



**UNIVERSIDADE DE ÉVORA**  
**ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**Mestrado em Engenharia Civil**  
*Especialização em Construção*

**Dissertação**

**Caracterização sumária da informação urbana para criação de rotas de  
emergência em situação de crise sísmica/tsunami**

Ricardo Guerreiro Angélico

**Orientador:**

Professor Doutor Mário Carlos Machado Jesus

**Co-Orientador:**

Professor João Manuel Carvalho Estêvão

Julho 2012

**Mestrado em Engenharia Civil**  
*Especialização em Construção*

**Dissertação**

**Caracterização sumária da informação urbana para criação de rotas de  
emergência em situação de crise sísmica/tsunami**

Ricardo Guerreiro Angélico

**Orientador:**

Professor Doutor Mário Carlos Machado Jesus

**Co-Orientador:**

Professor João Manuel Carvalho Estêvão

## **Caracterização sumária da informação urbana para a criação de rotas de emergência em situação de crise sísmica/*tsunami***

### **RESUMO**

Pretende-se apresentar uma solução para a determinação de rotas de evacuação em cenário urbano, perante casos de crise sísmica seguida de um *tsunami*, simulando as consequências dos efeitos sísmicos do evento ocorrido a 1 de Novembro de 1755 nos dias de hoje. O caso de estudo recairá sobre a cidade de Faro, Algarve.

Perante este problema é necessária a avaliação da vulnerabilidade sísmica do parque edificado existente, de forma a determinar uma estimativa de distribuição de danos provocada por uma ocorrência desta natureza. Para esta avaliação será aplicado um método macrossísmico segundo a escala de danos EMS-98.

Gerada a rede urbana, será aplicado um algoritmo de emergência construído no desenvolvimento deste trabalho. Tem como objectivo estabelecer rotas de evacuação em situações de emergência, dentro do tempo de evacuação existente, ponderando as distâncias entre dois nós obtidas com o algoritmo de Dijkstra (1959) com as características do nó de destino, tais como cotas altimétricas e grau de dano estimado.

## **Brief description of urban information for the creation of emergency routes in situation of a seismic/tsunami crisis**

### **ABSTRACT**

It is intended to provide a solution for the determination of evacuation routes in the urban scenario, in cases of seismic crisis followed by a tsunami earthquake, simulating the consequences of the effects of the seismic event occurred on the 1<sup>st</sup> of November of 1755, nowadays. The case study will be on the city of Faro, Algarve.

Faced with this problem it is necessary to assess the seismic vulnerability of existing buildings to determine the distribution of damage caused by an occurrence of this nature. For this evaluation, it will be applied a macrosismic method according to the damage scale EMS-98.

With the urban network created, an emergency algorithm is applied, built in this work. It aims to establish evacuation routes in case of emergency, in the existing evacuation time, by weighing the distances between two nodes obtained with the Dijkstra algorithm (1959) with the characteristics of the destination node, such as altitudes and estimated damage degrees obtained with the macrosismic method.

## **PALAVRAS CHAVE**

Vulnerabilidade, Sismo, *Tsunami*, Redes urbanas, Rotas de Emergência

## **KEYWORDS**

Vulnerability, Earthquake, *Tsunami*, Urban networks, Emergency routes

*“Uma operação de emergência sísmica bem coordenada irá provavelmente salvar muitas vidas. Uma má resposta de emergência a um sismo pode dobrar ou triplicar o número de mortos.” (Oliveira, Oliveira, Ferreira, Pestana, & Dias, 2004)*

## AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que de alguma forma me ajudaram e apoiaram durante a elaboração do presente trabalho, aqui expresso o meu sincero agradecimento, nomeadamente:

Ao Prof. Doutor Mário Jesus, um agradecimento especial, desde a confiança depositada inicialmente no convite para a elaboração do presente estudo, até à persistência e empenho com que sempre acompanhou e orientou todas as fases deste trabalho.

Ao Engenheiro João Estêvão pelas orientações fornecidas na elaboração do capítulo relativo à análise de vulnerabilidade sísmica, desde o levantamento à obtenção de resultados.

A todos os colaboradores do Centro de Simulação e Cálculo do ISE-UAAlg, nomeadamente ao Prof. Doutor Pedro Cardoso, ao Dr. Pedro Guerreiro e ao Engenheiro Mateus Andrade, pela troca de ideias durante as sessões de trabalho.

À Engenheira Sara Madeira pelas orientações em *software* de sistema de informação geográfica.

Finalmente, mas não menos importantes, à minha família, namorada e amigos pela paciência, motivação e palavras sábias com que sempre me apoiaram no decorrer do desenvolvimento deste trabalho.

A todos o meu muito obrigado e votos sinceros de muita saúde e felicidades na vida.

# ÍNDICE

1.	Introdução .....	10
1.1	Escalas sísmicas e de intensidade tsunâmica.....	12
1.2	Sismicidade na região do Algarve .....	15
1.3	Risco, perigosidade e vulnerabilidade .....	18
1.4	Metodologias de avaliação de vulnerabilidade sísmica .....	21
1.5	<i>Tsunamis</i> .....	23
1.5.1	Características físicas e propagação dos <i>tsunamis</i> .....	24
1.5.2	Comportamento dos <i>tsunamis</i> em águas pouco profundas .....	25
1.5.3	Inundação .....	27
1.5.4	Sistemas de monitorização, alerta e aviso .....	28
1.6	Planeamento de evacuação de emergência.....	30
2.	Descrição do problema.....	33
2.1	Motivação e importância do problema .....	34
2.1.1	A cidade de Faro e o sismo de 1 de Novembro de 1755 .....	35
2.1.2	Cenário de alerta de <i>tsunami</i> .....	38
2.2	Caracterização do problema .....	40
2.3	Restrições do problema.....	41
2.4	Rotas de emergência/evacuação e problemas de transportes - <i>State of the art</i> .....	42
3.	Análise simplificada de vulnerabilidade sísmica do núcleo urbano de Faro .....	44
3.1	O método macrosísmico europeu de acordo com EMS-98.....	45
3.1.1	Índices de vulnerabilidade segundo o método macrosísmico europeu (EMS-98) .....	50
3.2	Vulnerabilidade de edifícios da baixa de Faro - Aplicação ao caso de estudo .....	53
3.2.1	Definição de tipologias a utilizar .....	53
3.2.2	Definição da zona de estudo .....	55
3.2.3	Levantamento das zonas padrão .....	58
3.2.4	Tratamento de dados .....	60
3.2.5	Resultados obtidos e análise de resultados .....	63
4.	Criação de rotas de emergência.....	66
4.1	Breve introdução à teoria dos grafos .....	67
4.2	Criação da rede.....	70
4.2.1	Zonamento da rede urbana .....	71
4.2.2	Pontos de refúgio .....	73
4.2.3	Modelação geométrica da zona urbana.....	75
4.3	Construção do algoritmo .....	77

4.3.1	Primeira fase.....	78
4.3.2	Segunda fase.....	83
4.3.3	Obtenção de resultados.....	87
5.	Resultados.....	89
6.	Conclusões e trabalhos futuros.....	92
6.1	Conclusões.....	93
6.2	Trabalhos futuros.....	95
	Bibliografia.....	97
A.	Anexos.....	100



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Mapa de Isossistas de Intensidades Máximas (1755 a 1996) de acordo com a Sismicidade Histórica em Portugal Continental – (adaptado de Atlas do Ambiente) Fonte: <a href="http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/">http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/</a> a 26/7/2011.....	15
Figura 1.2 – Fronteiras das placas tectónicas e localização das principais estruturas geológicas. Fonte: LNEC (2005). .....	16
Figura 1.3 - Modelo conceptual do risco (adaptado de (Zêzere, Pereira, & Morgado, 2006)). ...	19
Figura 1.4 - Densidade populacional na região do Algarve em 2001. Fonte: INE, IGP-CAOP (2003).....	20
Figura 1.5 – Sistematização das metodologias de avaliação da vulnerabilidade sísmica segundo (Sousa Sotto-Mayor, 2006)).....	21
Figura 1.6 – Identificação geométrica dos conceitos de ondas marítimas (adaptado de (Nelson, 2011)).....	24
Figura 1.7 - Em águas profundas o comprimento de onda dos <i>tsunamis</i> mantém-se constante. Na aproximação a águas rasas, o comprimento de onda diminui e a amplitude (altura da onda) aumenta (adaptado de (Nelson, 2011)). .....	26
Figura 1.8 – Esquema de volume de inundação das zonas costeiras. Relaciona a secção transversal do <i>tsunami</i> perto da costa e com a área inundada. (Bryant, 2008).....	27
Figura 1.9 – Exemplo de sinalização de indicação de rota de evacuação para pedestres, em caso de alerta de <i>tsunami</i> .....	31
Figura 1.10 - Exemplo de mapa de evacuação em caso de alerta de <i>tsunami</i> em Rockaway Beach, Oregon, EUA. (Oregon Emergency Management, 2005).....	32
Figura 2.1 - Mapa de Inundação do núcleo urbano de Faro (+0 m) (Tingle, 2007) .....	37
Figura 2.2 - Mapa de Inundação do núcleo urbano de Faro (+5 m) (Tingle, 2007) .....	37
Figura 2.3 - Mapa de Inundação do núcleo urbano de Faro (+13 m) (Tingle, 2007) .....	38
Figura 2.4 - Destruição provocada pelo <i>tsunami</i> de 11 de Março de 2011 em Ishinomaki, Japão, após um sismo de magnitude 9,0. A imagem de cima foi fotografada em Julho 2008 e a de baixo após o <i>tsunami</i> com altura de onda de pelo menos 7,6 metros. Cortesia do projecto “Memories for the future”. (Google, 2012).....	39

Figura 3.1 - Definição da zona em estudo – zona limitada pela linha contínua a preto. Inclui a baixa da cidade de Faro e núcleo urbano até à Av. Calouste Gulbenkian continuando pela Av. Cidade de Hayward até à EN125, delimitada a Sul pelos espaços lagunares e sapais da Ria Formosa.....	55
Figura 3.2 - Definição de zonas de levantamento e limites da zona de estudo.....	56
Figura 3.3 – Delimitação e identificação da zona 1.....	57
Figura 3.4 – Delimitação e identificação da zona 2.....	57
Figura 3.5 – Delimitação e identificação da zona 3.....	57
Figura 3.6 – Delimitação e identificação da zona 4.....	58
Figura 3.7 – Delimitação e identificação da zona 5.....	58
Figura 3.8 - Resultado do levantamento realizado. Caracterização dos edifícios de acordo com as tipologias estruturais identificadas. ....	60
Figura 3.9 - Número de edifícios identificados no levantamento das zonas de estudo segundo tipologia estrutural. ....	63
Figura 3.10 - Estimativa de dano para os edifícios identificados no levantamento das zonas de estudo. ....	63
Figura 4.1 – Secção de um mapa de estradas e pontes (Picado, 2009, p. 53).....	67
Figura 4.2 – Secção de uma rede eléctrica (Picado, 2009, p. 53).....	67
Figura 4.3 – Grafo representativo dos esquemas geométricos indicados nas figuras 4.1 e 4.2 (adaptado de (Picado, 2009, p. 53)). ....	68
Figura 4.4 – Exemplo de um grafo simples $G(V,A)$ (adaptado de (Picado, 2009, p. 54)). ....	68
Figura 4.5 - Exemplo de pseudografo, com arestas múltiplas e lacetes (adaptado de (Picado, 2009, p. 55)). ....	69
Figura 4.6 - Exemplo de um grafo dirigido (dígrafo), com lacetes (adaptado de (Picado, 2009)). .....	69
Figura 4.7 – Grafo $G$ ao qual foram adicionados pesos aos arcos e fluxos às arestas, resultando numa rede $(R(G,f))$ .....	70
Figura 4.8 - Subsecções constituintes da zona em estudo no seu estado inicial - núcleo urbano da cidade de Faro (SIG). ....	72
Figura 4.9 – Novas secções homogeneizadas e respectivos centróides - núcleo urbano da	

