

A MODELAÇÃO ESPACIAL APLICADA À CARTOGRAFIA DE RISCO DE INUNDAÇÃO COSTEIRA NA ILHA DO PICO

Bruno Miguel Fontes da Rosa

Dissertação de Mestrado em Ordenamento do Território e SIG

Agosto, 2022

Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ordenamento do Território e Sistemas de Informação Geográfica, realizada sob a orientação científica do Prof. Dr. Rui Pedro Julião

Aos meus pais Jaime e Fernanda

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação não teria sido possível sem o contributo, direto ou indireto, de várias pessoas.

Em primeiro lugar, ao meu orientador, Professor Doutor Rui Pedro Julião, pela disponibilidade demonstrada e sugestões pertinentes que me levaram no rumo certo, bem como na ajuda fundamental na obtenção de alguns dados essenciais à conclusão deste trabalho.

À Secretaria Regional das Alterações Climáticas e Ambiente do Governo dos Açores pela disponibilização fundamental dos dados que formaram a base deste trabalho.

A todo o Corpo Docente do Mestrado em Ordenamento do Território e Sistemas de Informação Geográfica pelos conhecimentos e ferramentas que me proporcionaram, indispensáveis neste percurso.

À minha família, em especial aos meus pais, que me apoiaram desde o primeiro minuto.

Por último, mas não menos importante, à Helena, que sempre me encorajou e apoiou.

A todos, os meus sinceros agradecimentos.

A MODELAÇÃO ESPACIAL APLICADA À CARTOGRAFIA DE RISCO DE INUNDAÇÃO COSTEIRA NA ILHA DO PICO

RESUMO

As alterações climáticas são no presente um dos fatores que trazem riscos ao território, esses riscos advêm de causas como o aumento do nível médio do mar, o aumento de eventos climatéricos extremos, a escassez de água potável entre outros. Para o correto ordenamento e planeamento do território é necessário quantificar e localizar esses riscos, tomando estes a forma de cartografia de risco. Só assim se pode fazer o planeamento de como mitigar ou prevenir estes riscos.

Dentro dos riscos provocados por estes fatores, no caso de zonas costeiras e de ilhas oceânicas, o risco de inundação costeira é um dos mais evidentes, como tal é necessário quantificar e localizar este mesmo risco nestas zonas.

Sendo assim o que se pretende com este trabalho é criar uma metodologia de produção de cartografia de pormenor de risco de inundação costeira, de modo rápido e sistemático, utilizando ferramentas de modelação espacial e de análise, mais especificamente a ferramenta ModelBuilder™ do *software* ArcMap™ da ESRI e o método de análise AHP (Analytic Hierarchy Process). Como caso de estudo para implementação desta metodologia é utilizada a ilha do Pico no Arquipélago dos Açores.

PALAVRAS-CHAVE: Cartografia de Risco; Modelação Espacial; Inundações Costeiras; Sistemas de Informação Geográfica; AHP; Ordenamento do Território; Ilha do Pico; Modelo; Alterações Climáticas

SPATIAL MODELLING APPLIED TO COASTAL FLOOD RISK CARTOGRAPHY ON PICO ISLAND

ABSTRACT

Climate change is currently one of the factors that bring risks to the territory, these risks arise from causes such as rising sea levels, increased extreme weather events, and shortage of drinking water, among others. For the correct planning of the territory, it is necessary to quantify and locate these risks, taking the form of risk cartography. This is the only way to plan how to mitigate or prevent these risks.

Within the risks caused by these factors, in the case of coastal areas and oceanic islands, the risk of coastal flooding is one of the most evident, as such it is necessary to quantify and locate this same risk in these areas.

Therefore, this work aims to create a methodology for producing detailed cartography of coastal flood risk, quickly and systematically, using tools for spatial modeling and analysis, specifically the ModelBuilder™ tool from ESRI's ArcMap™ *software* and the AHP (Analytic Hierarchy Process) analysis method. As a case study for the implementation of this methodology it is used the island of Pico in the Azores Archipelago.

KEYWORDS: Risk Cartography; Spatial Modelling; Coastal Flooding; Geographic Information Systems; AHP; Spatial Planning; Pico Island; Model; Climate Change

ÍNDICE

<i>INTRODUÇÃO</i>	1
Enquadramento	1
Objetivos	1
Estrutura da dissertação	2
<i>I. Conceitos Teóricos</i>	3
I.1. Risco Vs Perigo	3
I.2. Modelação de dados	4
I.2.1. A modelação de dados na gestão do território	4
I.2.2. Modelação de dados geográficos	4
I.2.3. Tipos de dados em análise espacial	5
I.3. Método AHP	6
I.4. Unified Modeling Language	10
I.5. ArcGIS ModelBuilder	17
<i>II. Caso de estudo</i>	22
II.1. Enquadramento Geográfico	22
II.1.1. Arquipélago dos Açores	22
II.1.2. Ilha do Pico	23
II.1.3. Lajes	24
II.1.4. São Roque	25
II.1.5. Madalena	25
II.2. Enquadramento legal	26
II.2.1. Ordenamento do território e a cartografia de risco em Portugal	26
II.2.2. Ordenamento do território e a cartografia de risco na RAA	29
<i>III. Modelo de identificação de Zonas de risco de inundações costeiras</i>	35
III.1. Modelo conceptual	35
III.2. Modelo lógico	39
III.3. Modelo físico	41
III.3.1. Componentes da vulnerabilidade	41

III.3.1.1. Distância à costa.....	42
III.3.1.2. Geologia	43
III.3.1.3. Nível do mar	44
III.3.1.4. Altitude.....	45
III.3.1.5. Declive	46
III.3.1.6. Altura significativa da onda	47
III.3.1.7. Peso das componentes da vulnerabilidade.....	48
III.3.2. Componentes da exposição.....	50
III.3.2.1. Economia	51
III.3.2.2. Densidade Populacional	52
III.3.2.3. Património.....	53
III.3.2.4. Ecologia	54
III.3.2.5. Peso das componentes da exposição.....	55
III.3.3. Faixas de risco.....	56
III.3.4. Refinamento da cartografia e finalização do modelo.....	57
<i>IV. Aplicação do modelo e resultados.....</i>	<i>60</i>
IV.1. Recolha de dados	60
IV.2. Processamento	61
IV.3. Resultados.....	64
<i>CONCLUSÕES.....</i>	<i>66</i>
<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</i>	<i>68</i>
<i>LEGISLAÇÃO</i>	<i>73</i>
<i>SÍTIOS DA INTERNET</i>	<i>75</i>
<i>ANEXOS.....</i>	<i>76</i>
ANEXO I – Esquema ModelBuilder do Modelo de Análise de Inundações e Galgamentos Costeiros	76
ANEXO II - Cartografia de Pormenor de Vulnerabilidade a Inundações e/ou Galgamentos Costeiros Lajes Norte 1:2000.....	77
ANEXO III – Cartografia de Pormenor de Risco de Inundações e/ou Galgamentos Costeiros Lajes Norte 1:2000.....	78

ANEXO IV – Cartografia de Pormenor de Vulnerabilidade a Inundações e/ou	
Galgamentos Costeiros Lajes Sul 1:2000	79
ANEXO V – Cartografia de Pormenor de Risco de Inundações e/ou	
Galgamentos Costeiros Lajes Sul 1:2000	80
ANEXO VI - Cartografia de Pormenor de Vulnerabilidade a Inundações e/ou	
Galgamentos Costeiros Madalena 1:2000	81
ANEXO VII - Cartografia de Pormenor de Risco de Inundações e/ou	
Galgamentos Costeiros Madalena Norte 1:2000	82
ANEXO VIII – Cartografia de Pormenor de Vulnerabilidade a Inundações e/ou	
Galgamentos Costeiros Madalena Centro Norte 1:2000	83
ANEXO IX – Cartografia de Pormenor de Risco de Inundações e/ou	
Galgamentos Costeiros Madalena Centro Norte 1:2000	84
ANEXO X – Cartografia de Pormenor de Vulnerabilidade a Inundações e/ou	
Galgamentos Costeiros Madalena Centro Sul 1:2000	85
ANEXO XI – Cartografia de Pormenor de Risco de Inundações e/ou	
Galgamentos Costeiros Madalena Centro Sul 1:2000	86
ANEXO XII – Cartografia de Pormenor de Vulnerabilidade a Inundações e/ou	
Galgamentos Costeiros Madalena Sul 1:2000	87
ANEXO XIII – Cartografia de Pormenor de Risco de Inundações e/ou	
Galgamentos Costeiros Madalena Sul 1:2000	88
ANEXO XIV – Cartografia de Pormenor de Vulnerabilidade a Inundações e/ou	
Galgamentos Costeiros São Roque Norte 1:2000	89
ANEXO XV – Cartografia de Pormenor de Risco de Inundações e/ou	
Galgamentos Costeiros São Roque Norte 1:2000	90
ANEXO XVI – Cartografia de Pormenor de Vulnerabilidade a Inundações e/ou	
Galgamentos Costeiros São Roque Centro Norte 1:2000	91
ANEXO XVII – Cartografia de Pormenor de Risco de Inundações e/ou	
Galgamentos Costeiros São Roque Centro Norte 1:2000	92

ANEXO XVIII – Cartografia de Pormenor de Vulnerabilidade a Inundações e/ou Galgamentos Costeiros São Roque Centro Sul 1:2000	93
ANEXO XIX – Cartografia de Pormenor de Risco de Inundações e/ou Galgamentos Costeiros São Roque Centro Sul 1:2000	94
ANEXO XX – Cartografia de Pormenor de Vulnerabilidade a Inundações e/ou Galgamentos Costeiros São Roque Centro Sul 1:2000	95
ANEXO XXI – Cartografia de Pormenor de Risco de Inundações e/ou Galgamentos Costeiros São Roque Centro Sul 1:2000	96

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Etapas da modelação de dados. Adaptado de Julião (2019: p. 14).</i>	5
<i>Figura 2 - Estrutura hierárquica dos critérios para análise AHP da adequação de usos do solo. Adaptado de Duc (2006: p. 3)</i>	6
<i>Figura 3 - Elementos abstratos da linguagem UML. Adaptado de Nunes e O'Neill (2004: p. 7)</i>	11
<i>Figura 4 - Alguma da simbologia que representa relações na linguagem UML. Adaptado de Nunes e O'Neill (2004: p. 8)</i>	11
<i>Figura 5 - Representação de classe em linguagem UML. Retirado de Sundaramoorthy (2022: p. 17).</i>	13
<i>Figura 6 - Multiplicidades mais frequentes. Adaptado de Nunes e O'Neill (2004: p. 45)</i>	14
<i>Figura 7 - Exemplo da representação de um modelo em ModelBuilder. Retirado de ESRI (2021).</i>	17
<i>Figura 8 - Classificação dos elementos de um modelo em ModelBuilder. Retirado de ESRI (2021).</i>	18
<i>Figura 9 - Menu de aplicação do modelo desenvolvido.</i>	19
<i>Figura 10 - Localização Geográfica dos Açores. Imagem produzida pelo autor.</i>	22
<i>Figura 11 - Limites administrativos, de freguesia, da ilha do Pico. Imagem produzida pelo autor.</i>	24
<i>Figura 12 - Ortofotomapa à escala da vila das Lajes do Pico.</i>	24

<i>Figura 13 - Ortofotomapa da vila de São Roque</i>	<i>25</i>
<i>Figura 14 - Ortofotomapa da vila da Madalena</i>	<i>26</i>
<i>Figura 15 - Esquema de povoamento na RAA. Retirado de Decreto Legislativo Regional n.º 26/2010/A, de 12 de agosto (2010: p. 3463).....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 16 - Estrutura hierárquica do modelo.</i>	<i>35</i>
<i>Figura 17 - Diagrama UML de atividade do modelo.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 18 - Diagrama UML de classes do modelo.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 19 - Extração dos componentes da vulnerabilidade na ferramenta ModelBuilder.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 20 - Componente "distância à costa" no ModelBuilder.</i>	<i>42</i>
<i>Figura 21 - Carta geológica da Ilha do Pico adaptada da Carta Geológica de Espanha e Portugal do LNEG.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 22 - Componente "geologia" no ModelBuilder.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 23 - Componente "nível mar" no ModelBuilder.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 24 - Classe "Altitude" no ModelBuilder.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 25 - Componente "declive" no ModelBuilder.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 26 - Componente "altura significativa da onda" no ModelBuilder.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 27 - Pesos e reclassificação da vulnerabilidade no ModelBuilder.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 28 - Operacionalização da componente "exposição" no ModelBuilder.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 29 - Componente "economia" no ModelBuilder.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 30 - Componente "densidade populacional" no ModelBuilder.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 31 - Componente "património" no ModelBuilder.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 32 - Componente "ecologia" no ModelBuilder.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 33 - Pesos e reclassificação da exposição no ModelBuilder.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 34 - Pesos e reclassificação do risco no ModelBuilder.</i>	<i>57</i>
<i>Figura 35 - Exemplo de artefactos que podem surgir na cartografia resultante deste modelo, neste caso pixéis isolados.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 36 - Refinamento da cartografia e finalização do modelo no ModelBuilder.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 37 - Caixa de diálogo de inicialização do modelo.</i>	<i>62</i>
<i>Figura 38 - Caixa de diálogo apresentando o progresso do processamento.</i>	<i>62</i>
<i>Figura 39 - Caixa de diálogo após finalização do modelo.</i>	<i>63</i>
<i>Figura 40 - Definição da simbologia dos polígonos obtidos na aplicação do modelo. ..</i>	<i>64</i>

<i>Figura 41 - Pormenor da cartografia resultante do modelo em que o polígono não ocupa toda a área da linha de costa.</i>	<i>65</i>
<i>Figura 42 - Exemplo da cartografia de pormenor de risco resultante da aplicação do modelo.</i>	<i>65</i>

ÍNDICE DE QUADROS

<i>Quadro 1 - A escala de avaliação de Saaty. Adaptado de Coyle (2004: p. 2).....</i>	<i>7</i>
<i>Quadro 2 - Tipos de diagramas UML. Adaptado de Sundaramoorthy (2022: p. 3)</i>	<i>12</i>
<i>Quadro 3 - Tipos de associações e sua representação gráfica na linguagem UML. Adaptado de Sundaramoorthy (2022: p. 18).....</i>	<i>15</i>
<i>Quadro 4 - Componentes de um diagrama de atividades. Adaptado de Sundaramoorthy (2022: p.7 – 8).....</i>	<i>16</i>
<i>Quadro 5 - Elementos do ModelBuilder e a sua representação gráfica. Adaptado de ESRI (2021).....</i>	<i>20</i>
<i>Quadro 6 - Critérios de delimitação das zonas ameaçadas pelo mar na RAA. Retirado de Direção Regional do Ambiente (2020: p. 37).....</i>	<i>32</i>
<i>Quadro 7 – Critérios de delimitação da faixa terrestre de proteção costeira na RAA. Retirado de Direção Regional do Ambiente (2020: p. 25)</i>	<i>33</i>
<i>Quadro 8 - Componentes da vulnerabilidade.....</i>	<i>36</i>
<i>Quadro 9 - Componentes da exposição ao risco.</i>	<i>37</i>
<i>Quadro 10 - Classes de vulnerabilidade da componente "distância à costa", adaptado de Direção Regional de Ambiente (2019: p. 10).....</i>	<i>42</i>
<i>Quadro 11 - Classes de vulnerabilidade da componente "geologia".</i>	<i>44</i>
<i>Quadro 12 - Classes de vulnerabilidade da componente "topografia".</i>	<i>45</i>
<i>Quadro 13 - Classes de vulnerabilidade da componente "declive", adaptado de Direção Regional do Ambiente (2019: p. 8).....</i>	<i>46</i>
<i>Quadro 14 - Classes de vulnerabilidade para a componente "Hs onda", Lajes do Pico.</i>	<i>48</i>
<i>Quadro 15 - Classes de vulnerabilidade componente "Hs onda", São Roque.</i>	<i>48</i>
<i>Quadro 16 - Classes de vulnerabilidade componente "Hs onda", Madalena.</i>	<i>48</i>
<i>Quadro 17 - Classes de vulnerabilidade.</i>	<i>50</i>

<i>Quadro 18 – Classes de exposição da componente “densidade populacional”.....</i>	<i>53</i>
<i>Quadro 19 - Classes de exposição da componente "ecologia".....</i>	<i>54</i>
<i>Quadro 20 - Classes de exposição.</i>	<i>56</i>
<i>Quadro 21 - Classes de risco e a sua cor na cartografia.</i>	<i>57</i>
<i>Quadro 22 - Dados das componentes da vulnerabilidade e suas fontes.</i>	<i>60</i>
<i>Quadro 23 - Dados das componentes da exposição e suas fontes.....</i>	<i>61</i>

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Exemplo de matriz de comparação em pares e cálculo do vetor eigen.....</i>	<i>8</i>
<i>Tabela 2 - CI correspondente a cada ordem de matrizes aleatórias. Derivado de Saaty (1980) por Coyle (2004: p.11).....</i>	<i>9</i>
<i>Tabela 3 - Aplicação do método AHP às componentes de vulnerabilidade.</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 4 - Índices de controle da matriz de importância da vulnerabilidade.</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 5 - Aplicação do método AHP às componentes de exposição.</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 6 - Índices de controle da matriz de importância da exposição.</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 7 - Tempos de processamento do modelo para cada zona de estudo.</i>	<i>63</i>

LISTA DE ACRÓNIMOS

ACIP – Associação Comercial e industrial da Ilha do Pico

AHP - Analytic Hierarchy Process

CI – Índice de Consistência

CR – Rácio de Consistência

ERAC - Estratégia Regional para as Alterações Climáticas

IBA - Área Importante para as Aves e Biodiversidade

IGT – Instrumentos de Gestão Territorial

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia

MDT – Modelo Digital do Terreno

OIEWG - Open-Ended Intergovernmental Expert Working Group on Indicators and Terminology

OMG - Object Management Group

PDI - Plano Diretor Intermunicipal

PDM - Plano Diretor Municipal

PEOT - Programas Especiais de Ordenamento do Território

PIOT - Programas Intermunicipais de Ordenamento do Território

PMOT – Plano Municipal de Ordenamento do Território

PNPOT – Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território

POOC - Plano de Ordenamento da Orla Costeira

PP - Planos de Pormenor

PPI - Planos de Pormenor Intermunicipais

PRAC - Programa Regional para as Alterações Climáticas

PROTA – Plano Regional de Ordenamento do Território dos Açores

PSOT - Programas Setoriais de Ordenamento do Território

PU - Planos de Urbanização

PUI - Planos de Urbanização Intermunicipais

RAA – Região Autónoma dos Açores

REN – Reserva Ecológica Nacional

RJIGT – Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial

RJIGTA – Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial dos Açores

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SRAAC – Secretaria Regional do Ambiente e Alterações Climáticas – Governos dos Açores

SWAN – Simulating Waves Near Shore

UML – Unified Modeling Language

ZEC – Zona Especial de Conservação

ZPE – Zona de Proteção Especial

INTRODUÇÃO

Enquadramento

As alterações climáticas estão, cada vez mais, na génese dos maiores riscos para o território no presente, seja pelo aumento em quantidade e intensidade de eventos meteorológicos extremos, seja pelo aumento do nível médio do mar, entre outros. Segundo o Intergovernamental Panel on Climate Change (IPCC, 2021) estima-se que num cenário continuado de elevadas emissões de gases de efeito de estufa a média global da subida do mar poderá chegar a 2 metros em 2100 a 5 metros em 2150. As ilhas oceânicas, principalmente nas suas zonas costeiras, são particularmente suscetíveis a estes impactos. O arquipélago dos Açores insere-se neste grupo, sendo o mais recente exemplo destes eventos extremos o furacão Lorenzo que incapacitou ou destruiu totalmente um grande número de equipamentos e infraestruturas essenciais. Um elemento importante na mitigação destes impactos é a informação, principalmente a informação dos riscos a que o território está exposto, e nesse contexto insere-se a cartografia de risco. A cartografia de risco permite aos decisores preparar o território para fazer face aos riscos a que está exposto, permitindo planejar a localização de infraestruturas e de populações com maior segurança, e permitindo planejar a instalação e planeamento de medidas de mitigação destes riscos com maior eficiência promovendo a sua maior eficácia.

Objetivos

Na Região Autónoma dos Açores (RAA) já existe alguma cartografia de risco de zonas ameaçadas pelo mar, mas a mesma não cobre em pormenor a totalidade das ilhas, sendo que apenas existe cartografia pormenorizada para as ilhas de São Jorge e Terceira para a vila das Velas e cidade de Angra do Heroísmo. Só com esta cartografia pormenorizada se consegue também planejar pormenorizadamente as medidas de mitigação destes riscos. Este trabalho pretende colmatar a lacuna de cartografia de risco de galgamentos e inundações costeiros na Região Autónoma dos Açores, focando-se nas três sedes de concelho da ilha do Pico, Lajes, São Roque e Madalena, utilizando métodos de modelação espacial com apoio em *software* SIG, a ferramenta ModelBuilder™ do *software* ArcMap™ da ESRI. A classificação e quantificação do risco dos diferentes elementos será apoiada no método AHP. A cartografia será elaborada segundo o guia

metodológico proposto por Julião et al. (2009), tendo esta cartografia como sistema de referência o sistema PTTRA08-UTM/ITRF93, relativo à RAA, cumprindo com o estabelecido no Decreto-Lei n.º 173/1995, de 28 de julho, na sua versão atualizada e consolidada que estabelece os princípios e as normas a que deve obedecer a produção cartográfica no território nacional.

Pretende-se assim que esta cartografia seja uma ferramenta de apoio aos decisores políticos na tomada de decisões sobre o território.

Estrutura da dissertação

Este trabalho estrutura-se em cinco grandes partes: *Conceitos Teóricos*, *Caso de Estudo*, *Modelo de Identificação de Zonas de Risco de Inundações Costeiras*, *Aplicação do modelo e resultados* e *Conclusões*. No capítulo *Conceitos Teóricos* são apresentados os conceitos teóricos relevantes para esta dissertação, a distinção entre risco e perigo, a modelação de dados, o método AHP, o ModelBuilder e a linguagem UML. Em *Caso de Estudo* é feito o enquadramento geográfico e legal do trabalho, descrevendo o caso de estudo bem como a legislação aplicável no ordenamento do território à cartografia de risco a nível nacional, regional e municipal. No capítulo *Modelo de Identificação de Zonas de Risco de Inundações Costeiras* é apresentada a metodologia para desenvolver o modelo. Em *Aplicação do modelo e resultados* é apresentado o processo de recolha e análise dos dados utilizados no modelo e o resultado da aplicação do mesmo nas três zonas em estudo. Por fim em *Conclusões* são analisados os resultados obtidos com a aplicação do modelo e discutida a sua aplicabilidade e utilidade para a identificação e caracterização do risco.

I. CONCEITOS TEÓRICOS

I.1. Risco Vs Perigo

Segundo Sanders & McCormick (1993: p. 675), risco é “a probabilidade de lesão ou morte” e perigo é “uma condição ou um conjunto de circunstâncias que têm o potencial de causar ou contribuir para uma lesão ou morte”. Para Shinar et al. (1991: p. 1095), risco “é um resultado medido do efeito potencial do perigo” e perigo “é a situação que contém “uma fonte de energia ou de fatores fisiológicos e de comportamento/conduita que, quando não controlados, conduzem a eventos/ocorrências prejudiciais/nocivas” (Grimaldi et al. como citado em Shinar et al., 1991: p. 1095). Já Kolluru (1996: p. 1.10), classifica risco como “uma função da natureza do perigo, acessibilidade ou acesso de contato (potencial de exposição), características da população exposta (recetores), a probabilidade de ocorrência e a magnitude da exposição e das consequências” e perigo como “um agente químico, biológico ou físico (incluindo-se a radiação eletromagnética) ou um conjunto de condições que apresentam uma fonte de risco, mas não o risco em si” (Kolluru, 1996: p. 1.13). Mais recentemente o Open-Ended Intergovernmental Expert Working Group on Indicators and Terminology (OIEWG, 2016: p. 14), classificou risco como “a potencial perda de vidas, ferimentos, ou bens destruídos ou danificados que possam ocorrer a um sistema, sociedade ou comunidade num período de tempo específico, determinado probabilisticamente em função do perigo, exposição, vulnerabilidade e capacidade” e perigo como “um processo, fenómeno ou atividade humana que pode causar perda de vidas, ferimentos ou outros impactos na saúde, danos materiais, perturbações sociais e económicas ou a degradação ambiental” (OIEWG, 2016: p. 18). Portanto, de modo geral pode-se dizer que o risco é a consequência da exposição a um perigo, e que o mesmo depende das características dos elementos expostos a esse perigo. Sendo assim, a cartografia de risco inundação costeira terá que representar uma relação entre a vulnerabilidade do território ao perigo de inundação costeira, sendo esta dependente de fatores como a frequência e a magnitude do fenómeno, com a quantificação da potencial exposição dos elementos a danos provocados pelo perigo de inundação costeira.

I.2. Modelação de dados

I.2.1. A modelação de dados na gestão do território

O território é um domínio complexo sujeito à influência de elementos, também eles de elevada complexidade, que condicionam a sua gestão e utilização. Como tal é necessário conhecê-lo para que as decisões sejam tomadas de forma informada e eficiente. Sendo assim, a informação geográfica ganha especial relevância, pois permite a representação da informação em relação ao território, seja ela quantitativa ou qualitativa, desde que seja passível de ser georreferenciada, levando a um conhecimento mais detalhado desse território.

As questões técnicas, como a compatibilização e a integração de registos, são algumas das maiores dificuldades nos processos de decisão relativamente à manipulação da informação, levando a que mesmo existindo suporte tecnológico e instrumentos teóricos o processo de desenvolvimento de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) seja bastante difícil e moroso. Existem também algumas questões éticas e culturais que são um obstáculo à livre circulação e utilização da informação.

Sendo então o território complexo, a aquisição e manipulação de informação geográfica um trabalho difícil e moroso, é também difícil manipular o território na sua totalidade, sendo necessário recorrer à modelação geográfica. A modelação geográfica pode-se definir então como a simplificação da realidade, ao ponto de a tornar manipulável, permitindo aproximações da previsão do comportamento do território e dos fenómenos nele desenvolvidos, bem como dos agentes que intervêm no mesmo. Serve esta assim, na gestão e ordenamento do território, como ferramenta para a tomada de decisões que se baseiam na possível evolução futura do território determinada por diversos fatores, quer seja para a identificação de oportunidades, condicionantes ou riscos (Julião, 2009).

I.2.2. Modelação de dados geográficos

Segundo Santos & Amaral (2002), a modelação de dados é “o conjunto de atividades que conduz ao desenho de uma Base de Dados”, dividindo-se esta em três etapas, o modelo conceptual de dados, o modelo lógico de dados, e o modelo físico de dados. Para (Julião, 2019), a modelação de dados divide-se nas etapas mundo real, análise e recolha de

requisitos, desenho conceptual, desenho lógico e desenho físico (Figura 1). No caso específico da modelação de dados geográficos são necessárias ferramentas que permitam armazenar e processar dados geográficos, sendo que estes estão dotados de certas propriedades que os distinguem de outras categorias de dados, pois estes representam fenómenos e objetos em que a posição no espaço é relevante, sendo esta localização no espaço o fator que define a relação entre os mesmos (Santos & Amaral, 2002).



Figura 1 - Etapas da modelação de dados. Adaptado de Julião (2019: p. 14).

I.2.3. Tipos de dados em análise espacial

Segundo Câmara et al. (2004), existem três tipos de dados espaciais:

- *Eventos ou padrões pontuais*, como a localização de crimes, ocorrências de doenças e localização de espécies vegetais;
- *Superfícies contínuas*, como mapas geológicos, topográficos, ecológicos, fitogeográficos e pedológicos;
- *Áreas com contagens e taxas agregadas*, que são dados associados a levantamentos populacionais, como censos e estatísticas de saúde, sendo que estão agregados em unidades de análise, normalmente delimitadas por polígonos, que representam por exemplo municípios, freguesias ou outras unidades administrativas.

Os dados também podem ser divididos por formato em:

-*Vetorial*, sendo este tipo constituído por pontos, linhas ou polígonos, que estão ligados a uma tabela de atributos;

-*Raster*, que são dados contínuos representados por células tendo cada uma um valor de um dado atributo, por exemplo altura, inclinação de uma vertente ou representarem um pixel com uma determinada cor, usado por exemplo na deteção remota.

I.3. Método AHP

Para se poder analisar o risco de inundação costeira em determinado local é necessário classificar os diferentes critérios que contribuem para esse risco. Cada um desses critérios contribui com um peso diferente para o risco de inundação costeira, e como tal é necessário analisar e classificar o contributo de cada um deles para o objetivo final. Assim, para esse propósito, foi utilizado o método de análise *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

O método (AHP), desenvolvido por Saaty (1980), é um método de apoio à decisão que se baseia na hierarquização dos critérios utilizados em cada análise. Esta hierarquização permite avaliar o contributo individual dos critérios de níveis inferiores para os critérios dos níveis hierárquicos superiores (Duc, 2006).

No método AHP o problema é dividido em critérios e subcritérios, sendo o objetivo o nível de topo da hierarquia (Figura 2). Este tipo de estrutura hierárquica permite incorporar na análise tanto critérios qualitativos como quantitativos.

