosão e deslizamento de terra, epidemias e incêndios florestais. Num período de 37 anos (1980-2017) a EMDAT registou 94 catástrofes, que incluem 29 eventos de cheias, 28 epidemias, 21 ciclones e 12 secas, a que se acrescentam eventos isolados de incêndios florestais, tremores de terra, deslizamentos de terra e infestação por insetos.

A base de dados *Desinventar* contém informação consolidada sobre ocorrências em Moçambique cobrindo o período de 1979 a 2012. Nesta base, estão registadas 5075 ocorrências, que incluem 1127 casos de cheias progressivas e cheias rápidas, 668 epidemiais, 190 ciclones e 927 secas. A base de dados *Desinventar* é bastante mais completa do que a EM-DAT, mas as diferenças nos quantitativos apresentados são largamente explicadas pelo facto da *Desinventar* agregar ocorrências (e.g. locais que foram afetados por uma determinada cheia rápida), enquanto a EM-DAT agrega eventos (e.g. cheias de fevereiro-março 2000), sendo que cada evento agrupa várias ocorrências.

No caso das cheias, destaca-se a localização geográfica do território moçambicano, na foz de nove rios internacionais. As secas estão associadas a zonas áridas e semiáridas e assumem uma importância crescente num contexto de alterações climáticas. Por último, os ciclones tropicais fazem sentir a sua influência ao longo de uma zona costeira muito extensa.

O perfil de riscos da cidade de Nacala foi elaborado a partir da base *Desinventar*, Instituto Nacional de Gestão de Calamidades (INGC) e Conselho Municipal da Cidade de Nacala (CMCN), considerando um horizonte temporal de 28 anos (1989-2017), uma vez que não existe informação referente à cidade para o período anterior a 1989. Os dados disponíveis

fazem realçar os ciclones, cheias e inundações e erosão como principais riscos na cidade de Nacala.

No período em análise a ocorrência de ciclones é mencionada 13 vezes pelo INGC, 6 pela *Desinventar* e 4 pelo CMCN. A ocorrência de ciclones decorre do facto da cidade de Nacala encontrar-se numa região, entre Angoche e Pemba, que se encontra na trajetória mais habitual dos ciclones tropicais que se formam no oceano Índico.

Para o mesmo período as cheias e inundações são mencionadas 21 vezes pelo CMCN, 12 vezes pelo INGC e 1 vez pela *Desinventar*. As inundações na cidade de Nacala resultam basicamente de cheias rápidas que ocorrem na sequência de chuvas intensas e que são agravadas por uma drenagem deficiente das águas pluviais e têm-se intensificado nos últimos anos em resultado de intensas precipitações, mas também de um ordenamento do território deficiente. Com efeito, às construções desordenadas associam-se infraestruturas implantadas em áreas de drenagem, que eram consideradas de reserva no passado, o que faz com que a água abandone a sua direção natural de escoamento e origine enchentes em locais que antes não eram inundados.

A erosão é mencionada 24 vezes pelos dados do Conselho Municipal de Nacala (CMCN), 11 vezes pelo INGC e uma vez pelos dados da *Desinventar*. A erosão constitui um dos maiores perigos em Nacala, particularmente em áreas de ocupação espontânea dos bairros considerados antigos, nomeadamente Triângulo, Nicandavala, Mocone e Ribáuè.

Neste contexto, este trabalho focou-se na avaliação da suscetibilidade, exposição e vulnerabilidade aos ravinamentos na cidade de Nacala, procurando responder a três questões fundamentais: i) de que maneira a ocorrência da erosão por ravinamento se distribui na cidade de Nacala e que fatores condicionantes melhor explicam essa distribuição? ii) como se pode caracterizar a evolução da exposição ao risco de erosão por ravinamento na cidade de Nacala? iii) em que medida a vulnerabilidade social pode acentuar a exposição ao risco de erosão por ravinamento na cidade de Nacala?

Para responder às questões, foi formulado igual número de hipóteses: H1: “a distribuição espacial das cabeceiras e ravinas na cidade de Nacala não é aleatória, ela é condicionada por um conjunto de fatores estáticos (associados a natureza do terreno).

Com o conhecimento dos fatores que condicionam a distribuição da ocorrência das cabeceiras de erosão e ravinas, usando o Método do Valor Informativo, é possível prever a localização de futuras ocorrências e determinar a importância relativa de cada fator na predição da ocorrência espacial dos eventos erosivos”; H2 - “o crescimento urbano recente da cidade de Nacala tem resultado num incremento da exposição, que se caracteriza pela ocupação para fins habitacionais de áreas perigosas, nos bairros mais antigos em redor ao núcleo central da cidade”; H3 “na cidade de Nacala as pessoas com indicadores de vulnerabilidade social mais baixos tendem a residir em áreas de maior exposição ao risco de ravinamento, o que agrava sua condição de vulnerabilidade”.

Para testar a H1 foram mapeadas as cabeceiras e canais erosivos (variáveis dependentes) e identificado um conjunto de fatores de predisposição (variáveis independentes). Infelizmente, não existe cartografia disponível da geologia, solos e uso e ocupação do solo a escala compatível para utilizar na modelação nesta tese. Esta limitação obrigou a que fossem considerados apenas os seguintes fatores de predisposição derivados do modelo digital do terreno: declive, exposição, índice de humidade, índice de posição topográfica, acumulação do fluxo, curvatura em perfil e curvatura em plano.

A relação espacial entre variáveis independentes e dependentes foi estudada com recurso a um método estatístico bivariado (Valor Informativo), considerando o inventário completo das cabeceiras (modelo 1), metade das cabeceiras separadas em grupo A e grupo B e procedendo a validação independente cruzada (modelos 2 e 3), e o inventário completo de canais erosivos (modelo 4). O mapa de suscetibilidade final para a área de estudo (modelo 5) classifica a suscetibilidade à erosão por ravinamento a partir da integração em matriz das classes dos modelos de suscetibilidade 1 e 4, ou seja, combina a suscetibilidade à ocorrência de cabeceiras erosivas com a suscetibilidade de desenvolvimento de canais erosivos.

A validação dos 4 modelos do Valor Informativo resultou em área abaixo das curvas de sucesso relativamente elevadas, entre 0,800 (modelo 4) e 0,851 (modelo 3). No entanto, a capacidade preditiva dos modelos validados de modo independente apresenta

resultados mais modestos e mais realistas, avaliados pelas taxas de predição dos modelos 2 e 3 (0,663 e 0,777, respetivamente).

A análise da relação entre a distribuição espacial das cabeceiras e ravinas na cidade de Nacala e dos seus fatores condicionantes mostrou que esta não é aleatória. Por um lado, as condições ideais para o desenvolvimento de cabeceiras de ravinas correspondem a vertentes com declive entre 5 e 10°, expostas a oeste e sudeste, em classes intermédias do índice de humidade (iht4) e da acumulação do fluxo (acu4), apontando para um contexto ideal de posição intermédia na topografia das vertentes, que se traduz também por valores intermédios de acumulação do fluxo. As cabeceiras de ravinas desenvolvem-se predominantemente em vertentes com perfil longitudinal convexo e perfil transversal côncavo, sendo mais habituais em áreas topograficamente deprimidas e em contexto de meia-vertente.

As condições ideais para o desenvolvimento de canais erosivos verificam-se em declives entre 2 e 10°, tendencialmente mais baixos dos que os observados para as cabeceiras. No entanto as vertentes mais propícias à instalação dos canais erosivos estão expostas a oeste, noroeste e sudeste, o que está em linha com o observado na distribuição das cabeceiras das ravinas.

Nos casos do índice de humidade, acumulação do fluxo e índice de posição topográfica, as condições mais favoráveis para a ocorrência de canais são diferentes das descritas para as cabeceiras. No índice de humidade destaca-se a classe iht2, que tipifica uma condição de maior acumulação de fluxo, associada a declives baixos. No que respeita à acumulação do fluxo, não se destaca uma única classe, mas quatro, com realce para aquelas com maior acumulação do fluxo. No caso do índice de posição topográfica destacam-se as classes de tpi negativo, realçando a importância da topografia deprimida para o desenvolvimento das ravinas.