cidade de Faro (SIG).....	73
Figura 4.10 – Vista satélite da zona urbana em estudo, com identificação dos pontos de refúgio (PR).....	75
Figura 4.11 – Grafo direccionado gerado em SCILAB, representativo do núcleo urbano da cidade de Faro com indicação dos pontos de refúgios pré-seleccionados. Os nós de maior diâmetro (a preto) representam os pontos de refúgio, os nós de menor diâmetro (a preto) representam os centróides das restantes subsecções e as arestas direccionais, as direcções possíveis de evacuação. ....	76
Figura 4.12 – Diagrama de cálculo do algoritmo de emergência. ....	77
Figura 4.13 – Simulação da rede urbana de Faro afectada por uma onda <i>tsunami</i> de 15 metros. As arestas de maior espessura (a azul) correspondem à zona afectada pela altura da onda. Os nós de maior diâmetro (a vermelho) indicam os pontos de refúgio. ....	80
Figura 4.14 – Identificação dos nós afectados pela altura da onda de <i>tsunami</i> (a azul) e dos nós que dentro desta área afectada conseguem ser evacuados em segurança (a verde), dentro do tempo de chegada da onda. Note-se que os pontos de refúgio afectados pela altura da onda de <i>tsunami</i> , passam a nós afectados, deixando de ser ponto de destino possível para evacuação. ....	80
Figura 4.15 – Resultado da simulação para a rede urbana de Faro, de uma onda de <i>tsunami</i> de 15 metros e 6 minutos de tempo de evacuação. As rotas de emergência possuem uma hierarquia de espessuras que correspondem ao tempo de evacuação, quanto maior for a espessura menor será o tempo de evacuação. As rotas a ciano (de maior espessura) correspondem aos caminhos mais curtos, a verde aos intermédios e a vermelho (de menor espessura), os caminhos mais longos. ....	83
Figura 4.16 – Identificação dos pontos de refúgio eleitos através dos custos mínimos, resultado da segunda fase da simulação do algoritmo de emergência para onda de 15 metros e 6 minutos de tempo de evacuação. Os nós de maior diâmetro (a vermelho) são os nós seleccionados como destinos possíveis para a população afectada fora da zona de segurança. ....	86
Figura 4.17 – Rotas de emergência geradas pela segunda fase de processamento do algoritmo de emergência. As rotas de emergência possuem uma hierarquia de espessuras que correspondem ao tempo de evacuação, quanto maior for a espessura menor será o tempo de evacuação. Os nós a ciano correspondem a nós evacuados na totalidade e os nós a castanho, os nós onde restam habitantes por evacuar. ....	86

Figura A.1 - Mapa do núcleo urbano de Faro com indicação de raio de 300 metros mostrando a área abrangente em redor dos pontos de refúgio..... 134

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 – Descrição dos efeitos observados segundo a Escala Macrossísmica Europeia resumida. Esta versão simplificada destina-se a dar uma visão simples e generalizada da escala EMS-98. (adaptado de (ESC, 1998)).....	13
Tabela 1.2 - Escala de Sieberg-Ambraseys modificada (1962) (Dias, 2006). .....	14
Tabela 2.1 – Comparação da população urbana para a cidade de Faro em 1864 e 2001 (Instituto Nacional de Estatística, Arquivo Digital (INE), 2011, p. VIII) .....	36
Tabela 3.1 – Classificação de dano para edifícios de estrutura de betão armado, segundo a escala EMS-98 (ESC, 1998, p. 16).....	47
Tabela 3.2 - Graus de dano médio adaptados à avaliação das paredes de fachada em edifícios de alvenaria (Costa, Varum, Ferreira, Vicente, & Mendes da Silva, 2010, p. 6).....	48
Tabela 3.3 - Classificação de dano para edifícios de estrutura de alvenaria resistente, segundo a escala EMS-98 (ESC, 1998 p. 15).....	49
Tabela 3.4 - Índices de vulnerabilidade segundo as diferentes tipologias estruturais (adaptado de (Lagomarsino & Giovinazzi, 2006; Giovinazzi, 2005)).....	50
Tabela 3.5 - Valores de variação de vulnerabilidade segundo factores modificadores de comportamento, para estruturas de alvenaria resistente ou betão armado (adaptado de (Giovinazzi, 2005, p. 69)). .....	52
Tabela 3.6 - Tipologias estruturais e nomenclaturas propostas a utilizar neste trabalho, segundo material e época de construção.....	53
Tabela 3.7 – Definição de tipologias a utilizar no levantamento e correlação com tipologias estruturais segundo a EMS-98. ....	54
Tabela 3.8 – Valores de índice de vulnerabilidade padrão e limites segundo as tipologias estruturais estipuladas.....	54
Tabela 3.9 - Descrição das zonas de levantamento. ....	57
Tabela 3.10 - Exemplo de preenchimento da ficha de levantamento modelo para a zona 1.....	59
Tabela 3.12 – Comparação da estimativa de grau de distribuição de dano segundo os dados fornecidos pelo INE e os dados obtidos no levantamento. ....	64

Tabela 4.1 – Enumeração e descrição dos pontos de refúgio eleitos para inclusão no algoritmo. .....	74
Tabela 4.2 - Algoritmo 1 - Esquema fundamental do algoritmo de emergência. ....	78
Tabela 4.3 - Algoritmo 2 - Aquisição dos dados e criação da rede. ....	79
Tabela 4.4 - Algoritmo 3 - Processamento para obtenção das rotas de emergência dentro da área de segurança. ....	81
Tabela 4.5 - Algoritmo 4 - Processamento para obtenção das rotas de emergência fora da área de segurança.....	84
Tabela 4.6 - Algoritmo 5 – Função método do custo mínimo. ....	85
Tabela 4.7 - Exemplo de resumo de simulação obtido para onda de 15 metros e tempo de evacuação de 6 min. Este relatório pode ser obtido digitando <i>RESULT</i> na linha de comandos ou abrindo o ficheiro exportado correspondente aos dados de entrada.....	87
Tabela 4.8 - Exemplo de simulação de movimentos para a primeira abordagem de cálculo do algoritmo. Este resultado pode ser obtido digitando <i>MOVIMENTOS1</i> na linha de comandos ou abrindo o ficheiro exportado correspondente aos dados de entrada.....	88
Tabela 5.1 - Resultado da simulação do algoritmo de emergência para ondas de 12 metros de altura. ....	90
Tabela A.1 – Exemplo da ficha de levantamento modelo utilizada em campo. ....	100
Tabela A.2 - Folha de cálculo de vulnerabilidade e grau de dano da Zona 1.....	101
Tabela A.3 - Folha de cálculo de vulnerabilidade e grau de dano da Zona 2.....	104
Tabela A.4 - Folha de cálculo de vulnerabilidade e grau de dano da Zona 3.....	107
Tabela A.5 - Folha de cálculo de vulnerabilidade e grau de dano da Zona 4.....	110
Tabela A.6 - Folha de cálculo de vulnerabilidade e grau de dano da Zona 5.....	113
Tabela A.7 - Resumo dos dados e gráficos obtidos nas zonas de levantamento.....	128
Tabela A.8 – Tabela de cálculo com os dados estatísticos do CENSOS 2001 relativamente às secções constituintes da rede urbana criada. Possui informação em relação ao número de edifícios existentes, ano de construção, número de pisos, material estrutural e população presente. Através destes dados serão determinadas as vulnerabilidades dos edifícios de cada secção, e conseqüentemente, estimada uma distribuição média de dano.....	131
Tabela A.9 – O ficheiro 0_AE_data_nodes.csv contém os dados de entrada no algoritmo de	

emergência referentes aos nós, nomeadamente, área, coordenadas planimétricas e altimétricas, população presente, grau de dano estimado e indicação de ponto de refúgio....	134
Tabela A.10 - O ficheiro 0_AE_data_edges.csv contém a informação relativa às arestas, nomeadamente, nós de origem e destino.....	136
Tabela A.11 - Algoritmo de emergência desenvolvido em SCILAB – Criação da rede.....	143
Tabela A.12 - Algoritmo de emergência desenvolvido em SCILAB – Implementação do algoritmo, 1ª fase.....	145
Tabela A.13 - Algoritmo de emergência desenvolvido em SCILAB – Implementação do algoritmo, 2ª fase.....	156
Tabela A.14 – Algoritmo de emergência desenvolvido em SCILAB – Função para resolução do método do custo mínimo. ....	162
Tabela A.15 – Ficheiro de resultados para ondas de 15 metros e 8 minutos de tempo de evacuação – resumo de simulação. ....	165
Tabela A.16 – Ficheiro de resultados para ondas de 15 metros e 8 minutos de tempo de evacuação – resumo de movimentos da 1ª fase. ....	165
Tabela A.17 – Ficheiro de resultados para ondas de 15 metros e 8 minutos de tempo de evacuação – resumo de movimentos da 2ª fase. ....	166

# 1. INTRODUÇÃO

O território português encontra-se localizado numa zona de actividade sísmica moderada a elevada, caracterizada por eventos esporádicos mas de grande magnitude devido à proximidade às fronteiras das placas euro-asiática e africana.

Este enquadramento tectónico faz do Algarve uma costa de elevada perigosidade no que se refere à ocorrência de um sismo de forte magnitude originado nas fronteiras acima referidas. A libertação de energia provocada por um evento de magnitude elevada que se faça sentir nestas estruturas geológicas, para além do sismo de enorme potencial destruidor, pode gerar um *tsunami* de grandes proporções, que como aliás, já aconteceu anteriormente (1755) e ficou registado na história como dos maiores e mais destruidores de sempre em território nacional, com perdas de milhares de vidas humanas.

Os impactos sociais e económicos provocados por eventos semelhantes ocorridos recentemente pelo Mundo fora – o último a 11 de Março de 2011 no Japão – reflectem a gravidade do problema e impõem-nos a necessidade de estudar e rever as metodologias a aplicar em caso de emergência, de forma a minimizar os prejuízos humanos.

Perante este cenário torna-se determinante o estudo de procedimentos de “reação”, visto os reduzidos tempos de evacuação em caso de alerta de *tsunami*, e tendo em conta os danos físicos e psicológicos provocados pelo abalo sísmico que antecede a onda marítima. Ainda que exista legislação que defina normas e procedimentos a executar pelas entidades intervenientes, julga-se também necessário que a população possua um conjunto de instruções claras e objectivas, em caso de alerta de *tsunami*.

Neste contexto, o estudo e criação de rotas de emergência em situações de catástrofes naturais é um problema actual, multidisciplinar e de elevada importância, nomeadamente no seio urbano, na medida em que podem facultar, para cada zona afectada, uma rota de evacuação rápida e previamente estudada até locais de refúgio, em caso de *tsunami*.

Perante este problema, levantam-se as seguintes questões:

- Para onde se devem dirigir as populações em caso de alerta de *tsunami* após um sismo intenso? Quais são as zonas menos vulneráveis de cada centro urbano?
- Existe espaço nos locais de refúgio para toda a população afectada a refugiar até nestes pontos?



- Caso exista população fora da “zona de evacuação”, poderão ainda ser minimizadas as vulnerabilidades humanas? Para onde se devem estas pessoas deslocar?

O objectivo deste estudo procura construir um algoritmo capaz de responder a estas questões, para qualquer que seja a cidade costeira em estudo, recorrendo a ferramentas de Sistema de Informação Geográfica, dados estatísticos e *software* de cálculo matemático.

O algoritmo deverá ser capaz de gerar rotas de evacuação para movimentar a população residente nas zonas afectadas pela altura da onda para locais que possam servir de pontos de refúgio e aglomeração de pessoas, em caso de crise sísmica seguida de um *tsunami*. No caso em que parte da população afectada não consiga atingir os pontos de refúgio a salvo da onda marítima, o algoritmo deverá encaminhar esta população para as zonas, que dentro do tempo de evacuação, possuam menor vulnerabilidade sísmica e maior cota altimétrica, de modo a poder facultar ainda uma possibilidade de refúgio e salvaguarda.