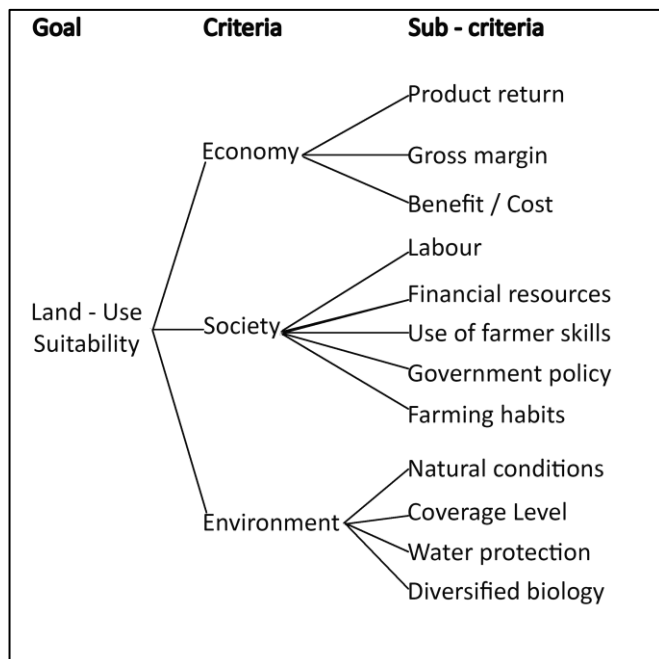


Figura 2 - Estrutura hierárquica dos critérios para análise AHP da adequação de usos do solo. Adaptado de Duc (2006: p. 3)

O passo seguinte neste método é avaliar a importância de cada par de critérios ou subcritérios entre si em relação ao nível hierárquico seguinte. Este valor é avaliado numa escala de 9 pontos, em que 1 indica que os critérios têm igual importância e 9 representa um critério que é absolutamente mais importante que o outro (Coyle, 2004)(Quadro 1).

Intensidade da Importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	Dois fatores contribuem de igual modo para o objetivo.
3	Um pouco mais importante	A experiência e a avaliação favorecem ligeiramente um em detrimento do outro.
5	Mais importante	A experiência e a avaliação favorecem fortemente um em detrimento do outro.
7	Muito mais importante	A experiência e a avaliação favorecem muito fortemente um em detrimento do outro. A sua importância é demonstrada na prática.
9	Absolutamente mais importante	As evidências favorecendo um sobre o outro são da mais alta validade possível.
2, 4, 6, 8	Valores intermédios	Quando é necessário compromisso

Quadro 1 - A escala de avaliação de Saaty. Adaptado de Coyle (2004: p. 2)

Estes valores são inseridos numa matriz de comparação em pares com uma diagonal composta por 1's, sendo a partir desta extraído um vetor *eigen* que representa os pesos relativos de cada critério em relação ao objetivo (Tabela 1).

Tabela 1 – Exemplo de matriz de comparação em pares e cálculo do vetor *eigen*

	A	B	C	$\sqrt[n]{\text{Produto dos valores}}$	Vetor <i>eigen</i>
A	1	1/5	3	0,843	0,188
B	5	1	7	3,271	0,731
C	1/3	1/7	1	0,362	0,081
Totais				3,413	1

Na Tabela 1 vemos um exemplo de uma matriz em pares e o vetor *eigen* correspondente. Para calcular os valores do vetor *eigen* calcula-se a raiz de índice n do produto de cada linha, sendo n a ordem da matriz de comparação de pares, e divide-se a mesma pela soma de todas as raízes de índice n (Coyle, 2004).

Vetor *eigen* (exemplo primeira linha da matriz de exemplo):

$$E_1 = \frac{\sqrt[n]{a_{11} \times a_{12} \dots \times a_{1j}}}{\sqrt[n]{a_{11} \times a_{12} \dots \times a_{1j}} + \sqrt[n]{a_{21} \times a_{22} \dots \times a_{2j}} \dots + \sqrt[n]{a_{i1} \times a_{i2} \dots \times a_{ij}}}$$

Em que i representa as linhas da matriz e j as colunas da matriz e E o elemento do vetor *eigen*.

Para verificar a consistência da análise é necessário calcular o Índice de Consistência (CI) e o Rácio de Consistência (CR). O primeiro passo é calcular o $\lambda_{\text{máx}}$.

Para cálculo do $\lambda_{\text{máx}}$, primeiro multiplica-se a matriz pelo vetor *eigen* obtendo um novo vetor. Exemplo da primeira linha da matriz:

$$V_1 = \text{eigen}_1 * a_{11} + \text{eigen}_2 * a_{12} \dots + \text{eigen}_i * a_{1j}$$

Em que i representa as linhas e j as colunas da matriz e V o elemento do vetor.

$$1*0,188+1/5*0,731+3*0,0811 = 0,577$$

Os valores relativos às outras linhas são 2,238 e 0,248. O passo seguinte é calcular estimativas para o $\lambda_{\text{máx}}$, simplesmente dividindo cada elemento do vetor V pelos correspondentes do vetor *eigen*. Obtém-se assim os valores 3,069, 3,062, 3,062. Sendo o $\lambda_{\text{máx}}$ a média das três estimativas, 3,064.

O Índice de consistência, CI, é dado pela fórmula:

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

Sendo assim o CI neste exemplo seria:

$$CI = \frac{3,064 - 3}{3 - 1} = 0,032$$

Para calcular o Rácio de Consistência é usado o valor correspondente de CI, para a ordem da matriz, de uma amostra grande de matrizes de julgamentos puramente aleatórios (Tabela 2).

Tabela 2 - CI correspondente a cada ordem de matrizes aleatórias. Derivado de Saaty (1980) por Coyle (2004: p.11)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

$$CR = \frac{CI_{calculado}}{CI_{tabelado}}$$

No caso do exemplo a ordem da matriz de comparação de pares é 3, logo o CR é dado por:

$$CR = \frac{0,032}{0,58} = 0,055$$

Segundo Saaty (1980) citado por (Coyle, 2004) um $CR > 0,1$ está no limite da consistência, assim no exemplo apresentado o valor do CR está abaixo do limite e por consequência os valores calculados são consistentes.

Nesta dissertação o método AHP é usado para definir o peso de cada critério para o objetivo final de delimitar as zonas de risco de inundação costeira, mas pode ser usado nos mais variados processos de decisão, como para analisar a adequação de uso do solo a determinada atividade, para escolher qual o equipamento mais benéfico para uma linha de produção ou qual o veículo mais vantajoso para uma empresa, entre outros. É um método passível de erro, mas que tem mecanismos que o quantificam por isso é bastante confiável, desde que os critérios sejam avaliados de um modo correto, baseado em evidências empíricas.

I.4. Unified Modeling Language

Para se poder operacionalizar o modelo apresentado nesta dissertação, foi necessário representá-lo numa linguagem de modelação que permitisse demonstrar a sua estrutura de dados e o relacionamento entre si. Para esse fim foi utilizada a *Unified Modeling Language* (UML).

A UML é uma linguagem de modelação padronizada cujo objetivo é representar sistemas complexos, tendo-se tornado na linguagem padrão na visualização de comportamento de *software*. Pelo fato desta utilizar um conjunto de símbolos padrão facilita a comunicação entre os diversos elementos envolvidos no desenvolvimento do modelo ou *software*, utilizadores, gestores e equipa de desenvolvimento (Nunes & O'Neill, 2004). Esta linguagem foi desenvolvida inicialmente por Grady Booch, Ivar Jacobson e James Rumbaugh, tendo sido estandardizada pelo *Object Management Group* (OMG) em 1997 (Booch et al., 1999). Segundo Booch et al. (1999) os objetivos iniciais que levaram à criação desta linguagem seriam:

- “Modelar sistemas, do conceito ao artefacto executável, utilizando técnicas orientadas para o objeto”¹;
- “Abordar as questões de escala inerentes a sistemas complexos e fundamentais”¹;
- “Criar uma linguagem de modelação utilizável tanto por humanos como por máquinas”¹.

De acordo com Fowler (2004), comumente a UML é utilizada para fazer esboços, planos ou como linguagem de programação. Os esboços são usados pelos desenvolvedores para comunicar alguns aspetos de um sistema. Os planos são utilizados pelos designers de *software* para demonstrar detalhadamente aos programadores o que programar. Estes planos devem ser o mais detalhados possível de modo que o programador possa segui-los de forma intuitiva. Como linguagem de programação, os diagramas em linguagem UML podem gerar automaticamente linhas de código.

¹The unified modeling language user guide, 1999: p. 11.

Segundo o Object Management Group (2017), um modelo UML é constituído por três categorias principais:

- Classificadores. “Um classificador descreve um conjunto de objetos. Um objeto é um indivíduo com um estado e relações para outros objetos. O estado de um objeto identifica os valores para esse objeto de propriedades do classificador do objeto.”²;
- Eventos. “Um evento descreve um conjunto de possíveis ocorrências. Uma ocorrência é algo que acontece e que tem alguma consequência no que diz respeito ao sistema”²;
- Comportamentos. “Um comportamento descreve um conjunto de possíveis execuções. Uma execução é uma realização de um conjunto de ações (potencialmente durante algum tempo) que possam gerar e responder a ocorrências de eventos, incluindo aceder e alterar o estado dos objetos”².

Segundo Nunes & O'Neill (2004), num modelo UML são representados aspetos complementares de um sistema de informação através de diagramas. Nestes diagramas os elementos que estão a ser modelados são representados por símbolos e as relações entre eles por linhas. Cada símbolo e linha tem um significado específico e uma forma distinta que constituem uma forma de notação (Figura 3 e 4).

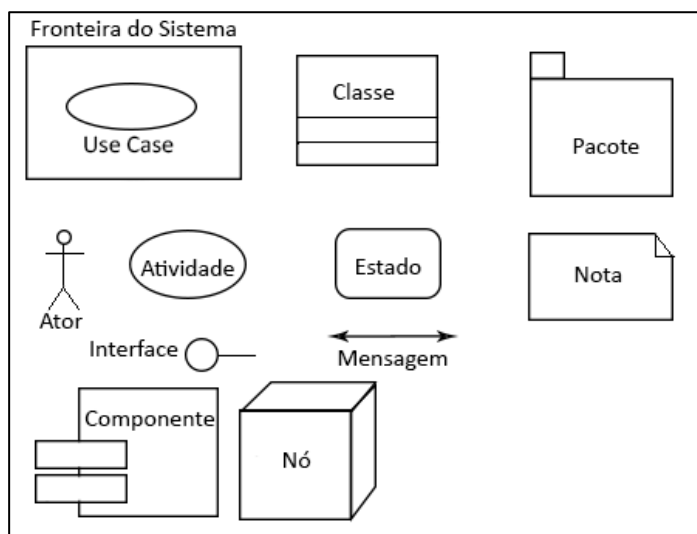


Figura 3 - Elementos abstratos da linguagem UML. Adaptado de Nunes e O'Neill (2004: p. 7)

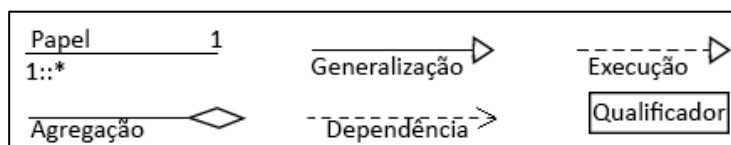


Figura 4 - Alguma da simbologia que representa relações na linguagem UML. Adaptado de Nunes e O'Neill (2004: p. 8)

² OMG unified modeling language (OMG UML): Version 2.5.1, 2017: p. 12.

Os diagramas da linguagem UML, na sua mais recente versão, agrupam-se em oito categorias, diagramas de *usecase*, de atividade, de classes, de sequência, de colaboração/comunicação, de estados, de componentes e de instalação (Sundaramoorthy, 2022) (Quadro 2).

Diagrama UML	Propósito do diagrama UML
<i>Usecase</i>	Concentra-se na identificação dos requisitos funcionais do sistema em consideração.
Atividade	Centra-se em atividades sequenciais e paralelas envolvidas em cada requisito funcional do sistema.
Classes	Descreve a estrutura do sistema em termos de classes e objetos.
Sequência	Descreve os objetos envolvidos no cenário e a sequência de mensagens trocadas entre os objetos necessárias para levar a cabo a funcionalidade
Colaboração/ comunicação	Mostra interações entre objetos usando mensagens sequenciadas num arranjo de forma livre.
Estados	Descreve a vida de um objeto usando três elementos principais: estados de um objeto, transições entre estados e eventos que desencadeiam as transições.
Componentes	O objetivo de um diagrama de componentes é mostrar a relação entre os diferentes componentes de um sistema.
Instalação	Os diagramas de instalação são utilizados para descrever aos componentes de hardware, onde são instalados os componentes de <i>software</i> . A finalidade dos diagramas de instalação pode ser descrita como: - Visualizar a topologia de hardware de um sistema. - Descrever os componentes de hardware utilizados para a instalação dos componentes de <i>software</i> . - Descrever os nós de processamento em tempo de execução.

Quadro 2 - Tipos de diagramas UML. Adaptado de Sundaramoorthy (2022: p. 3)

No caso do modelo apresentado nesta dissertação serão usados principalmente os diagramas UML do tipo diagrama de classes e diagrama de atividades. No diagrama de classes o principal componente são as classes (Figura 3). Um diagrama de classes é uma descrição formal da estrutura de objetos num sistema, onde para cada objeto se descreve a sua identidade, a relação com outros objetos e os seus atributos e operações (Nunes & O'Neill, 2004). Cada classe é representada por um retângulo dividido em três compartimentos, sendo o topo o nome da classe, o meio os atributos, e a base os comportamentos/operações (Figura 5). Os atributos podem ser por exemplo do tipo integer, caracteres, string, data, hora, dinheiro, euros, cor, cidade, país, código postal, morada, booleanos, etc (Sundaramoorthy, 2022).

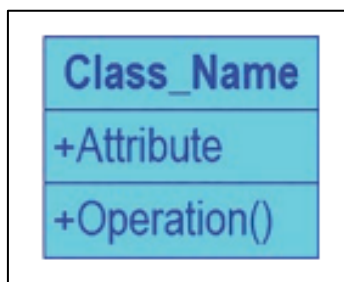


Figura 5 - Representação de classe em linguagem UML. Retirado de Sundaramoorthy (2022: p. 17)

Para além da representação das relações entre elementos (Figura 4), também pode ser representada a sua multiplicidade, que indica quantos objetos participam na relação. Segundo Nunes & O'Neill (2004) as formas mais comuns de multiplicidade são as seguintes:

- 0.. 1 – Opcional
- 1..1 – Obrigatório existir um objeto.
- 1.. 10 – Um valor no intervalo estabelecido. Neste caso 10.
- 0.. * - Zero ou infinitos objetos de classe.
- 1.. * - Um ou infinitos objetos da classe.

Numa associação podem ser efetuadas várias combinações de multiplicidade, por exemplo de um para um, em que um objeto de uma classe pode estar associado a apenas um objeto de outra classe, de um para muitos, em que um objeto de uma classe pode estar associado a muitos objetos de outra classe, de muitos para um, em que muitos objetos de uma classe podem estar associados a um objeto de outra classe e de muitos para muitos, em que muitos objetos de uma classe podem estar associados a muitos objetos de outra classe (Figura 6).

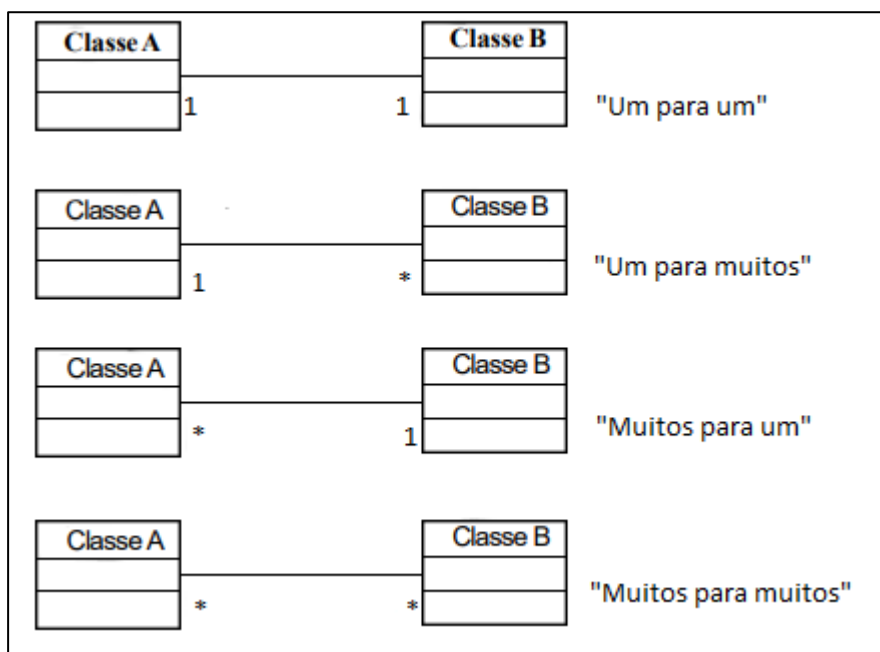
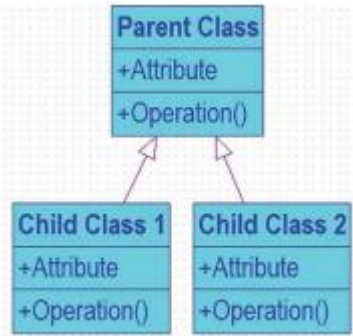


Figura 6 - Multiplicidades mais frequentes. Adaptado de Nunes e O'Neill (2004: p. 45)

Como mostra a Figura 3, as associações entre classes são representadas por linhas, para esta dissertação as mais importantes são a associação direta, a dependência, a agregação, a composição e a generalização (Quadro 3). A associação direta é usada quando duas classes se ligam de tal forma, dando prioridade a comunicação unidirecional. A dependência é usada quando a existência de uma classe depende da outra. A agregação é usada quando representa parte de uma relação, sendo que várias instâncias de uma classe podem ser associadas a outra classe. Neste tipo de relação a classe filha pode existir independentemente da classe parental. A composição representa um todo, isto implica que a classe filha não possa existir sem a classe parental. A generalização representa o conceito de herança, ou seja, a classe filha é um subtipo da classe parental.

Tipo de Associação	Representação
Direta	
Dependência	
Agregação	
Composição	
Generalização	

Quadro 3 - Tipos de associações e sua representação gráfica na linguagem UML. Adaptado de Sundaramoorthy (2022: p. 18)

Um diagrama de atividade pode descrever fluxos de trabalho numa organização, detalhar operações numa classe ou ainda descrever um fluxo de atividades mais alargado. Este tipo de diagrama tem capacidade para descrever um conjunto de atividades que se desenvolvem em paralelo (Nunes & O'Neill, 2004). Num diagrama de

atividades o componente principal são os nódulos que constituem cada atividade. No Quadro 4 é descrita a principal simbologia dos componentes dos diagramas de atividade utilizada nesta dissertação.

Componente	Simbologia	Descrição
Estado Inicial		Representa o estado inicial do sistema sob consideração.
Estado Final		Representa o estado final do sistema sob consideração.
Nóculo de ação		Representa uma operação, atividade ou processo.
Nóculo de objeto		Representa uma entidade que transporta dados entre dois nódulos de ação.
Decisão		-Um nó de decisão tem uma entrada ou duas ou mais saídas dependendo da condição para a qual foi concebido. -Cada fluxo de saída tem uma condição ligada a ele. -Se uma condição for cumprida, o fluxo prossegue juntamente com o resultados apropriados. -Pode ser definida uma saída "else" ao longo da qual o fluxo pode proceder se nenhuma outra condição for satisfeita.

Quadro 4 - Componentes de um diagrama de atividades. Adaptado de Sundaramoorthy (2022: p.7 – 8)

Portanto, verificamos assim a utilidade da linguagem UML para demonstrar as relações e operações entre os objetos de um modelo, bem como indicar de forma clara o fluxo de dados, de modo que o modelo possa ser entendido e aplicado corretamente quer pelos utilizadores, quer pelos desenvolvedores do mesmo.

I.5. ArcGIS ModelBuilder

A análise de vulnerabilidades e de riscos do território envolve quantidades elevadas de processamento de dados espaciais onde a sequência lógica das tarefas (*workflow*) tem que ser processada e documentada. Em todo este processo as tecnologias SIG são essenciais, fornecendo todas as ferramentas de geoprocessamento necessárias na análise espacial. Neste sentido os modelos espaciais em SIG facilitam o processo, ligando tarefas e processos e automatizando o *workflow*, permitindo executar o mesmo, modificá-lo e repeti-lo inúmeras vezes de forma rápida e eficiente com o premir de um botão, aumentando a eficiência do geoprocessamento (Goodchild, 2005). Sendo assim, o modelo apresentado nesta dissertação foi desenvolvido utilizando a ferramenta ModelBuilder do *software* ArcMap da ESRI.

No ModelBuilder o modelo é representado por um diagrama de fluxo num interface gráfico que facilita a criação, visualização, edição e execução do workflow de geoprocessamento (ESRI, 2000)(Figura 7).

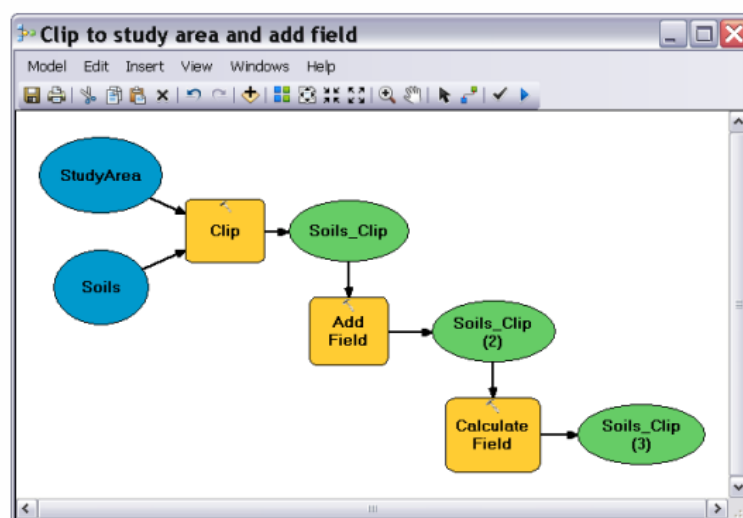


Figura 7 - Exemplo da representação de um modelo em ModelBuilder. Retirado de ESRI (2021).

Os modelos desenvolvidos em ModelBuilder são constituídos por vários elementos representados por diferentes grafismos. São componentes básicos de um modelo em ModelBuilder as ferramentas (*tools*), as variáveis (*variables*), que podem ser de dados (*data*) ou valores (*value*), e os conectores (*connectors*), que podem ser de dados (*data*), ambiente (*environment*), pré-condição (*precondition*) ou *feedback* (ESRI, 2021) (Figura 8).

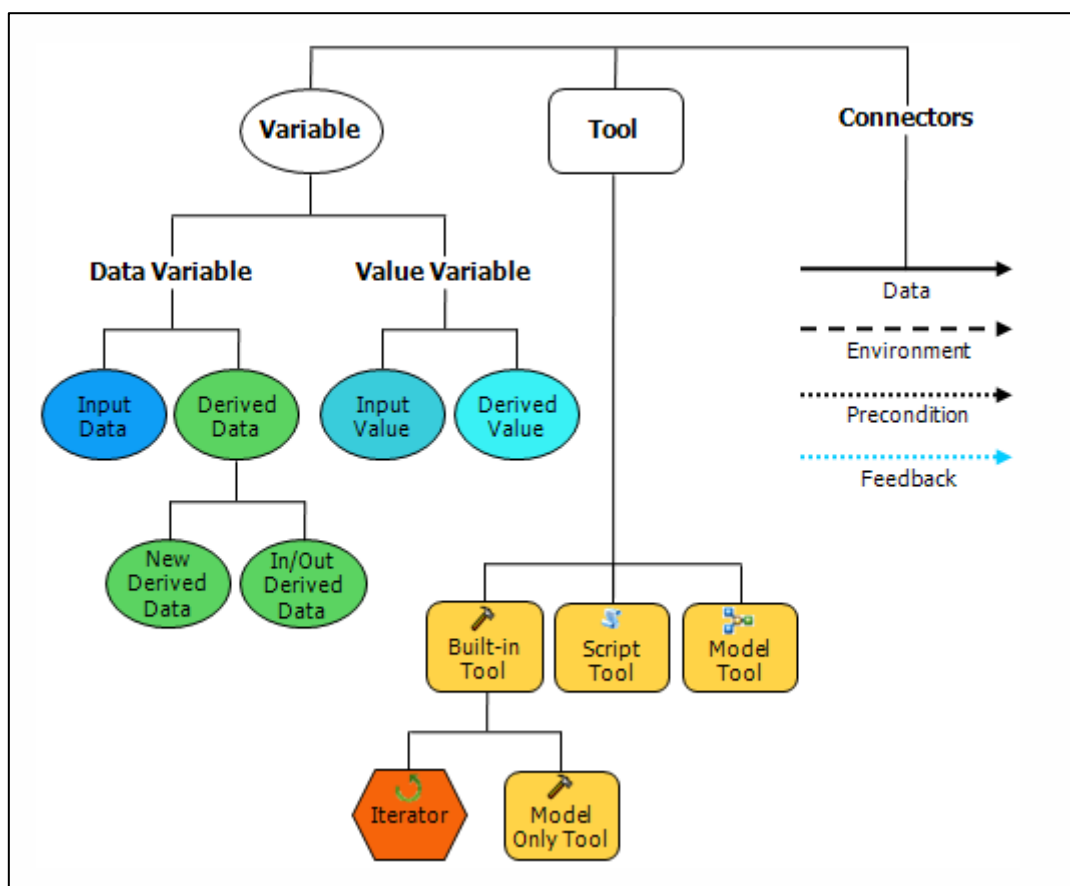


Figura 8 - Classificação dos elementos de um modelo em ModelBuilder. Retirado de ESRI (2021).

As ferramentas (*tools*) de geoprocessamento são os blocos básicos de construção dos fluxos de trabalho de um modelo. As ferramentas executam várias operações sobre dados geográficos ou tabulares. Quando se adicionam ferramentas a um modelo, estas tornam-se elementos de modelo. As variáveis (*variables*) são elementos de um modelo que contêm um valor ou uma referência a dados armazenados em disco. Existem dois tipos de variáveis, as de dados (*data*), que são elementos do modelo que contêm informação descritiva sobre dados armazenados em disco, e as de valor (*value*), que são valores como *strings*, números, booleanos (valores verdadeiro/falso), referências

espaciais, unidades lineares, ou extensões. As variáveis de valor contêm tudo menos referências a dados armazenados em disco. Os conectores que ligam dados e valores a ferramentas. As setas dos conectores mostram a direção do processamento. Existem quatro tipos de conectores. Os conectores de dados (*data*), que conectam dados e variáveis às ferramentas, os conectores de ambiente (*environment*), que ligam uma variável contendo uma definição de ambiente (dados ou valor) a uma ferramenta, os conectores de pré-condição (*precondition*), que liga uma variável a uma ferramenta, a ferramenta só será executada após o conteúdo da variável de pré-condição ter sido criado e os conectores de *feedback*, que conectam o output de uma ferramenta à mesma ferramenta como input (ESRI, 2021).

Ao modelo podem ser adicionados metadados para o descrever e a cada uma das ferramentas, qual a sua função, que dados serão necessários, ou não, para aplicação do mesmo. Também é possível editar o menu de aplicação do modelo, permitindo que o utilizador possa escolher a extensão de aplicação do modelo e a sua área de aplicação (Figura 9). Quanto mais detalhada for esta informação, menor probabilidade de erro haverá na aplicação do modelo pelos utilizadores.

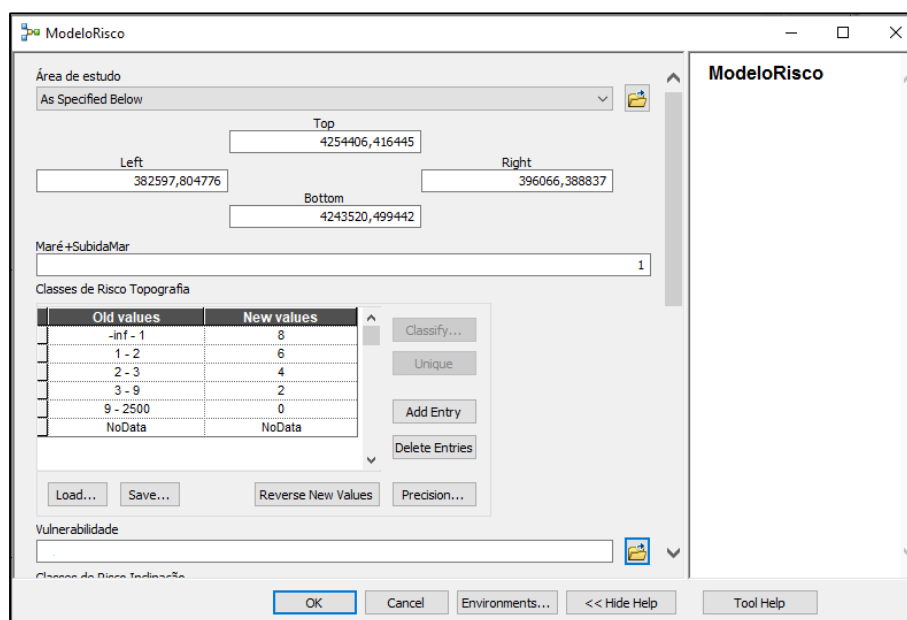
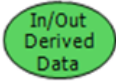
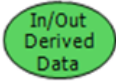
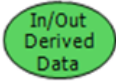
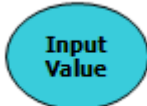
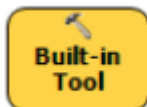


Figura 9 - Menu de aplicação do modelo desenvolvido.

No Quadro 5 são apresentadas breves descrições dos elementos mais importantes utilizados no modelo apresentado nesta dissertação, bem como os grafismos que representam cada um. Quanto mais complexo o modelo mais elementos

este irá conter, podendo por vezes tornar-se confuso sem a ajuda de descritores que indiquem o que representa cada parte do modelo.