Finalmente, os canais erosivos associam-se territorialmente a vertentes com perfil côncavo, quer em perfil, quer em plano.

Apesar das já referidas limitações dos dados de base disponíveis, os resultados obtidos confirmam integralmente a primeira hipótese do trabalho e respondem à primeira questão

desta tese, a qual buscava perceber a distribuição da erosão por ravinamento na cidade de Nacala, nomeadamente na relação com os seus fatores condicionantes.

As classes de suscetibilidade mais altas (muito elevada e elevada) no modelo final de suscetibilidade à erosão por ravinamento (modelo 5) abrangem cerca de 43% da área de estudo. No entanto, a distribuição espacial das áreas mais perigosas é diferenciada nos bairros de Nacala, permitindo hierarquizar o território no que respeita à prevalência da erosão. Os bairros de Triângulo, Maiaia, Ribaué, Mocone e Muzuane destacam-se como os mais suscetíveis à erosão por ravinamento (com as classes de suscetibilidade elevada e mais elevada entre 53% e 67% das respetivas áreas).

A expressão territorial das duas classes de suscetibilidade nos restantes bairros é inferior à média. Em Muanona, Matola, e Naherenque o valor varia entre 32% e 39% da superfície do bairro, enquanto em Ontupaia e Nauaia o valor desce para 21% e 27%. Nos bairros de Mathapue, Bloco I e M´Pago as classes de suscetibilidade mais altas abrangem menos de 13% da superfície do bairro.

Para testar a H2 foram selecionados 4 bairros amostrais: Triângulo, Mocone, Matola e Ontupaia, utilizando como critérios as características de implantação e a incidência da suscetibilidade aos ravinamentos. Os bairros de Triângulo e Mocone são relativamente antigos e com implantação consolidada. A suscetibilidade à erosão por ravinamento é bastante significativa, uma vez que as classes de suscetibilidade elevada e muito elevada abrangem 63% e 53% da área do bairro, respetivamente em Triângulo e Mocone. Os bairros de Matola e Ontupaia são de implantação recente e encontram-se em plena expansão. A importância da erosão por ravinamento não é tão grande, como o atesta a expressão territorial das duas classes de suscetibilidade mais alta: 39% em Matola e 21% em Ontupaia.

A avaliação da exposição à erosão por ravinamento baseou-se na constatação das mudanças de uso e ocupação do solo num período de 12 anos, quantificadas a partir da exploração de imagens do *Google Earth* obtidas em 2005 e 2017.

Os resultados obtidos mostram que o crescimento urbano recente da cidade de Nacala tem resultado num aumento da exposição, que se caracteriza pela ocupação de áreas

perigosas para fins habitacionais. Com efeito, o crescimento urbano verificado entre 2005 e 2017 ocorreu predominantemente nas classes de suscetibilidade alta ou muito alta em três dos quatro bairros amostrais (Matola 78,6%, Triangulo, 74,9%, Mocone 74,0%). O bairro de Ontupaia foi o único que registou um crescimento equilibrado em todas as classes de suscetibilidade à erosão por ravinamento, com 71,6% da ocupação realizada em áreas de suscetibilidade moderada, baixa ou muito baixa, o que pode ser justificado pelo facto deste bairro possuir um Plano de Pormenor implantado em 2011, confirmando a importância da implementação de instrumentos de ordenamento territorial, pese embora a construção informal e não legalizada seja também visível no bairro de Ontupaia.

Deste modo, confirma-se a H2, uma vez que o crescimento urbano recente da cidade de Nacala tem resultado num incremento da exposição, caracterizado pela ocupação de áreas perigosas para fins habitacionais. Este facto regista-se com mais incidência nos bairros mais antigos que envolvem o núcleo central da cidade, sendo menos marcado em bairros mais recentes como Ontupaia.

Para testar a H3 foi necessário aplicar um inquérito no terreno, com trabalho de campo, pelo que foram seleccionados dois bairros contrastados, também considerados na análise da exposição ao perigo de erosão por ravinamento: Mocone e Ontupaia. Os resultados obtidos, pela limitação da amostragem, não podem ser generalizados a toda a área de estudo, mas parecem evidenciar que, na cidade de Nacala, as pessoas com indicadores de vulnerabilidade social mais baixos tendem a residir em áreas de maior exposição ao risco de ravinamento. Com efeito, observaram-se diferenças significativas entre os dois bairros amostrais nos indicadores relacionados com a educação, emprego e tipo de habitação. Os dados também sugerem uma maior vulnerabilidade social em Mocone, por comparação com Ontupaia, que pode ser atestada pelos níveis de escolaridade relativamente baixos, menor número de empregos assalariados, maior número de residentes sem ocupação, e maior percentagem de residências construídas com base em material local. Os dados indicam ainda, sob o ponto de vista do género, maior vulnerabilidade da mulher, traduzida pelos baixos níveis de escolaridade, falta de acesso aos empregos formais e residências dos seus agregados construídas com base em material local.

Na análise comparada entre Mocone e Ontupaia, conclui-se que as famílias com indicadores de vulnerabilidade social mais baixos residem no bairro com maior exposição ao risco de ravinamento, o que tenderá a agravar a sua condição de vulnerabilidade. Contudo, não é seguro que esta situação se verifique em toda a cidade de Nacala, pelo que a hipótese 3 só é confirmada parcialmente, sendo necessário o alargamento do inquérito aos restantes bairros da cidade. Esse trabalho futuro permitirá não apenas confirmar uma eventual segregação territorial, onde os mais vulneráveis social e economicamente ocupam as áreas mais perigosas do território, mas também criar um perfil de vulnerabilidade social para a cidade de Nacala.

Perspetivas para pesquisas no futuro

Este trabalho permitiu ter um perfil de riscos do país e da cidade de Nacala e uma análise da suscetibilidade, exposição e vulnerabilidade à erosão por ravinamento na cidade de Nacala. Com base nos desafios e dificuldades encontradas durante a elaboração desta tese, e pese embora os resultados tenham sido bastante positivos, sugere-se a necessidade de dados fiáveis regularmente atualizados, que possam ser usados para o desenho dum perfil de riscos sempre atual e consistente para Moçambique e para a cidade de Nacala, de modo a que novas ameaças sejam devidamente conhecidas, pois qualquer redução do risco passará pelo seu conhecimento mais aprofundado.

Os dados sobre a erosão por ravinamento na cidade de Nacala podem ser mais consolidados com o alargamento da área de estudo e, conseqüentemente, da base de dados de ocorrências erosivas. Devido à incidência e intensidade da erosão nesta cidade, e para melhorar o conhecimento deste fenómeno, sugere-se a criação de uma base de dados SIG que seja regularmente atualizada e que permita analisar o comportamento da erosão ao longo do tempo, para a tomada de melhores decisões sobre o uso de terra.

A produção e disponibilização de informação geológica, pedológica e do uso e ocupação do solo a escalas adequadas para integrar na modelação da suscetibilidade à erosão permitirão o aprofundamento do conhecimento dos fatores condicionantes e o melhor

entendimento dos processos de erosão na cidade de Nacala. No mesmo sentido, a disponibilidade de um modelo digital de terreno mais detalhado e com melhor resolução permitirá, certamente, incrementar a qualidade dos modelos preditivos da erosão por ravinamento.

Por fim, as abordagens metodológicas utilizadas para avaliar a exposição e a vulnerabilidade social deverão ser alargadas a mais bairros de Nacala, incorporando também mais elementos estatísticos entretanto disponibilizados pelo Instituto Nacional de Estatística.