A escolha da cidade de Faro como caso de estudo deve-se ao facto de ser uma cidade costeira com sismicidade histórica relevante e densidade populacional elevada. A evolução da sua configuração radial junto à costa demonstra distintas épocas de construção originando também diferentes tipologias estruturais, cada uma com o seu grau de vulnerabilidade associada. Resta salientar o facto do município de Faro ser a capital política e administrativa da região algarvia.

Desde logo se constata que o núcleo urbano da cidade de Faro possui uma vulnerabilidade tsunamigénica inferior relativamente a outras cidades da região algarvia, sobretudo devido à baixa profundidade das águas que a Sul da cidade, constituem a Ria Formosa e criam uma barreira natural dissipadora de velocidade da onda marítima.

A presente dissertação está dividida em seis capítulos. O primeiro capítulo refere-se à introdução, onde se procede ao enquadramento técnico-científico dos conceitos abordados. No segundo capítulo evidencia-se a importância e motivação que levam à elaboração do estudo, limitando-se o âmbito geral do trabalho. No terceiro capítulo é aplicado um método macrosísmico segundo a escala EMS-98 de avaliação de grau de dano em zonas do núcleo urbano de Faro. O quarto capítulo corresponde ao desenvolvimento de um algoritmo que permita a criação de rotas de emergência para a população afectada pela altura da onda. O quinto capítulo será constituído pelos resultados observados e o sexto capítulo pelas conclusões observadas na implementação do algoritmo, segundo os graus de dano obtidos para um cenário de intensidade sísmica semelhante ao de 1755, e pela proposta de trabalhos futuros.

## 1.1 Escalas sísmicas e de intensidade tsunâmica

Existem dois tipos de escalas de medição aquando da ocorrência de um sismo: as escalas de magnitude e as escalas de intensidade.

As escalas de magnitude quantificam o nível de energia libertada por um sismo. Destaca-se a conhecida escala de Richter, também denominada de escala de magnitude local, que atribui uma quantificação ao nível de energia libertada. É uma escala logarítmica de base 10, obtida calculando o logaritmo da amplitude sísmica do maior deslocamento a partir do zero num tipo particular de sismógrafo. O máximo histórico registado teve lugar no Chile a 22 de Maio de 1960, onde a magnitude atingiu os 9,5 graus. No sismo de 1 de Novembro de 1755, estima-se que a magnitude tenha atingido os 8,7 graus, na região de Lisboa e Algarve. (Baptista, Miranda, Chierici, & Zitellini, 2003)

As escalas de intensidade são escalas qualitativas de medição de efeitos sobre a população e estruturas naturais e artificiais. Destaca-se a conhecida Escala de Mercalli Modificada, classificada em numeração romana de I a XII, com o grau I a corresponder a um tremor apenas registado pelos sismógrafos, e o grau XII ao cataclismo, caracterizado pela alteração do relevo da região afectada. Estima-se que o sismo de 1755 tenha atingido uma intensidade de X-XI na escala de Mercalli, para Lisboa e Algarve (Baptista, Heitor, Miranda, Miranda, & Victor, 1998).

A Escala Macrossísmica Europeia (EMS-98) proposta por Grunthal (Tabela 1.1), está enquadrada nas escalas de intensidade. A versão final foi aprovada em 1998, pela European Seismological Commission (ESC), com o objectivo de estipular uma escala macrossísmica internacional a utilizar no futuro, mas principalmente em definir com rigor as tipologias de construção, graus de dano e respectivas quantidades. Deriva da Escala Medvedev-Sponheuer-Karnik (MSK-64) e em experiências observadas no início dos anos 60 aplicando as escalas de Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS), a escala de Mercalli Modificada (MM-31 e MM-56) e a escala de Medvedev de 1953 (adaptado de (ESC, 1998)).

A grande diferença entre a escala EMS-98 e as outras escalas de intensidade situa-se ao nível do detalhe com que os diferentes termos são especificados, em particular no que diz respeito às definições de graus de dano, das quantidades de edifícios nos vários graus de dano e dos tipos de estrutura de edifícios e das suas classes de vulnerabilidade (Sousa Sotto-Mayor, 2006).

Tabela 1.1 – Descrição dos efeitos observados segundo a Escala Macrossísmica Europeia resumida. Esta versão simplificada destina-se a dar uma visão simples e generalizada da escala EMS-98. (adaptado de (ESC, 1998)).

<b>Grau de Intensidade (EMS-98)</b>	<b>Definição</b>	<b>Descrição dos efeitos observados (resumidos)</b>
<b>I</b>	<b>Não sentido</b>	Não sentido.
<b>II</b>	<b>Raramente sentido</b>	Sentido apenas por muito poucas pessoas que se encontram em repouso.
<b>III</b>	<b>Fraco</b>	Sentido dentro de casa por algumas pessoas. As pessoas em repouso sentem um balanço ou um leve tremor.
<b>IV</b>	<b>Amplamente sentido</b>	Sentido dentro de casa por muitas pessoas e, por muito poucas fora de casa. Algumas pessoas acordam. As janelas, portas e loiças chocalham, com algum ruído.
<b>V</b>	<b>Forte</b>	Sentido dentro de casa pela maior parte das pessoas e, por algumas fora de casa. Muitas pessoas acordam. Algumas pessoas ficam assustadas. Os edifícios tremem. Os objectos suspensos baloiçam grandemente. Pequenos objectos são deslocados. Portas e janelas abrem-se e fecham-se.
<b>VI</b>	<b>Ligeiramente danificador</b>	Muitas pessoas assustam-se e correm para fora de casa. Alguns objectos caem. Muitas casas sofrem danos ligeiros não estruturais, como pequenas fendas e queda de pequenos pedaços de estuque.
<b>VII</b>	<b>Danificador</b>	A maior parte das pessoas assusta-se e corre para fora de casa. A mobília é arrastada e caem muitos objectos de prateleiras. Muitos edifícios normais, bem construídos, sofrem danos moderados: pequenas rachas nas paredes, queda de estuque, caem partes de chaminés; os edifícios mais velhos podem apresentar grandes rachas nas paredes e queda de paredes interiores (de enchimento).
<b>VIII</b>	<b>Pesadamente danificador</b>	Muitas pessoas têm dificuldade em se manter de pé. Muitas casas têm grandes rachas nas paredes. Muitos edifícios normais, bem construídos, sofrem queda de paredes, enquanto os edifícios mais frágeis e velhos podem colapsar.
<b>IX</b>	<b>Destrutivo</b>	Pânico geral. Muitas construções fracas colapsam. Mesmo edifícios normais, bem construídos, apresentam danos severos: queda de paredes e colapso estrutural parcial.
<b>X</b>	<b>Muito destrutivo</b>	Muitos edifícios normais, bem construídos, colapsam.
<b>XI</b>	<b>Devastador</b>	A maior parte dos edifícios normais, bem construídos colapsam; mesmo alguns com bom desenho anti-sísmico são destruídos
<b>XII</b>	<b>Completamente devastador</b>	Quase todos os edifícios são destruídos.

Relativamente às escalas de intensidade tsunâmica, a escala de Sieberg-Ambraseys modificada (1962) é uma das mais utilizadas, conforme Tabela 1.2. A escala estabelece a comparação entre os efeitos que causa, criando-se uma escala qualitativa de seis graus, de I a VI, sendo o grau I correspondente a um *tsunami* apenas perceptível nos registos maregráficos, e o grau VI a um tsunami catastrófico (Dias, 2006).

Tabela 1.2 - Escala de Sieberg-Ambraseys modificada (1962) (Dias, 2006).

<b>Grau</b>	<b>Designação</b>	<b>Descrição</b>
<b>I</b>	<b>Muito Pequeno</b>	Onda só detectada nos registos maregráficos.
<b>II</b>	<b>Pequeno</b>	Só detectado pelas pessoas que habitam a costa e que estão familiarizados com o estado do mar. Onda visível em zonas da costa muito planas.
<b>III</b>	<b>Médio</b>	Observado pela generalidade das pessoas presentes no litoral. Inundações de zonas com cotas baixas e declives pequenos. Alguns danos em estruturas costeiras fracas ou fragilizadas. Possível inversão temporária da corrente nos estuários.
<b>IV</b>	<b>Forte</b>	Inundação de zonas costeiras a cotas baixas. Alguns danos em terrenos agrícolas. Danos em estruturas costeiras e portuárias. Embarcações deslocadas para terra ou levadas para o mar. Costa poluída por lixo flutuante.
<b>V</b>	<b>Muito Forte</b>	Inundação geral da zona costeira. Danos grandes em estruturas costeiras e portuárias. Estruturas menos resistentes destruídas. Grandes danos em terrenos agrícolas. Poluição da costa por lixo variado e animais marinhos. Com excepção dos grandes navios, todos os outros tipos de embarcações são deslocadas para a costa ou para o mar. Obras nos portos danificadas. Danos em construções edificadas próximo da linha de costa. Pessoas afogadas. Onda acompanhada de forte ruído.
<b>VI</b>	<b>Desastroso</b>	Destruição parcial ou total de estruturas costeiras e portuárias. Grandes inundações na zona costeira. Embarcações grandes e pequenas fortemente danificadas ou afundadas e deslocadas para a costa ou para o mar. Árvores desenraizadas ou partidas. Grandes danos em construções edificadas próximo da linha de costa. Muitos mortos. Onda acompanhada de ruído muito forte.

## 1.2 Sismicidade na região do Algarve

A sismicidade é definida como a frequência e intensidade dos fenómenos sísmicos que afectam uma dada região, na qual é feita a seguinte distinção: a sismicidade histórica, para a qual não existe informação instrumental e em que todas as estimativas são obtidas com base na avaliação de informação macrossísmica registada em monumentos e antigos documentos, e a sismicidade instrumental, obtida nos dias de hoje através de estações sísmicas e consequentemente com dados exactos utilizados pela comunidade científica (adaptado de (ANPC, 2008).

O território de Portugal Continental localiza-se num ambiente tectónico que é responsável por uma significativa actividade sísmica, tendo sido atingido por vários sismos que tiveram um grande impacto. De uma forma geral, a sismicidade aumenta de intensidade de Norte para Sul (Senos & Carrilho, 2003, p. 108).

A sismicidade no Algarve, é devida quer à actividade sísmica da região de contacto das placas Euro – Asiática e Africana, da qual se salienta a região a Oeste do Cabo de São Vicente, quer à actividade na margem continental atravessada por diversas falhas locais (Oliveira, Oliveira, Ferreira, Pestana, & Dias, 2004).

Na figura seguinte é possível observar um mapa de isossistas de intensidades máximas de acordo com a sismicidade histórica observada em Portugal Continental.

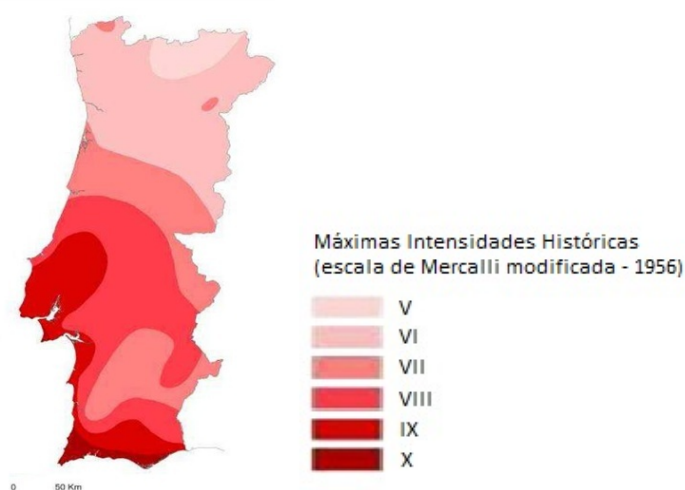


Figura 1.1 - Mapa de Isossistas de Intensidades Máximas (1755 a 1996) de acordo com a Sismicidade Histórica em Portugal Continental – (adaptado de Atlas do Ambiente) Fonte: <http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/> a 26/7/2011.

Os mapas da sismicidade constituem uma evidência extremamente importante no suporte à teoria da tectónica das placas. Os epicentros dos sismos não se distribuem uniformemente sobre a superfície da Terra, mas aglomeram-se de um modo predominante ao longo de zonas estreitas de actividade sísmica interplacas (Miranda, Luís, Costa, & Santos, 2000, pp. 35-36).