Elemento	Imagem	Descrição				
Variável de dados (<i>data variable</i>)		Dados existentes adicionados a um modelo. Tipicamente, as variáveis de dados são o resultado da especificação de um parâmetro de entrada da ferramenta. Estes dados existentes são por vezes referidos como dados de projeto.				
Variável de dados derivada ou de saída		Os dados derivados ou de saída são novos dados criados por uma ferramenta do modelo. Quando uma ferramenta é adicionada a um modelo, uma variável para os dados derivados da ferramenta é automaticamente criada e ligada à ferramenta. <table><tr><td></td><td>A ferramenta cria um novo conjunto de dados que é gravado em disco quando o modelo é executado.</td></tr><tr><td></td><td>A ferramenta altera os dados de entrada quando o modelo é executado. Por defeito, a variável de entrada/saída de dados derivados terá o mesmo nome que os dados de entrada, mas com um número único anexado no final.</td></tr></table>		A ferramenta cria um novo conjunto de dados que é gravado em disco quando o modelo é executado.		A ferramenta altera os dados de entrada quando o modelo é executado. Por defeito, a variável de entrada/saída de dados derivados terá o mesmo nome que os dados de entrada, mas com um número único anexado no final.
	A ferramenta cria um novo conjunto de dados que é gravado em disco quando o modelo é executado.					
	A ferramenta altera os dados de entrada quando o modelo é executado. Por defeito, a variável de entrada/saída de dados derivados terá o mesmo nome que os dados de entrada, mas com um número único anexado no final.					
Variável de valor (<i>value variable</i>)		Valores que são introduzidos numa ferramenta.				
Ferramenta (<i>tool</i>)		Estas ferramentas são construídas utilizando ArcObjects e uma linguagem de programação compilada como .NET. As ferramentas embutidas são tipicamente ferramentas de sistema (aquelas instaladas com ArcGIS).				

Quadro 5 - Elementos do ModelBuilder e a sua representação gráfica. Adaptado de ESRI (2021).

O ModelBuilder é uma ferramenta muito versátil no geoprocessamento, e o seu uso permite agilizar o *workflow* desses processos, automatizando e tornando mais eficientes os mesmos. Assim, isto permite que um conjunto de passos de geoprocessamento complexos sejam efetuados inúmeras vezes por utilizadores diferentes, em diferentes áreas geográficas apenas com o premir de um botão. Isto é benéfico na modelação espacial, visto que um fenómeno natural, como é o caso das inundações costeiras, pode ser simulado e replicado com o mesmo método e ferramentas em diferentes áreas geográficas rápida e eficientemente. O que leva assim a resultados mais uniformes, e no caso da cartografia de riscos de inundação costeira facilita a padronização e a automatização da produção da mesma.

II. CASO DE ESTUDO

II.1. Enquadramento Geográfico

II.1.1. Arquipélago dos Açores

O Arquipélago dos Açores localiza-se no Oceano Atlântico Norte a cerca de 1 500 km de Lisboa e a 3 900 km da costa da América do Norte, entre as coordenadas 36° 55' e 39° 43' de Latitude N e 24° 46' e 31° 16' de Longitude W constituindo na sua totalidade a Região Autónoma dos Açores (Figura 10). Estende-se por cerca de 600 km, com orientação WNW-ESE. Constituído por 9 ilhas que se dividem em três grupos conforme a sua localização geográfica (Ocidental, Central e Oriental), Flores e Corvo no grupo Ocidental, Faial, Graciosa, Pico, São Jorge e Terceira no grupo Central e São Miguel e Santa Maria no grupo Oriental, dispersando-se numa área de 66 000 km². As 9 ilhas compõem uma área terrestre total de 2 333 km² e uma extensão de costa de 900 km.

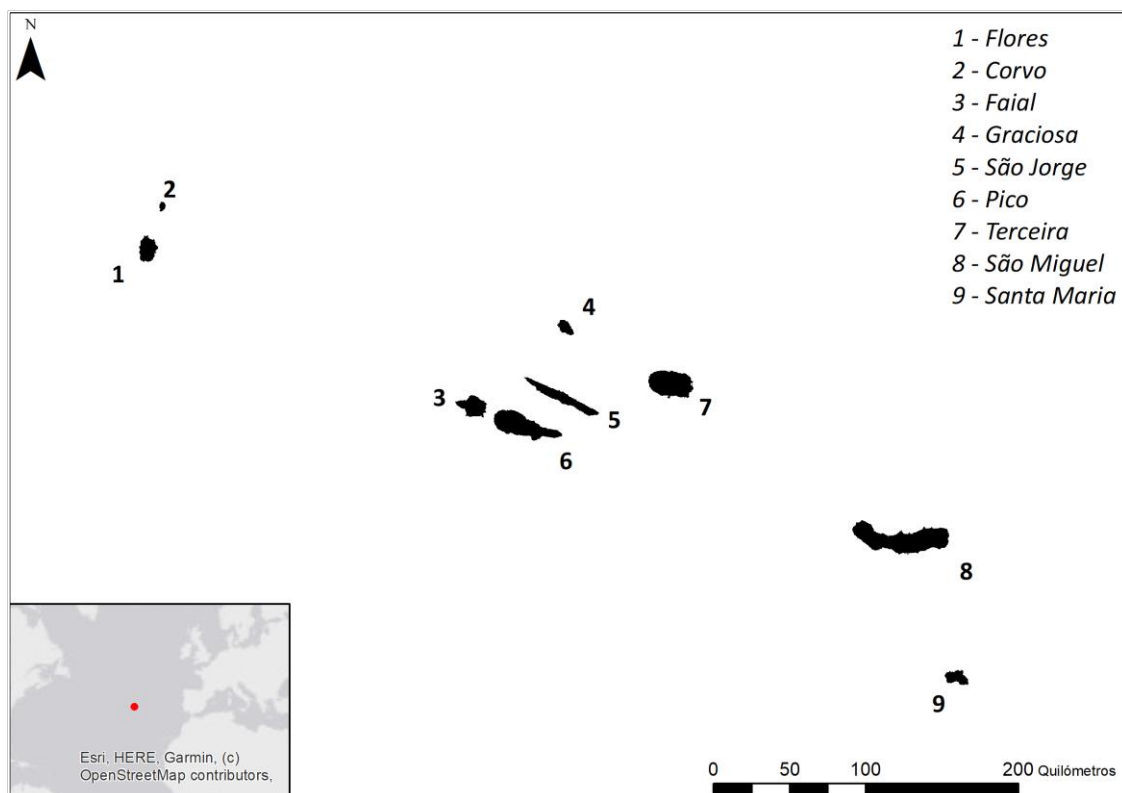


Figura 10 - Localização Geográfica dos Açores. Imagem produzida pelo autor.

São ilhas vulcânicas com origem na crista médio atlântica, localizando-se na interseção de três placas litosféricas, a Americana, a Africana e a Euroasiática, formando a Junção Tripla dos Açores, *Azores Triple Junction*. Em termos de idade geológica de formação variam entre 8,1 milhões de anos (Santa Maria) e 270 mil anos (Pico).

Climatericamente o arquipélago é caracterizado por elevados índices de humidade do ar, chuvas regulares e abundantes, taxas de insulação baixas, amenidade térmica e por um regime de ventos rigoroso. São identificadas quatro estações com variações de temperaturas entre 13 °C no inverno e 24 °C no verão. As diferentes ilhas têm características climáticas diferenciadas devido à sua localização geográfica, havendo também estratificação altimétrica e o surgimento de assimetrias significativas no interior de cada ilha, relacionadas com a sua morfologia, estrutura geológica e vegetação. Na generalidade apresentam um clima tropical a subtropical (Forjaz, 2004).

II.1.2. Ilha do Pico

A Ilha do Pico pertence ao grupo Central do Arquipélago dos Açores, sendo a segunda maior ilha em área, com 447 km² e 152 km de costa. Na sua parte mais ocidental localiza-se a montanha do Pico, com 2 351 m de altitude, sendo este o ponto mais alto de Portugal. Geomorfologicamente divide-se em três zonas, o complexo vulcânico da Montanha do Pico, o Planalto da Achada e complexo vulcânico do Topo (França et al., 2003). Uma grande área da ilha está classificada como área protegida, cerca de 35% (Borges et al., 2014).

Tem uma população de 13 883 habitantes (Instituto Nacional de Estatística, 2021) distribuídos em áreas urbanas de pequena dimensão maioritariamente localizadas na zona costeira, sendo que as principais atividades sociais e económicas se concentram nessa mesma zona. Com uma base económica maioritariamente suportada na agropecuária (produção de leite e carne), sendo o turismo uma atividade em expansão (M. Pereira et al., 2014). Ao longo dos séculos a viticultura assumiu relevância tal, que o seu modo tradicional de cultivo em currais de pedra de basalto, influenciado pelas características territoriais adversas da ilha, deu origem a um património histórico-cultural único classificado como Património da Humanidade pela UNESCO em 2004 (World Heritage Committee, 2004).

Administrativamente está dividida em três municípios (Figura 11), Lajes do Pico, Madalena e São Roque, com sedes de mesmo nome, onde se encontram localizados a maioria dos serviços essenciais, saúde, educação, bombeiros, proteção civil, abastecimento alimentar, produção energética, infraestruturas portuárias de grande dimensão entre outros.

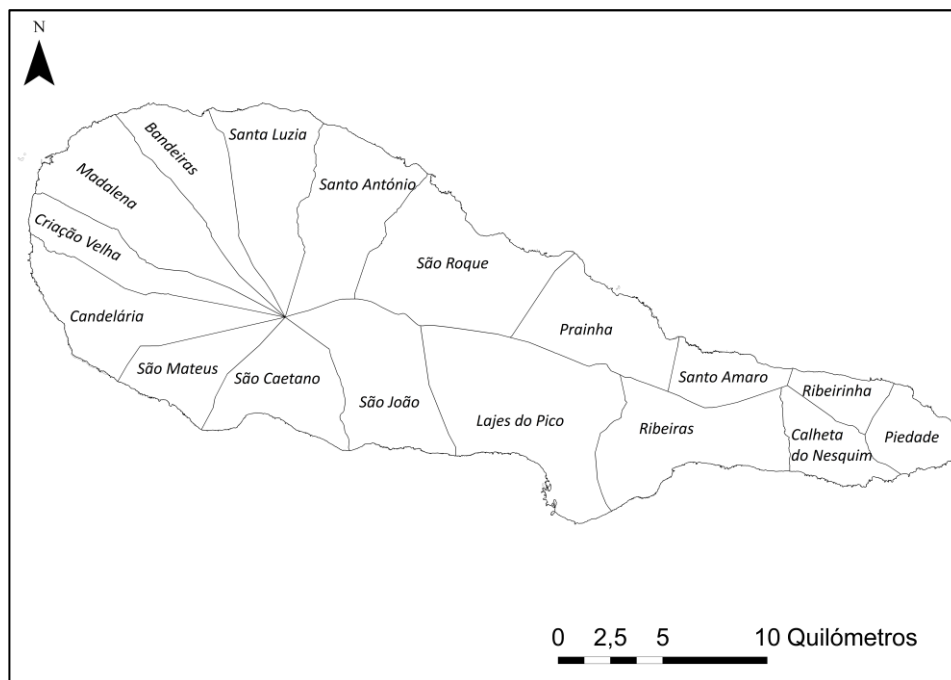


Figura 11 - Limites administrativos, de freguesia, da ilha do Pico. Imagem produzida pelo autor.

II.1.3. Lajes

A vila das Lajes é a sede do município com o mesmo nome. Localiza-se na zona sul da ilha numa fajã lávica que apresenta a maior área de abrasão marinha dos Açores, bem como um sistema lagunar de água salgada, braços de mar, e arribas fósseis. A vila é protegida da ondulação a oeste por uma barreira natural conhecida por Calhau Grosso, onde o sistema lagunar que aí se encontra a torna atrativa para aves migratórias. A sul está protegida pela chaminé vulcânica do Castelete, um cone de escórias bastante erodido. Esta área está



Figura 12 - Ortofotomapa à escala da vila das Lajes do Pico

incluída na Zona Especial de Conservação (ZEC) e na Zona de Proteção Especial (ZPE) das Lajes do Pico, da Rede Natura 2000 (Figura 12), e na Área Importante para as Aves e Biodiversidade (IBA) das Lajes do Pico, constituindo também o geossítio prioritário da Fajã Lávica das Lajes do Pico do Geoparque Açores (Azorina, 2020). Como sede do município, nela estão localizados os principais serviços e infraestruturas essenciais, como o Centro de Saúde, Esquadra de Polícia, Quartel de Bombeiros, Câmara Municipal/Proteção Civil.

II.1.4. São Roque

A vila de São Roque é a sede do município com o mesmo nome. Localiza-se na zona norte da ilha contendo uma das mais importantes infraestruturas portuárias desta, o porto de mercadorias do Cais do Pico por onde é



Figura 13 - Ortofotomapa da vila de São Roque

maioritariamente feito o abastecimento da mesma. Orientada a NNE, está exposta à forte ondulação daí proveniente sem qualquer barreira natural (Figura 13). É também nesta vila que se concentram os serviços essenciais do município, Esquadra de Polícia, Quartel de Bombeiros, Câmara Municipal/Proteção Civil, bem como da ilha, depósitos de combustível, armazéns de mercadorias e o porto de mercadorias anteriormente referido.

II.1.5. Madalena

A vila da Madalena é a sede do município com o mesmo nome. Localiza-se na zona Oeste da ilha, com orientação WNW, exposta por isso às ondas provenientes desse quadrante sem qualquer barreira natural (Figura 14). Nela se encontra uma importante infraestrutura portuária, o porto comercial de passageiros da Madalena, de onde

partem ligações de barco regulares para as ilhas do Faial e São Jorge, bem como sazonalmente para as restantes ilhas do grupo central. Defronte do seu porto encontram-se os ilhéus da Madalena, correspondendo aos vestígios de um antigo



Figura 14 - Ortofotomapa da vila da Madalena

cone de tufos surtseiano fortemente erodido, classificados como geossítio prioritário do Geoparque Açores (Associação Geoparque Açores, 2010). Tal como nas áreas anteriores aqui se localizam os serviços essenciais do município, e também da ilha, incluindo um estaleiro de reparação naval de embarcações de pesca, e o entreposto comercial de pescado da ilha.

II.2. Enquadramento legal

II.2.1. Ordenamento do território e a cartografia de risco em Portugal

A política de ordenamento do território em Portugal assenta em quatro âmbitos, nacional, regional, intermunicipal e municipal, esta concretiza-se num conjunto bem determinado de instrumentos de gestão territorial regulados pelo Decreto-Lei n.º 80/2015, de 14 de maio, que aprova o Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial (RJIGT). O âmbito nacional é concretizado pelo Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT), programa que define o modelo territorial de todo o país, pelos Programas Setoriais de Ordenamento do Território (PSOT) e pelos Programas Especiais de Ordenamento do Território (PEOT). No caso do âmbito regional este é concretizado nos planos regionais. O âmbito intermunicipal é concretizado através dos Programas Intermunicipais de Ordenamento do Território (PIOT), Plano Diretor Intermunicipal (PDI), dos Planos de Urbanização Intermunicipais (PUI) e dos Planos de Pormenor Intermunicipais (PPI). O de âmbito municipal é concretizado através

do Plano Diretor Municipal (PDM), dos Planos de Urbanização (PU) e dos Planos de Pormenor (PP).

O PNPOT, na sua mais recente versão, Lei n.º 99/2019, de 5 de setembro, faz para Portugal uma caracterização da Organização, das Tendências e do Desempenho do Território, realçando os impactos esperados provocados pelas alterações climáticas sobre os recursos, bem como os riscos associados às zonas costeiras e inundações. Neste diagnóstico o PNPOT identifica como um dos fatores advindos das alterações climáticas a subida do nível médio do mar, que leva ao aumento das inundações por galgamento em zonas costeiras. Nos de impactos provocados por estes fatores identifica, na categoria de riscos e vulnerabilidades, o aumento do risco em zonas costeiras. O PNPOT aponta para a necessidade do ordenamento do território contribuir para a redução e mitigação dos riscos e aumentar a capacidade adaptativa do território a estas mudanças. Este documento apresenta ainda 10 Compromissos para o território, sendo que o compromisso 9 é garantir nos Instrumentos de Gestão Territorial (IGT) a diminuição da exposição ao risco, “incrementando a diminuição da exposição a riscos, produção e disponibilização de conhecimento e informação de suporte ao planeamento e gestão territorial de escala nacional, regional e supramunicipal”³.

Para além da identificação dos riscos o PNPOT apresenta também um conjunto de medidas para a mitigação dos mesmos. A medida 1.7 “Prevenir riscos e adaptar o território as alterações climáticas”, aponta a importância de aprofundar o conhecimento sobre as áreas vulneráveis ao perigo, da avaliação de riscos, incluindo a localização das áreas de perigosidade mais elevada e a identificação dos usos, atividades e elementos mais vulneráveis a cada perigo. Esta medida encontra-se em linha com a Estratégia Nacional para uma Proteção Civil Preventiva, aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 160/2017, de 30 de outubro, revista pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 112/2021, de 8 de agosto, que aprova essa mesma estratégia para o horizonte temporal de 2030, referido doravante como Estratégia 2030. Esta medida tem como um dos seus objetivos operacionais a atualização da cartografia para a prevenção de riscos, em função da vulnerabilidade dos territórios, sendo o resultado esperado o

³ Lei n.º 99/2019 de 5 de setembro in Diário da República, 1.ª série nº170/2019: p. 77

aumento do número de municípios com cartas de risco atualizadas. Também na medida 1.8 “Valorizar o litoral e aumentar a sua resiliência”, é considerado objetivo operacional a redução dos “fatores de pressão sobre a zona costeira, interditando na orla costeira, fora das áreas urbanas, novas edificações que não se relacionem diretamente com a fruição do mar e condicionar a edificação na restante zona costeira, incluindo a contenção das ocupações edificadas em zonas de risco dando prioridade à retirada de construções de génese ilegal, que se encontrem nas faixas mais vulneráveis do litoral, arenoso e em arriba e requalificar e conter áreas urbanas”⁴. Em ambas as medidas os municípios são tidos como um dos responsáveis pela sua aplicação.

A Estratégia 2030 identifica também a necessidade de melhorar o conhecimento sobre os riscos e implementar estratégias para a prevenção de riscos. Este documento, no âmbito da cartografia de risco de inundação costeira, responde com os objetivos operacionais 2.1.9 e 2.1.10, que têm como prioridade atualizar os estudos de avaliação e a cartografia de risco, permitindo a identificação de elementos expostos associados, ao nível nacional e municipal respetivamente.

Na Estratégia Nacional para o Mar 2021-2030, aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 68/2021, de 4 de junho, identifica no seu Objetivo Estratégico 1, “Combater as Alterações Climáticas e a Poluição e Proteger e Restaurar os Ecossistemas”, a necessidade de reforçar as medidas de prevenção de pessoas e bens aos riscos costeiros. Também na identificação das suas Áreas de Intervenção Prioritárias (AIP), na AIP 1, “Gestão do Litoral, Obras e Infraestruturas”, é levantada a necessidade de defender e preservar o litoral, identificando a orla costeira como território de elevada importância onde os processos terrestres e marinhos convergem.

Estas estratégias e programas evidenciam então a necessidade de se conhecer e localizar o risco, nomeadamente, no âmbito desta dissertação, o risco de inundações costeiras, evidenciado assim a importância e necessidade da cartografia de risco de inundação costeira quer ao nível nacional, quer municipal. As normas a que deve

⁴ Lei n.º 99/2019 de 5 de setembro in Diário da República, 1.ª série nº170/2019: p. 102

obedecer esta cartografia estão legisladas pelo Decreto-Lei n.º 173/1995, de 28 de julho na sua versão consolidada.

II.2.2. Ordenamento do território e a cartografia de risco na RAA

Sendo os Açores uma região autónoma, esta é dotada da sua própria legislação em algumas matérias, que transpõe para a região a norma nacional. No caso dos instrumentos de gestão territorial na RAA, estes são regulados pelo Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial dos Açores (RJIGTA), aprovado pelo Decreto Legislativo Regional n.º 35/2012/A, de 16 de agosto. Este diploma consagra dois âmbitos de atuação, o âmbito regional, concretizado pelo Plano Regional de Ordenamento do Território (PROTA), pelos planos sectoriais com incidência territorial e pelos planos especiais de ordenamento do território, e o âmbito municipal, concretizado pelos planos intermunicipais de ordenamento do território e pelos planos municipais de ordenamento do território.

O PROTA, aprovado pelo Decreto Legislativo Regional n.º 26/2010/A, de 12 de agosto, traduz os grandes objetivos do ordenamento do território na RAA e estabelece as medidas necessárias para a articulação, a nível da região, das políticas estabelecidas no PNPOT. Este plano, segundo a secção “Implicações das políticas de defesa nacional, segurança e protecção civil” do ponto 2 do capítulo II do seu Anexo I, tem em consideração os riscos naturais devido “à grande probabilidade de ocorrência de alguns fenómenos naturais, mas também pelos padrões de ocupação do território”, considerando que os sistemas naturais da Região são propícios a situações de instabilidade que afetam não só os ecossistemas, mas também geram riscos relevantes para as atividades humanas e recursos fundamentais. Sendo assim, um dos grandes objetivos estratégicos apresentado neste documento, no ponto 1 do capítulo I do seu Anexo I, é “introduzir a especificidade do planeamento e gestão integrada de zonas costeiras, tendo em conta, entre outros aspetos, a diversidade de situações de ocupação humana, os valores ecológicos existentes e as situações de risco Identificadas”.

Este diploma identifica a necessidade de integrar nos Planos Municipais de Ordenamento de Território (PMOT) a minimização de fatores de risco ou fatores como as alterações climáticas. Nele é também apontado que a adaptação dos PMOT ao PROTA deve incidir sobre o regime de edificabilidade, em caso de ausência de Plano de

Ordenamento da Orla Costeira (POOC), considerando a vulnerabilidade do litoral, a dimensão e incidência dos riscos. Também indica que a gestão integrada das zonas costeiras deve ser realizada através das medidas previstas nos POOC, tendo que ser estes compatíveis com o PROTA, sendo que estes devem incidir em parte na minimização das situações de risco de pessoas e bens. Esta legislação apresenta um conjunto de indicadores para monitorizar a implementação do PROTA, bem como os seus efeitos, apresentando um conjunto de fatores de avaliação. Um deles é o fator “Riscos Tecnológicos e Naturais”, tendo este, como um dos seus indicadores, o número de pessoas expostas a riscos naturais e tecnológicos.

O PROTA faz também uma caracterização da morfologia urbana e povoamento rural da RAA, identificando um povoamento maioritariamente no litoral, em cotas inferiores a 350 m/altitude (Figura 15). Esta morfologia deve-se ao perfil topográfico das ilhas, às condições bioclimáticas próprias das altitudes elevadas e à dependência do mar



como via de comunicação privilegiada no processo de colonização. Isto leva a que nestes

Figura 15 - Esquema de povoamento na RAA. Retirado de Decreto Legislativo Regional n.º 26/2010/A, de 12 de agosto (2010: p. 3463)

aglomerados costeiros exista uma maior diversidade de atividades, concentração de atividades administrativas, comerciais e serviços, levando assim a que estas zonas sejam particularmente sensíveis aos riscos.

Embora o PROTA não faça uma referência específica à cartografia de risco de inundação costeira, todo ele, quer na sua estratégia, quer na sua linha delimitadora e objetivos, tendo em conta as características da morfologia urbana e do povoamento rural da Região, evidencia a necessidade de se conhecer a localização, intensidade e

frequência desse risco, para proteger as pessoas e bens a ele vulneráveis, demonstrando assim a necessidade dessa cartografia.

O Programa Regional para as Alterações Climáticas (PRAC), aprovado e redigido pelo Decreto Legislativo Regional n.º 30/2019/A, de 28 de novembro, é a ferramenta de operacionalização da Estratégia Regional para as Alterações Climáticas (ERAC), aprovada pela Resolução do Conselho do Governo Regional n.º 123/2011, de 19 de outubro. Nele as alterações climáticas são identificadas como um dos maiores desafios para a humanidade no século XXI, com efeitos especialmente agravados em territórios insulares dispersos como os Açores. Neste programa é apontado como uma das medidas para o combate as alterações climáticas a implementação de medidas de proteção de bens, recursos e pessoas.

Este diploma, no seu artigo 6.º, estabelece algumas linhas pelas quais se deve reger a cartografia de risco na RAA. Segundo o n.º 1 deste artigo, deve ser elaborada cartografia de base de riscos naturais, à escala de 1:25 000 ou superior, disponibilizando informação que acautele a exposição e vulnerabilidade do território a cheias e inundações. Estes elementos devem ser publicados no Portal do Ordenamento do Território dos Açores. No n.º 2 do mesmo artigo estabelece-se que nos planos especiais, intermunicipais e municipais de ordenamento, deve ser desenvolvida cartografia de pormenor à escala de 1:2 000 ou superior, “sempre que visem determinar o afastamento de edificações, equipamentos ou infraestruturas de zonas de risco significativo”.

No Anexo I deste documento, *Relatório Técnico do PRAC*, no seu ponto 2.1.4, “Eventos extremos”, é assumido que se espera que a sobrelevação marítima de origem meteorológica seja maior e mais frequente, aumentando o risco de fenómenos de galgamento marinho, devido ao aumento expectável de fenómenos de vento extremo e tempestades, em frequência e intensidade. Estes fenómenos são também agravados pela subida do nível médio do mar, sendo que nos Açores poderá atingir um metro, até ao final do século. Este relatório, no seu ponto 2.2.2, “Ordenamento do Território e Zonas Costeiras”, apresenta quatro realidades territoriais específicas que considera prioritárias no ordenamento do território, sendo uma a orla costeira. Relativamente a estas zonas é apresentada uma análise das zonas suscetíveis, através do índice de

vulnerabilidade. Esta análise identificou que em todos os territórios da Região, ao nível municipal, exceto no Nordeste, São Miguel, residem pessoas em zonas ameaçadas pelo mar. Este Anexo, ao nível da delimitação e cartografia das zonas ameaçadas pelo mar, bem como de outros riscos naturais na RAA, remete-nos para as *Orientações Metodológicas para a delimitação da Reserva Ecológica nos PDM da Região Autónoma dos Açores - Revisto* (Direção Regional do Ambiente, 2020).

Nas orientações metodológicas mencionadas anteriormente, no caso da cartografia de risco de inundação costeira, são relevantes os quadros sobre a delimitação da faixa de proteção costeira e delimitação de zonas ameaçadas pelo mar (Quadros 6 e 7). Neles é descrita a função desta cartografia sendo apresentados os critérios de delimitação destas zonas, qual a informação essencial a esta delimitação, bem como a que entidade compete esta cartografia.