Possibilidades de Aplicação Prática do Estudo

Apesar de ser um trabalho cujo intento final é a obtenção do grau académico de Doutor, ele tem um potencial de ser usado. Só para elucidar alguns exemplos, por um lado, as autoridades municipais, através da Associação dos Municípios de Moçambique, podem utilizá-lo para a conceção de um guião metodológico que contenha conceitos estabilizados e procedimentos que permitam a identificação, a caracterização e a avaliação metódica dos riscos, de modo a que possam ser inclusos nos instrumentos de ordenamento territorial. Por outro lado, o Instituto Nacional de Gestão de Calamidades, no seu esforço de levantamento dos riscos em todo o país, pode encontrar no estudo um instrumento para a compreensão do risco de erosão no município de Nacala, que potencie o desenho de melhores mecanismos de intervenção para a sua redução.

Por último, o estudo também poderá ser utilizado por pesquisadores e estudantes como um instrumento de base para análise da erosão e abordagem a outros riscos no município de Nacala.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACLUMP. (2018). The Australian Collaborative Land Use and Management Program. Disponível em [www: http://www.agriculture.gov.au/abares/aclump](http://www.agriculture.gov.au/abares/aclump).
- Adger, W.N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16, 268–28.
- Almeida ,A. B. (2011). *Gestão da Água: Incertezas e Riscos. Conceptualização Operacional*. Lisboa: Caos Editores.
- Amorim, R.S.S. (2004). *Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica, USLE, RUSLE, WEPP para condições edafoclimáticas Brasileiras, Viçosa, Minas Gerais*. (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Brasil.
- Arabameri, A., Cerda, A., & Tiefenbacher, J. P. (2019a). Spatial pattern analysis and prediction of gully erosion using novel hybrid model of entropy-weight of evidence. *Water*, 11(6), 1129.
- Arabameri, A., Pradhan, B., & Rezaei, K. (2019b). Spatial prediction of gully erosion using ALOS PALSAR data and ensemble bivariate and data mining models. *Geosciences Journal*, 23(4), 669-686.
- Arnold, J.G., R. Srinivasan, R.S. Muttiah, and J.R. Williams. (1998). Large area hydrologic modelling and assessment part I: Model development. *J. Amer. Water Resour. Assoc.* 34(1): 73-89.
- Aurecon. (2010). *Estudo de Impacto Ambiental do Terminal Portuário e Ramal Ferroviário de Nacala-a-Velha, Relatório – Volume II – Caracterização da Situação de Referência*. Aurecon. Maputo.
- Aven, T., & Renn, O. (2009). On Risk Defined as an Event where the Outcome is Uncertain. *Journal of Risk Research*, 12, 1-11.
- Aven, T., & Renn, O. (2010). Risk Management and Governance Concepts, *Guidelines and Applications*. Berlim.
- Ayalew, L. & Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65 (1–2), 15-31.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H. & Kanno, T. (2005). Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications. *Engineering Geology*, 81, 432– 445.

- Baeza, C., Lantada, N. & Moya, J. (2010). Influence of sample and terrain unit on landslide susceptibility assessment at La pobla de Lillet, Eastern Pyrenees, Spain. *Environmental Earth Sciences*. 60, 155-167.
- Balica, S. F., Wright, N. G. & Meulen, F. van der. (2012). A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. *Nat Hazards*, 64, 73–105.
- Balica, S.F. & Wright, N.G. (2009). A network of knowledge on applying an indicator-based methodology for minimizing flood vulnerability. *Hydrol Process*, 23(20), 2983–2986.
- Bankoff, G., Frerks, G. & Hilhorst, D. (eds.). (2004). *Mapping vulnerability: disasters, development and people*. Earthscan, London.
- Beasley, D. B., Huggins, L. F. & Monke, E. J. (1982). ANSWERS: A Model for Watershed Planning. *American Society of Agricultural Engineers*, 0001 -2351.
- Bergonse, R. C. G. V. (2014). *Dinâmica Espacial e Temporal do Ravinamento na Margem Esquerda da Bacia do Baixo Tejo: Formas, Processos e Factores*. (Tese de doutoramento). IGOT, Universidade de Lisboa, Portugal.
- Bertoni. J.; Lombardi, Neto, F. (1990). *Conservação do Solo*. Editora Ícone. São Paulo.
- Bingen, B., Bjerkgård, T., Boyd, R., Dehls, J., Engvik, A. & Grenne, T. (2007). *Notícia Explicativa da Carta Geológica 1:250.000*. Direcção Nacional de Geologia. Maputo.
- Bispo, P.C., Almeida, C.M, Valeriano, M.M, Medeiros, J.S. & Crepani, E. (2011). Análise da suscetibilidade aos movimentos de massa em São Sebastião (SP) com o uso de métodos de inferência espacial. *Revista Geociências*, 30, 467- 478.
- Björnberg, S. and Wahlström, S., 2012. Coastal Erosion in Maputo, Mozambique. Governing Processes and Mathematical Modeling. Lund, Sweden: Lund University, Master's thesis, 117p.
- Blanco, H.; Lal, R. (2008). *Principles of Soil Conservation and Management*. Springer. 617 pp.
- Bolin, B. (2006). Race, class, ethnicity, and disaster in vulnerability. In H. Rodriguez, E. Quarantelli, and R. Dynes (Eds), *Handbook of disaster research*, (pp.113–29). New York: Springer.
- Bondirev, I. (1983). *Carta geomorfológica de Moçambique 1:1 000 000*. Notícia explicativa, 9682.
- Boruff, B. J., Emrich, C. & Cutter, S. L. (2005). Erosion hazard vulnerability of US coastal counties. *Journal of Coastal Research*, 21 (5), 932–42.

- Brabb, E.E., Pampeyan, E.H. & Bonilla, M.G. (1972). Landslide susceptibility in San Mateo County, California. U.S. Geol. Surv., Misc. Field Studies. Map MF-360, Scale 1:62,500.
- Brandão, J.M.S. (2017). Caracterização de processos erosivos em área urbana no município de Itabira, MG. *Research, Society and Development*, v. 6, n. 3.
- Brown, M. (2012). Técnicas de mineração de dados. Disponível em <https://www.ibm.com/developerworks/br/library/tecnicas-mineracao-de-dados/index.html>.
- Bui, T. D., Lofman, O., Revhaug, I. & Dick, O. (2011). Landslide susceptibility analysis in the Hoa Binh province of Vietnam using statistical index and logistic regression. *Nat Hazards*, 59, 1413–1444.
- Bui, T. D., Pradhan, B., Lofman, O. & Revhaug, I. (2012). *Landslide Susceptibility Assessment in Vietnam Using Support Vector Machines, Decision Tree, and Naive Bayes Models*. Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering. Volume article ID 974638.
- Bull, L.J. & Kirkby, M.J. (1997). Gully processes and modelling. *Progress in Physical Geography*, 21, 3:354-374.
- Burrough, P.A. & McDonnel, R.A. (1998). Principles of geographical information systems. Oxford University Press. Oxford.
- Burton, C. & Cutter, S.L. (2008). Levee Failures and Social Vulnerability in the Sacramento-San Joaquin Delta Area, California. *Natural Hazards Review*, 9(3):136-149.
- Burton, I., Kates, R., W. & White, G., F. (1993). Environment as Hazard, 2nd Edition, The Guilford Press, New York.
- Cardinali, M.; Carrara, A.; Guzzetti, F. & Reichenbach, P. (2002). Landslide hazard map for the Upper Tiber River basin. Publication CNR Grupo Nazionale per La Difesa Dalle Catastofi Idrogeologiche, Publication N.o 2116, Scale 1:100,000.
- Carrara, A.; Cardinali, M.; Guzzetti, F. & Reichenbach, P. (1995). GIS Technology in Mapping Landslide Hazard. In Carrara, A.; Guzzetti, F. (Eds.), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*. Springer Netherlands, 135–175.
- CEAGRE. (2015). *Mapeamento de habitats de Moçambique*. CEAGRE, Centro de Estudos de Agricultura e Gestão de Recursos Naturais da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade Eduardo Mondlane, Maputo.