A sismicidade que afecta a região do Algarve manifesta-se por uma actividade importante, associada à fractura que separa as Placas Euro-Asiática e Africana (Figura 1.2), e que relativamente ao Continente, constitui uma faixa que se estende, aproximadamente, desde o Banco submarino do Goringe (SW do continente Português) até ao estreito de Gibraltar (PROTAL, 2004, p. 7).



Figura 1.2 – Fronteiras das placas tectónicas e localização das principais estruturas geológicas. Fonte: LNEC (2005).

Segundo Baptista (2003), o contacto entre estas placas constitui a principal fonte de tensão que influencia a sismicidade no território de Portugal Continental. Segundo Dias e Cabral (2000) citados no Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve (ERSTA), as estruturas geológicas submarinas absorvem a parte mais importante da deformação interplacas e reduzem a importância da actividade intraplaca.

Na vizinhança das fronteiras entre placas existe um complexo conjunto de estruturas geológicas que se julga terem desencadeado os sismos de maiores magnitudes ocorridos em Portugal, seja por deslocamentos individuais, ou conjuntos. São exemplos de algumas destas estruturas o banco do Gorringe, o banco do Marquês de Pombal e o banco de Guadalquivir, localizados a Norte das referidas fronteiras. Estes bancos são fragmentos de crosta oceânica e de manto infra-oceânico sujeitos a levantamentos importantes durante os períodos compressivos da Falha Açores – Gibraltar. Estes levantamentos são consequência directa dos deslocamentos verticais induzidos pelos sismos de alta magnitude localizados na face Sul, o que confirma o mecanismo de subducção da placa africana pela placa euro-asiática (Baptista & Miranda, Revision of the Portuguese catalog of Tsunamis, 2009).

Embora a sismicidade no mar seja bastante mais significativa do que em terra, regista-se também uma importante actividade sísmica instrumental no interior e perto do litoral (PROTAL, 2004). A actividade sísmica intraplacas que ocorre no interior do território português e junto ao litoral, é caracterizada pela ocorrência de alguns sismos históricos, que segundo Cabral (2003), se devem ao facto das placas tectónicas não serem completamente rígidas e sofrerem deformações internas, originando sismos intraplacas. Segundo o mesmo autor o ambiente dominante intraplaca sugere que os sismos máximos localizados no território emerso tenham uma magnitude próxima de 6.5, com longos períodos de retorno, na ordem dos 5 a 200 mil anos. A sismicidade instrumental no território emerso é distribuída. Contudo, existem três zonas de maior concentração de sismicidade, designadamente a área que se estende da Serra de Monchique até Portimão, a área entre Albufeira-Loulé-Faro, e a área de Tavira-Vila Real de S. António-Castro Marim (ANPC, 2008).

Embora o território emerso se situe num ambiente de características intraplaca, a sua proximidade à fronteira Açores-Gibraltar, e o processo de inversão tectónica da margem continental oeste-ibérica de passiva para margem activa, que se terá iniciado no Quaternário, justificam a ocorrência de eventos sísmicos de magnitude extremamente elevada com epicentro no Oceano Atlântico, como o terramoto de 1755 (Cabral, 2003).

Perante este enquadramento sísmico, surgiu em 2008, o Estudo de Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve (ERSTA) que veio trazer estudos aprofundados do risco sísmico e de *tsunamis* na região com vista ao desenvolvimento de um plano especial de emergência detalhado para estes riscos e desenvolvimento de políticas de prevenção e protecções adequadas, através da avaliação e identificação dos elementos expostos e suas vulnerabilidades.

### 1.3 Risco, perigosidade e vulnerabilidade

Os conceitos de risco, perigosidade e vulnerabilidade encontram-se interligados e são indispensáveis à quantificação em termos de custos, de consequências gravosas, económicas ou mesmo para a segurança das pessoas, em resultado do desencadeamento de um fenómeno natural ou induzido pela actividade humana.

O risco,  $R$ , refere-se à probabilidade de se igualar ou exceder um determinado valor de perdas, em consequência da ocorrência do fenómeno natural na região e período de tempo de exposição especificado, sendo função da perigosidade e da vulnerabilidade. É muitas vezes expresso pelo valor esperado das perdas sofridas por um elemento em risco num intervalo de tempo, normalizado pelo valor global do elemento em risco (Sousa, 2007).

A avaliação quantitativa do risco é obtida através do produto da perigosidade pela vulnerabilidade e pelo valor dos elementos em risco ( $R = P * V * E$ ). Deste modo, verifica-se que o risco pode ser mitigado a partir da intervenção em qualquer um dos seus componentes (perigosidade, vulnerabilidade, valor dos elementos expostos), sendo nulo se um deles for eliminado (Zêzere, Pereira, & Morgado, 2006). O modelo conceptual do risco de acordo com este autor pode ser observado na Figura 1.3.

A perigosidade, perigo ou ameaça,  $P$ , diz respeito à probabilidade de excedência de um determinado nível de severidade (avaliada qualitativa ou quantitativamente) de um fenómeno natural (associada a um potencial de destruição) num determinado período de tempo e numa dada área que pode pôr em perigo actividades humanas e/ou elementos naturais (Sousa, 2007).

A vulnerabilidade,  $V$ , reflecte a capacidade que um determinado elemento em risco tem para resistir, ou para ser afectado, pelo fenómeno natural, sendo condicionada pelo nível de severidade do fenómeno. Corresponde à maior ou menor sensibilidade/fragilidade desses elementos face à perigosidade, ou seja, corresponde ao grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos vulneráveis, resultante da ocorrência de um fenómeno (natural ou induzido pelo Homem) com determinada magnitude ou intensidade (Sousa, 2007).

A exposição dos elementos em risco (ou elementos vulneráveis),  $E$ , representados pela população, equipamentos, propriedades e actividades económicas vulneráveis num território, reflecte o valor dos elementos expostos ao risco ou é traduzida por uma medida quantitativa das existências dos mesmos (Sousa, 2007).



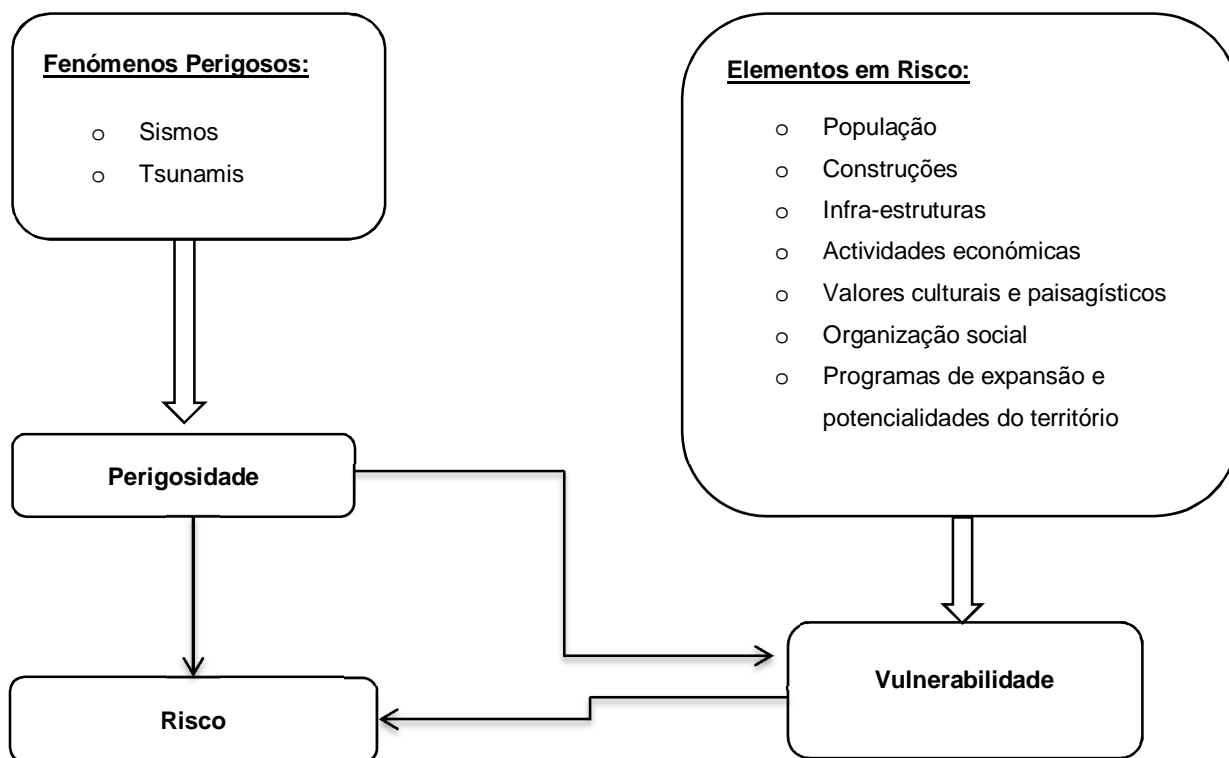


Figura 1.3 - Modelo conceptual do risco (adaptado de (Zêzere, Pereira, & Morgado, 2006)).

Em sismologia, a perigosidade ou casualidade sísmica, está associada ao efeito potencial das ondas sísmicas, bem como à acção dos outros fenómenos associados aos eventos sísmicos (*tsunamis* ou maremotos), representando um importante perigo geológico. A proximidade da costa algarvia a estruturas geológicas com potencial sismogénico fazem com que este factor se revele elevado (ANPC, 2008).

O risco sísmico exprime-se pela convolução das distribuições de probabilidade da perigosidade e da vulnerabilidade sísmicas. Exprime a probabilidade de ocorrência ou excedência de um determinado valor de danos ou perdas que um dado elemento em risco sofrerá, como resultado de sismos futuros. Pode ser quantificado em termos de perdas directas, resultantes dos danos físicos causados pelo sismo, ou em perdas indirectas, que surgem em sectores que não experimentaram danos físicos directos, mas que dependem de outros sectores que sofreram (Sousa Sotto-Mayor, 2006).

O elemento em risco pode ser um edifício, um conjunto de edifícios, uma povoação, a população, ou actividades económicas associadas. A cada um destes elementos em risco está associado a uma determinada vulnerabilidade, sendo de referir no âmbito do presente trabalho, essencialmente dois tipos; as vulnerabilidades humanas e as do parque edificado.

As vulnerabilidades humanas referem-se às populações abrangidas por uma área que se julga em risco. Neste âmbito, o Algarve é uma região muito particular do território português, onde as vulnerabilidades humanas são agravadas pela forte variação demográfica sazonal, contribuindo para a variação do risco. Com uma população residente superior a 400 mil habitantes, pode, em determinados períodos do ano, apresentar valores de população presente na ordem de 1,5 milhões de indivíduos, concentrados fundamentalmente junto ao litoral, nomeadamente no Verão (ANPC, 2008).

Na figura seguinte é possível constatar a distribuição geográfica dos elementos humanos em risco.