C2 zonas ameaçadas pelo mar	
Definição	[RJREN – DL n.º 124/2019, de 28/08] As zonas ameaçadas pelo mar são áreas contíguas à margem das águas do mar que, em função das suas características fisiográficas e morfológicas, evidenciam elevada suscetibilidade à ocorrência de inundações por galgamento oceânico.
Funções	[RJREN – DL n.º 124/2019, de 28/08] • Manutenção dos processos de dinâmica costeira; • Prevenção e redução do risco, garantindo a segurança de pessoas e bens; • Manutenção do equilíbrio do sistema litoral.
Critério de delimitação	[RJREN – DL n.º 124/2019, de 28/08] A delimitação das zonas ameaçadas pelo mar deve incluir as áreas suscetíveis de serem inundadas por galgamento oceânico e contemplar todos os locais com indícios e ou registos de galgamentos durante episódios de temporal.
Critérios de delimitação RAA	Os mesmos que os critérios usado para o continente.
Informação fundamental à delimitação	• Base topográfica a escala adequada e o mais atualizada possível, proveniente do Instituto Geográfico do Exército [IGeoE], Direção Geral do Território [DGT] e autarquias locais [quando disponível]; • Levantamento aerofotogramétrico da Região realizado pelo Governo dos Açores, entre 2004 e 2008; • Ortofotocartografia baseada nas imagens de satélite de 2017 e 2018, realizada pelo Governo dos Açores; • Batimetria Costeira e Profundidade das Águas Costeiras da Região, resultante da cartografia produzida no âmbito do Plano Regional da Água dos Açores, publicado através do Decreto Legislativo Regional n.º 19/2003/A, de 23 de abril, instrumento da responsabilidade da atual Direção de Serviços de Recursos Hídricos e Ordenamento do Território [DSRHOT]; • Planos Hidrográficos e Cartas Náuticas da Região, publicados pelo Instituto Hidrográfico [IH], órgão da Marinha Portuguesa; • Valor de máxima preia-mar de águas vivas equinociais, informação proveniente do Instituto Hidrográfico [IH], entidades portuárias, Agência Portuguesa do Ambiente [APA]; • Classificação do Domínio Público Hídrico [quando disponível]; • LPMMAVE e Linha Limite do Leito das Águas do Mar [quando disponível].
Colaboração	Entidades competentes em matéria de assuntos do mar e cartografia

Quadro 6 - Critérios de delimitação das zonas ameaçadas pelo mar na RAA. Retirado de *Direção Regional do Ambiente* (2020: p. 37)

A5 | faixa terrestre de proteção costeira

Definição	[RJREN – DL n.º 124/2019, de 28/08] A faixa terrestre de proteção costeira deve ser definida em situações de ausência de dunas costeiras ou de arribas.
Funções	[RJREN – DL n.º 124/2019, de 28/08] • Prevenção e redução do risco, garantindo a segurança de pessoas e bens; • Conservação de habitats naturais; • Equilíbrio dos sistemas biofísicos.
Critério de delimitação	[RJREN – DL n.º 124/2019, de 28/08] Na delimitação da faixa terrestre de proteção costeira deve considerar-se a faixa onde se inclui a margem do mar, medida a partir da linha que limita o leito das águas do mar para o interior, com a largura adequada à proteção eficaz da zona costeira e à prevenção de inundações e galgamentos costeiros, a definir com base em informação topográfica, meteorológica e oceanográfica.
Crítérios de delimitação RAA	Considerando os critérios usados para o continente, na RAA a faixa terrestre de proteção costeira deve considerar a faixa onde se inclui a margem do mar, medida a partir da linha que limita o leito das águas do mar para o interior, com a largura adequada à proteção eficaz da zona costeira e à prevenção de inundações e galgamentos costeiros, a definir com base em informação topográfica, meteorológica e oceanográfica. Neste sentido, e nas situações onde não foi definida qualquer arriba deve ser considerada a delimitação indicativa da margem das águas do mar como a definição de faixa terrestre de proteção costeira.
Informação fundamental à delimitação	• Base topográfica a escala adequada e o mais atualizada possível, proveniente do Instituto Geográfico do Exército [IGeoE], Direção Geral do Território [DGT] e autarquias locais [quando disponível]; • Levantamento aerofotogramétrico da Região realizado pelo Governo dos Açores, entre 2004 e 2008; • Ortofotocartografia baseada nas imagens de satélite de 2017 e 2018, realizada pelo Governo dos Açores; • Batimetria Costeira e Profundidade das Águas Costeiras da Região, resultante da cartografia produzida no âmbito do Plano Regional da Água dos Açores, publicado através do Decreto Legislativo Regional n.º 19/2003/A, de 23 de abril, instrumento da responsabilidade da atual Direção de Serviços de Recursos Hídricos e Ordenamento do Território [DSRHOT]; • Planos Hidrográficos e Cartas Náuticas da Região, publicados pelo Instituto Hidrográfico [IH], órgão da Marinha Portuguesa; • Valor de máxima preia-mar de águas vivas equinociais, informação proveniente do Instituto Hidrográfico [IH], entidades portuárias, Agência Portuguesa do Ambiente [APA]; • Classificação do Domínio Público Hídrico [quando disponível]; • LMPMAVE e Linha Limite do Leito das Águas do Mar [quando disponível].
Colaboração	Entidades competentes em matéria de assuntos do mar e cartografia

*Quadro 7 – Critérios de delimitação da faixa terrestre de proteção costeira na RAA.
Retirado de Direção Regional do Ambiente (2020: p. 25)*

No caso específico da Ilha do Pico a legislação relativa à orla costeira aplicável é o Plano de Ordenamento da Orla Costeira da Ilha do Pico (POOC Pico), aprovado pelo Decreto Regulamentar Regional n.º 24/2011/A, de 23 de novembro, inserindo-se este instrumento de gestão no âmbito dos PEOT. O POOC Pico estabelece um conjunto de objetivos e princípios na sua vigência, sendo um deles a minimização de situações de risco e de impactos ambientais, sociais e económicos. Nele estão previstos um conjunto de medidas para a minimização de risco, nomeadamente a proibição de construção em zonas de risco, com alguma relevância para as zonas ameaçadas pelo avanço do mar, e quando possível a realocização de estruturas. Isto está patente no seu artigo 17.º, que incide sobre as áreas edificadas em zonas de risco. Na alínea b) do seu número 1,

classifica as áreas ameaçadas pelo avanço das águas do mar como zonas de risco, prevendo o número 2 deste artigo a minimização destas situações de risco. O número 3 deste artigo prevê, na sua alínea b) a criação de oportunidades para a realocação das edificações existentes nestas zonas de risco. Já na alínea b) do artigo 18.º são interditas as novas construções nestas zonas de risco. Ora, para se poder proceder a estas medidas é necessário conhecer a localização do risco, estando mais uma vez patente a necessidade de cartografia de risco.

Vemos assim que na RAA está evidente na sua legislação a necessidade da existência de cartografia de pormenor de risco de inundações costeiras, quer no âmbito regional, quer no âmbito municipal, existindo algumas diretrizes e linhas metodologias pelas quais se deve reger a produção desta cartografia.

III. MODELO DE IDENTIFICAÇÃO DE ZONAS DE RISCO DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS

Com o Modelo de Risco de Inundações Costeiras pretende-se desenvolver uma metodologia de identificação de zonas de risco de inundação costeira de forma eficiente e eficaz, com aplicabilidade em diferentes zonas geográficas, sendo o output final do modelo cartografia de risco de inundação marinha.

III.1. Modelo conceptual

Como identificado no capítulo “Risco vs Perigo”, a cartografia de risco de inundação costeira é resultado da relação da vulnerabilidade do território a este perigo com a exposição dos elementos ao mesmo. Sendo assim o modelo apresentado está dividido em dois fatores, vulnerabilidade e exposição. Estes são constituídos por diferentes componentes que contribuem de forma diferente para cada um deles, organizando-se numa estrutura hierárquica (Figura 16).

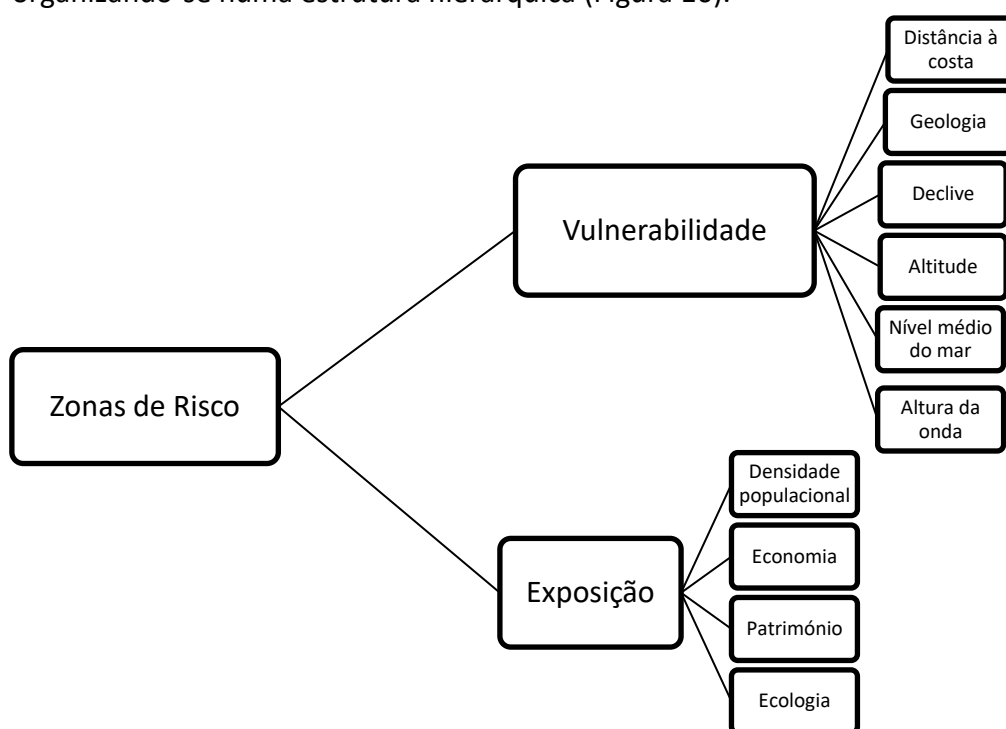


Figura 16 - Estrutura hierárquica do modelo.

Segundo Julião et al. (2009), a inundação e galgamento costeiro é definida pela inundação da faixa terrestre adjacente à linha de costa devido a tempestades marinhas. Isto corresponde às áreas de: “inundação pelas águas do mar durante temporais; atingidas pelo espraio das ondas de tempestade; galgamento de elementos

morfológicos naturais e estruturas existentes na orla costeira” (Julião et al., 2009: p. 46). Este mesmo autor também indica que a cartografia de suscetibilidade deve ser resultado de, no mínimo, o efeito combinado de quatro componentes: a cota do nível médio do mar, a elevação da maré astronómica, a sobre-elevação meteorológica e o espraio da onda. Já em Coelho (2005) e Coelho et al. (2006) são identificadas nove componentes da vulnerabilidade: cobertura do solo, amplitude da maré, taxa de erosão/acreção, geomorfologia, altura máxima da onda, ações antropogénicas, cota topográfica, distância à linha de costa e geologia. Em Direção Regional de Ambiente (2019) são consideradas seis componentes da vulnerabilidade: topografia, declive, exposição à ondulação, *run-up* máximo, distância à costa e infraestruturas de defesa de costa. No Quadro 8 são apresentados os componentes utilizados neste modelo na avaliação da vulnerabilidade, os mesmos foram selecionados com base na sua relevância e disponibilidade de dados.

Componentes da vulnerabilidade	
Distância à costa	Distância medida desde a linha de costa para o interior da zona de estudo.
Geologia	Constituição geológica do solo.
Altitude	Altitude do terreno na zona de estudo
Nível médio do mar	Considera a amplitude da maré e a subida do nível médio do mar.
Declive	Grau de declive do terreno.
Altura significativa da onda	Altura significativa da onda em metros.

Quadro 8 - Componentes da vulnerabilidade.

Segundo Coelho (2005), existem quatro tipos de exposição ao risco, exposição humana, exposição económica, exposição ambiental e exposição patrimonial. Com base nestes fatores foram utilizados neste modelo os componentes da exposição identificados no Quadro 9.

Componentes da exposição	
Densidade populacional	Densidade populacional das zonas de estudo em habitantes por km ² .
Economia	Densidade de empresas e serviços e densidade de edificado.
Património	Densidade de património imóvel por km ² na zona de estudo.
Ecologia	Zonas de relevância ecológica na zona de estudo.

Quadro 9 - Componentes da exposição ao risco.

Cada uma destas componentes é armazenada numa geodatabase, sendo esta o início do modelo e o fim a identificação das zonas de risco, o modelo desenvolve-se numa lógica mais ou menos linear em que o resultado de um processo é o input de outro. Sendo que as componentes topografia e declive, são extraídas de um Modelo Digital do Terreno (MDT) e agregadas através de uma *weighted sum* às restantes componentes do fator vulnerabilidade. As componentes do fator exposição são de igual modo agregadas através de uma *weighted sum*. O modelo termina com a agregação dos fatores vulnerabilidade e exposição, resultando na identificação das zonas de risco de inundação costeira. Na Figura 17 está representado este fluxo de dados e processos num diagrama UML de atividade.

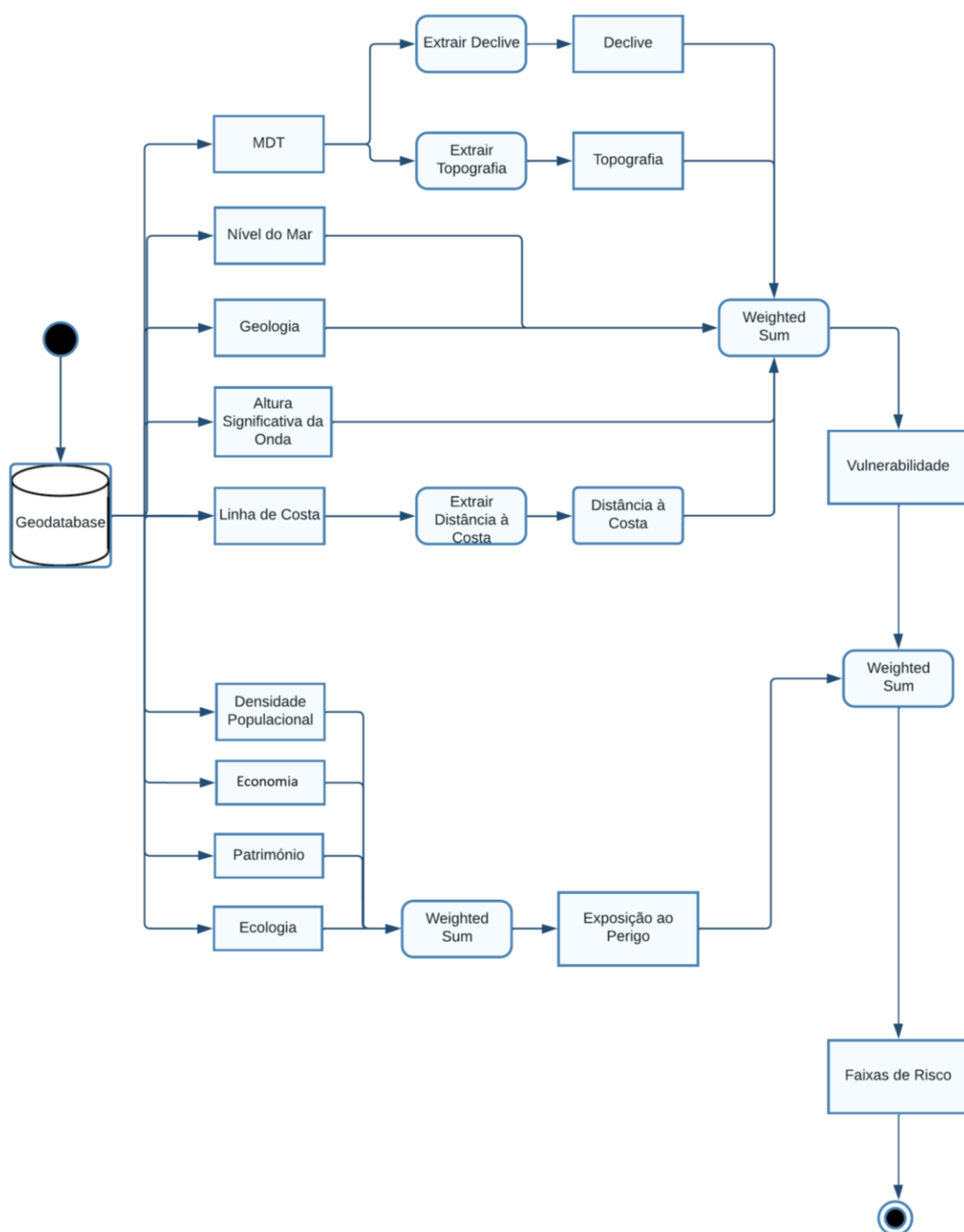


Figura 17 - Diagrama UML de atividade do modelo.

III.2. Modelo lógico

O modelo lógico na modelação espacial corresponde à transformação do modelo conceptual em estruturas de dados. No caso do modelo de análise de risco de inundação costeira como descrito no subcapítulo anterior, o fator risco é constituído por dois fatores, vulnerabilidade e exposição, que também são constituídos por vários componentes.

O fator vulnerabilidade é constituído por oito componentes:

- Declive e altitude, extraídos de um MDT da área de estudo, sendo estes no formato *raster*;
- Nível do mar, representa a subida prevista do nível médio do mar e a amplitude da maré, em formato de *raster* constante;
- Altura significativa da onda que corresponde à classificação dos dados de altimetria do MDT segundo classes obtidas através da frequência relativa da altura significativa das ondas para a área de estudo, em formato *raster*;
- Distância à costa, derivada de polígono do limite de costa da zona de estudo, em formato *raster*;
- Geologia, obtida através das cartas geológicas da área de estudo, em formato *raster*.

O fator exposição é constituído por cinco componentes:

- Economia, derivada de mapa de pontos de localização de edificado, empresas e serviços.
- Ecologia, derivado de cartografia representativa de zonas de relevância ecológica, em formato *raster*;
- Densidade populacional, calculada por km², em formato *raster*;

Na Figura 18 estão representados os dados deste modelo e como interagem entre si num diagrama UML de classes.

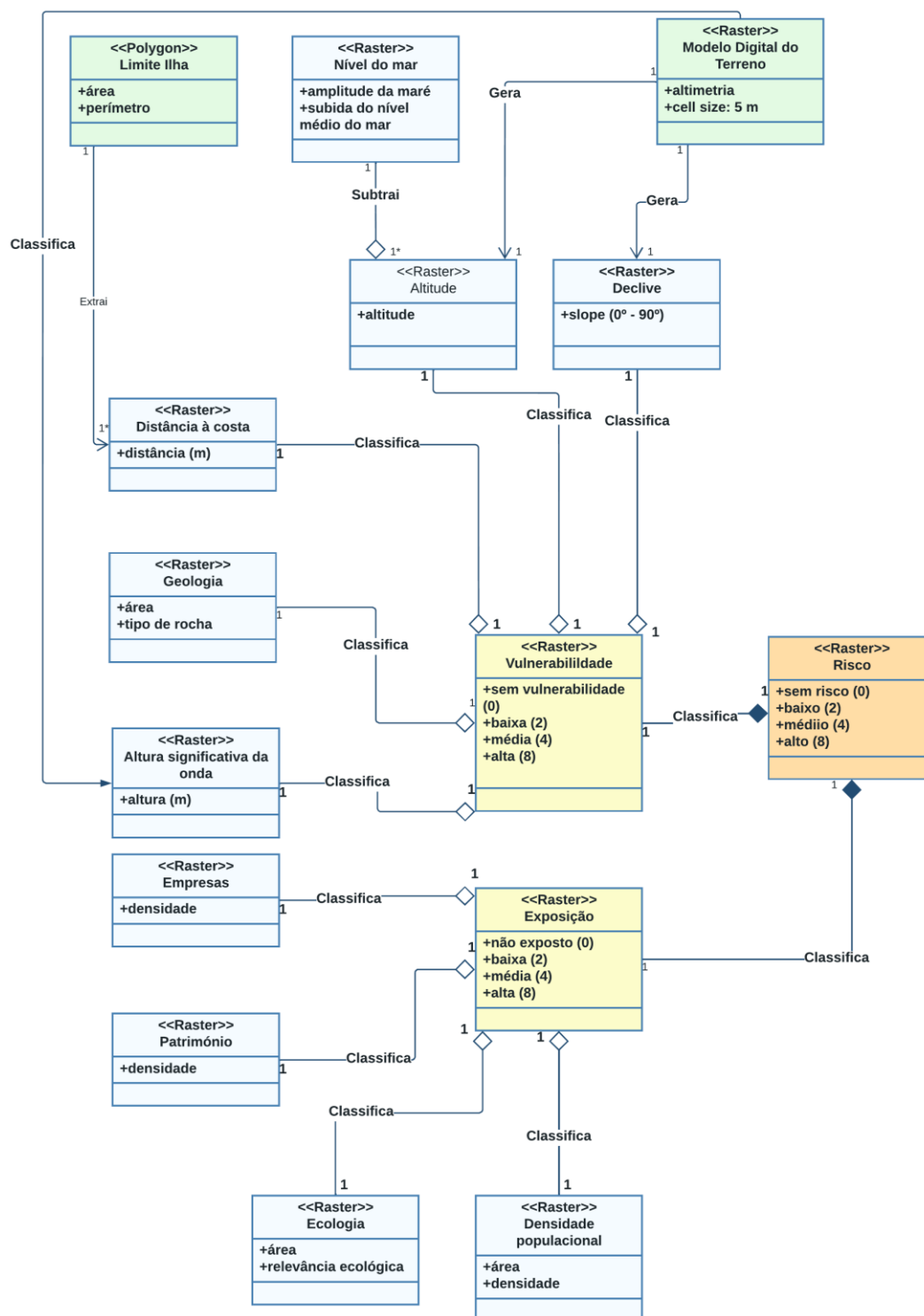


Figura 18 - Diagrama UML de classes do modelo.

III.3. Modelo físico

A operacionalização do modelo fez-se com recurso ao ModelBuilder do *software* ArcMap da ESRI. Como já demonstrado noutros capítulos a componente “risco” é composta por “vulnerabilidade” e “exposição”, assim também a operacionalização do modelo é dividida nestas duas componentes. Ao utilizador é permitido inserir os vários parâmetros numa *interface* inicial como demonstrado no capítulo I.5. na Figura 9.

III.3.1. Componentes da vulnerabilidade

A metodologia utilizada foi adaptada de Coelho (2005), Coelho et al. (2006), Borges et al. (2014) e Direção Regional de Ambiente (2019) utilizando os fatores distância à costa, geologia, altura significativa da onda, topografia, declive, nível do mar (Figura 19).

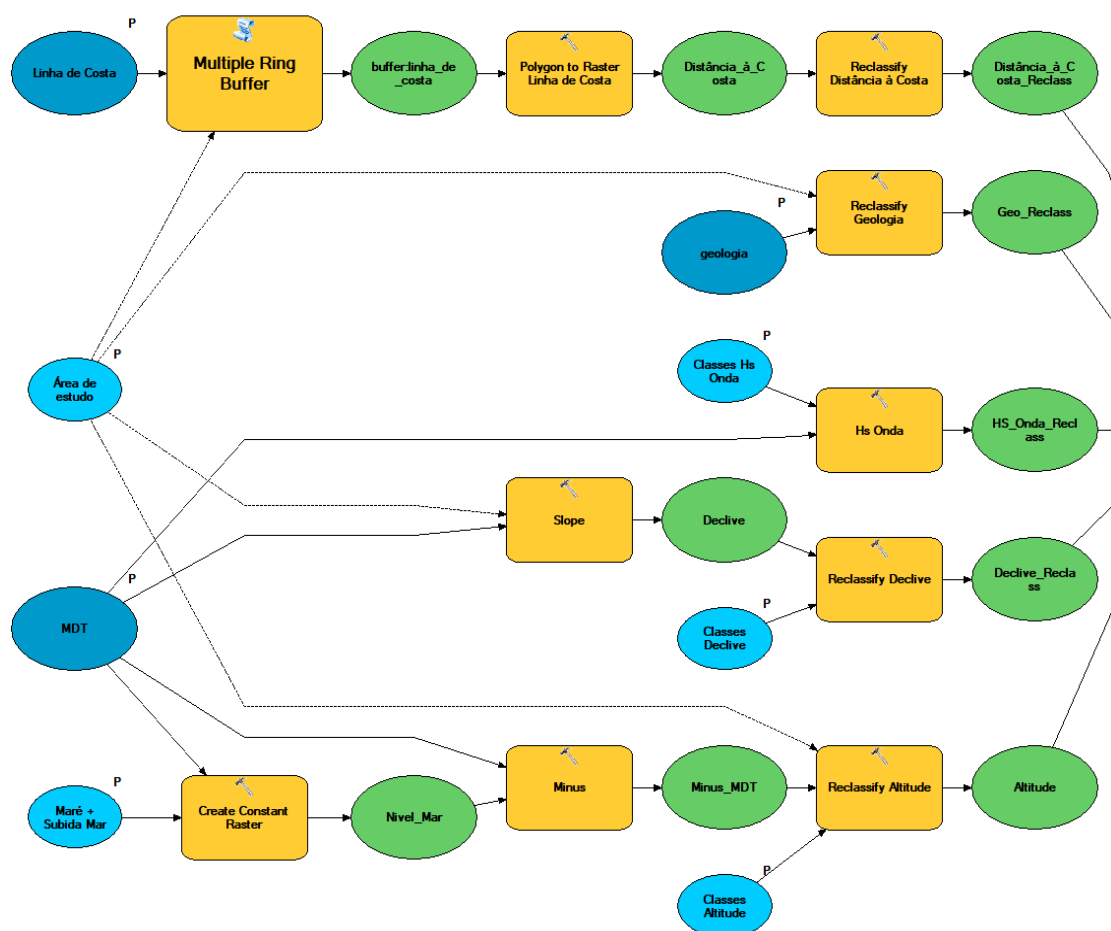


Figura 19 - Extração dos componentes da vulnerabilidade na ferramenta ModelBuilder.

III.3.1.1. Distância à costa

Segundo Coelho (2005) a distância à linha de costa é de fundamental importância. Neste modelo esta componente é extraída de polígono com os limites da linha de costa da área de estudo. A este polígono é aplicada a ferramenta *Multi Ring Buffer*, que executa múltiplos *buffers* a partir de uma origem, neste caso a linha de costa, gerando vários anéis em que cada um representa um nível de distância à costa. O polígono resultante é convertido para formato *raster* e reclassificado, por uso da ferramenta *Reclassify*, em diferentes níveis de vulnerabilidade, de modo a ser operacionalizado com os restantes componentes (Figura 20).

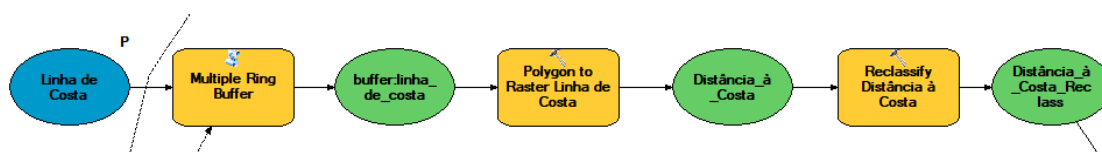


Figura 20 - Componente "distância à costa" no ModelBuilder.

De acordo com Borges et al. (2014), baseado num *run up* (espraio) modal de 7 m, a área de inundação é determinada por uma faixa de 100 m da costa em direção a terra, correspondendo à máxima penetração em terra de inundação costeira durante eventos extremos (Borges & Andrade, 1999). Como tal a componente distância à costa foi classificada em níveis de vulnerabilidade de acordo com relatório da Direção Regional de Ambiente (2019) (Quadro 10).

Distância (m)	Nível de vulnerabilidade	Valor numérico no <i>raster</i>
100	Muito baixa	0
100 – 30	Baixa	2
30 – 20	Moderada	4
20 – 10	Alta	6
< 10	Muito alta	8

Quadro 10 - Classes de vulnerabilidade da componente "distância à costa", adaptado de Direção Regional de Ambiente (2019: p. 10)

III.3.1.2. Geologia

Diferentes rochas têm diferentes composições minerais, logo a sua dureza e taxa de erosão também variam. Sendo assim é possível classificá-las consoante a sua vulnerabilidade à ação do mar. Esta componente representa então a categoria de rocha que compõe o solo de cada local. É extraída da carta geológica da área de estudo em formato *raster*, neste caso, da Ilha do Pico, adaptada do Mapa Geológico de Espanha e Portugal, cedido pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) (Figura 21).

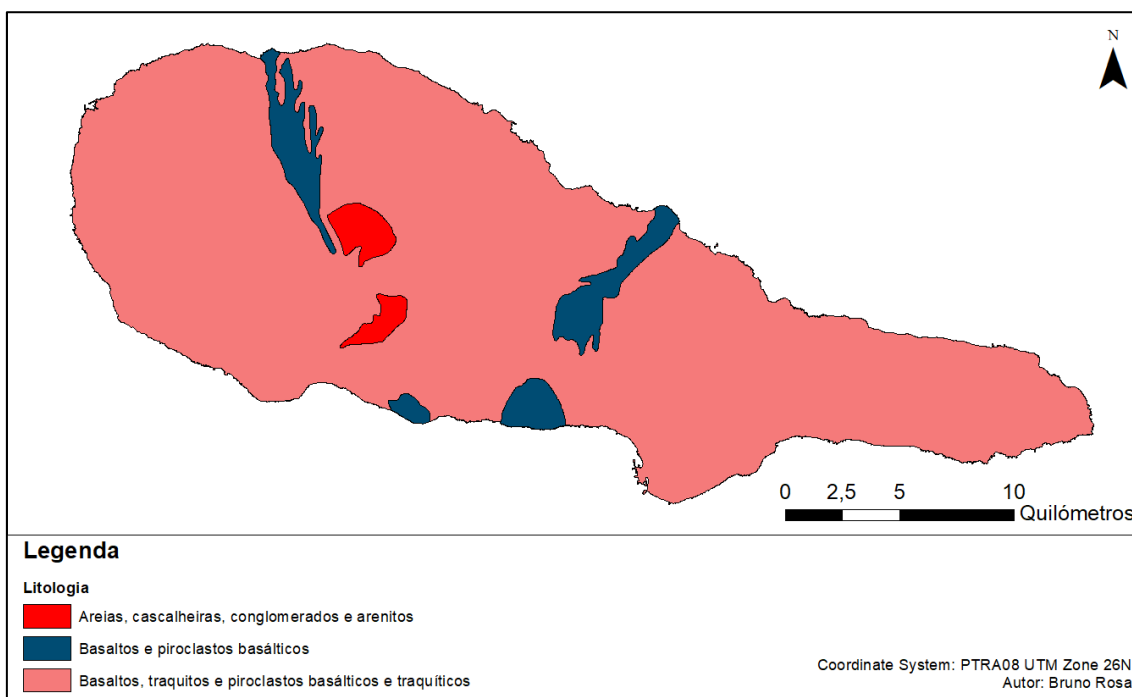


Figura 21 - Carta geológica da Ilha do Pico adaptada da Carta Geológica de Espanha e Portugal do LNEG.

Esta é classificada utilizando a ferramenta *Reclassify* em diferentes níveis de vulnerabilidade para posterior operacionalização com as restantes componentes (Figura 22).

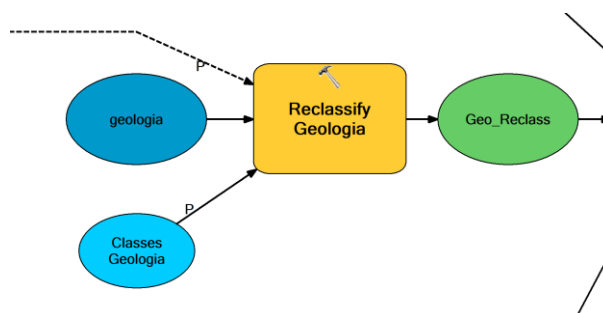


Figura 22 - Componente "geologia" no ModelBuilder.

A classificação desta componente baseou-se na classificação proposta por Coelho (2005), (Quadro 11).