- Cerdan, O., Le Bissonnais, Y., Couturier, A., Bourennane, H. & Souche`re, V. (2002). Rill erosion on cultivated hillslopes during two extreme rainfall events in Normandy, France. *Soil and Tillage Research*, 67, 99-108.
- CGS .(2006). Notícia Explicativa: folhas Alto Molócuè (1537), Murrupula (1538), Nampula (1539), Mogincual (1540), Errego (1637), Gilé (1638) e Angoche (1639 –40). Direção Nacional de Geologia.33-41. 302-303.
- Chan, F.T.S. & Chan, H.K. (2004). Development of the Supplier Selection Model - A Case Study in the Advanced Technology Industry, Proceedings of Institution of Mechanical Engineers - Part B. *Journal of Engineering Manufacture*. v. 218, pp. 1807-1824.
- Chary, R. G., Vittal, K.P.R., Venkateswarlu, B., Mishra, P.K., Rao, G.G.S.N., Pratibha, G., Rao, K. V., Sharma, K. L. & Rajeshwara, G. (2010). Drought Hazards and Mitigation Measures. In: Jha M.K. (Eds.). *Natural and Anthropogenic Disasters*. Springer, Dordrecht.
- Choi, K., Arnhold, S., Huwe, B. & Reineking, B. (2017). Daily Based Morgan–Morgan–Finney (DMMF) Model: A Spatially Distributed Conceptual Soil Erosion Model to Simulate Complex Soil Surface Configurations. *Water*, 9, 278.
- Chung, C. J. F. & Fabbri, A. G. (2002). Validation of Spatial Prediction Models for Landslide Hazard Mapping. *Natural Hazards*, 30, 451–472.
- Chung, C. J. F. & Fabbri, A. G. (2003). Validation of Spatial Prediction Models for Landslide Hazard Mapping. *Natural Hazards*, 30, 451–472.
- Chung, C.F. & Fabbri, A. (1993). The representation of geoscience information for data integration. *Nonrenewable Resources*, 2 (2), p. 122-138.
- CMCN. (2010). Plano de Estrutura Urbana do Município de Nacala. Município de Nacala. Nacala.
- Comité de Conselheiros_CC. (2013). *Agenda Nacional 2025: Visão e Estratégia da Nação*. Comité de Conselheiros. Maputo.
- Conselho de Ministros de Moçambique.CM. (2014). *Lei nº15/2014 de 20 de junho, Lei de Gestão de Calamidades*. Maputo.
- Conselho de Ministros. CM. (2017). *Plano Director para a Prevenção, e Mitigação das Calamidades Naturais*. Maputo. Moçambique.
- CONSULTEC. (2006). *Estudo de Pre-viabilidade Ambiental e Definição do Ambito para do Terminal Portuário e Ramal Ferroviário de Nacala-a-Velha*, Maputo.
- Corominas, J.; van Westen, C.; Frattini, P.; Cascini, L.; Malet, J. P.; Fotopoulou, S.; Catani, F.; Van Den Eeckhaut, M.; Mavrouli, O.; Agliardi, F.; Pitilakis, K.; Winter,

- M. G.; Pastor, M.; Ferlisi, S.; Tofani, V.; Hervás, J. & Smith, J. T. (2014). *Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73(2), 209–263. <http://doi.org/10.1007/s10064-013-0538-8>.
- CRED. (2019). EM-DAT CRED / UCLouvain. Disponível em: <http://www.emdat.be>.
- Cronwright, M.S.C. (2005). *A review of the rare-element pegmatite's of the Alto Ligonha Pegmatite Province, northern Mozambique and exploration guideline*. (Tese de Doutorado). Rhodes University. South Africa.
- Cumbane, R., N. (2015). *Análise do Risco de Incêndios Urbanos no Município de Maputo em Moçambique*. (Tese de Doutorado), IGOT, Universidade de Lisboa. Portugal.
- Cunha, L. V. (1985). *Mitigation of Drought Impacts* – Int. Water Resources Ass., Proceedings of the 5th World Congress on Water Resources, Brussels.
- Cutter, S. L., Boruff, J. B. & Shirley, W. L. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, 84 (2): 242–261.
- Dai, W. & Ji, W. (2014). A MapReduce Implementation of C4.5 Decision Tree Algorithm. *International Journal of Database Theory and Application*. Vol.7, No.1, pp.49–60.
- Dasgupta S., Laplante B., Meisner C., Wheeler D, Yan J. (2009). The impact of sea-level rise on developing countries: a comparative analysis. *Clim Change* 93(3):379–388.
- De Roo, A.P.J. (1996). The LISEM project: an introduction. *Hydrological Processes* 10 8 , 1021–1025.
- Desti, L. & Adugna, B. (2012). *A field guide on gully prevention and control*. Nile Basin Initiative Eastern Nile Subsidiary Action Program (ENSAP), Addis Ababa.
- Diniz, N.C. & Freitas, C.G.L. (2013). Cartografia Geotécnica, Coord. Capítulo 7. In Dracup, J.A., Lee, K.S., and Paulson Jr., E.G. (1980). *On the definition of droughts*. *Water Resources Research*, 16(2): 297–302.
- DNG. (1987). Extrato geológico da porção nordeste de Moçambique (Grau-Quadrado 1440). Mapa Geológico de Moçambique (1:1.000.000). Direção Nacional de Geologia. Maputo.
- Dracup, J.A., Lee, K.S., Paulson Jr, E.G. (1980). On the definition of droughts. *Water Resource Research*. Vol 16, nº 2, pp 297-302.

- Dragicevic, S., Lai, T. & Balram, S. (2015). GIS-based multicriteria evaluation with multiscale analysis to characterize urban landslide susceptibility in data-scarce environments. *Habitat International*, 45 114-125.
- Ebisemiju, F. & Ekiti, A. (1989). A morphometric approach to gully analysis. *Z. Geomorphology*, 33, 3: 307-322.
- Ekblom, A. (2012). *Livelihood Security, Vulnerability and Resilience: A Historical Analysis of Chibuenne, Southern Mozambique*. *AMBIO*, 41:479–489.
- Empresa Nacional de Hidrocarbonetos. ENH. (1986). *Petroleum geology and hydrocarbon prospectivity of Mozambique*. ENH (Empresa Nacional de Hidrocarbonetos). Moçambique, Maputo.
- Enarson, E. (1999). Gender Patterns in Flood Evacuation: A Case Study in Canada's Red River Valley. *Applied Behavioral Science Review*. Volume 7, Number 2, pages 103-124.
- Epifânio B., Zezere J.L. & Neves M. (2014). Susceptibility assesement to different types of landslides in the coastal cliffs of Lourinhã (Central Portugal). *Journal of Sea Research*, (93) 150-159.
- Escritório das Nações Unidas para Redução de Riscos de Desastres. UNDRR. (1979). *Natural Disasters and Vulnerability Analysis*. Report of Expert Group. Meeting 9-12 July 1979. Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator, Geneva.
- Escritório das Nações Unidas para Redução de Riscos de Desastres. UNDRR. (2019). Base de dados Desinventar. Disponível em <https://www.desinventar.net/index.html>.
- Ezzati, M., Utzinger, J., Cairncross, S., Cohen, A., Singer J, B. H. (2005). Environmental risks in the developing world: exposure indicators for evaluating interventions, programmes, and policies. *J Epidemiol Community Health*, 59:15–22.
- FAO and ITPS. (2015). *Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report*. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy.
- FAO. (2017). *Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management* Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy.
- FAO. (2019). *Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management*. Rome. 100 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- FAO. (2019a). *Global symposium on soil erosion*. FAO Headquarters. Rome. Italy.