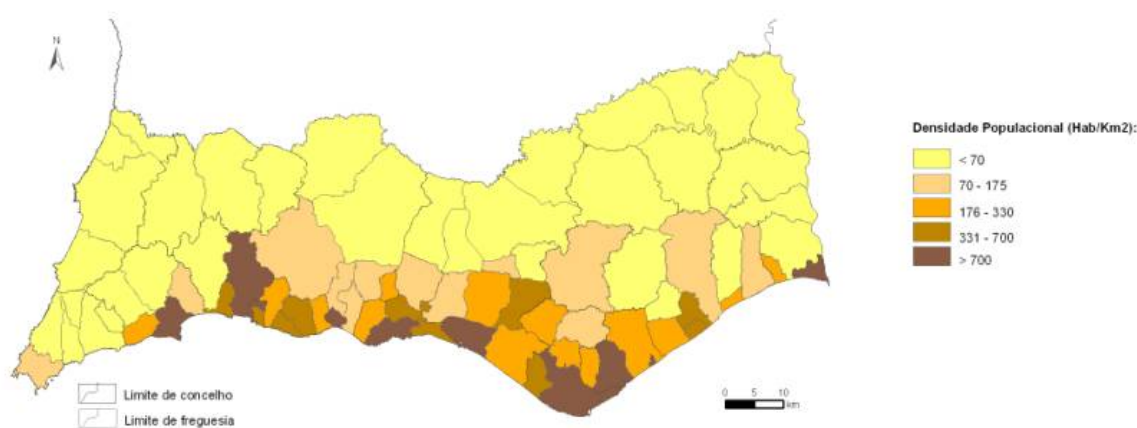


Figura 1.4 - Densidade populacional na região do Algarve em 2001. Fonte: INE, IGP-CAOP (2003)

A vulnerabilidade sísmica de edifícios traduz uma característica intrínseca do sistema construído que é a sua susceptibilidade para sofrer danos ou perdas em consequência da acção de um sismo de dada severidade. A curva de vulnerabilidade sísmica para determinada tipologia construtiva é definida pelos valores esperados da variável dano ou perda em função da severidade da acção sísmica. Depende de muitos factores, sendo exemplo de factores de vulnerabilidade de um sistema construído o seu dimensionamento sísmo-resistente e o seu processo construtivo (adaptado de (Sousa Sotto-Mayor, 2006)).

A análise do desempenho de edifícios em sismos recentemente ocorridos na Europa tem permitido identificar os aspectos estruturais que mais influenciam na vulnerabilidade, e consequentemente nos danos, contribuindo para o desenvolvimento de metodologias de avaliação de vulnerabilidade. A apreciação da vulnerabilidade das construções é especialmente importante na avaliação do risco sísmico (Costa, Vicêncio, & Pires, 2010).

## 1.4 Metodologias de avaliação de vulnerabilidade sísmica

A sistematização dos estudos de avaliação da vulnerabilidade sísmica tem vindo a ser efectuada de acordo com múltiplos autores e critérios, o que revela a existência de alguma arbitrariedade e dificuldade nestas classificações, nomeadamente sobreposições na definição de categorias e classificações não unívocas de métodos (Sousa Sotto-Mayor, 2006).

Segundo Sousa Sotto-Mayor (2006), sobressaem na literatura da especialidade duas grandes categorias de métodos de avaliação de vulnerabilidade sísmica, embora com designações e âmbitos ligeiramente diferentes consoante os autores que os classificam, como se pode constatar na Figura 1.5.

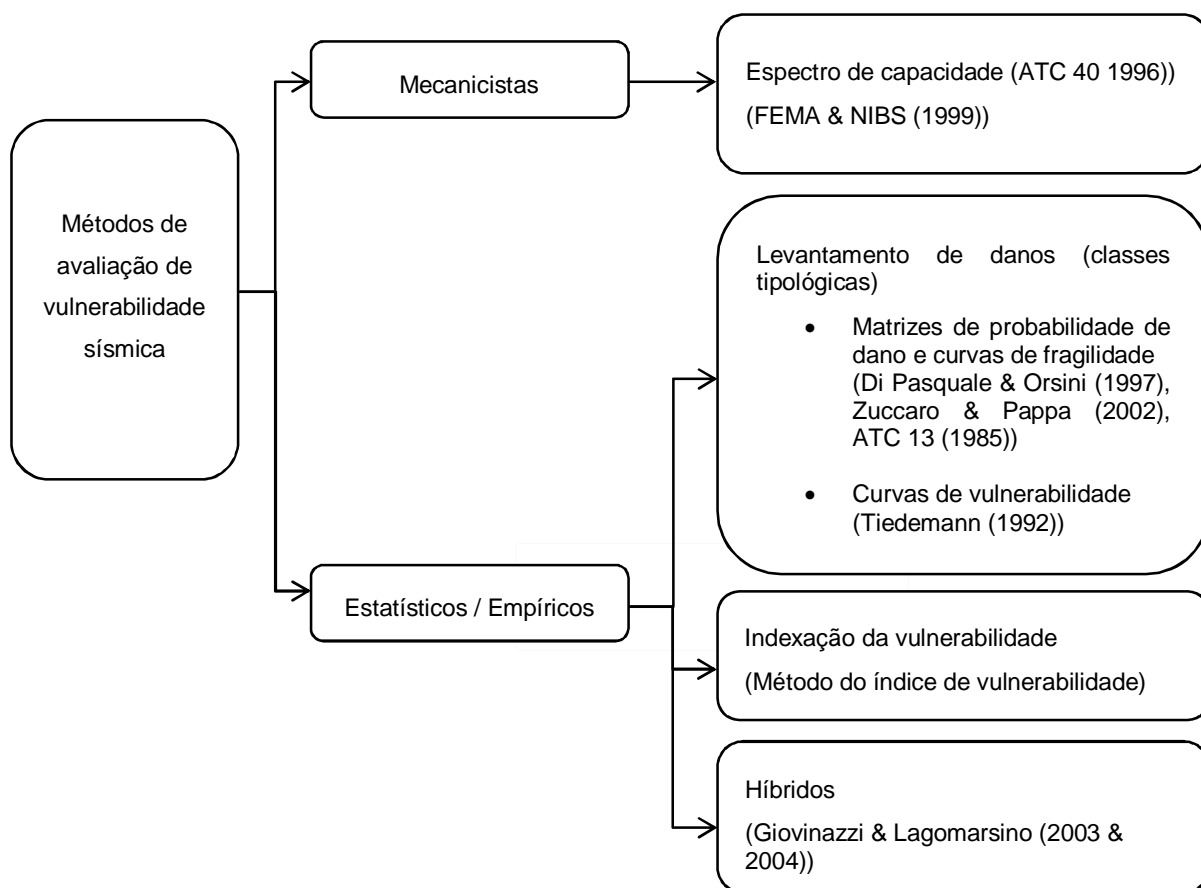


Figura 1.5 – Sistematização das metodologias de avaliação da vulnerabilidade sísmica segundo (Sousa Sotto-Mayor, 2006)).

Os métodos mecanicistas, quando aplicados a estruturas individuais, seguem procedimentos semelhantes aos da análise estrutural, envolvendo a caracterização do desempenho esperado das estruturas, tendo por vezes o objectivo de identificar as necessidades de intervenção que lhes confirmam a segurança estrutural necessária ao desempenho das suas funções. Quando a escala de aplicação é a regional torna-se inviável a inspecção individual de um elevado número de estruturas. Os desenvolvimentos recentes no domínio da avaliação da vulnerabilidade sísmica de grandes populações de estruturas contornam as dificuldades mencionadas recorrendo a modelos mecanicistas simplificados, essencialmente do tipo do método do espectro de capacidade (Sousa Sotto-Mayor, 2006).

Os métodos estatísticos ou empíricos, baseados na inspecção de um grande número de estruturas, são os mais divulgados em estudos de risco sísmico de larga escala, em que se pretende estimar os danos num elevado número de estruturas, devido à sua relativa facilidade de aplicação e baixo custo. São métodos particularmente adequados a estruturas não regulamentares, para as quais, ao contrário das projectadas, existe um grande volume de informação estatística, que correlaciona intensidades macrossísmicas com danos ocorridos em sismos do passado (Sousa Sotto-Mayor, 2006). Entre estes métodos têm-se:

- i) Os métodos baseados em levantamentos de danos, que organizam os elementos em risco em classes de vulnerabilidade. Para cada classe de vulnerabilidade elaboram-se matrizes de probabilidade de dano, curvas de fragilidade ou de vulnerabilidade sísmicas, a partir da inspecção ou descrição de danos em estruturas após um sismo, ou, na ausência de dados, com base na experiência e opiniões emitidas por painéis de especialistas, ou ainda com base na combinação das duas modalidades (Sousa Sotto-Mayor, 2006).
- ii) Os métodos indirectos e de indexação que avaliam, numa primeira fase, a capacidade dos edifícios resistirem aos sismos e posteriormente a sua correlação com os danos. Entre os mais divulgados tem-se o método do índice de vulnerabilidade que teve a sua génese em Itália na sequência do sismo de Friuli de 1976, encontrando-se amplamente divulgado em Itália e em Espanha. O método incide maioritariamente sobre a avaliação da vulnerabilidade dos edifícios de alvenaria, a partir da informação resultante de inspecções das estruturas, com o recurso a fichas de inquérito normalizadas, que qualificam onze parâmetros responsáveis pela resposta sísmica dos edifícios (e.g. a organização do sistema resistente, o tipo de diafragmas horizontais, etc.). Assim, numa primeira etapa, a capacidade sísmica dos edifícios é quantificada por um índice de vulnerabilidade, medido numa escala contínua, que se obtém mediante a utilização de coeficientes de ponderação que reflectem a importância de cada um dos onze parâmetros no sistema resistente do

edifício. Numa segunda etapa, o método utiliza funções de vulnerabilidade, parametrizadas para vários níveis de intensidade da acção sísmica, para relacionar o índice de vulnerabilidade com o grau de dano global que a estrutura tem susceptibilidade de sofrer (Sousa Sotto-Mayor, 2006).

- iii) As abordagens híbridas, de que é exemplo o método publicado por Giovinazzi e Lagomarsino (2003 e 2004) que combina as características dos métodos tipológicos com os de indexação, recorrendo à classificação de vulnerabilidade da escala EMS-98 e a índices de vulnerabilidade que podem ser refinados com base em alguns factores capazes de modificar o comportamento sísmico dos edifícios (Sousa Sotto-Mayor, 2006).

## **1.5 Tsunamis**

Os *tsunamis* ou maremotos são ondas de grande comprimento de onda geradas por deformações bruscas do fundo do oceano. A causa mais comum são os sismos submarinos de forte magnitude, embora possam ser causados por deslizamentos de terras, erupções vulcânicas e impactos de meteoritos. Apesar de pouco frequentes, quando comparados com outros eventos naturais, os *tsunamis* têm um enorme potencial destruidor. Portugal, com uma costa oceânica de cerca de 800 km de extensão, agrega na faixa litoral a maioria da sua população e concentra nela a maioria da sua actividade económica, pelo que é um país onde o risco de *tsunami* tem que ser equacionado (Baptista, s. d., p. 4).

De acordo com dados da Protecção Civil Norte Americana, Federal Emergency Management Agency (FEMA), desde 1850, os Tsunamis foram responsáveis pela perda de meio milhão de vidas e biliões de euros em prejuízos (FEMA).

As manifestações de um *tsunami* próximo da costa podem ser diversas dependendo das características da fonte geradora, da batimetria ao longo do percurso oceânico, da morfologia da costa; podendo observar-se uma “parede” de água turbulenta carregada de detritos de grandes dimensões, ou uma maré que enche ou vaza repentinamente. O impacto do *tsunami* na costa traduz-se pela inundação das cotas topográficas mais baixas, a erosão do litoral, o impacto sobre o edificado construído, entre outros (Baptista, s. d., p. 7).

O estudo dos *tsunamis*, segundo Bryant, pode ser dividido em três fases distintas: a formação da onda, a propagação da onda (subdividindo-se em águas profundas e águas costeiras) e inundação da costa. Este subcapítulo desenvolve sobretudo as últimas duas fases.

### 1.5.1 Características físicas e propagação dos *tsunamis*

O que distingue os *tsunamis* de outras ondas na superfície da água são os períodos das oscilações da água. Enquanto numa onda marítima “normal” podem ocorrer períodos de até algumas dezenas de segundos, num *tsunami* este tempo atinge alguns minutos ou até meia hora. Desta forma, os *tsunamis* são ondas longas, que em alto-mar possuem entre 10 km e 500 km de comprimento de onda. Esta característica torna os *tsunamis* muito diferentes das outras ondas, mesmo daquelas que podem ser observadas durante as tempestades (Silveira & Varriale, p. 1).

Na figura seguinte são identificados geometricamente alguns conceitos de ondas marítimas tal como comprimento de onda, altura, amplitude, frequência ou período e velocidade.