Tipo de Rocha	Vulnerabilidade	Valor numérico no <i>raster</i>
Rochas magmáticas (granito, gabro, basalto, etc.)	Muito Baixa	0
Rochas metamórficas (xisto, gneisse, mármore, etc.)	Baixa	2
Rochas sedimentares (calcário, arenito, argilito, etc.)	Moderada	4
Sedimentos não consolidados de grandes dimensões, litologia variada	Alta	6
Sedimentos não consolidados de pequenas dimensões (areias, argilas e siltes)	Muito Alta	8

Quadro 11 - Classes de vulnerabilidade da componente "geologia".

III.3.1.3. Nível do mar

A componente “nível do mar”, neste caso, é baseada na amplitude da maré prevista nas cartas de marés oficiais para cada porto e na subida do nível médio do mar prevista. Esta componente é operacionalizada através do uso da ferramenta *Create Constant Raster*, que cria um *raster* contínuo com um valor único, neste caso representando a soma da amplitude da maré com a subida do nível médio do mar prevista na área de estudo, o output gerado é subtraído através da ferramenta *Minus* ao Modelo Digital do Terreno (MDT) da área de estudo, simulando o nível do mar nas condições de maré e subida do nível do mar consideradas para essa área (Figura 23).

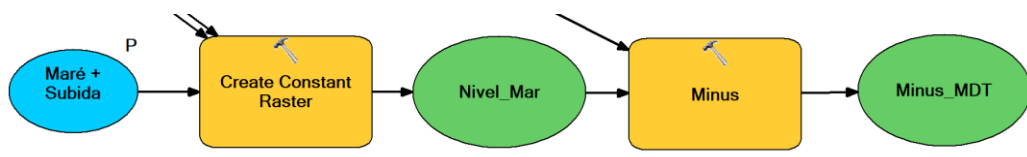


Figura 23 - Componente "nível mar" no ModelBuilder.

III.3.1.4. Altitude

Segundo Coelho (2005) a topografia é uma das principais características a ter em conta na análise de vulnerabilidade. No modelo esta é obtida pela reclassificação do *output* da classe "nível mar", utilizando a ferramenta *Reclassify* (Figura 23), com as classes de vulnerabilidade propostas por Coelho (2005)(Quadro 12).

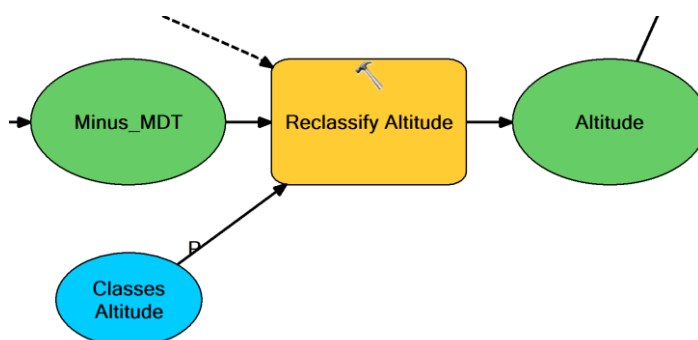


Figura 24 - Classe "Altitude" no ModelBuilder.

Cota (m)	Vulnerabilidade	Valor no numérico <i>raster</i>
<5	Muito Alta	8
5 - 10	Alta	6
10 - 20	Moderada	4
20 - 30	Baixa	2
>30	Muito Baixa	0

Quadro 12 - Classes de vulnerabilidade da componente "topografia".

III.3.1.5. Declive

Segundo Direção Regional de Ambiente (2019) o declive é um dos parâmetros importantes no que toca ao *run-up*, uma costa com declive pouco acentuado, como, por exemplo uma praia, está mais vulnerável à ação do mar, em contrapartida, uma falésia com um declive acentuado está menos vulnerável. Sendo assim este parâmetro foi tido em conta na operacionalização do modelo. Para extração dos declives nas zonas de estudo é utilizado como base o MDT da ilha do Pico, a este é aplicada a ferramenta *Slope* e o *output* obtido é reclassificado com a ferramenta *Reclassify* (Figura 25).

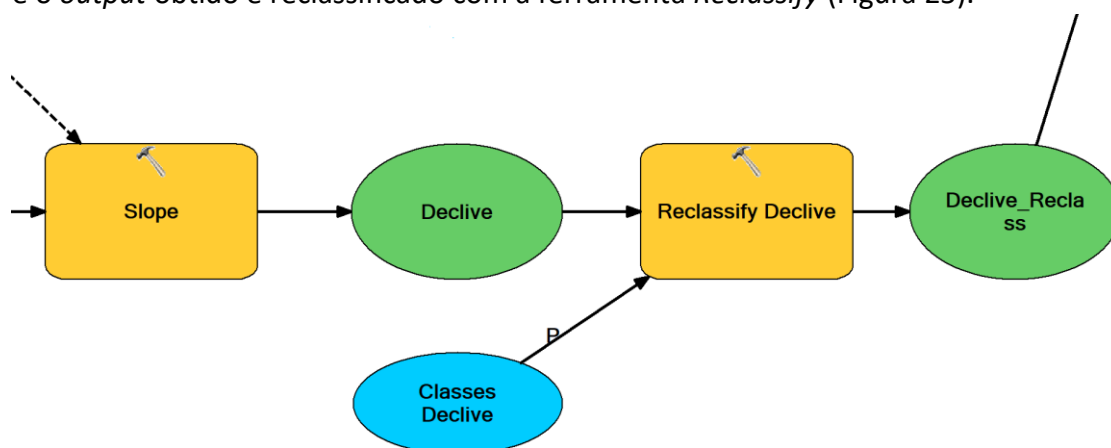


Figura 25 - Componente "declive" no ModelBuilder.

A classificação de vulnerabilidade para esta componente baseia-se em (Direção Regional de Ambiente, 2019)(Quadro 13).

Declive (º)	Vulnerabilidade	Valor numérico no <i>raster</i>
> 60	Muito Baixa	0
40 - 60	Baixa	2
20 - 40	Moderada	4
10 - 20	Alta	6
<10	Muito Alta	8

Quadro 13 - Classes de vulnerabilidade da componente "declive", adaptado de Direção Regional do Ambiente (2019: p. 8)

III.3.1.6. Altura significativa da onda

A altura significativa da onda é um dos componentes da vulnerabilidade apresentado por alguns autores, Coelho (2005) e Coelho et al. (2006). Segundo Coelho et al. (2006) a altura significativa das ondas são um indicador da energia das ondas característica de uma região costeira, como tal esta é tomada como uma das componentes da vulnerabilidade. A extração desta componente é feita aplicando a ferramenta *Reclassify* ao MDT da região em estudo, neste caso a Ilha do Pico (Figura 26).

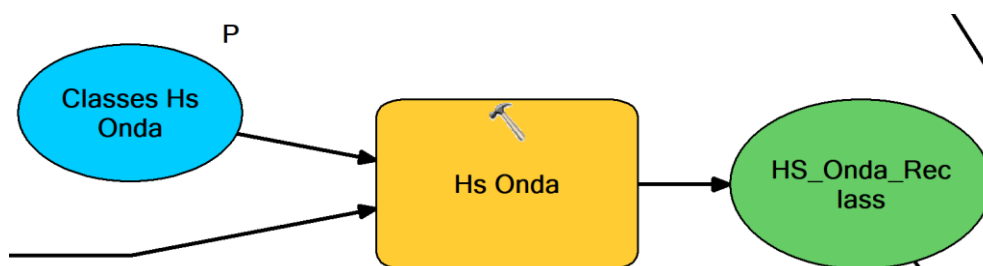


Figura 26 - Componente "altura significativa da onda" no ModelBuilder.

A frequência relativa da altura significativa das ondas (Hs onda) varia espacialmente, como tal é necessário adaptar as classes de vulnerabilidade a cada local, conforme os dados disponíveis. O ideal nesta categoria de estudos seria o uso de modelos algorítmicos de simulação de agitação marítima, como o SWAN (*Simulating Waves Near Shore*), para séries temporais longas, com confirmação de dados extraídos de ondógrafos, não havendo disponibilidade desse método também podem ser obtidos de relatórios de projetos de engenharias de infraestruturas portuárias na área de estudo, entre outros. Para a área de estudo das Lajes do Pico os dados foram obtidos de NEMUS (2021), para Madalena e São Roque do Pico os dados foram obtidos de Anastas et al. (2021), obtendo-se assim as classificações presentes nos Quadros 14, 15 e 16.

Hs onda (m)	Vulnerabilidade	Valor numérico no <i>raster</i>
<1	Muito Alta	8
1 – 2	Alta	6
2 – 3	Moderada	4
3 – 5	Baixa	2
>5	Muito Baixa	0

Quadro 14 - Classes de vulnerabilidade para a componente "Hs onda", Lajes do Pico.

Hs onda (m)	Vulnerabilidade	Valor numérico no <i>raster</i>
<1	Muito Alta	8
1 - 2	Alta	6
2 - 3	Moderada	4
3 – 3,38	Baixa	2
>3,38	Muito Baixa	0

Quadro 15 - Classes de vulnerabilidade componente "Hs onda", São Roque.

Hs onda (m)	Vulnerabilidade	Valor numérico no <i>raster</i>
<1	Muito Alta	8
1 - 2	Alta	6
2 - 3	Moderada	4
3 – 3,6	Baixa	2
>3,6	Muito Baixa	0

Quadro 16 - Classes de vulnerabilidade componente "Hs onda", Madalena.

III.3.1.7. Peso das componentes da vulnerabilidade

Cada componente da vulnerabilidade contribui com um peso diferente para a mesma. Coelho et al. (2006) ordena os componentes da vulnerabilidade que identificou pela seguinte ordem crescente de importância: cobertura do solo, amplitude da maré, taxa de erosão/acreção, geomorfologia, altura máxima de onda, ações antropogénicas,

topografia, distância à costa e geologia. Já em C. Pereira & Coelho (2013) às componentes distância à costa, topografia e geologia é dada a mesma importância, seguindo-se, em importância, geomorfologia, revestimento do solo, máxima altura de onda significativa e taxas médias de erosão/acreção, no mesmo nível e de menor importância as componentes, máxima amplitude da maré e ações antropogénicas. Com base nos autores citados aplicou-se o método AHP (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3 - Aplicação do método AHP às componentes de vulnerabilidade.

	Dist. Costa	Geo	Topo	Declive	Hs Onda	$n\sqrt{prod}$	Eigen
Dist. Costa	1	1	1	5	3	1,719	0,281
Geo	1	1	1	5	3	1,719	0,281
Topo.	1	1	1	5	3	1,719	0,281
Declive	1/5	1/5	1/5	1	1/3	0,306	0,05
Hs Onda	1/3	1/3	1/3	3	1	0,644	0,106
					Total	6,106	

Tabela 4 - Índices de controle da matriz de importância da vulnerabilidade.

λ_{max}	Ci	CR
5,041737	0,010434	0,009316

Como indicado na tabela 4 o CR da Matriz de Importância é menor que 0.1, logo os valores da matriz são consistentes.

Os valores do vetor Eigen representam o contributo de cada componente para a vulnerabilidade. Estes pesos são inseridos no modelo através da ferramenta *Weighted Sum* sendo o *output* reclassificado com a ferramenta *Reclassify* (Figura 27), segundo as classes propostas por Direção Regional de Ambiente (2019)(Quadro 17).

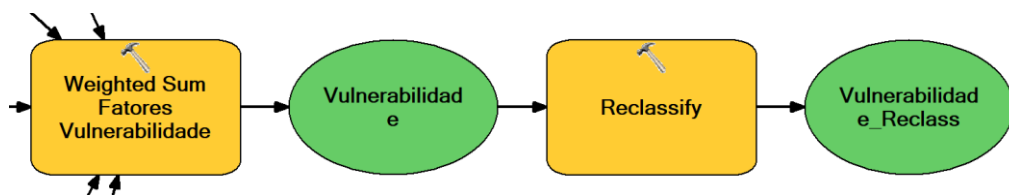


Figura 27 - Pesos e reclassificação da vulnerabilidade no ModelBuilder.

Valor inicial	Vulnerabilidade	Valor numérico no <i>raster</i>
0	Nula	0
0 - 2	Baixa	2
2 - 4	Moderada	4
4 - 8	Elevada	8

Quadro 17 - Classes de vulnerabilidade.

III.3.2. Componentes da exposição

Alguns autores consideram como fatores da exposição às ações energéticas do mar a densidade populacional, a atividade económica, o património histórico e a ecologia (Coelho, 2005), (C. Pereira & Coelho, 2013). Sendo assim os componentes da exposição identificados para este modelo são: economia, medida pela densidade de empresas e serviços conjugada com a densidade do edificado na área de estudo; património, medido pela densidade de património imóvel classificado; ecologia, medida pela relevância ecológica das áreas de estudo; e densidade populacional, medida em habitantes por km². Estes fatores são posteriormente classificados e ponderados os pesos na componente exposição (Figura 28).

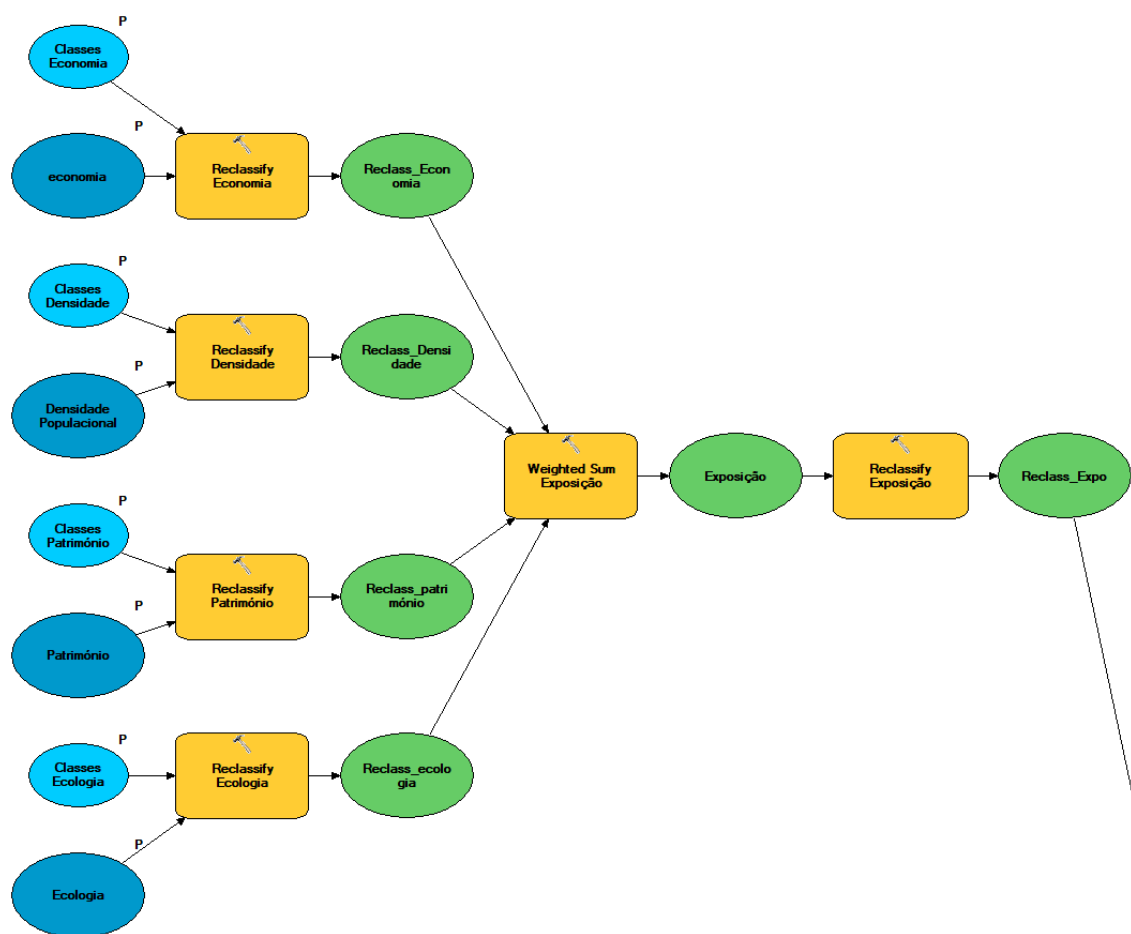


Figura 28 - Operacionalização da componente "exposição" no ModelBuilder.

III.3.2.1. Economia

Segundo Coelho (2005) o risco económico está associado não só à existência de empresas e de serviços, mas também ao volume dos bens imobiliários. Sendo assim esta componente é constituída pela densidade de empresas e serviços e pela densidade do edificado. Os dados necessários para operacionalizar esta componente são o mapa de densidade de empresas, serviços e edificado em formato *raster*. Estes podem ser obtidos de mapas de pontos representando a localização geográfica de cada um destes fatores, neste caso obtidos de ACIP(2022), de trabalho de campo e de mapa de edificado cedido pela Secretaria Regional do Ambiente e Alterações Climáticas - Governo dos Açores (SRAAC), aos quais é aplicado o cálculo de densidade de pontos. Este mapa de densidade é classificado em cinco classes de exposição, muito baixa (0), baixa (2),

moderada (4), alta (6) e muito alta (8), utilizando a ferramenta *Reclassify* e o método de quebras naturais (método Jenks) (Figura 29).

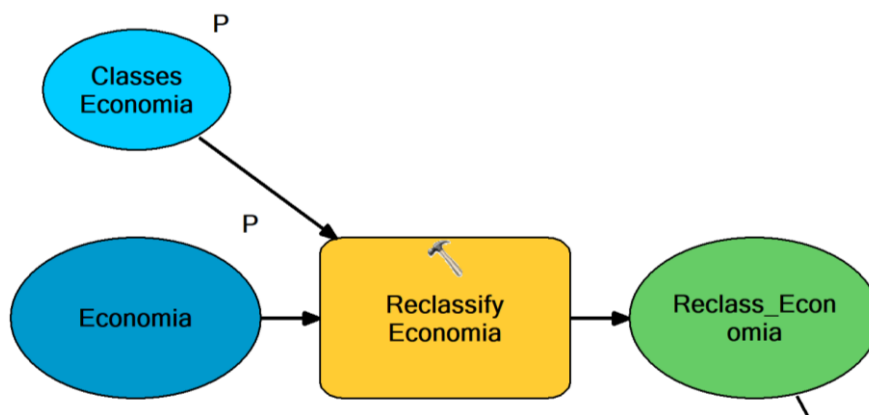


Figura 29 - Componente "economia" no ModelBuilder.

III.3.2.2. Densidade Populacional

Esta componente representa a densidade populacional em habitantes por quilómetro quadrado no nível administrativo de freguesia, em formato *raster*. Para operacionalização desta componente foram obtidos os dados de população por freguesia do processo de recenseamento da população Censos 2021 (Instituto Nacional de Estatística, 2021), agregados a polígono da carta administrativa, ao nível da freguesia, da Ilha do Pico, posteriormente convertido em formato raster. Ao *raster* obtido é aplicada a ferramenta *Reclassify* (Figura 30), sendo este classificado segundo as classes proposta por C. Pereira & Coelho (2013)(Quadro 18).

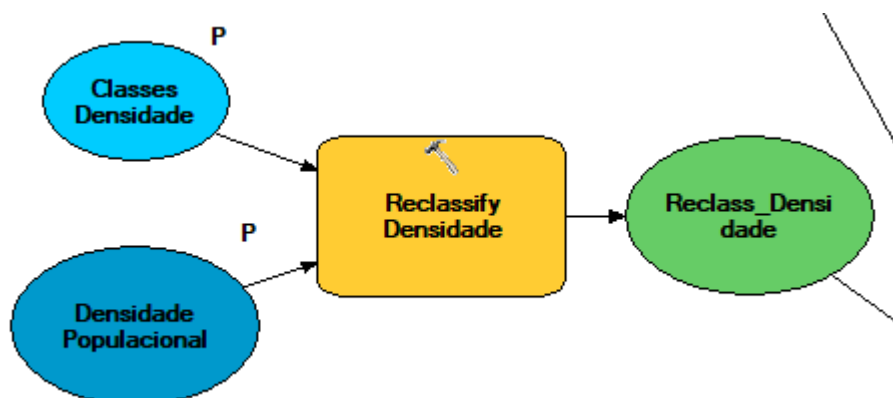


Figura 30 - Componente "densidade populacional" no ModelBuilder.

Densidade Populacional (hab/km ²)	Vulnerabilidade	Valor no <i>raster</i>
0 – 100	Muito Baixa	0
100 – 200	Baixa	2
200 – 350	Moderada	4
350 – 500	Alta	6
>500	Muito Alta	8

Quadro 18 – Classes de exposição da componente “densidade populacional”.

III.3.2.3. Património

Esta classe representa o património imóvel classificado na área de estudo. O *input* deve ser um mapa de densidade de pontos obtido através de pontos representando o património imóvel classificado na área de estudo. No caso da área de estudo deste modelo os dados foram obtidos do Inventário do Património Imóvel dos Açores (Instituto Açoriano de Cultura, 2005). O *input* em formato *raster* é reclassificado em cinco classes de exposição, muito baixa (0), baixa (2), moderada (4), alta (6) e muito alta (8), utilizando a ferramenta *Reclassify* e o método de quebras naturais (método de Jenks) (Figura 30).

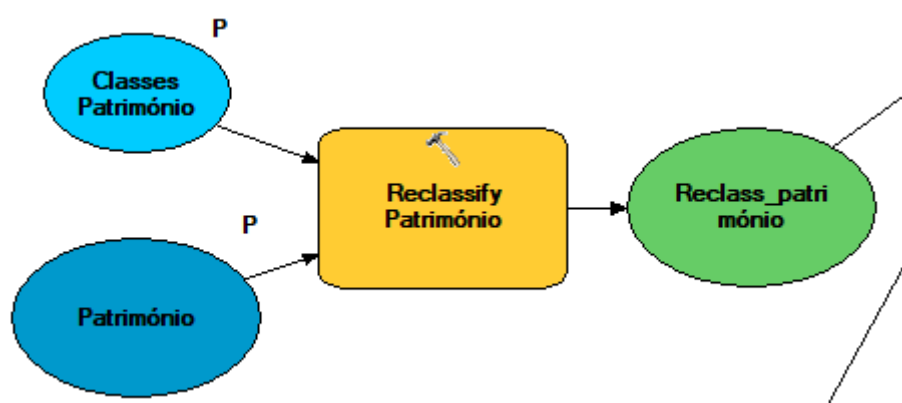


Figura 31 - Componente "património" no ModelBuilder.

III.3.2.4. Ecologia

A componente “ecologia” representa as áreas de relevância ecológica na área de estudo. Esta é derivada de *raster* representando as áreas de relevância ecológica na área de estudo ao qual é aplicada a ferramenta *Reclassify* (Figura 32), classificando-o em cinco classes propostas por Pereira & Coelho (2013) (Quadro 19).

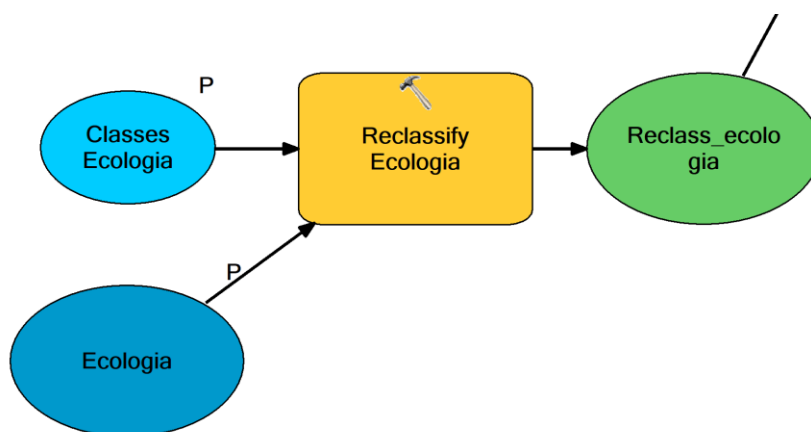


Figura 32 - Componente "ecologia" no ModelBuilder.

Relevância Ecológica	Exposição	Valor no <i>raster</i>
Zonas sem relevância ecológica	Muito Baixa	0
Reserva Agrícola	Baixa	2
Reserva Ecológica	Moderada	4
Zonas de Proteção Ecológica	Alta	6
Reservas Naturais	Muito Alta	8

Quadro 19 - Classes de exposição da componente "ecologia".

III.3.2.5 Peso das componentes da exposição

As componentes da exposição contribuem com diferente importância para a mesma. O objetivo principal da cartografia de risco, eticamente, deverá ser sempre proteger a vida humana, como tal a densidade populacional assume uma maior importância. Junto à orla costeira as atividades económicas, como a pesca e o turismo adquirem uma elevada importância, assumindo-se um motor da economia, sendo também importante o edificado que alberga estas atividades e populações. Sendo a componente “economia” constituída por estes fatores, empresas, serviços e edificado, esta assume o grau de importância seguinte. Quanto ao património classificado, culturalmente, a sua perda teria uma grande significância, como tal assume o grau seguinte de importância. Nas zonas costeiras as zonas de relevância ecológica são geralmente ecossistemas adaptados a estas regiões, como tal, apesar da sua perda representar uma consequência significativa, os mesmos são em certa medida mais resilientes a eventos de galgamentos costeiros, assumindo assim a “ecologia” uma importância menor na classificação da exposição em relação às outras componentes. Tendo isto a ordem crescente de importância das componentes da exposição resume-se em ecologia, património, economia e densidade populacional. Tendo isto como base aplicou-se o método AHP (Tabelas 5 e 6).

Tabela 5 - Aplicação do método AHP às componentes de exposição.

	Economia	Densidade	Património	Ecologia	$n\sqrt{prod}$	Eigen
Economia	1	1/3	3	5	1,495	0,263
Densidade	3	1	5	7	3,201	0,564
Património	1/3	1/5	1	3	0,669	0,118
Ecologia	1/5	1/7	1/3	1	0,312	0,055
					5,678	

Tabela 6 - Índices de controle da matriz de importância da exposição.

$\lambda_{máx}$	Ci	CR
4,116934	0,038978	0,034802

Como indicado na tabela 4 o CR da Matriz de Importância é menor que 0.1, logo os valores da matriz são consistentes.

Os valores do vetor Eigen representam o contributo de cada componente para a vulnerabilidade. Estes pesos são inseridos no modelo através da ferramenta *Weighted Sum* sendo o output reclassificado com a ferramenta *Reclassify* (Figura 33), segundo as classes propostas por Direção Regional de Ambiente (2019)(Quadro 20).

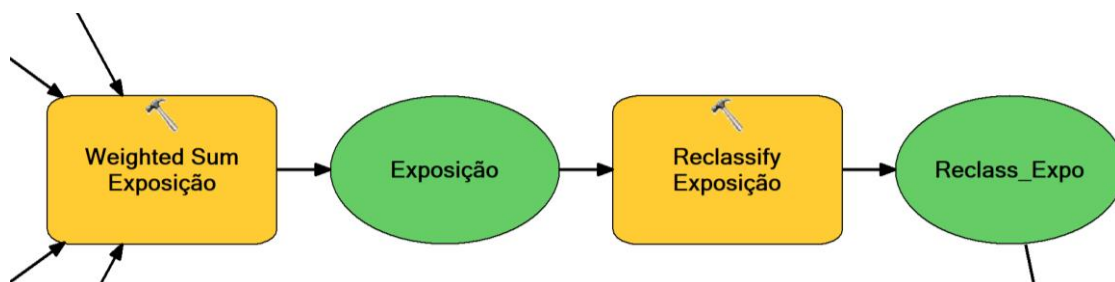


Figura 33 - Pesos e reclassificação da exposição no ModelBuilder.

Valor Inicial	Exposição	Valor no <i>raster</i>
0	Nula	0
0 – 2	Baixa	2
2 – 4	Moderada	4
4 - 8	Alta	8

Quadro 20 - Classes de exposição.

III.3.3. Faixas de risco

Após a operacionalização das componente exposição e vulnerabilidade é necessário agregar as mesmas para extrair as faixas de risco. A agregação é feita através da ferramenta *Weighted Sum*, assumindo cada componente, exposição e vulnerabilidade, um peso igual de 0,5. O *raster* resultante é classificado com a ferramenta *Reclassify* (Figura 34), segundo as classes propostas por Direção Regional de Ambiente (2019) (Quadro 21).

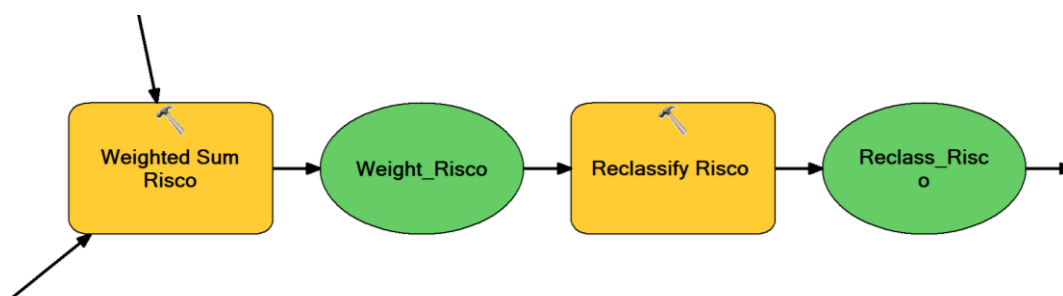


Figura 34 - Pesos e reclassificação do risco no ModelBuilder.

Valor inicial	Risco	Valor no Raster	Cor na cartografia		
0	Nulo	0	Branco		
			R	G	B
			255	255	255
0 – 2	Baixo	2	Verde		
			R	G	B
			0	255	0
2 – 4	Moderado	4	Amarelo		
			R	G	B
			255	255	0
4 - 8	Alto	8	Vermelho		
			R	G	B
			255	0	0

Quadro 21 - Classes de risco e a sua cor na cartografia.