- Fekete, A. (2009). Validation of a social vulnerability index in context to river-floods in Germany. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 9:393–403.
- Fell, R., Corominas, F., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E. & Savage, W.Z. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102 85–98.
- Fernandes, J., Bateira, C., Soares, L., Faria, A., Oliveira, A., Hermenegildo, C. & Goncalves, J. (2017). *SIMWE model application on susceptibility analysis to bank gully erosion in Alto Douro Wine Region agricultural terraces*. *Catena*, 153, 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.01.034>.
- Flanagan, D. C., & Nearing, M. A. (1995). (Eds), *USDA Water Erosion Prediction Project hillslope and watershed model documentation*. NSERL Report No. 10. West Lafayette, Ind.: USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory.
- Flanagan, D. C., B. A. Engel, J. M. Laflen, & S. C. Nelson. (1995). A multimedia [CD-ROM]. WEPP technology. ASAE Paper No. 952388.
- Foster G.R., L.D.Meyer & Onstad, C.A.(1977). A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 20, p.683-687.
- Foster, G.R. (1982). Modeling the erosion Process. In: Haan, C.T., Johnson, H.P., Brakensiek, D.L., (Eds.). *Hydrological Modeling of Small Watersheds*, Nº.5. ASAE Monograph, St. Joseph, Michigan.
- Garcia, R., ZÊZERE, J. L. & OLIVEIRA, S. (2007). *A importância do processo de classificação de dados na cartografia: um exemplo na cartografia de susceptibilidade a movimentos de vertente*. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos, v. 5, p. 265279.
- Garcia, R.A.C. (2012). *Metodologias de Avaliação da Perigosidade e Risco associado a Movimentos de Vertente. Aplicação na bacia do rio Alenquer*. (Tese de Doutoramento), Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Gayen, A. & Saha, S. (2017). Application of weights-of-evidence (WoE) and evidential belief function (EBF) models for the delineation of soil erosion vulnerable zones: a study on Pathro river basin, Jharkhand, India. *Modelling Earth Systems and Environment*, 3 (3), 11231139.
- Gayen, A., Pourghasemi, H.R., Saha, S, Keesstra, S, Bai, S. (2019). Gully erosion susceptibility assessment and management of hazard prone areas in India using different machine learning algorithms. *Science of the Total Environment* 668: 124–138.
- GoM. (2002). *Orçamento do Estado de Moçambique*. Governo de Moçambique. Moçambique.

- Gonçalves, J.L.M. (2002). Conservação do solo. In: Gonçalves, J.L.M., Stape, J.L. (Eds.) *Conservação e cultivo de solos para plantações florestais*. Piracicaba-SP, IPEF, Pp. 47- 129.
- GTK Consortium. (2006a). *Map Explanation; Volume 1: Sheets 2032 – 2632. Geology of Degree Sheets, Espungabera/Chibabava, Nova/Mambone, Massangena, Chidoco, Save/Bazaruto, Chicualacuala, Machaila, Chigubo, Mabote/Vilanculos, Rio Singuédzi/Massingir, Rio Changana, Funhalouro/Inhambane, Chilembene, Chókwè, Zavala/Inharrime, Maputo, Xai-Xai/Zavala and Bela-Vista, Mozambique*. Ministério dos Recursos Minerais, Direcção Nacional de Geologia, Maputo.
- GTK Consortium. (2006b). *Notícia Explicativa da Carta Geológica 1:250.000*. Direcção Nacional de Geologia Volume 1, Maputo.
- Guillard C., Cutter, S., Emrich, L., Christopher, T. & Zêzere, J.L. (2014). Application of Social Vulnerability Index (SoVI) and delineation of natural risk zones in Greater Lisbon, Portugal. *Journal of Risk Research*, Vol.18:5.
- Guillard C., Zezere J.L. (2012). Landslide susceptibility assessment and validation in the Framework of Municipal Planning in Portugal: The case of Loures Municipality, *Environmental Management*. 50 (4): 721–735.
- Guillard C., Zezere J.L. (2018). Combining Social Vulnerability and Physical Vulnerability to Analyse Landslide Risk at the Municipal Scale. *Geosciences*, 8(8), 294.
- Guzzetti, F. (2005). *Landslide Hazard and Risk Assessment. Concepts, Methods and Tools for the Detection and Mapping of Landslides, for Landslide Susceptibility Zonation and Hazard Assessment, and for Landslide Risk Evaluation*. (Dissertation). Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. & Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31:181–216.
- Guzzetti, F., Galli, M., Reichenbach, P., Ardizzone, F., & Cardinali, M. (2006). Landslide Hazard Assessment in the Collazzone Area, Umbria, Central Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 115-131.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M. & Ardizzone, F. (2005). "Probabilistic Landslide Hazard Assessment at the Basin Scale." *Geomorphology* 72: 272–299.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Ardizzone, F., & Galli, M. (2003). The impact of landslides in the Umbria region, central Italy. *Natural Hazards and Earth System Science*, 3(5), 469–486.

- Hahn, M., B., Riederer, A. R. & Foster, S. O. (2009). The Livelihood Vulnerability Index: A pragmatic approach to assessing risks from climate variability and change—A case study in Mozambique. *Global Environmental Change*, Volume 19, Issue 1.
- Harvey A, Gutiérrez-Elorza M (2005) Repeated patterns of Quaternary discontinuous gullying at El Tormillo, Ebro Basin, Spain. In Garcia C, Batalla R J (eds.) *Catchment Dynamics and Rivers Processes: Mediterranean and Other Climate Regions*. Elsevier: 53-67.
- Hervás, J. & Bobrowsky, P. (2009). Mapping: Inventories, Susceptibility, Hazard and Risk; in . Sassa, K., Canuti, P. (Eds.). *Landslides – Disaster Risk Reduction*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN: 978-3-540-69966-8.
- Hinkel, J. (2011). “Indicators of vulnerability and adaptive capacity”: Towards a clarification of the science–policy interface. *Global Environmental Change–Human and Policy Dimensions*, 21 (1): 198–208.
- Hoguane, A. (2007). Perfil Diagnóstico da Zona Costeira de Moçambique. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 7(1):69–82.
- Hosmer Jr. D. W., Lemeshow, S. & Sturdivant, R.S. (2013). *Applied Logistic Regression*, 3rd ed. [S.I.]: New York; Chichester, Wiley.
- Huggins, L. F. and E. J. Monke. (1966). The mathematical simulation of the hydrology of small watersheds. Technical Report 1, Water Resources Research Center, Purdue University, West Lafayette, IN.130 p.
- Impacto. (2012). *Estudo de Previabilidade Ambiental e Definição de Âmbito do projecto de reabilitação do porto de Nacala*. Impacto, Maputo.
- INAM, Instituto Nacional de Meteorologia . (2018). *Compilação de dados meteorológicos estação de Lumbo*, Nampula.
- INE, Instituto Nacional de Estatísticas. (2017). Resultados definitivos do Censo 2017, INE, Maputo.
- INGC – Instituto Nacional de Gestão de Calamidades. (2009). Main report: *INGC Climate Change Report: Study on the impact of climate change on disaster risk in Mozambique*. [Asante, K., Brito, R., Brundrit, G., Epstein, P., Fernandes, A., Marques, M.R., Mavume, A , Metzger, M., Patt, A., Queface, A., Sanchez del Valle, R., Tadross, M., Brito, R. (Eds.)]. INGC, Mozambique, Maputo.
- Jacinto, R., Grosso, N., Reis, E., Dias, L., Santos, F. D. & Garrett, P. (2015). Continental Portuguese Territory Flood Susceptibility Index – contribution to a vulnerability index. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 15, 1907–1919.