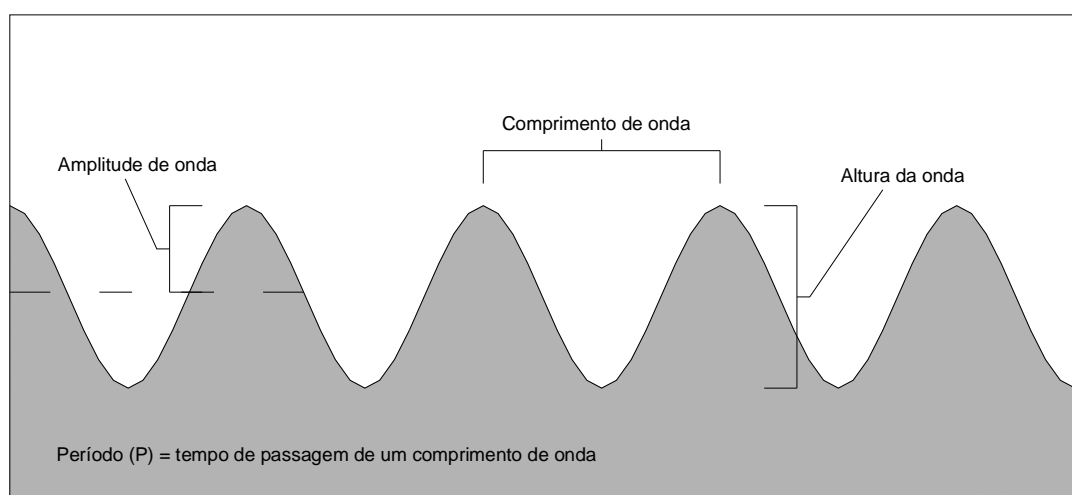


Figura 1.6 – Identificação geométrica dos conceitos de ondas marítimas (adaptado de (Nelson, 2011)).

A amplitude da onda refere-se à altura da onda acima do nível médio de água do mar, geralmente igual a 1/2 da altura da onda. O comprimento de onda é definido como sendo a distância entre dois pontos idênticos em duas ondas consecutivas (ou seja entre as cristas e as cavas das ondas). A altura de onda refere-se à distância entre a cava da onda e a crista ou pico da onda. A frequência de onda ou período é a quantidade de tempo que leva para um comprimento de onda completa para passar um ponto estacionário. A velocidade de qualquer onda oceânica é igual ao comprimento de onda dividido pelo período de onda (adaptado de (Nelson, 2011)).

Os *tsunamis* são caracterizados como sendo ondas de águas pouco profundas uma vez que apresenta rácios entre a profundidade e o comprimento de onda muito baixos. A velocidade de propagação ( $V$ ) deste tipo de ondas é dada com boa aproximação pela raiz quadrada do produto da aceleração da gravidade ( $g$ ) pela profundidade da água ( $d$ ). Esta expressão é válida quando o comprimento de onda é muito superior à profundidade do leito oceânico (Bryant, 2008).

$$V = \sqrt{g \times d} \quad (1.1)$$

Como exemplo, à profundidade de 6100 metros um *tsunami* viajará a cerca de 890km/h, suficiente para percorrer o Oceano Pacífico em menos de um dia. A velocidade de ondas oceânicas normais ronda os 90 km/h (Bryant, 2008).

A taxa a que uma onda perde energia está inversamente relacionada com o seu comprimento de onda. Como um *tsunami* possui um grande comprimento de onda, perde muito pouca energia à medida que se propaga (Bryant, 2008).

### 1.5.2 Comportamento dos *tsunamis* em águas pouco profundas

Quando o *tsunami* deixa as águas profundas do mar aberto e chega às águas rasas da costa, sofre uma transformação. Havendo uma diminuição da profundidade, a velocidade do *tsunami* também diminui, mas a energia e período da onda mantêm-se constantes. De modo geral o comprimento de onda diminui e a amplitude aumenta (Bryant, 2008).

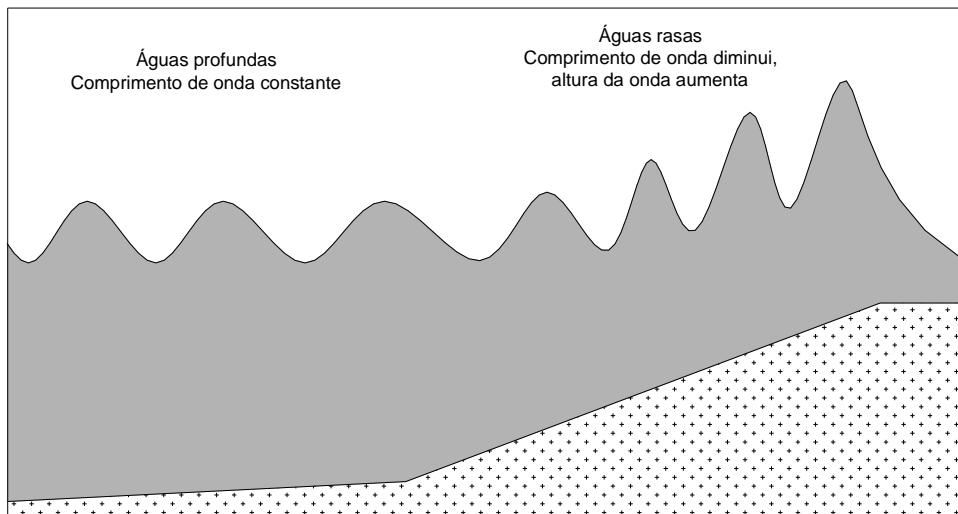


Figura 1.7 - Em águas profundas o comprimento de onda dos *tsunamis* mantém-se constante. Na aproximação a águas rasas, o comprimento de onda diminui e a amplitude (altura da onda) aumenta (adaptado de (Nelson, 2011)).

Ocorre um abrandamento da parte frontal da onda devido ao facto de chegar em primeiro lugar a zonas menos profundas do mar (originando o *drawdown*), que impede o tardoz da onda, que ainda se encontra em regiões mais profundas e a maior velocidade, de se propagar causando um efeito de empolamento da onda (*run-up*) (Bryant, 2008).

O *drawdown* acontece poucos minutos antes da chegada da onda a terra firme. É caracterizado pelo recuo anormal das águas do mar (na ordem das dezenas a centenas de metros), e que normalmente identifica a chegada de um *tsunami*. É provocado pela corrente ascendente da massa de água que começa a formar o *run-up*, a fase seguinte (Bryant, 2008).

O movimento de *drawdown* pode provocar fortes correntes em portos de pesca, marinas, puxando barcos e navios para o mar, virar ou afundar embarcações e a corrente submarina pode arrastar nadadores para o fundo do mar (Bryant, 2008).

O *run-up* caracteriza-se por um aumento da amplitude da onda em virtude do efeito de empolamento no tardoz da onda acima referido. Designa a intersecção do *tsunami* com a zona seca. É normalmente expresso em metros desde o nível médio da maré alta até ao ponto de cota mais alta atingida pelo *tsunami* (Bryant, 2008).



Relacionando a velocidade com a amplitude, para uma velocidade de cerca de 720km/h em mar alto reduzida para 30km/h na fase de impacto da onda, podemos estimar um aumento de amplitude em 24 vezes. Se em alto mar a amplitude era de 0,5 metros, ao atingir o litoral essa amplitude pode chegar a cerca de 12 metros (Bryant, 2008).

Os *run-ups* do mesmo *tsunami* podem ser variáveis devido à influência da morfologia das linhas costeiras. Enquanto que determinada área costeira pode não sofrer danos devido ao efeito das ondas propagadas, noutras áreas os *run-ups* podem ser severamente destrutivos e violentos (adaptado de (Bryant, 2008)).

### 1.5.3 Inundação

A área da secção de zona costeira inundada por um *tsunami* por ser estimada, ainda que de forma grosseira, pela determinação da área da secção transversal da onda perto da costa, conforme Figura 1.8. Quanto maior for o *tsunami*, ou quanto maior o período da onda, maior será o volume de água transportado para terra e maior a extensão da inundação (Bryant, 2008).

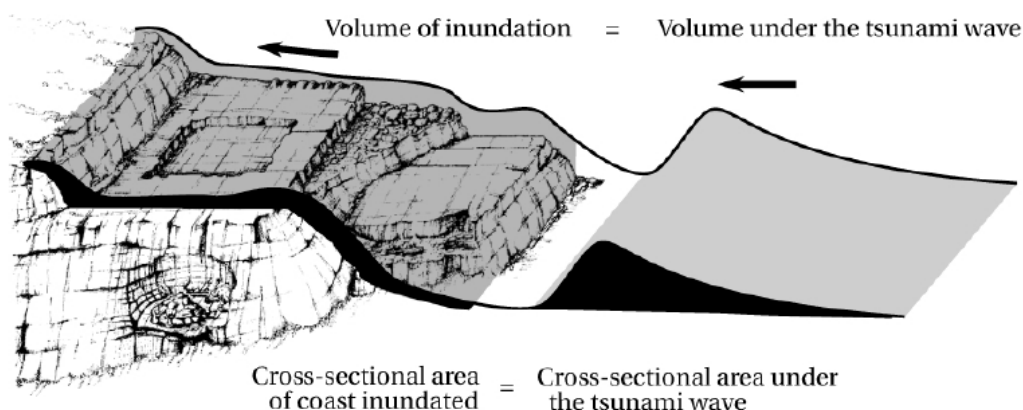


Figura 1.8 – Esquema de volume de inundação das zonas costeiras. Relaciona a secção transversal do *tsunami* perto da costa e com a área inundada. (Bryant, 2008)

Segundo Bryant (2008), a distância máxima que uma onda pode percorrer em terra firme, em uma costa plana pode ser determinada. De acordo com o autor, em território urbano desenvolvido, uma onda de 10 metros pode percorrer até 1,4 km em terra. *Tsunamis* excepcionalmente grandes de 40 a 50 metros podem avançar cerca de 9 a 12 km em terra. No caso de zonas costeiras com plantações e terreno amplo, estas distâncias podem, teoricamente, ser 4 vezes maiores.

Relativamente à velocidade da onda quando atinge a terra firme, segundo Bryant (2008), depende da altura da lâmina e do declive da superfície da água. A título exemplificativo, segundo o autor, o *tsunami* de 8 metros que atingiu Hilo no Hawai em 1946 terá atingido velocidades em terra de 5,9 a 9,3 m/s (entre 21 e 33 km/h). Segundo Baptista, o *tsunami* de 1 de Novembro de 1755, terá abordado o estuário do Tejo a cerca de 42 km/h (11,6 m/s).

Para se poder antecipar a chegada de um *tsunami* é fundamental o emprego de sistemas de monitorização da actividade sísmica, identificando eventuais focos de libertação de energia susceptíveis de gerar *tsunamis*. Estes dados permitem, numa segunda análise, através de modelos avançados de cálculo, facultar uma estimativa da altura da onda e tempo de chegada.

#### 1.5.4 Sistemas de monitorização, alerta e aviso

Nos últimos anos têm sido desenvolvidos mecanismos que permitem prever com alguma eficiência, a propagação dos *tsunamis*. Quase todos passam pela utilização de dispositivos offshore, como detectores de movimentos oceânicos a grande profundidade e medidores de ondulação. Num sistema de aviso de *tsunamis* a pressão no fundo do mar é analisada em tempo real e comunicada à rede localizada na costa. (Baptista, *Tsunamis*, s. d.)

O Japão, a Austrália, a Nova Zelândia e os Estados Unidos da América (Hawai) possuem actualmente dos mais avançados sistemas de detecção de sismos e *tsunamis*, devido ao risco elevado a que estão sujeitos, disponibilizando constantemente informação às populações, quer seja através de instruções e recomendações ou mesmo de rotas de evacuação de emergência (ITIC).

Relativamente ao Oceano Atlântico e Mar Mediterrânico, já começaram a ser implementados sistemas de comunicação de alerta precoce de *tsunamis* a nível internacional, nomeadamente o “*Tsunami Early Warning and Mitigation System for the North-eastern Atlantic, the Mediterranean and connected seas*” (NEAMTWS) promovido pela Comissão Oceanográfica Intergovernamental (IOC) da UNESCO (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*) embora ainda estejam em fase de desenvolvimento.