III.3.4. Refinamento da cartografia e finalização do modelo

Após a identificação das faixas de risco o passo seguinte no modelo é a representação cartográfica. O *raster* resultante da operação de reclassificação do risco poderá apresentar alguns artefactos (Figura 35), sendo necessário suavizá-los ou eliminá-los.

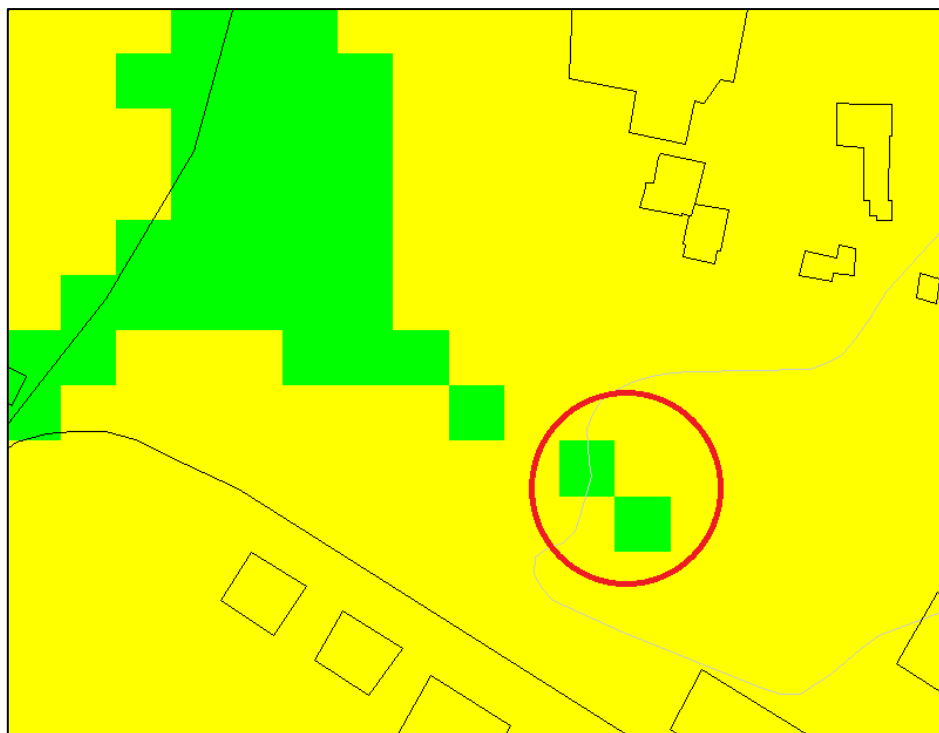


Figura 35 - Exemplo de artefactos que podem surgir na cartografia resultante deste modelo, neste caso pixéis isolados.

Para reduzir os artefactos na cartografia aos *rasters* resultantes da reclassificação do risco e da vulnerabilidade é aplicada a ferramenta *Boundary Clean* no modo *Descend*, que suaviza a fronteira entre zonas, expandido as zonas maiores para zonas mais pequenas, como no caso dos pixéis individuais na Figura 35, aos *rasters* resultantes é ainda aplicada a ferramenta *Majority filter* que substitui células individuais baseado na maioria das células vizinhas contíguas. Os *rasters* resultantes são convertidos em polígonos com a ferramenta *Raster to polygon*. Segundo a metodologia de Direção Regional de Ambiente (2019), deve ser produzida cartografia de risco de galgamentos costeiros para as zonas ameaçadas pelo mar identificadas no âmbito do estudo “Reserva Ecológica Regional - Caracterização dos Perigos em termos de Recursos Naturais e delimitação das respetivas Áreas Vulneráveis a considerar no Ordenamento do Território da RAA”(Direção Regional de Ambiente, 2011), como tal aos polígonos resultantes é aplicada a ferramenta *Clip* com uma área de extração obtida da carta de Zonas Ameaçadas Pelo Mar para a Ilha do Pico, cedida pela Secretaria Regional das Alterações Climáticas e Ambiente/Governo dos Açores (Figura 36).

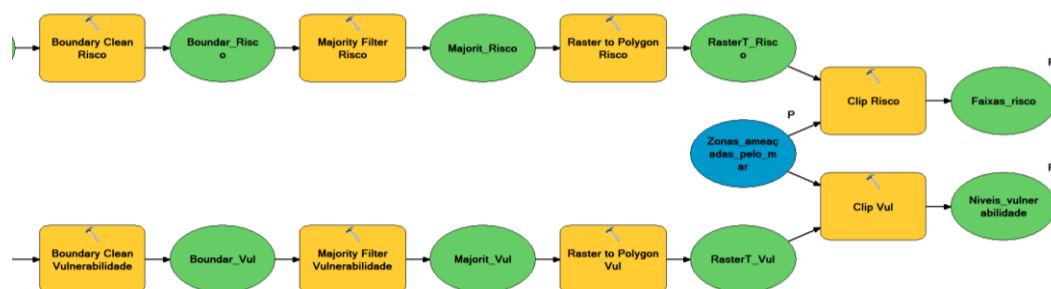


Figura 36 - Refinamento da cartografia e finalização do modelo no ModelBuilder.

Este modelo tem como resultado final a representação cartográfica das zonas vulneráveis e da exposição ao risco de inundação costeira. A esquematização completa do modelo pode ser consultada no anexo I.

IV. APLICAÇÃO DO MODELO E RESULTADOS

IV.1. Recolha de dados

Para a aplicação do modelo nas áreas de estudo foi feita a recolha dos dados necessários para cada componente. Este é o passo mais moroso na aplicação do modelo, pois a disponibilidade e qualidade dos dados nem sempre é a ideal, e também devido à necessidade de processamento prévio dos dados em bruto antes de serem aplicados no modelo. Nos Quadros 22 e 23 é feita uma breve descrição de cada um bem como a sua fonte.

Componente	Dados	Fonte
Distância à costa	Perímetro de costa em formato polígono	SRAAC
Geologia	Carta Geológica dos Açores em formato <i>raster</i>	LNEG
Nível do mar	MDT da Ilha do Pico	SRAAC
Topografia	MDT da Ilha do Pico	SRAAC
Declive	MDT da Ilha do Pico	SRAAC
Altura Significativa das Ondas	MDT da Ilha do Pico, frequência relativa da altura significativa das ondas para cada área	SRAAC, NEMUS (2021), Anastas et al. (2021)

Quadro 22 - Dados das componentes da vulnerabilidade e suas fontes.

Componente	Dados	Fonte
Economia	Localização geográfica de empresas, serviços e edifícios, em formato de pontos	SRAAC, ACIP (2022)
Densidade Populacional	Densidade populacional por freguesia em formato <i>raster</i>	Instituto Nacional de Estatística (2021)
Património	Localização geográfica do património classificado nas áreas de estudo	Instituto Açoriano de Cultura (2005)
Ecologia	Cartografia em formato <i>raster</i> das áreas de relevância ecológica	SRAAC

Quadro 23 - Dados das componentes da exposição e suas fontes.

IV.2. Processamento

Quando se inicia o modelo é aberta uma caixa de diálogo que permite ao utilizador indicar a área de estudo, o sistema de coordenadas e inserir o input de cada componente para a área de estudo onde o quer aplicar. Cada componente na caixa de diálogo é descrita brevemente e indicados quais os dados necessários para a mesma (Figura 37).

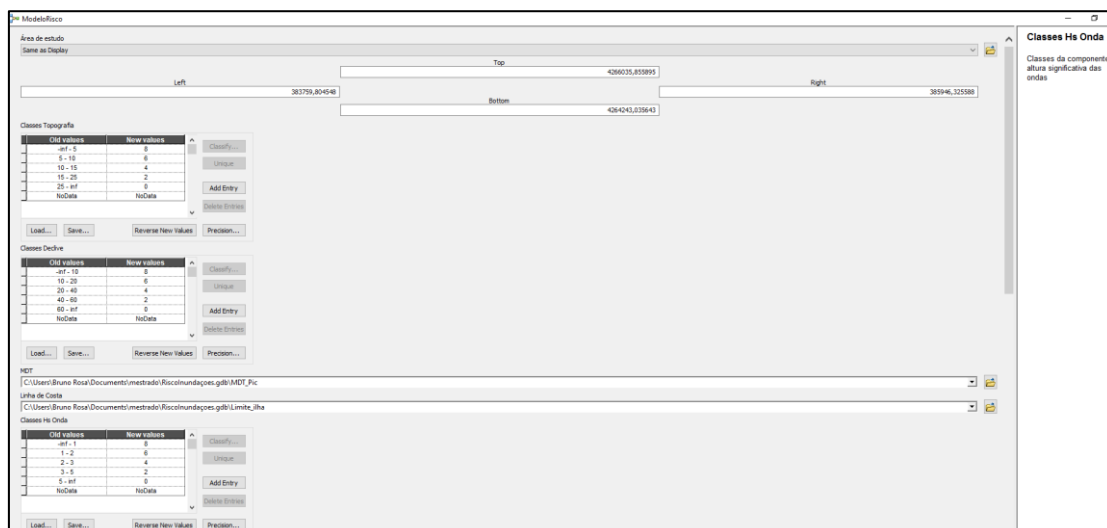


Figura 37 - Caixa de diálogo de inicialização do modelo.

Após a inicialização do modelo pode ser visualizada outra caixa de diálogo que apresenta o progresso do processamento (Figura 38).

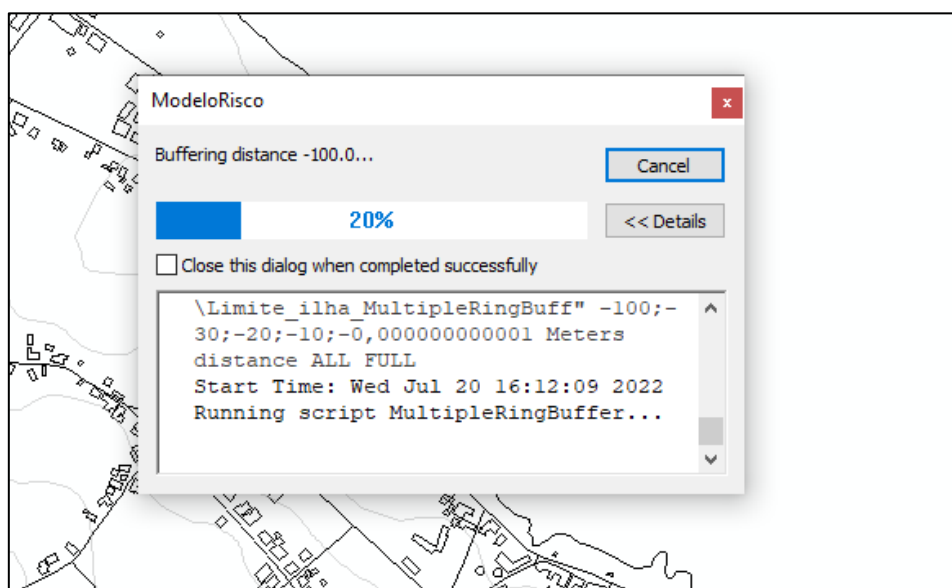


Figura 38 - Caixa de diálogo apresentando o progresso do processamento.

Após término do processamento a caixa de diálogo apresenta o estado de *Completed* e apresenta o tempo de processamento (Figura 39). Para cada área de estudo o tempo de processamento é diferenciado, dependendo do tamanho da zona de estudo e do tamanho dos dados (Tabela 7).

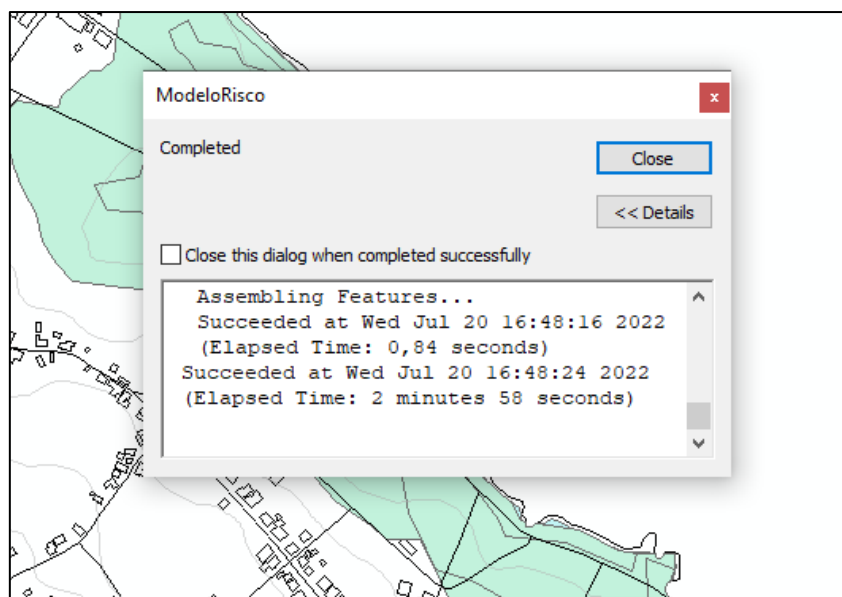


Figura 39 - Caixa de diálogo após finalização do modelo.

Tabela 7 - Tempos de processamento do modelo para cada zona de estudo.

Zona de Estudo	Tempo de processamento
Lajes	2 min 38 s
Madalena	2 min 34 s
São Roque	2 min 58 s
Tempo médio	2 min 43 s

Como visto na Tabela 7 o tempo médio de processamento, para as zonas de estudo consideradas, é inferior a 3 minutos.

O output final do modelo são dois polígonos contendo os níveis de risco e de vulnerabilidade. Sendo necessário efetuar pós processamento dos mesmos, nomeadamente alteração da simbologia conforme descrito no Quadro 21, utilizando a opção *categories > unique values*, tendo como *value field* o elemento *gridcode* (Figura 40).

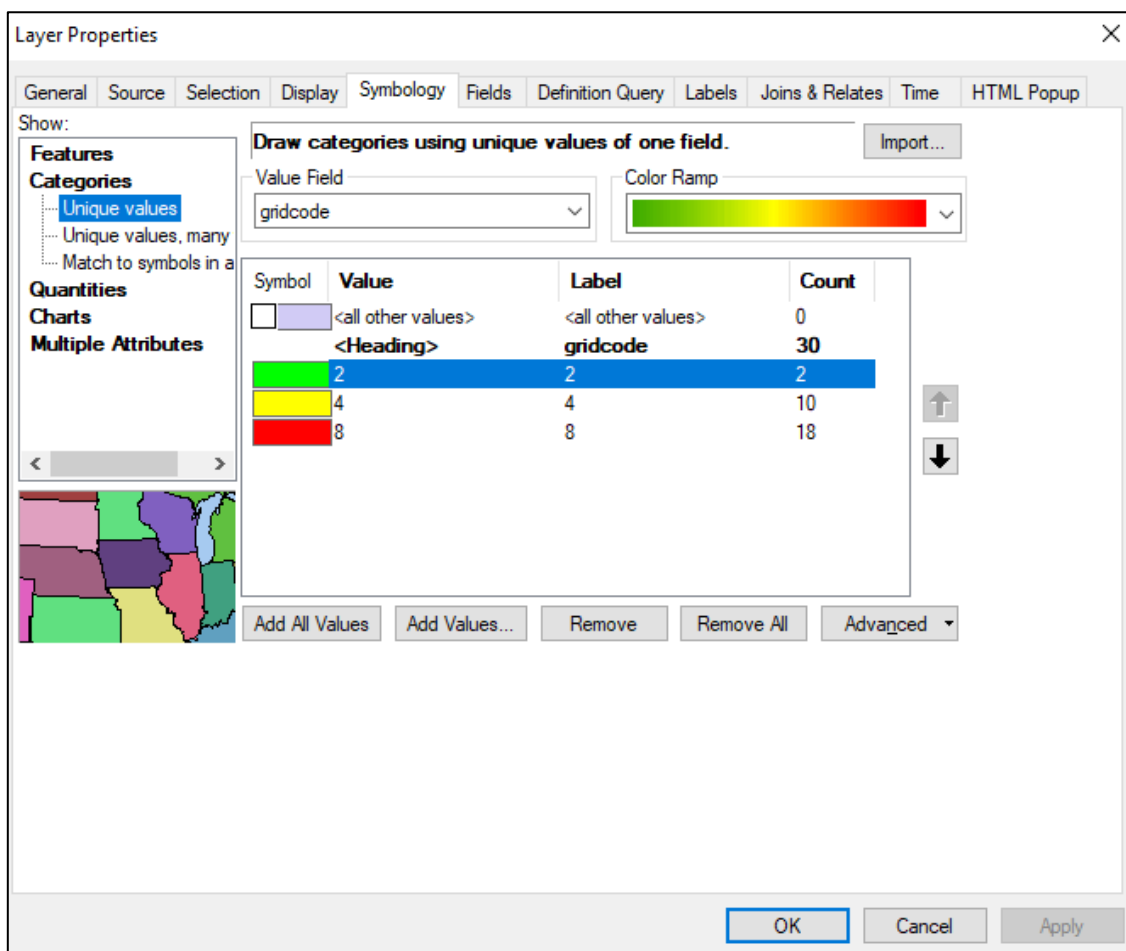


Figura 40 - Definição da simbologia dos polígonos obtidos na aplicação do modelo.

IV.3. Resultados

Após processamento do modelo são obtidos dois polígonos representando os níveis de risco e os níveis de vulnerabilidade respetivamente. Os polígonos resultantes poderão ter que ser submetidos a pós-processamento manual para correção de alguns erros advindos da aplicação do modelo, como pixéis isolados que continuem após o refinamento ou espaços em branco junto à linha de costa (Figura 41). Cartograficamente os resultados são representados à escala 1: 2000, no sistema de referência PTR08-UTM/ITRF93, com representação dos elementos-base, altimetria, rede viária e edificado (Figura 42).

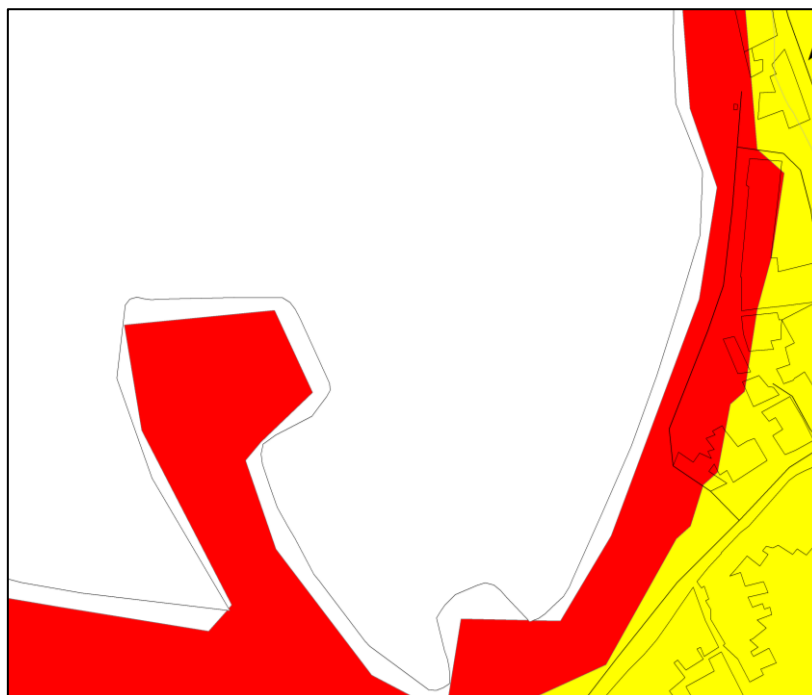


Figura 41 - Pormenor da cartografia resultante do modelo em que o polígono não ocupa toda a área da linha de costa.



Figura 42 - Exemplo da cartografia de pormenor de risco resultante da aplicação do modelo.

Nos Anexos II a XXI pode ser consultada a cartografia de pormenor de risco e de vulnerabilidade resultante da aplicação do modelo nas áreas de estudo identificadas.

CONCLUSÕES

As alterações climáticas e os eventos meteorológicos extremos que dela são consequência põe em risco populações e territórios, especialmente os mais suscetíveis, como nos casos de estudo apresentados nesta dissertação. Uma forma de prevenir o risco e as suas consequências é localizar e quantificar esse risco. A materialização física desse processo é a cartografia de pormenor de risco.

A legislação nacional e regional prevê a elaboração das cartas de pormenor de risco de inundação costeira e a sua inclusão nos planos de ordenamento de âmbito municipal, PDM. No entanto na Região Autónoma dos Açores a mesma apenas existe nas sedes dos municípios de Angra de Heroísmo, na Ilha Terceira, e Velas na Ilha de São Jorge. Isto pode ser resultado da complexidade do processo e da pouca disponibilidade dos dados necessários para a elaboração destes estudos.

Com este modelo foi possível aplicar uma metodologia de análise de risco de inundação e galgamento costeiro uniforme em diferentes áreas de estudo, permitindo que a cartografia resultante fosse também ela uniforme em qualidade e representação gráfica, cumprindo também todas as exigências da legislação para este tipo de cartografia. O modelo demonstrou, após os dados reunidos, ser de fácil e rápida aplicação, necessitando de ajustes mínimos entre cada área de estudo. Este modelo demonstra também que a modelação espacial pode ser um meio de aumentar a eficiência e a rapidez na produção deste tipo de cartografia, em regiões como o Arquipélago dos Açores, diminuindo também o custo deste processo. Claro que poderá sempre haver um erro associado, devido à qualidade dos dados, a erro do operador ou a particularidades da área de estudo que não estejam contempladas neste modelo. Devido à rapidez de aplicação deste modelo o erro pode ser contabilizado e corrigido, sendo que o modelo também tem flexibilidade para que outras componentes sejam adicionadas.

A maior dificuldade na elaboração deste modelo foi a disponibilidade dos dados de base necessários para a quantificação das diferentes componentes do risco de inundações e galgamentos costeiros, nomeadamente a pouca disponibilidade da caracterização da agitação marítima costeira de séries temporais longas para áreas de

estudo consideradas, a necessidade de digitalização manual de alguns dados cartográficos, como as zonas ameaçadas pelo mar, a carta geológica ou as zonas de relevância ecológica, a indisponibilidade de cartografia da geomorfologia das áreas de estudo, que poderia ter sido um fator para melhorar a precisão do modelo produzido. Outros elementos poderiam ter sido adicionados ao modelo para o tornar mais preciso, como as estruturas de proteção marítima, ou no caso da componente exposição o número de habitantes por cada fogo habitacional, mas a indisponibilidade destes dados não permitiu a sua inclusão.

Nos resultados obtidos também se verificaram alguns erros que tiveram necessidade de ser corrigidos manualmente, como os polígonos não ocuparem a totalidade da zona de costa, erro que em escalas mais pequenas seria pouco perceptível, mas que em escalas maiores, como a utilizada 1:2 000, são perceptíveis.

Tendo isto, após o modelo estar afinado e adaptado a sua aplicação foi fácil e rápida em cada área de estudo, obtendo-se resultados que permitiriam tomar medidas de eliminação ou mitigação do risco. Com os dados necessários, este modelo seria facilmente aplicado noutras áreas, especialmente em Ilhas Atlânticas, como é a Ilha do Pico, constituindo assim uma ferramenta útil na mitigação ou prevenção do risco de inundações e galgamentos costeiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anastas, G., Santos, J. A., Pinheiro, L. V., & Fortes, C. J. E. M. (2021). Wave energy assessment in the São Roque do Pico island for OWC installation. Em C. G. Soares & T. A. Santos, *Developments in Maritime Technology and Engineering* (1.^a ed., pp. 511–518). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003216599-54>
- Booch, G., Rumbaugh, J., & Jacobson, I. (1999). *The unified modeling language user guide*. Addison-Wesley.
- Borges, P., & Andrade, C. (1999). *Storm characterization in the Azores archipelago on the XIX and XX centuries. Unpublished Technical Report/Project STORMS - Storminess and Environmentally Sensitive Atlantic Coastal Areas of the European Union*.
- Borges, P., Phillips, M. R., Ng, K., Medeiros, A., & Calado, H. (2014). Preliminary coastal vulnerability assessment for Pico Island (Azores). *Journal of Coastal Research*, 70, 385–388. <https://doi.org/10.2112/SI70-065.1>
- Câmara, G., Monteiro, A. M. V., Druck, S., & Carvalho, M. S. (2004). Análise Espacial e Geoprocessamento. Em *Análise Espacial de Dados Geográficos*. EMBRAPA.
- Coelho, C. D. B. (2005). *Riscos de exposição de frentes urbanas para diferentes intervenções de defesa costeira* [Doutoramento]. Universidade de Aveiro.
- Coelho, C., Silva, R., Veloso-Gomes, F., & Taveira Pinto, F. (2006). A vulnerability analysis approach for the Portuguese West Coast. *Risk Analysis V: Simulation and Hazard Mitigation*, 1, 251–262. <https://doi.org/10.2495/RISK060241>

- Coyle, G. (2004). *The Analytic Hierarchy Process (AHP)*. Pearson Education Limited.
- Direção Regional de Ambiente. (2011). *Reserva Ecológica Regional—Caracterização dos Perigos em termos de Recursos Naturais e delimitação das respetivas Áreas Vulneráveis a considerar no Ordenamento do Território da RAA (E-RER)*.
- Direção Regional de Ambiente. (2019). *Cartografia de pormenor de risco de galgamentos e/ou inundações costeiras nas áreas edificadas nas sedes de concelho: Terceira e São Jorge—Relatório final—Fase 4*.
- Direção Regional do Ambiente (Ed.). (2020). *Orientações metodológicas para a delimitação da RE - PDM na Região Autónoma dos Açores—Revisto* (Secretaria Regional da Energia, Ambiente e Turismo).
- Duc, T. T. (2006). *Using GIS and AHP technique for land-use suitability analysis*. 6.
- ESRI. (2000). *ModelBuilder for ArcView Spatial Analyst 2* (p. 18).
- Forjaz, V. H. (Ed.). (2004). *Atlas Básico dos Açores: Assim também nasceram todas as Ilhas dos Açores = The Azores basic atlas* (2. ed). Observatório Vulcanológico e Geotérmico dos Açores.
- Fowler, M. (2004). *UML distilled: A brief guide to the standard object modeling language* (3rd ed). Addison-Wesley.
- França, Z., Cruz, J. V., Nunes, J. C., & Forjaz, V. H. (2003). Geologia dos Açores: Uma perspectiva actual. *Açoreana*, 10(1), 11–140.
- Goodchild, M. F. (2005). GIS, spatial analysis and modeling overview. Em D. J. Maguire, M. F. Goodchild, & M. Batty (Eds.), *GIS, spatial analysis, and modeling* (1st ed., [Nachdr.], pp. 1–18). ESRI Press.

- IPCC. (2021). Summary for Policymakers. Em *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Julião, R. P. (2009). Informação geográfica e tecnologias para o ordenamento do território. *Cartografia e Geodesia*, 17–26.
- Julião, R. P. (2019). *Modelos de dados municipais em Ordenamento do Território. Slide de Apoio à Unidade Curricular de Sistemas de Informação Geográfica*. FCSH-UNL; Plataforma moodle.
- Julião, R. P., Nery, F., Ribeiro, J. L., Castelo Branco, M., & Zêzere, J. L. (2009). *Guia metodológico para a produção de cartografia de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica de base municipal*. Autoridade Nacional de Proteção Civil.
- Kolluru, R. V. (Ed.). (1996). Risk assessment and management: A unified approach. Em *Risk assessment and management handbook for environmental, health, and safety professionals* (p. 1.10-1.13). McGraw-Hill.
- NEMUS. (2021). *Estudo de Impacte Ambiental da Reparação do Molhe do Porto das Lajes do Pico, no âmbito dos Prejuízos decorrentes do Furacão Lorenzo—Volume 1* (Relatório de Síntese Rf_t21008). Portos dos Açores, SA.
- Nunes, M., & O'Neill, H. (2004). *Fundamental de UML* (3ª). FCA.
- Object Management Group. (2017). *OMG unified modeling language (OMG UML): Version 2.5.1* (formal/2017-12-05). <https://www.omg.org/spec/UML/>

- OIEWG. (2016). *Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction (A/71/644)*. United Nations.
- Pereira, C., & Coelho, C. (2013). Mapas de Risco das Zonas Costeiras por Efeito da Ação Energética do Mar. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 13(1), 27–43.
<https://doi.org/10.5894/rgci325>
- Pereira, M., Bragagnolo, C., Calado, H., & Fonseca, G. (2014). Conflitos territoriais em áreas protegidas de pequenas ilhas: A “ilha montanha” do Pico (Açores – Portugal). *Revista de Geografia e Ordenamento do Território*, 5, 207–231.
- Saaty, T. L. (1980). *Multicriteria decision making: The analytic hierarchy process ; planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill.
- Sanders, M. S., & McCormick, E. J. (1993). Human error, accidents and safety. Em *Human factors in engineering and design* (7th ed, pp. 655–695). McGraw-Hill.
- Santos, M. Y., & Amaral, L. (2002). Técnicas de modelação de informação geográfica: Uma síntese. *CAPSI 2002 : actas*. CONFERÊNCIA DA ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO, Lisboa.
- Shinar, D., Gurion, B., & Flascher, O. M. (1991). The Perceptual Determinants of Workplace Hazards. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, 35(15), 1095–1099. <https://doi.org/10.1177/154193129103501516>
- Sundaramoorthy, S. (2022). *UML diagramming: A catalog of cases*.

World Heritage Committee. (2004). *Decisions adopted at the 28th session of the World Heritage Committee* (WHC-04/28.COM/26; Convention concerning the protection of the world cultural and natural heritage). UNESCO.