- Jenson, S. K., & Domingue, J. O. (1988). Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54 (11): 1593–1600.
- Jornal Noticias de Moçambique. JN. (Publicado em 17 Fevereiro 2016). *Chuvas agravam problemas de erosão em Nacala-Porto*. Disponível em <https://jornalnoticias.co.mz/index.php/1-plano/51082>, acessado aos 5 de Novembro de 2019.
- Julião, R. P., Nery, F., Ribeiro, J. L., Branco, M. C., & Zêzere, J. L. (2009). *Guia Metodológico para a Produção de Cartografia Municipal de Risco e para a Criação de Sistemas de Informação Geográfica de Base Municipal*. ANPC, DGOTDU, IGP. Lisboa: Autoridade Nacional de Proteção Civil.
- Jury, M. R., & Lucio, F. D.E. (2004). The Mozambique floods of february 2000 in context. *South African Geographical Journal*, 86:2, 141-146, DOI: 10.1080/03736245.2004.9713818.
- Kachouri, S., Achour, H., Abida, H., & Bouaziz, B. (2014). Soil erosion hazard mapping using Analytic Hierarchy Process and logistic regression: a case study of Haffouz watershed, central Tunisia. *Arab J Geosci*, DOI 10.1007/s12517-014-1464-1.
- Kavzoglu I., T., Emrehan, K., S. & Colkesen, I. (2014). Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression. *Landslides*, 11:425–439.
- Kienberger, S. (2012). Spatial modelling of social and economic vulnerability to floods at the district level in Buzi, Mozambique. *Nat Hazards*, 64:2001–2019.
- Kienholz, H. (1978). Map of geomorphology and natural hazards of Grindelwald, Switzerland, scale 1:10,000. *Arctic and Alpine Research*, 10, 169–184.
- Kirkby, M.J., Irvine, B.J., Jones, R.J.A., Govers, G. (2008). The PESERA coarse scale erosion model for Europe. I.-Model rationale and implementation. *European Journal of Soil Science* 59, 1293-1306.
- Klinenberg, E. (2001). Dying alone: the social production of urban isolation. *Ethnography* 2:501–531.
- Knisel, Walter G. (Ed.). (1980). CREAMS: a field scale model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems. *United States. Dept. of Agriculture. Science and Education Administration*. US.
- Kuhlicke, C., Scolobig, A., Tapsell, S., Steinfu, A. & De Marchi, B. (2011). Contextualizing social vulnerability: findings from case studies across Europe. *Nat Hazards*, 58:789–810.

- Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land Degradation and Development*, 12: 519-539.
- Lapoli, E., M. (1994). *Processamento de imagens digitais: uma abordagem utilizando conjuntos difusos*. (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.
- Lewis, D. (1989). *Naive (Bayes) at Forty: The Independence Assumption in Information Retrieval*. (Part of the Lecture Notes in Computer Science book series LNCS, volume 1398).
- Liu, J., Liu, S., Tieszen, L.L. & Chen, M. (2007). Estimating Soil Erosion Using the USPED Model and Consecutive Remotely Sensed Land Cover Observations. In *Proceedings of the 2007 Summer Computer Simulation Conference*, July 2007 Article No.:16 Pages 1–6.
- Mac Vicar, C.N., De Villiers, J.M., Loxton, R.F., Verster, E., Lambrechts, J.J.N., Merryweather, F.R., Le Roux, J., van Rooyen, T.H. & Harmse, H.J. VON M. (1991). *Soil Classification: A Binomial System for South Africa*. 2Ed. Dept. Agric. Techn. Services, Pretoria.
- Mararakanye, N. & Sumner, P D. (2017). Gully erosion: A comparison of contributing factors in two catchments in South Africa. *Geomorphology*, 288:99–110.
- Martins, V., N., Silva, D., S. & Cabral, P. (2012). Social vulnerability assessment to seismic risk using multicriteria analysis: the case study of Vila Franca do Campo (Sao Miguel Island, Azores, Portugal). *Nat Hazards*, 62:385–404.
- Masozeraa, M., Baileyb, M. & Kerchnerc, C. (2007). Distribution of impacts of natural disasters across income groups: A case study of New Orleans. *Ecological Economics*, 63:299 – 306.
- Mateus, M. L. Roxo. (2009). *Campos de Coimbra: do rural ao urbano*. (Tese de Doutorado). FLUC, Coimbra, Portugal.
- MEF-Ministério de Economia e Financas. (2017). *Protecção Financeira contra Calamidades em Moçambique*, Maputo.
- Mendes, J. M., Tavares, A. O., Cunha, L., & e Freiria, S. (2011). A vulnerabilidade Social aos Perigos Naturais e Tecnológicos em Portugal. *Revista Crítica de Ciências Sociais*, 93, 95-128.
- Mendes, J. M., Tavares, A. O., Freiria, S. & Cunha, L. (2009). Social Vulnerability to Natural and Technological Hazards. The Relevance of Scale. In Soares, S. G., Bris, R., and Martorell, S. (Eds.). *Reliability, Risk and Safety: Theory and Applications*, Vol. 3, 445–451. London: CRC Press.

- Merz, M., Hiete, M., Comes, T. & Schultmann, F. (2013). A composite indicator model to assess natural disaster risks in industry on a spatial level. *Journal of Risk Research*, 16:9, 1077-1099.
- Miner, A. S., Vamplew, P., Windle, D. J., Flentje, P. & Warner, P. (2010). A comparative study of various data mining techniques as applied to the modelling of landslide susceptibility on the Bellarine Peninsula, Victoria, Australia. In Williams, A. L., Pinches, G. M., Chin, C. Y., and McMorrnan, T. J. (Eds.). *Geologically Active*, p. 352, CRC Press, New York, NY, USA.
- Ministério para a Coordenação da Ação Ambiental. MICOA. (2004). *Plano de Acção Nacional de Combate à Seca e Desertificação*. Maputo.
- Mitas, L., & Mitasova, H. (1998). Distributed soil erosion simulation for effective erosion prevention. *Water Resources Research*, 34(3), 505-516.
- Mitasova, H. & L. Mitas. (2000). *Modeling spatial processes in multiscale framework: exploring duality between particles and fields*. Presentation at GIScience 2000 conference, Savannah, GA. Available at <http://www2.gis.uiuc.edu:2280/modviz/gisc00/duality.html>.
- Mitasova, H., Hofierka, J., Zlocha, M. & Iverson, L.R. (1996). Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International Journal of GIS*, v. 10, no. 5, p.629-641.
- Moore, I.D., Burch, G.J. & Mackenzie, D.H. (1988). *Topographic effects on the distribution of surface soil-water and the location of ephemeral gullies*. Transactions of the ASAE 31, 1098–1107.
- Moore, I.D., Grayson, R.B. & Ladson, A.R. (1991). Digital terrain modeling — a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, 5, 3–30.
- Moreira, M. (2005). A Dinâmica Dos Sistemas Litorais Do Sul De Moçambique Durante Os Últimos 30 Anos. *Finisterra—Revista Portuguesa de Geografia*, 79:121–135.
- Morgan, R. P. C., Quinton, J. N., Smith, R. E., Govers, G., Poesen, J. W. A., Auerswald, K., Chisci, G. Torri, D. & Styczen, M. E. (1998). The European soil erosion model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surf. Process. Landforms* 23, 527–544.
- Morgan, R.C.P. (2005). *Soil Erosion and Conservation*. Blackwell Publishing. 304 pp.
- Nearing, M., Foster, G.R., Lane, L.J. & Finkner, S.C. (1989). A Process-Based Soil Erosion Model for USDA. *Water Erosion Prediction Project Technology*, VL - 32 DO-10.13031/2013.31195.

- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., & Williams, J.R. (2011). *Soil and Water Assessment Tool theoretical documentation: Version 2009*. USDA–ARS, Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Temple, TX; and Blackland Research and Extension Center, Texas AgriLife Research, Temple, TX. Texas Water Resources Institute Technical Rep. 406, Texas A&M University System, College Station, TX. <http://swatmodel.tamu.edu/documentation/>
- Objectivos de Desenvolvimento Sustentável .ODS. (2019). Disponível em <https://www.ods.pt/ods/>, acessado em 11 de outubro de 2019
- Palalane, J., Larson M., Hanson, H., and Juízo, D. (2015). Coastal erosion in Mozambique: Governing processes and remedial measures. *Journal of Coastal Research*, 32(3):700–718.
- Palmer, W.C. (1965). Meteorological Drought. Research Paper 45, U.S. *Weather Bureau (now National Weather Service)*, Silver Spring, Maryland, USA, 58 pp.
- Panizza, M. (1990). Geomorfologia Applicata. Metodi di Applicazione alla Pianificazione Territoriale e alla Valutazione d'Impatto Ambientale. *La Nuova Italia Scientifica*. Roma.
- Parkin, R. T. & Balbus, J.M. (2000). Variations in concepts of “susceptibility” in risk assessment. *Risk Analysis*. Vo.20, no.5.
- Penning-Rowsell, E.C., Johnson C., Tunstall, S., Tapsell, S., Morris, J., Chatterton, J. B. & Green, C, H. (2005). *The Benefits of Flood and Coastal Risk Management: A Manual of Assessment Techniques*. Middlesex University Press. Middlesex.
- Pereira, S. (2009). *Perigosidade a movimentos de vertente na Região Norte de Portugal*. (Tese de Doutoramento). Faculdade de Letras, Universidade do Porto. Portugal.
- Pereira, S., Zêzere, J.L., & Bateira, C. (2012). Assessing predictive capacity and conditional independence of landslide predisposing factors for shallow landslide susceptibility models. *Natural Hazards and Earth System Science*, 112 (4), 979-988.
- Peterson, D.F. & Mohanty, P.K. (1960). Flume studies of flow in steep rough channels. *J.Hydr.Div. Asce*. V. 86, nº 9, p. 55-76.
- Piedade, A., Zêzere, J. L., Garcia, R. A., & Oliveira, S. C. (2011). Modelos de Susceptibilidade a Deslizamentos Superficiais Translacionais na Região a Norte de Lisboa. *Finisterra*, XLVI, 91, 9-26.
- Pinna, P., Jourde, G. Calvez, J.Y. Mroz, J.M. & Marques, J.M. (1993). The Mozambique Belt in northern Mozambique: Neoproterozoic (1100–850 Ma) crustal growth and tectogenesis, and superimposed Pan-African (800–550 Ma) tectonism. *Precambrian Research*, 62 (1–2), 1-59.

- Poesen, J. & Hooke, J.M. (1997). Erosion, flooding and channel management in Mediterranean environments of southern Europe. *Progress in Physical Geography*, 21, 2: 157-199.
- Poesen, J. (1989). Conditions for gully formation in the Belgian loam belt and some ways to control them. *Soil Technol Series* 1, 39-53.
- Poesen, J. (1992). Mechanisms of overland flow generation and sediment production on loamy and sandy soils with and without rock fragments. In, Parsons, A.J.; Abrahams, A.D. (Eds.). *Overland Flow –Hydraulics and Erosion Mechanics*. Routledge. Pp.262-291.
- Poesen, J. (1993). Gully typology and gully control measures in the European loess belt. In, Wicherek, S. (Ed.). *Farm Land Erosion in Temperate Plains Environment and Hills*. Elsevier, Amsterdam, pp. 221-239.
- Poesen, J. (2018). State of Science Soil erosion in the Anthropocene: Research needs. *Earth Surf. Process. Landforms*, 43, 64–84.
- Poesen, J., Govers, G. (1990). Gully erosion in the loam belt of Belgium: typology and control measures. In Boardman, J., Foster, I.D.L., Dearing, J.A. (Eds.) – *Soil Erosion on Agricultural Land*. John Wiley and Sons. Pp. 513-530.
- Poesen, J., Lavee, H. (1991). Effects of size and incorporation of synthetic mulch on runoff and sediment yield from interrills in a laboratory study with simulated rainfall. *Soil & Tillage Research*, 21: 209-23.
- Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G. & Valentin, C. (2003). Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, 50: 91-133.
- Poesen, J., Vandaele, K. & Van Wesemael, B. (1996). Contribution of gully erosion to sediment production on cultivated lands and rangelands. In *Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives*. Proceedings of the Exeter Symposium, July. IAHS Publication no. 236.
- Poesen, J., Vanwallegheem, T., de Vente, J., Knapen, A., Verstraeten, G.; Martinez-Casasnovas, J. (2006) – Gully erosion in Europe. In Boardman, J., Poesen, J. (Eds.). *Soil Erosion in Europe*. John Wiley and Sons. Pp. 515-536.
- Poesen, J.; De Luna, E.; Franca, A.; Nachtergaele, J.; Govers, G. (1999). Concentrated flow erosion rates as affected by rock fragment cover and initial soil moisture content. *Catena*, 36: 315-329
- Ramos, C., & Reis, E. (2001). As Cheias no Sul de Portugal em Diferentes Tipos de Bacias Hidrográficas. *Finisterra*, XXXV, 71, 61-82.
- Ramos, C., Zêzere, J.L. & Reis, E. (2010). Avaliação da susceptibilidade aos perigos naturais da região de Lisboa e vale do Tejo. *Prospectiva e Planeamento*, Vol. 17.

- Recha J. W., & Chiulele R.M. (2017). Mozambique climate smart agriculture guideline. Vuna Guideline. Pretoria. Disponível via Vuna em: <http://vuna-africa.com/>.
- Reis, E., Zêzere, J.L., Vieira, G.T. & Rodrigues, M.L. (2003). Integração de dados espaciais em SIG para a avaliação da suscetibilidade a ocorrência de deslizamentos. *Finisterra*. XXXVIII, 76, 2003, pp 3-34.
- Remondo, J., González, A., Teran, J.R.D., Cendrero, A., Fabbri, A., & Chung, C.F. (2003). Validation of Landslide Susceptibility Maps: Examples and Applications from Case Study in Northern Spain. *Natural Hazards*, 30, 437-449.
- Renard, K.G.; Foster, G.R.; Weesies, G.A.; Porter, J.P. (1991). RUSLE: Revised universal soil loss equation. *J. Soil Water Conserv.*, 46, 30–33.
- Ribeiro, A., Romeiras, M.M., Tavares, J., Faria, M.T. (2010). Ethnobotanical survey in Canhane village, district of Massingir, Mozambique: medicinal plants and traditional knowledge, *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 2010, 6:33.
- Ribeiro, M.J. (1995). Sociologia dos desastres. *Sociologia, Problemas e Práticas*, 18: 23–43.
- Rocha, A.M.C. (1992). The influence of global sea surface temperatures on surface temperatures on southern African summer climate. (Tese de Doutoramento). University of Melbourne, Australia.
- Rocha, J. & Morgado P., S. (2007). *Integração de dados estatístico na classificação de imagens de satélite*. CEG, Universidade de Lisboa.
- Rossignol, N; Turcanu, C; Fallon, C. & Zwetkoff, C. (2014). “How are you vulnerable”: using participation for vulnerability analysis in emergency planning, *Journal of Risk Research*.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, vol. 1, nº. 1.
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, NY, USA.
- Samra, J.S. (2006). Droughts, risks, insurance and management assessment in India. In: Samra, J.S., Singh, G., & Dagar, J.C. (Eds). *Drought Management Strategies in India*. Indian Council of Agricultural Research (ICAR), New Delhi, India, pp. 1–22.
- Schneider, S.H. (1996). *Encyclopedia of Climate and Weather*. Oxford University Press, New York, pp. 256–257.
- Selby, M J. (1993). *Hillslope Materials and Processes*. 2nd edition, Oxford University Press, Oxford, 451pp.