Em Portugal, não existindo um sistema de alerta precoce de *tsunamis* com dispositivos offshore, o sistema de alerta está apenas dependente da monitorização sísmica. A possível formação de *tsunamis* é avaliada através da localização do epicentro e da libertação de energia do evento sísmico. (Baptista, Tsunamis, s. d.)

No caso da região NEA (*North East Atlantic*), em que não existem ainda estações oceânicas, a ocorrência e confirmação do *tsunami* só é feita após a primeira chegada a uma estação maregráfica da costa ou por observação directa. Nesta situação não é possível fazer uma previsão em tempo real devido à inexistência de estações submarinas (Baptista, Tsunamis, s. d.).

O sistema de monitorização da actividade sísmica é gerido pelo Instituto de Meteorologia, no qual a monitorização é realizada através de uma rede de estações digitais (grande maioria) e analógicas. No distrito de Faro existem três estações com registo acelerométrico e transmissão de dados em tempo real via satélite. Estão localizadas no Barranco do Velho, Budens e Vaqueiros (adaptado de (ANPC, 2008)).

Sempre que é detectado um sismo de magnitude superior a um patamar específico, que pode depender de região para região, mas cujo valor é em geral tomado como igual a 6.5, com epicentro submarino o centro operacional de alerta deve iniciar o processo de estudo dos parâmetros sísmicos: (i) Localização e caracterização da fonte sísmica (através da informação sísmica recolhida da rede); (ii) Revisão automática dos parâmetros sísmicos e actualização das mensagens previamente emitidas; (iii) Obtenção e análise da informação de nível do mar das estações maregráficas costeiras e quando possível obter dados das estações oceânicas de fundo do mar. Deste modo é possível confirmar/não confirmar a geração do *tsunami*. Nos casos em que o *tsunami* é confirmado, a informação recebida das estações oceânicas pode ser assimilada no modelo de previsão, permitindo assim recalcular a propagação e emitir novas mensagens de alerta (Baptista, Tsunamis, s. d.).

O alerta está ao cargo da Autoridade Nacional de Protecção Civil (ANPC), que em caso da ocorrência de um evento sísmico, é informado pelo Instituto de Meteorologia da localização aproximada do epicentro e respectiva magnitude. Esta informação será detalhada, no mais curto espaço de tempo possível, com dados relativos à intensidade do sismo e indicação dos locais onde foi sentido. (ANPC, 2008)

Face aos dados disponibilizados pelo sistema de monitorização sísmica do Instituto de Meteorologia, a ANPC notifica imediatamente, via serviço de mensagem escrita das redes telefónicas móveis, as autoridades, os agentes de protecção civil e as estruturas de comando operacional afectadas. Os mecanismos a adoptar para aviso à população assentarão fundamentalmente na disseminação de informação pública através dos órgãos de comunicação social. (ANPC, 2008)

O sistema de monitorização, alerta e aviso, visa proporcionar uma eficaz vigilância do risco sísmico para um rápido alerta aos agentes de protecção civil e entidades envolvidas e um adequado aviso à população. Nas suas três vertentes, destina-se a assegurar que, na ocorrência de um evento sísmico ou de *tsunami*, tanto as entidades intervenientes nos Planos de Emergência de Protecção Civil como as populações expostas tenham a capacidade de agir, de modo a salvaguardar vidas e a proteger bens. Os planos de emergência de protecção civil são os instrumentos de suporte ao Sistema de Protecção Civil para a gestão operacional em caso de ocorrência de um evento sísmico (ANPC, 2008).

## **1.6 Planeamento de evacuação de emergência**

O planeamento pré-sismo é um dos melhores meios de assegurar que se pode lidar com o sismo e assim minimizar os seus efeitos. No entanto, se não existir nenhum Plano de Emergência ou por alguma razão o plano falhar, um bom conhecimento das prioridades de acção pode tornar-se útil para improvisar um Plano de Emergência (Oliveira, Oliveira, Ferreira, Pestana, & Dias, 2004).

Em zonas com elevada densidade populacional, é necessária uma planificação detalhada para se poder proceder à evacuação da forma mais eficiente possível. Neste sentido deve ser implementado um plano de evacuação pelos decisores locais (Scheer, et al., 2011).

Actualmente, a legislação portuguesa no âmbito da Protecção Civil assenta sobre a respectiva Lei de Bases (Lei nº 27/2006) a nível nacional, e a nível municipal pela Lei nº 65/2007 que define o enquadramento institucional e operacional da protecção civil. As políticas e as operações de protecção civil culminam com a criação dos Planos de Emergência (nacionais, regionais, distritais ou municipais, gerais ou especiais). Localmente foram criados pelos municípios os Planos Municipais de Emergência de Protecção Civil, os quais definem orientações relativamente ao modo de actuação dos vários organismos, serviços e estruturas a aplicar em operações de protecção civil.

Para o município que serve de caso de estudo, está em vigor o Plano Municipal de Emergência de Protecção Civil de Faro, e o Plano Especial de Emergência de Protecção Civil para o Risco Sísmico e Tsunamis do Algarve (PEERST-ALG).

Os planos de emergência têm como objectivo primordial a reposição da normalidade das áreas afectadas, de forma a minimizar os efeitos de um acidente grave ou catástrofe sobre a população, bens materiais e ambiente, contendo as directrizes para a gestão de operações em caso de desastres naturais. Os mesmos planos prevêm, em caso de alerta de *tsunami*, operações de evacuação das populações presentes nas zonas afectadas pelas autoridades civis. De acordo com o Plano Especial de Emergência de Protecção Civil para o Risco Sísmico e de Tsunamis na região do Algarve, as forças de segurança serão as responsáveis pelo itinerário de evacuação, orientação da evacuação e coordenação da movimentação das populações.

As evacuações de emergência são um processo preventivo de movimentação de população civil de áreas em risco para localizações seguras, antes que o efeito destruidor do desastre possa causar dano (Kumar, Ishibashi, Ishii, & Koizumi, 1996).



Figura 1.9 – Exemplo de sinalização de indicação de rota de evacuação para pedestres, em caso de alerta de *tsunami*.

A determinação do risco de *tsunami* e todas as implicações subsequentes relativas ao plano de evacuação são baseadas no conhecimento da altura de onda de *tsunami* expectável e no tempo de chegada previsível da primeira onda devastadora. O primeiro parâmetro permite calcular a área em risco e o segundo fornece indicações sobre o tempo disponível para a concretização da evacuação (Scheer, et al., 2011).

Diversas cidades costeiras, nomeadamente nos Estados Unidos da América, com risco tsunamigénico elevado, possuem e disponibilizam constantemente às populações brochuras informativas quer de procedimentos quer de mapas de evacuação em caso de *tsunami*, conforme Figuras 1.9 e 1.10. Estes mapas e sinalética foram criados para guiar os residentes e visitantes de zonas costeiras para localizações mais seguras.

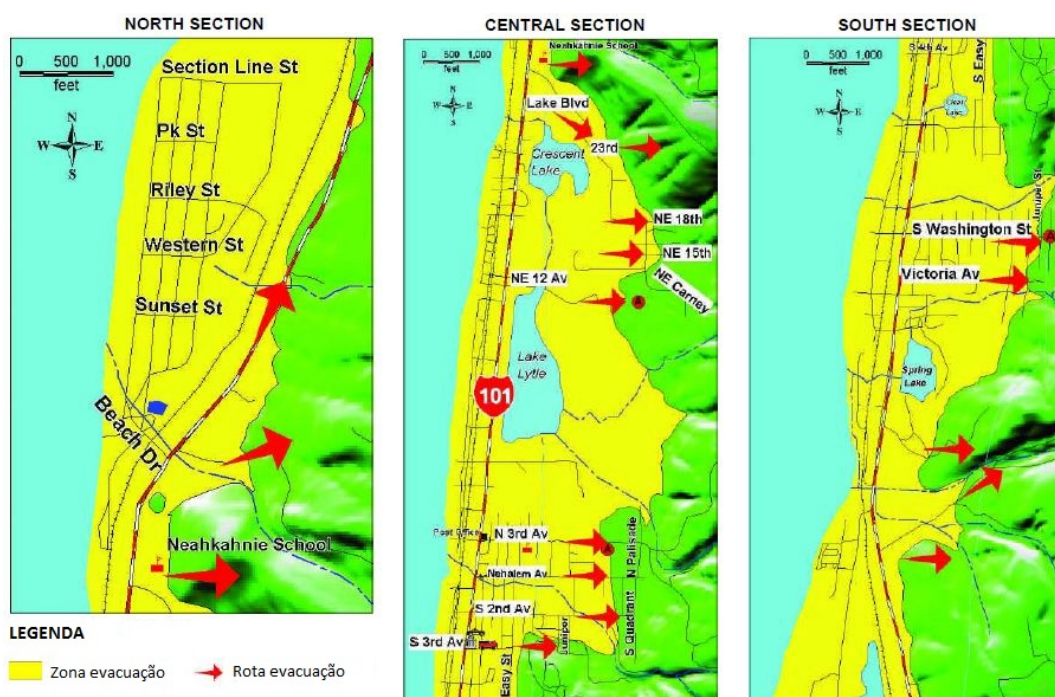


Figura 1.10 - Exemplo de mapa de evacuação em caso de alerta de *tsunami* em Rockaway Beach, Oregon, EUA. (Oregon Emergency Management, 2005)

## 2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Apesar dos grandes avanços nas áreas da ciência e tecnologia, ainda não é possível determinar com exactidão quando irá ocorrer um desastre natural. Por outro lado, sabe-se que existem áreas que serão atingidas ou que têm uma probabilidade elevada de serem atingidas por um fenómeno.

A cidade de Faro encontra-se localizada na costa algarvia, que como já se referiu, constitui uma zona de elevada perigosidade relativamente à ocorrência de sismos com potencial tsunamigénico, gerados por libertações de energia com epicentro no mar.

A vulnerabilidade sísmica dos edifícios do núcleo urbano de Faro é muito variada, desde o centro histórico datado dos séculos XVI e XVII, até estruturas de betão armado construídas na última década, existe uma amplitude de edifícios com tipologias estruturais bem definidas e, portanto, com índices de vulnerabilidade bastante distintos.

Em termos de sismicidade, com excepção dos sismos históricos que atingiram intensidade elevada, os registos instrumentais para a zona de estudo raramente atingiram magnitude superior a 5, sugerindo períodos de retorno elevados, na ordem das centenas de anos.

No entanto, o último sismo catastrófico que afectou o território do continente foi o sismo de 1 de Novembro de 1755, considerado por vários autores como um dos maiores sismos de sempre (segundo Baptista, et al. (2003), com uma magnitude estimada de 8.7), com consequências avassaladoras, tendo provocado um impacto profundo e duradouro, não só em Portugal, mas também na Europa.

São as estruturas tectónicas activas submarinas que marginam o território continental português a Sul e a Sudoeste, que têm o potencial de gerar os sismos máximos regionais, contribuindo para uma elevada probabilidade de ocorrência de *tsunamis* de grandes proporções. Segundo Baptista, et al. (2003), terão sido estas estruturas que originaram o sismo e *tsunami* que destruíram Lisboa e o Algarve em 1755. Deve, portanto, ser tomado em consideração que fenómenos com as mesmas características poderão voltar a ocorrer.

Em geral considera-se que um sismo com epicentro submarino de magnitude superior a 6.5 ou 7 (dependendo das regiões) e cujo foco se encontra a menos de 30 km da superfície tem potencial para gerar um *tsunami* (Baptista, Tsunamis, s. d.).

## 2.1 Motivação e importância do problema

Os recentes episódios sísmicos (Sumatra, 2004 e Japão, 2011) têm levado ao desenvolvimento crescente de estudos nacionais e internacionais relativamente à sismicidade e à interacção dos *tsunamis* com a costa, demonstrando a importância do problema.