LEGISLAÇÃO

Decreto Legislativo Regional no 26/2010/A de 12 de agosto da Assembleia Legislativa, Diário da República: I Série no 156. 3427 - 3510 (2010).

http://ot.azores.gov.pt/store/inc/docs_pota/2/01_ElemFundamentais/01_DLR_26_2010_A.pdf

Decreto Legislativo Regional no 30/2019/A de 18 de novembro da Assembleia Legislativa, Diário da República: I Série no 229. 5 - 158 (2019).

<https://files.dre.pt/1s/2019/11/22900/0000500158.pdf>

Decreto Legislativo Regional no 35/2012/A de 16 de agosto da Assembleia Legislativa, Diário da República: I Série no 158. 4492 - 4561 (2012).

<https://files.dre.pt/1s/2012/08/15800/0449204561.pdf>

Decreto Regulamentar Regional no 24/2011/A de 23 de novembro da Presidência do Governo, Diário da República: I Série no 225. 5020 - 5038 (2011).

http://ot.azores.gov.pt/store/inc/docs_pota/48/01_ElemFundamentais/DRR_24_2011_A_23novembro.pdf

Decreto-Lei no 193/95 de 28 de julho do Ministério do Planeamento e da Administração do Território, Diário da República: I Série A no 173. 4841 - 4845 (1995).

<https://dre.pt/dre/legislacao-consolidada/decreto-lei/1995-57442978>

Decreto-Lei no 80/2015 de 14 de maio do Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, Diário da República: I Série no 93. 2469 - 2512 (2015).

<https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/80-2015-67212743>

Lei no 99/2019 de 5 de setembro da Assembleia da República, Diário da República: I Série no 170. 3 - 267 (2019). <https://dre.pt/dre/detalhe/lei/99-2019-124457181>

Resolução do Conselho de Ministros no 112/2021 de 11 de agosto da Presidência do Conselho de Ministros, Diário da República: I Série no 155. 133 - 156 (2021).

<https://dre.pt/dre/detalhe/resolucao-conselho-ministros/112-2021-169418566>

Resolução do Conselho de Ministros no 160/2017 de 30 de outubro da Presidência do Conselho de Ministros, Diário da República: I Série no 209. 5822 - 5829 (2017).

<https://dre.pt/dre/detalhe/resolucao-conselho-ministros/160-2017-114123460>

Resolução do Conselho de Ministros no 68/2021 de 4 de junho da Presidência do Conselho de Ministros, Diário da República: I Série no 108. 23 - 62 (2021).

<https://www.portugal.gov.pt/download->

[ficheiros/ficheiro.aspx?v=%3d%3dBQAAAB%2bLCAAAAAAABAAzNLQwsQQAODaj3AUA AAA%3d](https://www.portugal.gov.pt/download-ficheiros/ficheiro.aspx?v=%3d%3dBQAAAB%2bLCAAAAAAABAAzNLQwsQQAODaj3AUA AAA%3d)

Resolução do Conselho do Governo Regional n.º 123/2011 de 19 de outubro da Presidência do Governo Regional, Jornal Oficial: I Série no 146. 2601 - 2627 (2011).

<https://jo.azores.gov.pt/#/ato/1fa5ed5c-5c0b-4399-973f-d429dc3be18d>

SÍTIOS DA INTERNET

ACIP. (2022). *Negócios*. Obtido em 13 de 07 de 2022, de Associação Comercial e Industrial da Ilha do Pico: <https://www.picoacip.pt/negocios/index.php>

Associação Geoparque Açores. (2010). *Ilhéus da Madalena*. Obtido em 23 de março de 2022, de Geoparque Açores: https://www.azoresgeopark.com/geoparque_acores/geossitios.php?id_geositi o=51

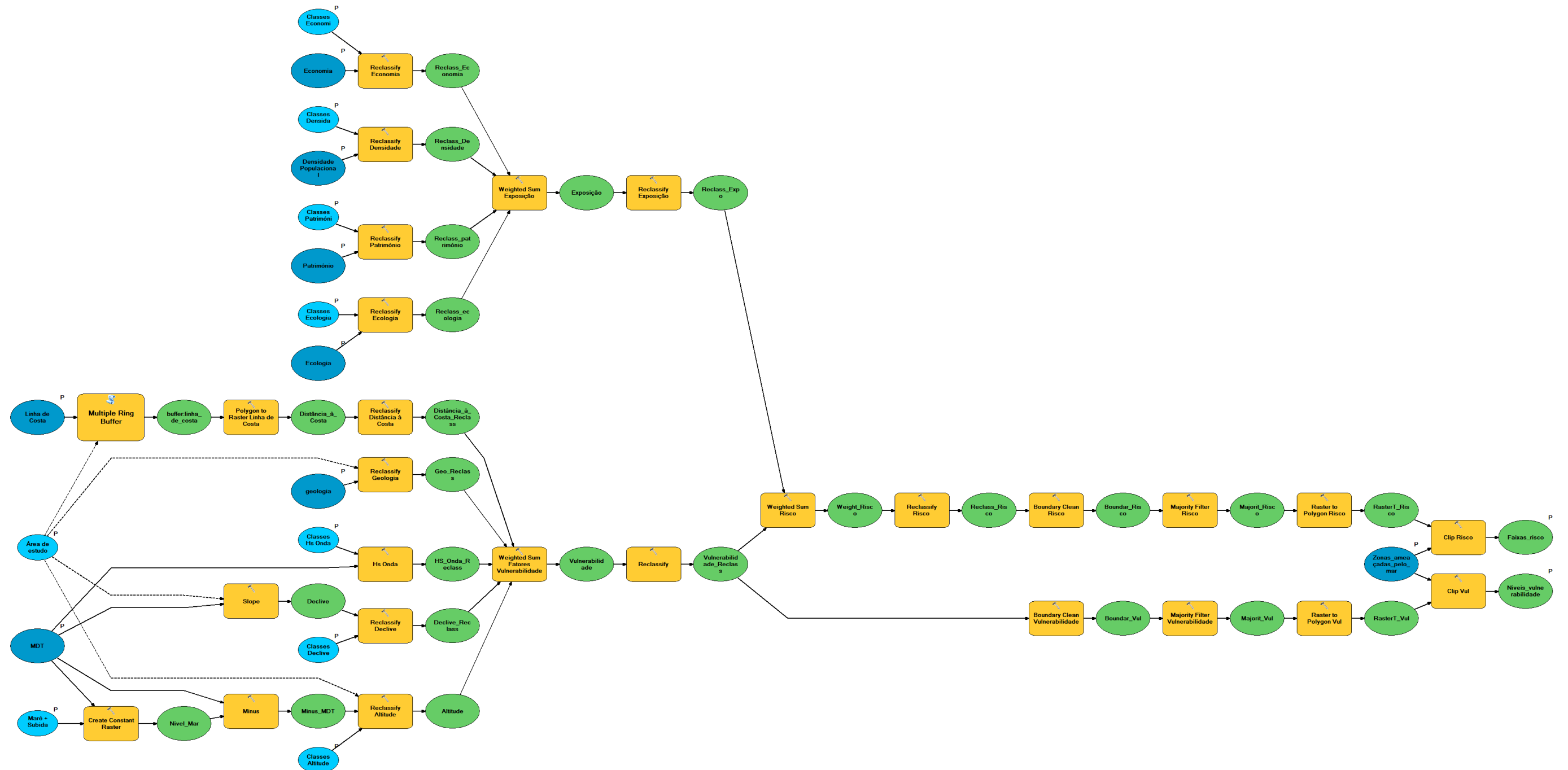
Azorina. (2020). *Lajes do Pico, Área Protegida para a Gestão de Habitats ou Espécies*. Obtido em 22 de março de 2020, de Parques Naturais dos Açores: <https://parquesnaturais.azores.gov.pt/pt/parques/5/areasprotegidas/35>

ESRI. (2021). *ModelBuilder*. Obtido de ArcGIS Desktop: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/analyze/modelbuilder/what-is-modelbuilder.htm>

Instituto Nacional de Estatística. (2021). *Census 2021 - Resultados provisórios*. Obtido de PORDATA: https://www.ine.pt/scripts/db_censos_2021.html

ANEXOS

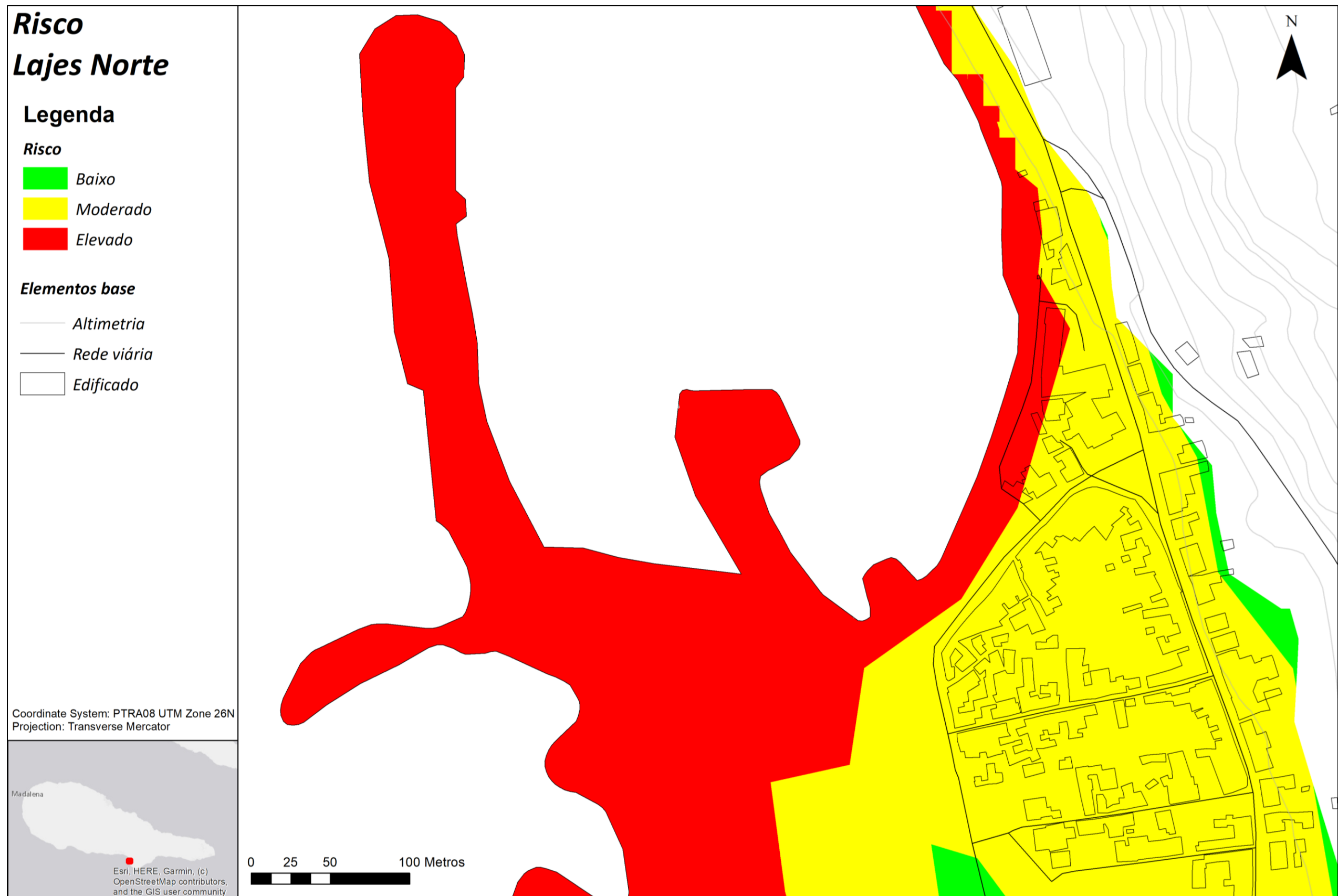
ANEXO I – Esquema ModelBuilder do Modelo de Análise de Inundações e Galgamentos Costeiros



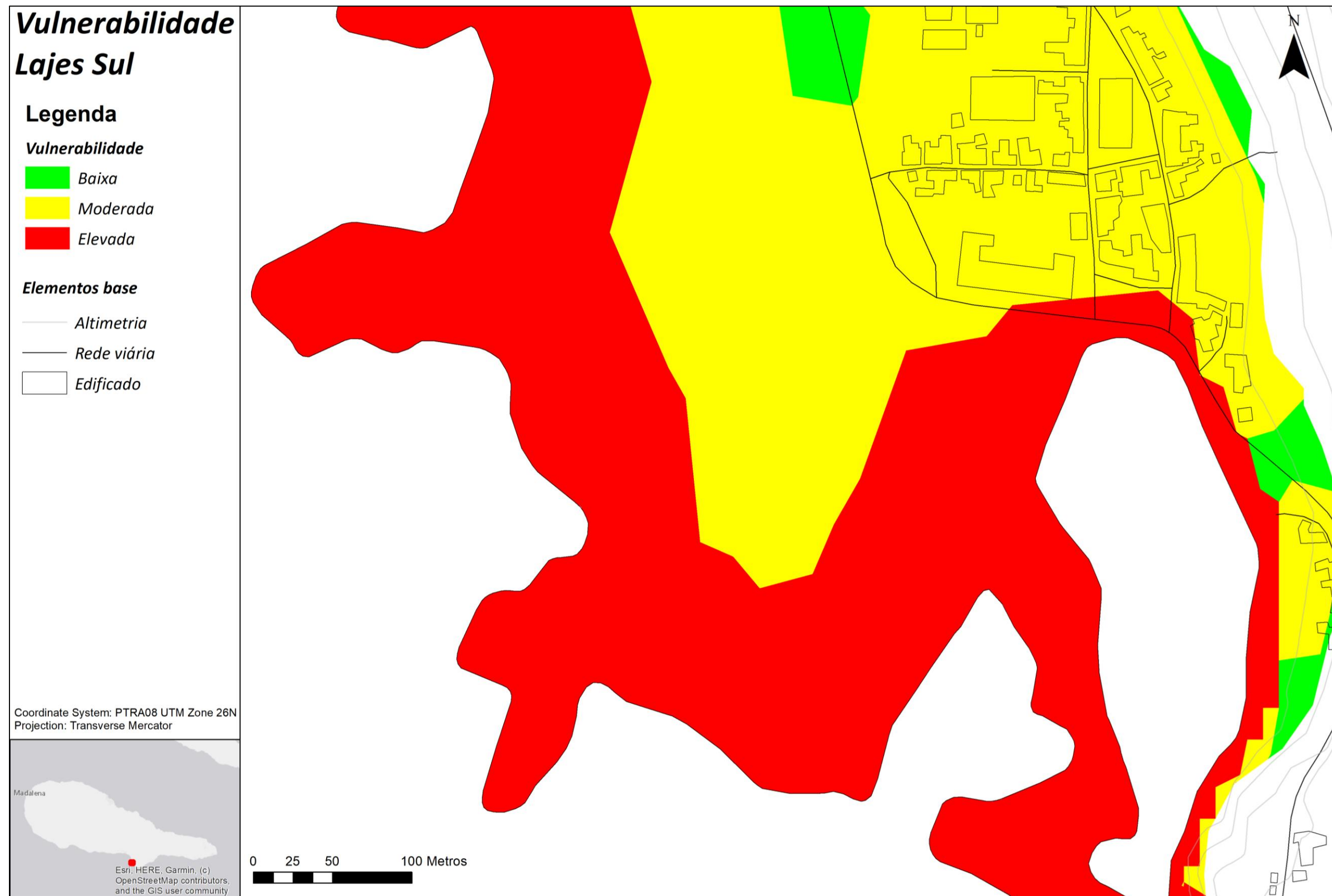
ANEXO II - Cartografia de Pormenor de Vulnerabilidade a Inundações e/ou Galgamentos Costeiros Lajes Norte 1:2000



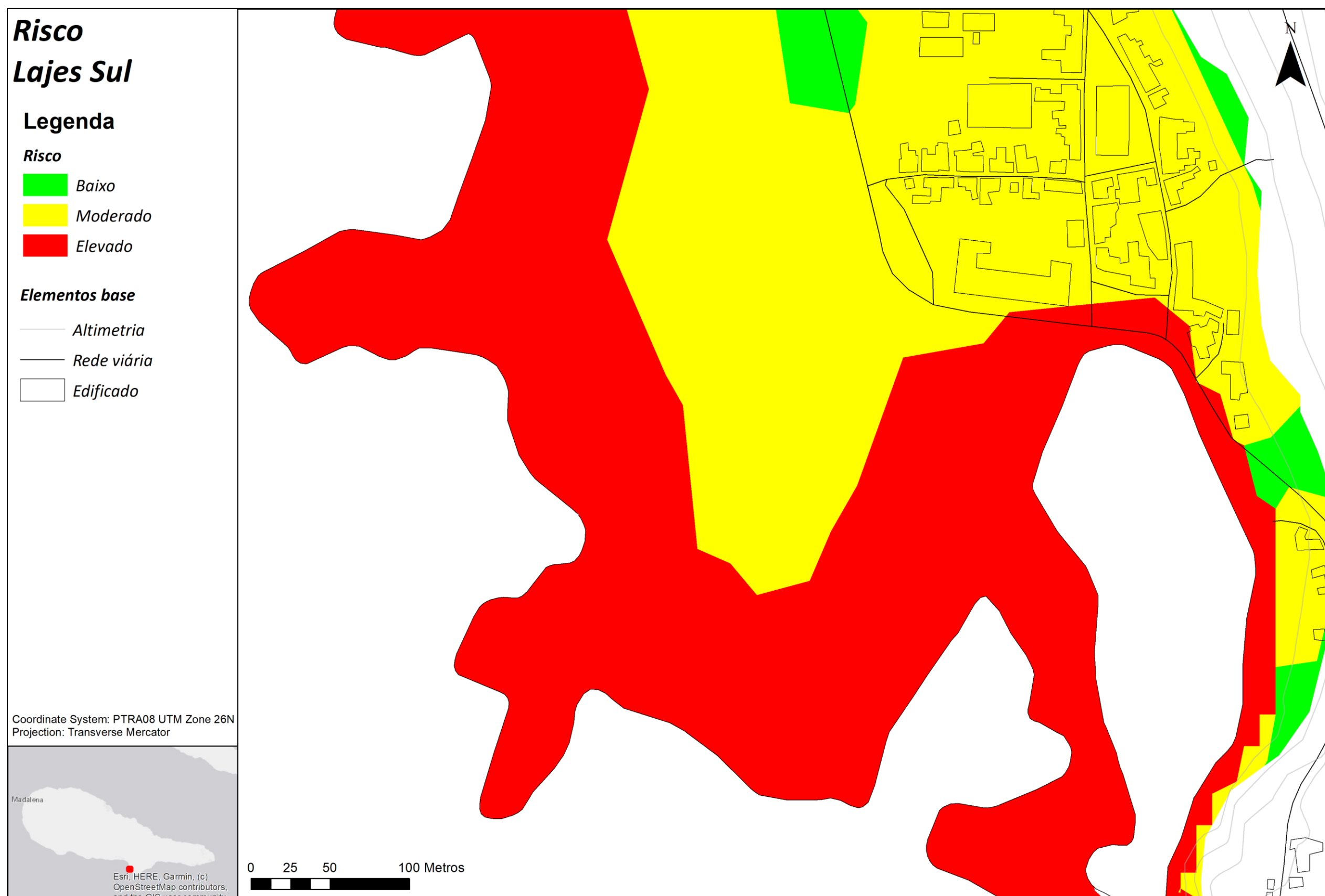
ANEXO III – Cartografia de Pormenor de Risco de Inundações e/ou Galgamentos Costeiros Lajes Norte 1:2000



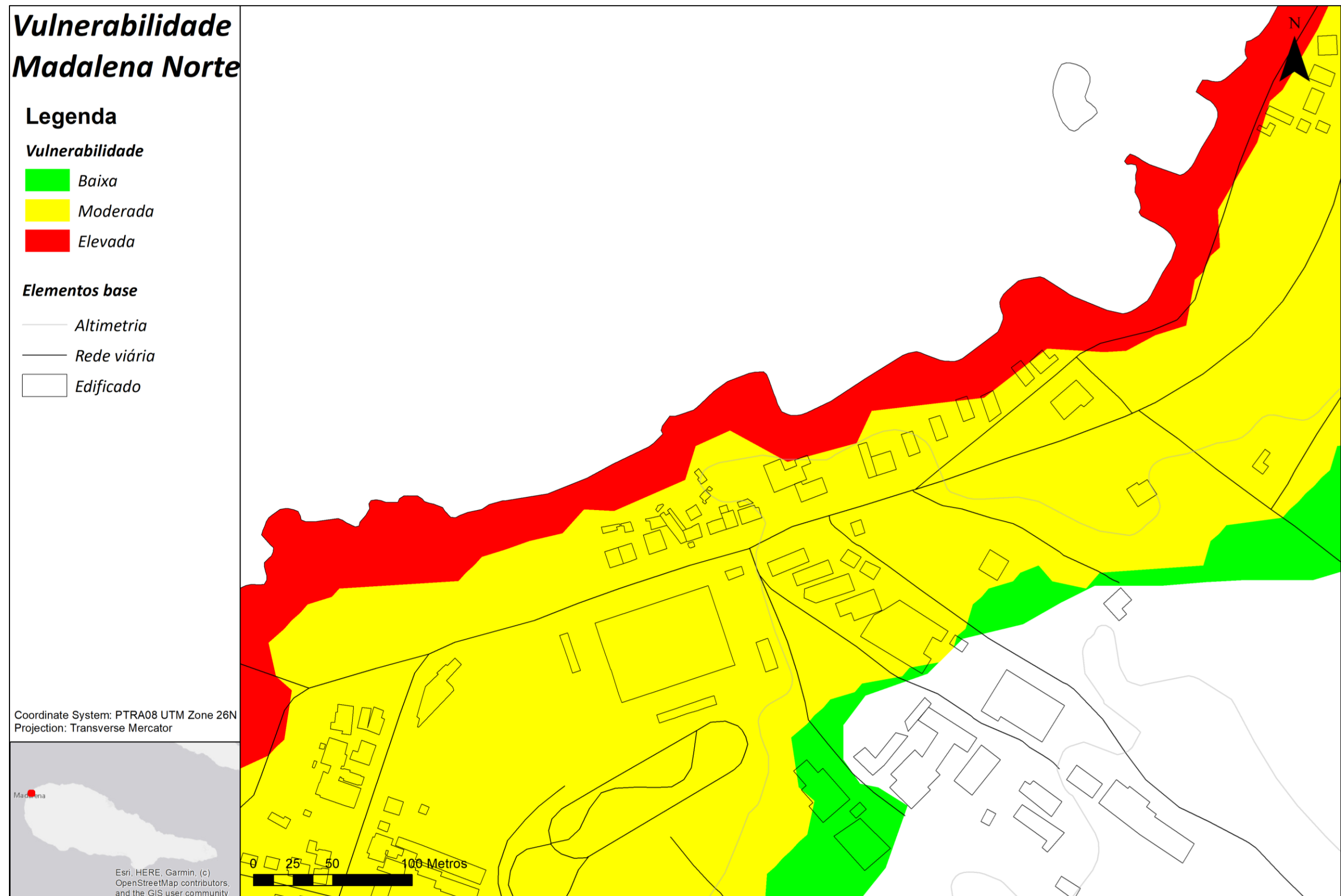
ANEXO IV – Cartografia de Pormenor de Vulnerabilidade a Inundações e/ou Galgamentos Costeiros Lajes Sul 1:2000



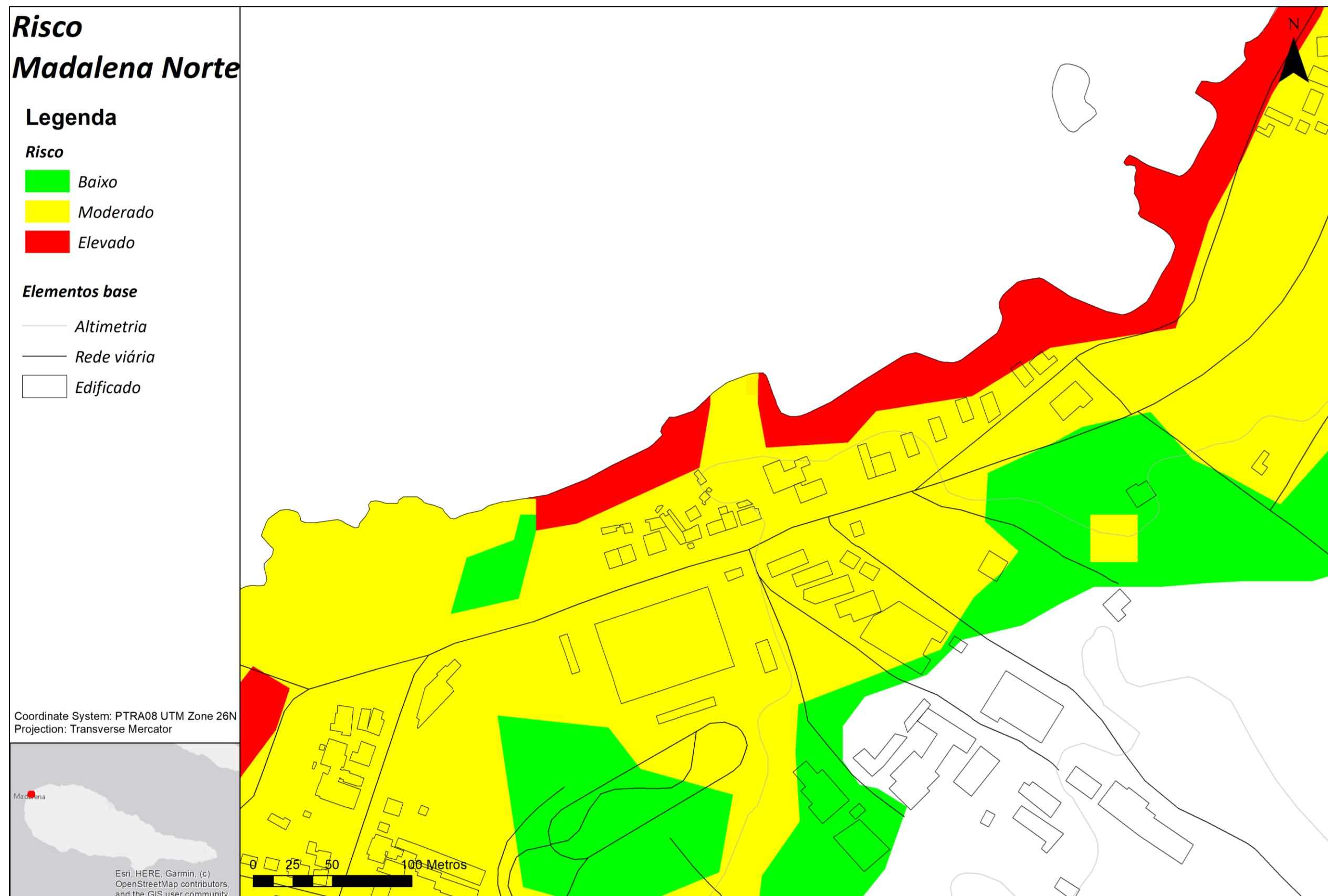
ANEXO V – Cartografia de Pormenor de Risco de Inundações e/ou Galgamentos Costeiros Lajes Sul 1:2000



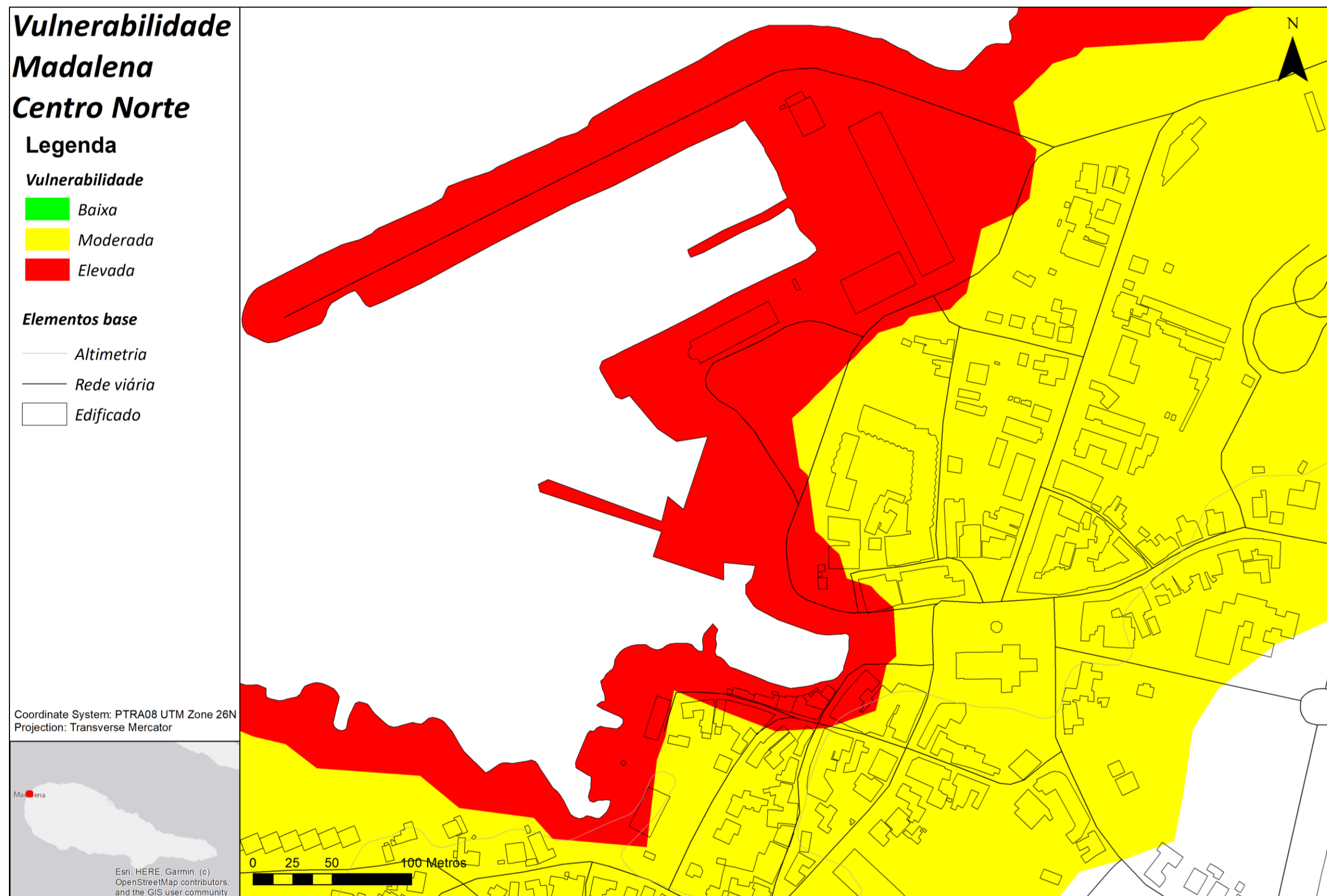
ANEXO VI - Cartografia de Pormenor de Vulnerabilidade a Inundações e/ou Galgamentos Costeiros Madalena Norte 1:2000