- Sharma, A. D., Vasudeva, R., & Kaur, R. (2006). Expression of a boiling-stable protein (BsCyp) in response to heat shock, drought and ABA treatments in *Sorghum bicolor*. *Plant Growth Regul.* 50, 249. <https://doi.org/10.1007/s10725-006-9134-2>.
- Shit, P. K., Paira, R., Bhunia, G., & Maiti, R. (2015). Modeling of potential gully erosion hazard using geo-spatial technology at Garbheta block, West Bengal in India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1(1-2), 2.
- Soil Science Society of America (2001) – Glossary of Soil Science Terms. Soil Science Society of America, Madison, WI. <https://www.soils.org/publications/soils-glossary>. Acedido em 07-11-2018.
- Soils Canada (2019), disponível em <https://soilsofcanada.ca/glossary.php>.
- Stabile, R.A, & Vieira, B.C. (2009). The role of the topography in the distribution of gully erosion in the Southeast Brazil. In VII International Conference on Geomorphology, Melbourne.
- Suykens J.A.K. & Vandewalle, J. (1999). Least Squares Support Vector Machine Classifiers. *Neural Processing Letters*, 9: 293–300.
- Swets, A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, v. 240, n. 4857, p. 1285-1293.
- Tarboton, D.G. (1997). A new method for determination of flow directions and upslope areas grid digital elevation models. *Water Resources Research*, 33 (2), 309-319.
- Tarboton, D.G. (2004). *Terrain analysis using digital elevation models (TauDEM)*. Disponível em <http://hydrology.neng.usu.edu/taudem/>.
- The World Bank. WB. (2001). A Preliminary Assessment of Damage from the Flood and Cyclone Emergency of February-March 2000.
- The World Bank. WB. (2019). *The World Bank Climate Change Portal*. Disponível em: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>.
- Thuiler, W., Lafourcade, B & Araujo, M. (2009). ModOperating Manual for BIOMOD. Université Joseph Fourier. *Laboratoire d'Ecologie Alpine*. Grenoble. 90 p.
- UNDRO (1979). Natural Disasters and Vulnerability Analysis, Report of Expert Group. Meeting 9-12 July 1979, Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator, Geneva.
- United Nations Human Settlements Programme_UN-HABITAT. (2010). Mozambique cities profile- Maputo, Nacala and Manica. Disponível via UN-HABITAT Regional and Information Office, Nairobi. Disponível em: https://issuu.com/unhabitat/docs/mozambique_cities_profile-maputo.

- United Nations Human Settlements Programme_UN-HABITAT. (2014). Mozambique cities profile- Maputo, Nacala and Manica. Disponível via UN-HABITAT Regional and Information Office, Nairobi. Disponível em: https://issuu.com/unhabitat/docs/mozambique_cities_profile-maputo.
- United Nations University - Institute for Environment and Human Security _UNU-EHS. (2016). World Risk Report. Disponível em: https://collections.unu.edu/eserv/UNU:5763/WorldRiskReport2016_small_meta.pdf.
- United States Agency for International Development. USAID. (2018). CCAP - Projecto de Adaptação Climática as cidades costeiras, Maputo.
- Vahanne, P. (1997). Urban erosion control in the Triângulo pilot study area Nacala city, Mozambique. *Equatorial Africa VTT Publications*, (329), pp. X.
- Van Oost, K., Govers, G. Desmet, P. (2000), Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape Ecology*. 15: 577–589.
- Van Rompaey, A.J.J., Verstraeten, G., Van Oost, K., Govers, G. & Poesen, J., 2001. Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach. *Earth Surface Processes and Landforms* 26, 1221-1236.
- Van Western, C.J., Rengers, N., Terlien, M.T.J. & Soeters, R. (1997). Prediction of the occurrence of slope instability phenomenal through GIS-based hazard zonation. *Geologische Rundschau*, 86 (2), 404-414.
- Varnes, D. (1984). Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Int. Assoc. Eng. Geol. *UNESCO Natural Hazards Series*, 3 e 6, 1-63.
- Verde, J.C., & Zezere, J.L. (2010). Assessment and validation of wildfire susceptibility and hazard in Portugal, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 485-497.
- Vogel, H.J., Bartke, S., Daedlow, K., Helming, K., Kögel-Knabner, I., Lang, B., Rabot, E., Russell, D., Stößelm, B., Weller, U., Wiesmeier, M. & Wollschläger, U. (2018). A systemic approach for modeling soil functions, *Soil*, 4, 83–92.
- Wells N, Andriamihaja B. & Rakotovololona, H. F. (1991). Patterns of development of lavaka, Madagascar's unusual gullies. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16: 189-206.
- Wells, N. (2004). Gully. In Goudie, A.S. (Ed.) – *Encyclopedia of Geomorphology*. Routledge. pp. 503-506.
- Williams, J. R. (1975). Sediment – yield prediction with universal equation using runoff energy factor. *Proceedings of the sediment- Yield Workshop, USDA Sedimentation Laboratory, Oxford, Mississippi*.

- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall-erosion losses – a guide to conservation planning. US Department of Agriculture. Agriculture Handbook Nº 537.
- Xanthakis, M. & Pavlopoulos, K. (2009). Soil Erosion. In: Evelpidou, N., de Figueiredo, T. (Eds.). *Soil Protection in sloping Mediterranean Agri-Environments: lectures and exercises*. Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, Pp. 45-52.
- Yalcin A., Reis, S., Aydinoglu, A.C. & Yomralioglu, T. (2011). A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. *Catena*, 85 274–287.
- Yalcin, A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations, *Catena* 72 1–12.
- Yan, T. Z. (1988). Recent advances of quantitative prognoses of landslide in China. *Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides*, 1263 - 1268.
- Yin, K.L. & Yan, T.Z. (1988). Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks. In *Proceedings of the 5th international symposium on landslides, Lausanne, Switzerland* (vol.22, pp.1269-1272). AA Balkema Rotterdam, The Netherlands.
- Zachar, D. (1982). Soil Erosion. *Developments in Soil Science* 10. Elsevier. 547 Pp.
- Zaine, J.E. (2011). Método de fotogeologia aplicado a estudos geológico-geotécnicos: ensaio em Poços de Caldas. Rio Claro. *Instituto de Geociências e Ciências Exatas*, Universidade Estadual Paulista.
- Zêzere, J. L. (1997). *Movimentos de Vertente e Perigosidade Geomorfológica na Região a Norte de Lisboa*. (Tese de doutoramento). Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. Lisboa. Portugal.
- Zêzere, J. L. (2006). Predição Probabilística de Movimentos de Vertente na Escala Regional. *Actas de las Jornadas sobre terrazas y Prevención de riesgos naturales*, 17-30.
- Zêzere, J. L. (2010). *Relatório do Programa de Perigosidade, Vulnerabilidade e Riscos no Território: Aplicação aos Movimentos de Vertente*. Provas de Agregação. Universidade de Lisboa.
- Zêzere, J. L., Faleh, A., Sadiki, A., Garcia, R., & Oliveira, S. (2009). Modelação da Susceptibilidade a Deslizamentos na Bacia do Oued Sra (Rif central, Marrocos) com Métodos Estatísticos Bi-variados. *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos APGEOM*, vol. VI, Braga, 203-210.

- Zêzere, J. L., Pereira, A. R., & Morgado, P. (2006). Perigos Naturais e Tecnológicos no Território de Portugal Continental. *Apontamentos de Geografia*, C.E.G., 19, 1-17.
- Zêzere, J.L., Garcia, R.A.C., Oliveira, S.C. & Reis, E. (2008). Probabilistic landslide risk analysis considering direct costs in the area north of Lisbon (Portugal). *Geomorphology*, 94 (3), 467-495.
- Zêzere, J.L., Oliveira, S.C., Garcia, R.A.C, & Reis, E. (2008). Weighting predisposing factors for shallow slides susceptibility assessment on the regional scale. In Chen et al. (Eds). *Landslides and Engineered Slopes*, Taylor & Francis Group, London.
- Zhou G, Esaki T, Mitani Y, Xie M, Mori, J. (2003). Spatial probabilistic modeling of slope failure using an integrated GIS Monte Carlo simulation approach. *Eng Geol* 68(3–4):373–386.
- Zhou, J e Hoever, I., J. (2014). *Research on Workplace Creativity: A Review and Redirection*. *Annu. Rev. Organ. Psychol. Organ. Behav.* 1:333–59.