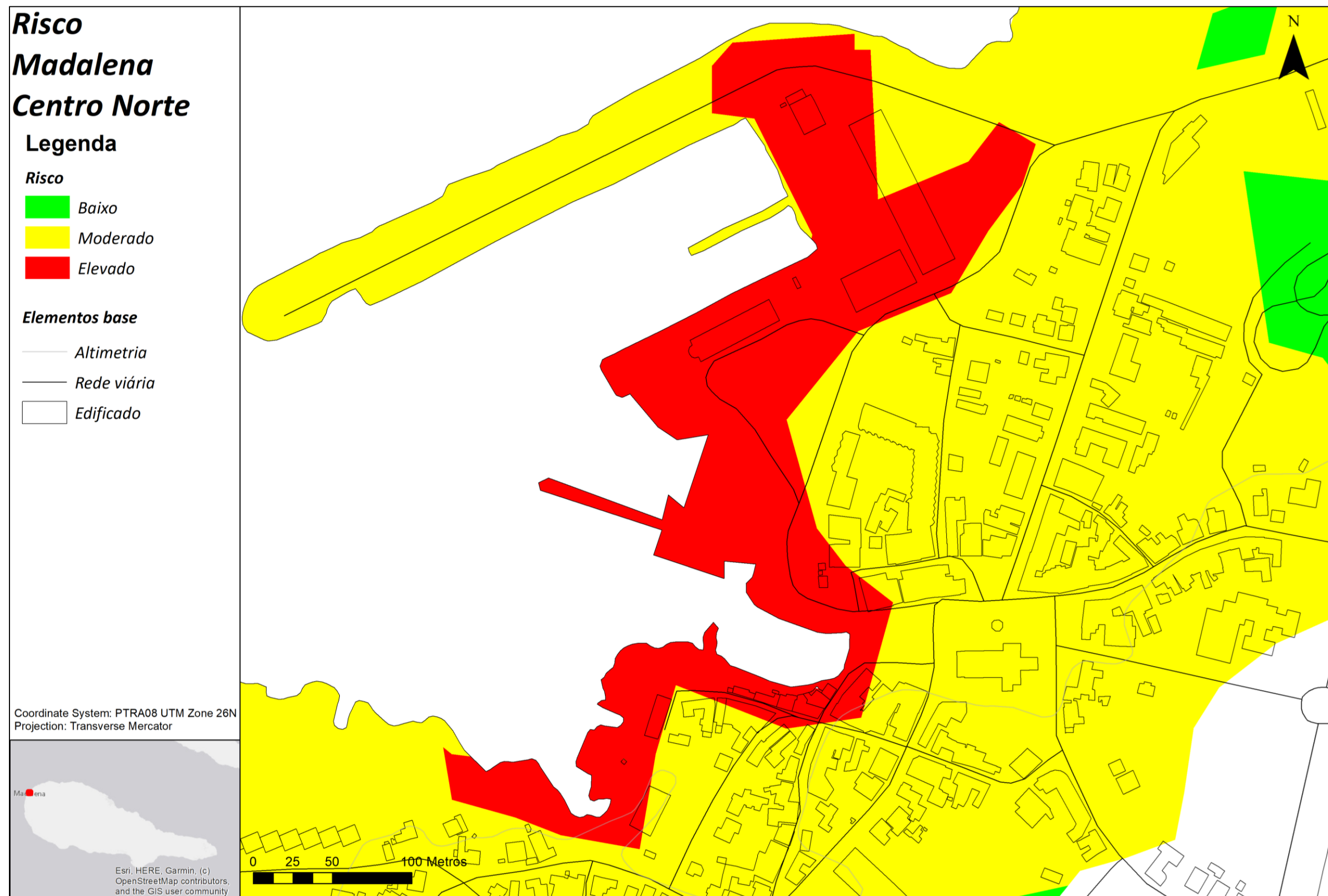
ANEXO VII - Cartografia de Pormenor de Risco de Inundações e/ou Galgamentos Costeiros Madalena Norte 1:2000



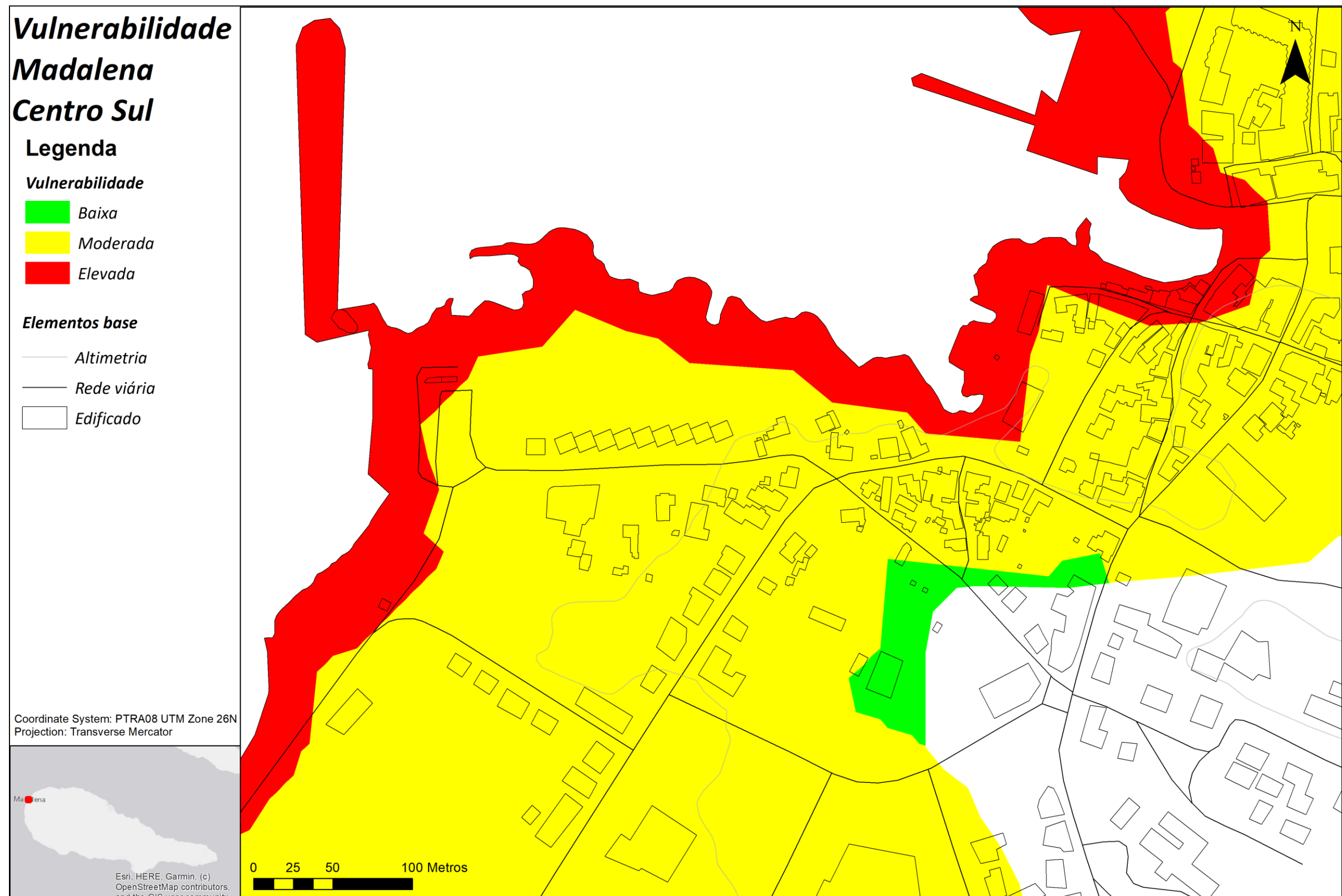
ANEXO VIII – Cartografia de Pormenor de Vulnerabilidade a Inundações e/ou Galgamentos Costeiros Madalena Centro Norte 1:2000



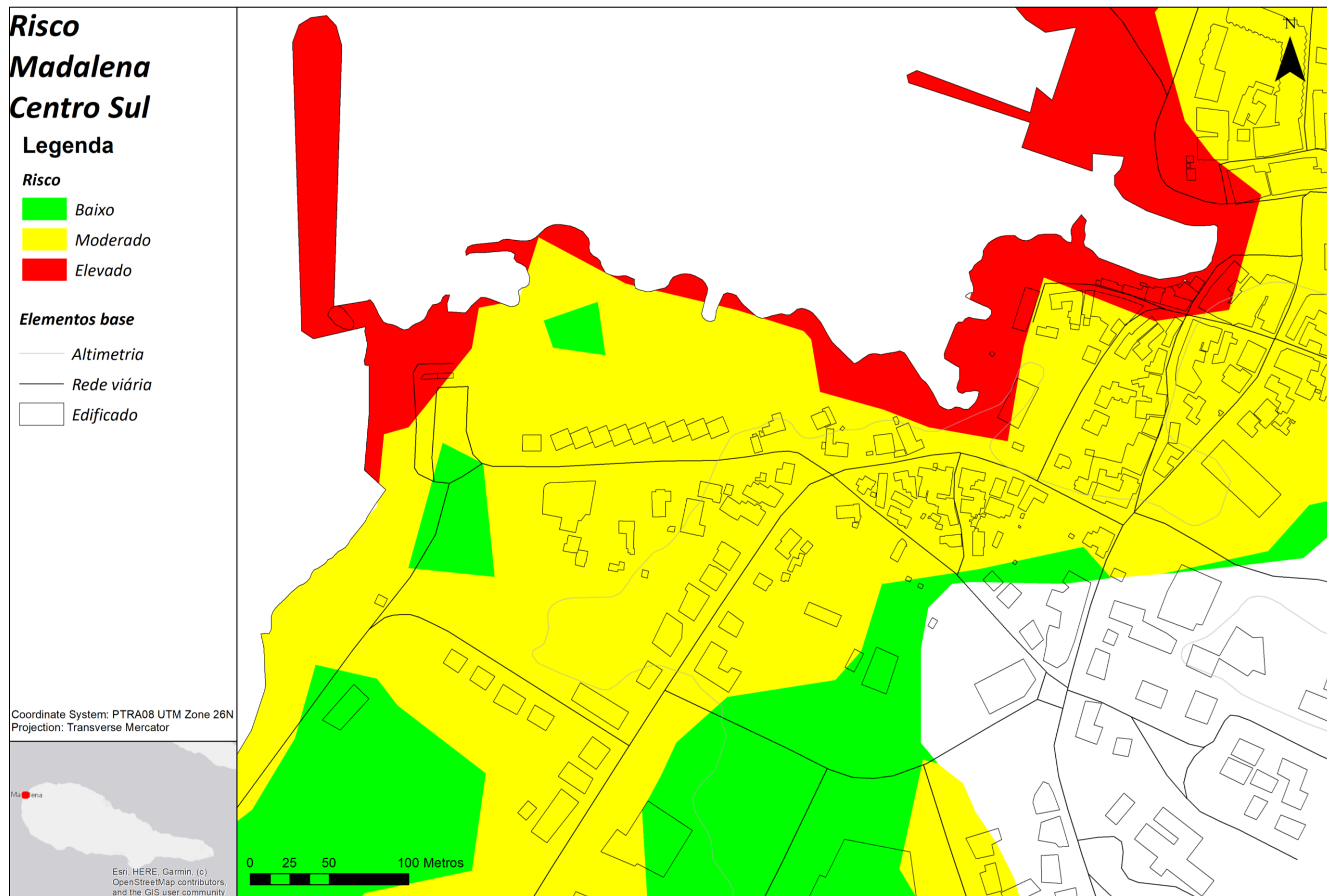
ANEXO IX – Cartografia de Pormenor de Risco de Inundações e/ou Galgamentos Costeiros Madalena Centro Norte 1:2000



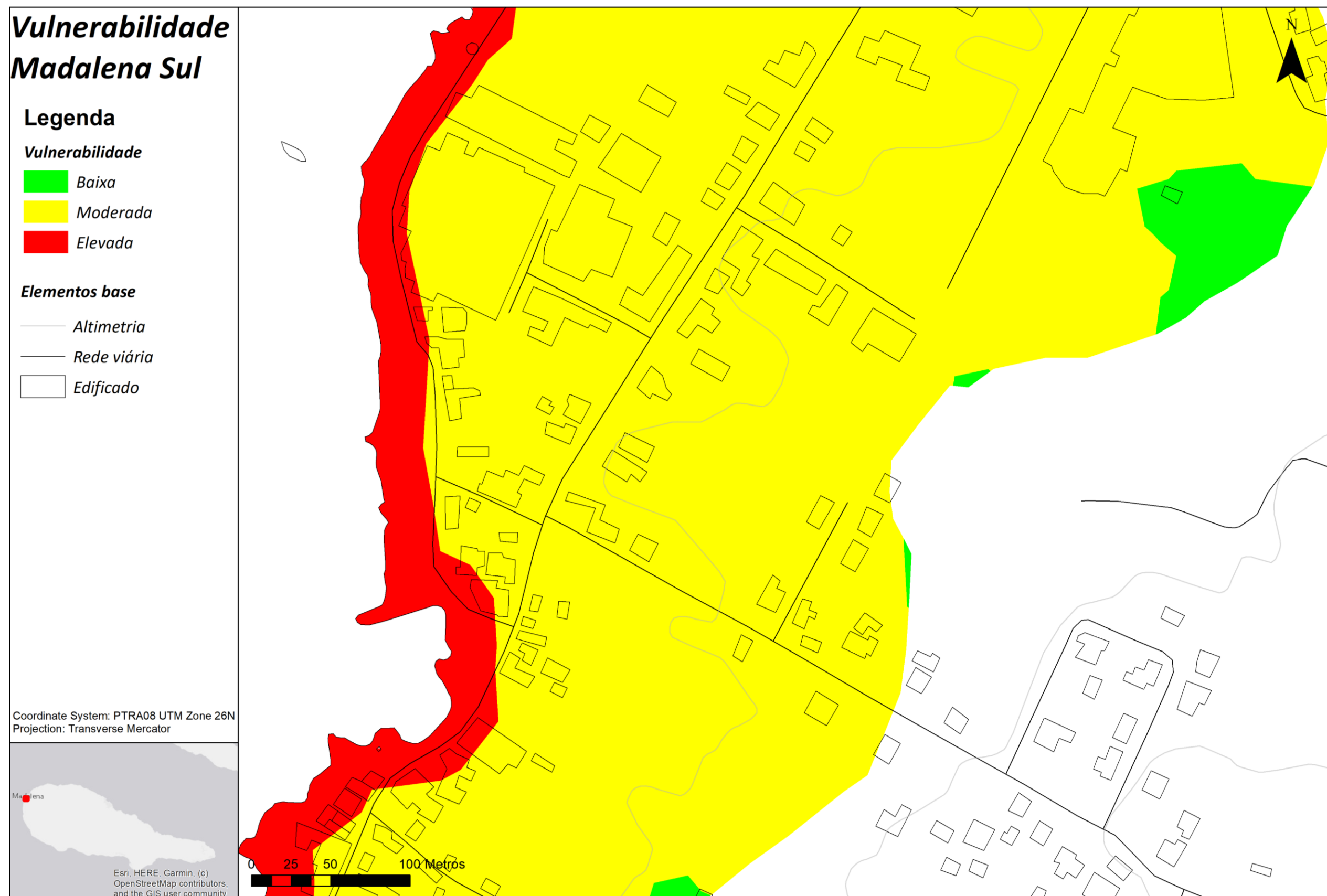
ANEXO X – Cartografia de Pormenor de Vulnerabilidade a Inundações e/ou Galgamentos Costeiros Madalena Centro Sul 1:2000



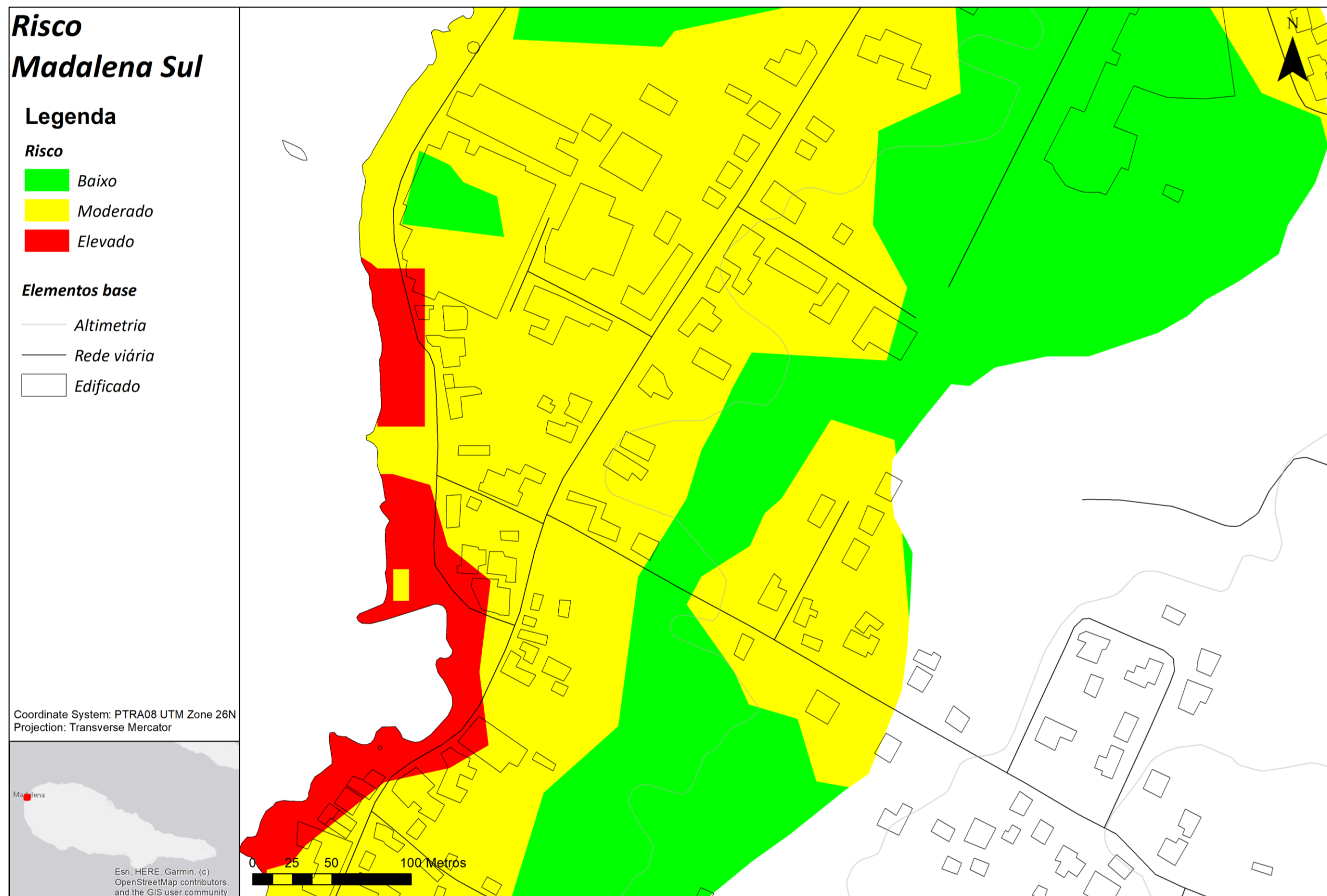
ANEXO XI – Cartografia de Pormenor de Risco de Inundações e/ou Galgamentos Costeiros Madalena Centro Sul 1:2000



ANEXO XII – Cartografia de Pormenor de Vulnerabilidade a Inundações e/ou Galgamentos Costeiros Madalena Sul 1:2000



ANEXO XIII – Cartografia de Pormenor de Risco de Inundações e/ou Galgamentos Costeiros Madalena Sul 1:2000



ANEXO XIV – Cartografia de Pormenor de Vulnerabilidade a Inundações e/ou Galgamentos Costeiros São Roque Norte 1:2000



ANEXO XV – Cartografia de Pormenor de Risco de Inundações e/ou Galgamentos Costeiros São Roque Norte 1:2000



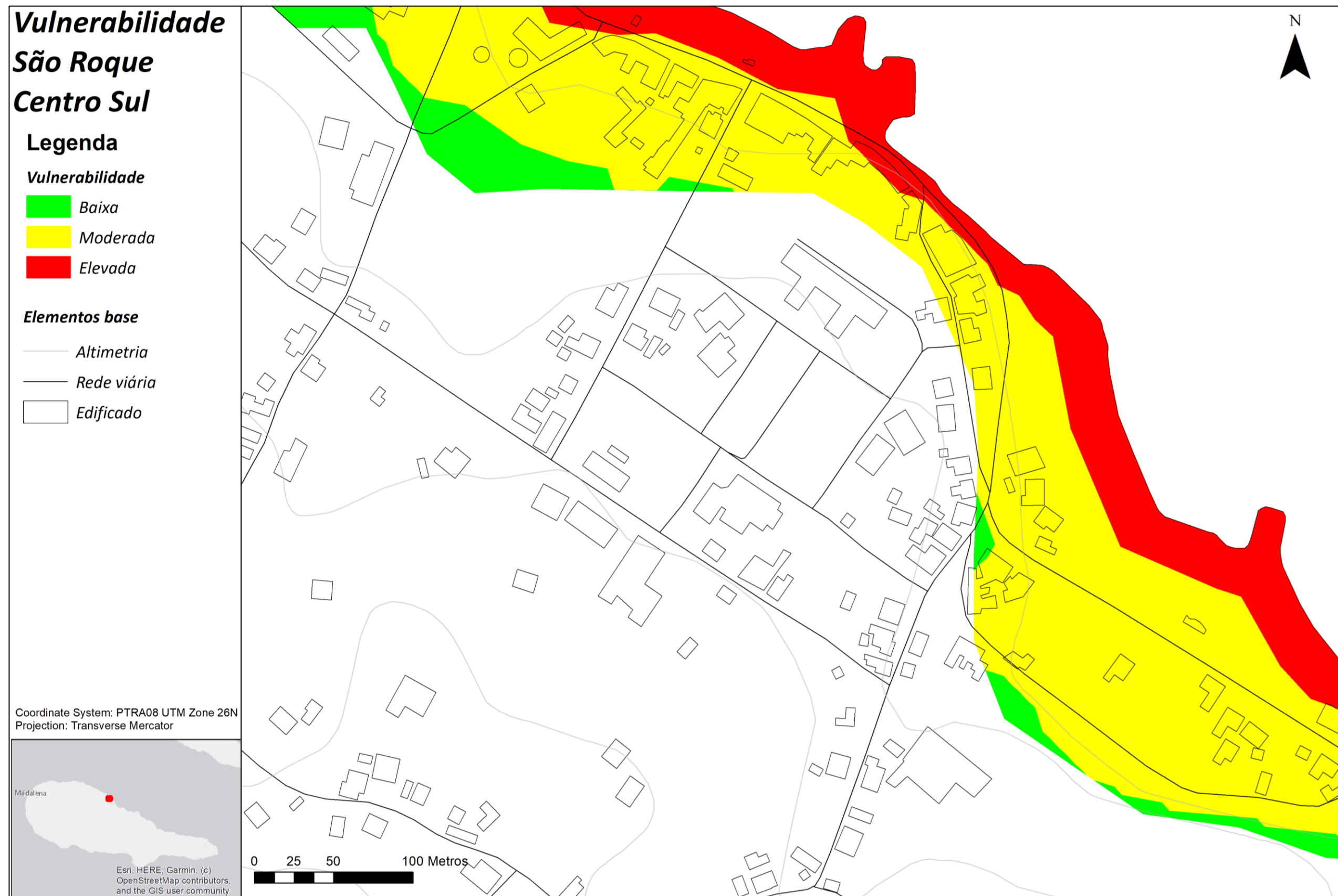
ANEXO XVI – Cartografia de Pormenor de Vulnerabilidade a Inundações e/ou Galgamentos Costeiros São Roque Centro Norte 1:2000



ANEXO XVII – Cartografia de Pormenor de Risco de Inundações e/ou Galgamentos Costeiros São Roque Centro Norte 1:2000



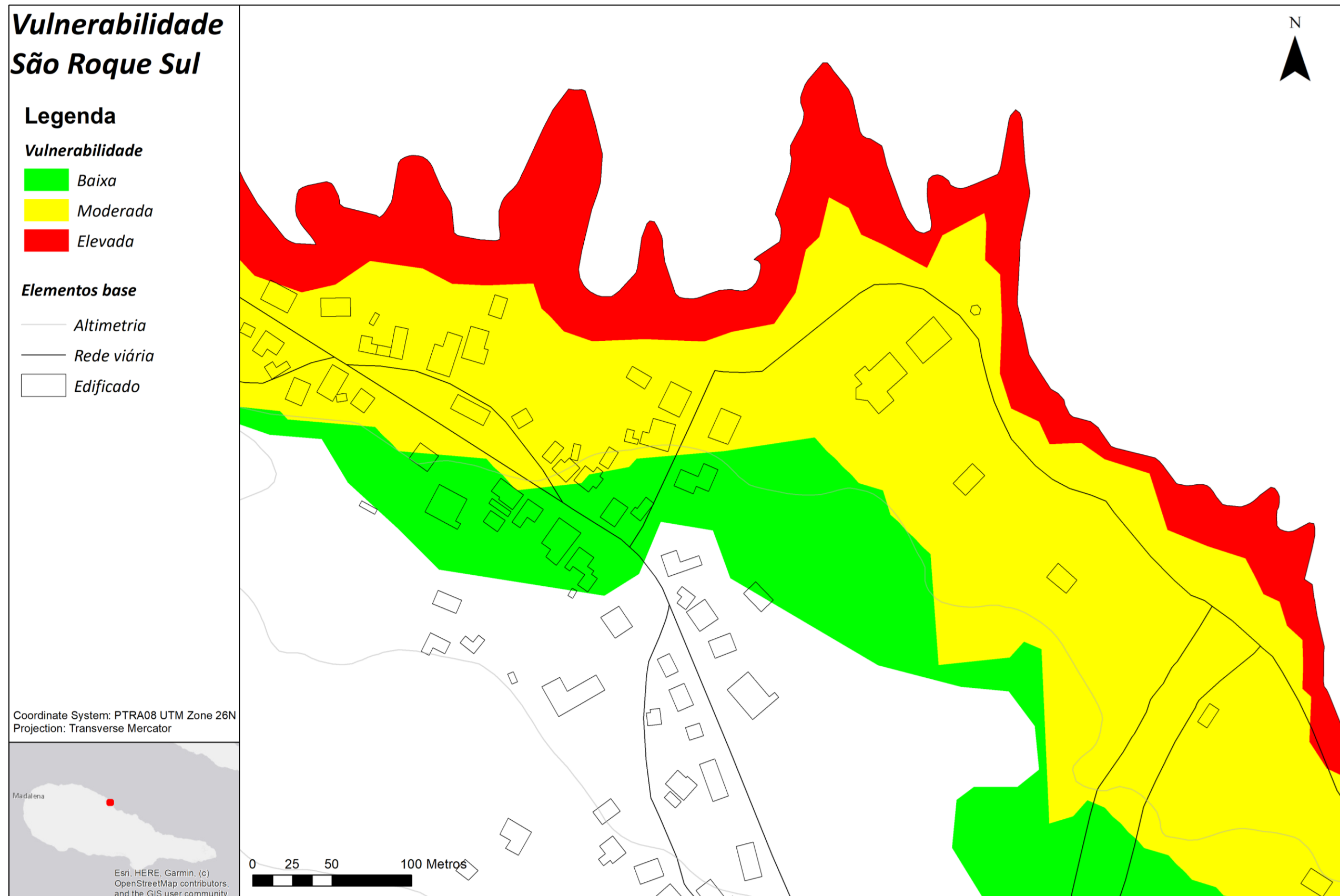
ANEXO XVIII – Cartografia de Pormenor de Vulnerabilidade a Inundações e/ou Galgamentos Costeiros São Roque Centro Sul 1:2000



ANEXO XIX – Cartografia de Pormenor de Risco de Inundações e/ou Galgamentos Costeiros São Roque Centro Sul 1:2000



ANEXO XX – Cartografia de Pormenor de Vulnerabilidade a Inundações e/ou Galgamentos Costeiros São Roque Sul 1:2000



ANEXO XXI – Cartografia de Pormenor de Risco de Inundações e/ou Galgamentos Costeiros São Roque Sul 1:2000