A nível internacional, o evento sucedido em Sumatra em 2004, marcou inevitavelmente a comunidade local e científica, acelerando o desenvolvimento de estudos de identificação dos focos prováveis de origem de eventos sísmicos, formação e propagação dos *tsunamis* e efeitos provocados nas comunidades costeiras, colocando a problemática dos *tsunamis* para lá da fronteira dos cientistas e dos países do oceano Pacífico tornando-se um problema global dos países e respectivas autoridades. A devastação causada por este evento, mostrou a grande vulnerabilidade do litoral, hoje extensamente ocupado, alertando a comunidade científica para a necessidade urgente de compreender a perigosidade e o impacto deste fenómeno em zonas do onde os *tsunamis* são menos frequentes do que no oceano Pacífico. Tal como no caso de outras catástrofes naturais os *tsunamis* que têm ocorrido ao longo da história não podiam ter sido evitados, no entanto a tragédia humana e as perdas económicas, que ocorreram a 26 de Dezembro de 2004, poderiam ter sido substancialmente menores caso existissem sistemas de alerta na região (Baptista, Tsunamis, s. d.).

Portugal não foi excepção e à semelhança do estudo de risco sísmico e de *tsunamis* que havia sido realizado para a área metropolitana de Lisboa e concelhos limítrofes, foi elaborado um trabalho semelhante para região algarvia. O Sul do país toma maior relevância relativamente ao restante território, devido à perigosidade que apresenta (resultante da proximidade às principais falhas activas) e à concentração populacional que agora existe nesta região ameaçada (ANPC, 2008).

Segundo Baptista *et al* (1998, 2005), um evento com as características do sismo de 1 de Novembro de 1755, terá provocado para a região do Algarve, um *tsunami* com um tempo de chegada na ordem dos 7 aos 16 minutos após o sismo de intensidade X e segundo Pedrosa *et al* (2008) uma altura de onda entre os 10 e os 15 metros.

Um evento desta envergadura, nos dias de hoje, teria um impacto catastrófico imediato face aos elementos expostos, não só devido ao impacto destruidor provocado pelo fenómeno conjunto dos dois efeitos (sismo e *tsunami*), mas principalmente, mas ao que poderia provocar nas vidas humanas.



Na eventualidade de ocorrência de um evento semelhante ao de 1755 no Algarve, segundo o ERSTA, é convicção da comunidade científica e dos agentes de protecção civil que se poderão verificar danos muito elevados na estrutura urbana e baixas significativas na população. Particularmente, se um grande sismo ocorrer durante um período de grande concentração demográfica, como o mês de Agosto, a gestão da situação de emergência torna-se particularmente difícil.

#### 2.1.1 A cidade de Faro e o sismo de 1 de Novembro de 1755

*“Sobre esta Cidade [Faro], e mais terras marítimas por todas as onze léguas [cerca de 55 km] da Costa até Lagos foram lastimosos os estragos causados tanto pelo tremor, como pelo mar. (...) Faro teve a fortuna de estar o seu rio em maré baixa. Ele tem uma légua de largo até a praia, que possui várias ilhas, entre ele e o mar, divididas por três barras, todo cortado em coroas de terra que se cobrem nas marés-cheias. Nós víamos levantar as ondas na costa a tal altura, que cada uma unida em si mesma montava as Ilhas sem se dividir. Entrando pelo rio batia nas ditas coroas, e então se repartia em quantidade de ondas escumosas, que representavam um aspecto medonho. Fizeram elas pouca impressão na cidade, aonde as suas águas não excederam os limites de uma maré grande pela encontrarem vazia como deixo dito” (Castro, 1786).*

Segundo excertos da época, Faro terá sido poupada a uma maior destruição por parte do *tsunami*, devido ao facto de na manhã da chegada do *tsunami* ser maré baixa e das ilhas que compõem a Ria Formosa terem formado uma barreira natural dissipadora de parte da energia. A morfologia da costa revelou-se fundamental para proteger Faro, Olhão e Tavira do poder destrutivo das ondas. A Ria Formosa, com baixa profundidade terá contribuído para o abrandar da velocidade da onda, ficando no entanto com as suas ilhas severamente danificadas.

Contudo, na ocorrência de um novo evento, o impacto da onda poderá ter contornos mais destruidores para o núcleo urbano, caso a magnitude do sismo seja maior e os efeitos locais da morfologia do fundo do mar e da costa não sejam suficientemente atenuadores.

Ainda que a cidade de Faro possua um risco inferior em relação a outras cidades no que toca à ocorrência de um *tsunami*, não deixa de ser importante o estudo de medidas de prevenção e mitigação dos seus efeitos, promovendo a informação das populações e a elaboração de planos de evacuação. Estas metodologias poderão ser aplicadas, no futuro, a outras cidades costeiras de risco elevado, relativamente a estes fenómenos naturais.

Em termos demográficos, e recorrendo a dados do arquivo digital do Instituto Nacional de Estatística, verifica-se que a população urbana das duas principais freguesias de Faro, rondava os 8000 habitantes em 1864, quase um século após o abalo de 1755. Hoje em dia, as vulnerabilidades humanas são claramente superiores, com a zona de estudo a compreender uma população presente de cerca de 28000 indivíduos, portanto cerca de três vezes mais. Os dados apresentados referem-se a 1864, pois trata-se dos primeiros recenseamentos efectuados às populações, em Portugal, pelo INE.

Tabela 2.1 – Comparação da população urbana para a cidade de Faro em 1864 e 2001 (Instituto Nacional de Estatística, Arquivo Digital (INE), 2011, p. VIII)

<b>Comparação de número de habitantes de facto</b>		
<b>Distrito</b>	<b>Ano de Recenseamento INE</b>	
	<b>1864</b>	<b>2001</b>
Faro	8014	28793

Quanto à vulnerabilidade do parque edificado, ainda que hoje em dia as tipologias estruturais possuam uma resistência superior às da época de 1755, os danos causados por um sismo de grande magnitude seguido de *tsunami* poderão ser imensos, que como aliás se verificou no último evento do género no Japão a 11 de Março de 2011.

Resta salientar que apesar do Japão possuir um vasto *know-how* no que respeita à preparação cívica de catástrofes sísmicas e tsunamigénicas, resultado da elevada actividade sísmica a que estão sujeitos, elevados danos patrimoniais e humanos foram registados (Mimura, Yasuhara, Kawagoe, Yokoki, & Kazama, 2011).

Relativamente às áreas afectadas pela altura da onda, simulando a altura de água acima do nível médio das águas do mar, é possível observar as áreas inundáveis da zona urbana de Faro (caso de estudo), para diferentes cotas de inundação.



Figura 2.1 - Mapa de Inundação do núcleo urbano de Faro (+0 m) (Tingle, 2007)



Figura 2.2 - Mapa de Inundação do núcleo urbano de Faro (+5 m) (Tingle, 2007)

Para +5 m, conforme Figura 2.2, as zonas imediatamente inundáveis são as zonas da marina e envolvente, Largo de S. Francisco. A área inundável representa cerca de 5% da zona de caso de estudo.



Figura 2.3 - Mapa de Inundação do núcleo urbano de Faro (+13 m) (Tingle, 2007)

A mesma simulação realizada para a cota +13 m (Figura 2.3), dentro dos limites referidos por Baptista (1998) para o evento de 1755, demonstra uma área inundável correspondente a cerca de 40% da zona de caso de estudo, inundando por completo toda a baixa da cidade, centro histórico e vias de acesso a Este à Av. Calouste Gulbenkian. A zona inundada estende-se até cerca de 500 metros para dentro do núcleo urbano.

### 2.1.2 Cenário de alerta de *tsunami*

Observando as extensas áreas de inundação afectadas na zona ribeirinha e atendendo à velocidade de propagação de uma onda de *tsunami* em solo emerso, entre 20 e 40 km/h, e considerando uma coluna de água mesmo com apenas 10 metros acima do nível médio das águas do mar, rapidamente se imagina a gravidade do cenário. Escusado será dizer que quando se avista a onda, poderá ser tarde demais para fugir.

Não se podendo evitar este tipo de desastres, o único caminho é a prevenção.

Na presença de um alerta, a população será obrigada a evacuar para locais com maior cota topográfica e com resistência estrutural suficiente para aguentar o impacto do *run-up* do *tsunami*. A falta de indicadores de rotas de evacuação poderá ocasionar situações de pânico em emergências, onde o factor tranquilidade é preponderante para a prevenção de acidentes graves. Em particular no Verão, em zonas de concentração populacional elevada junto à costa, a situação complica-se pois os processos de evacuação da população tornam-se, na prática, difíceis de executar, devido ao pânico instalado pelo alerta, ainda que orientados pelas autoridades. Salienta-se que o controlo de multidões em situação de pânico é um problema sério e de resolução complexa.



Figura 2.4 - Destruição provocada pelo *tsunami* de 11 de Março de 2011 em Ishinomaki, Japão, após um sismo de magnitude 9,0. A imagem de cima foi fotografada em Julho 2008 e a de baixo após o *tsunami* com altura de onda de pelo menos 7,6 metros. Cortesia do projecto “Memories for the future”. (Google, 2012)

Torna-se então necessário dotar as populações de instruções detalhadas de como proceder em casos semelhantes com indicações pré-estabelecidas das rotas de evacuação e outras recomendações, visto que a ausência de rotas de evacuação poderá gerar o pânico generalizado e dificultar o processo de salvamento. A realização de simulacros com o envolvimento da população civil é uma mais-valia e deve ser equacionada.

## 2.2 Caracterização do problema

O problema em questão caracteriza-se por ser multidisciplinar e conseqüentemente vasto, em primeiro lugar porque abrange várias áreas científicas e sociais, e em segundo lugar porque podem ser considerados vários cenários possíveis quer em termos de colocação de problemas e hipóteses adicionais quer em termos de critérios de selecção de rotas de emergência.

Das várias áreas científicas e sociais que envolvem o estudo e resolução problema destacam-se as seguintes:

- Engenharia civil; no que respeita à avaliação das tipologias estruturais, planeamento urbanístico, avaliação de vulnerabilidade sísmica.
- Geofísica; relativamente à análise dos principais focos de potencial sísmico/tsunamigénico e propagação e chegada da onda de *tsunami*.
- Segurança e Protecção Civil; no que respeita à gestão operacional antes e depois da ocorrência de um desastre natural e salvaguarda de vidas humanas.
- Computação; relativamente à construção de algoritmos e metodologias válidas na aplicação de resolução de problemas reais.
- Teoria de grafos (redes); para a criação de redes urbanas no âmbito topológico.
- Sistemas de informação geográfica; fundamental para a caracterização da rede urbana com características geométricas e outras à escala real.
- Transportes; através da resolução de problemas de trasfega de bens e produtos com o objectivo da minimização do custo total envolvido na distribuição.
- Sociologia e ciências sociais; relativamente às reacções de um conjunto de habitantes sujeitos a decisões em situações de pânico, aspectos éticos e morais, minimização dos impactes sociais e psicológicos.

Neste contexto, o problema revela-se bastante amplo devendo ser restringido, de modo a obter-se uma resolução proveniente de directrizes correctas e bem definidas.

## 2.3 Restrições do problema

As hipóteses na criação de cenários pós-sismo podem ser variadas pelo que será estabelecido como base de estudo de grau de dano, o sismo de 1 de Novembro de 1755, com efeitos destruidores em Lisboa e no Algarve.

Para além deste cenário base serão então impostas as seguintes restrições e pressupostos ao problema, tendo em conta a sua abrangência:

- O problema restringe-se a uma avaliação simplificada de vulnerabilidade para obtenção de um grau de dano estimado para a escala de Mercalli de intensidade X, e a um cenário sísmico idêntico ao de 1755, contudo o grau de dano poderá ser recalculado para outra intensidade e aplicado ao algoritmo de emergência desenvolvido;
- A representação restringe-se à zona urbana de Faro (caso de estudo);
- Para a execução do algoritmo são necessários como dados de entrada, a constituição da rede urbana caracterizada com um grau de dano pós sismo e população presente, identificação dos pontos de refúgio, a previsão do tempo de chegada e altura da onda;
- Decorrido o sismo, considera-se que o tempo de evacuação é igual ao tempo previsto de chegada da onda. Assume-se que o alerta é dado às populações afectadas logo após o evento sísmico;
- As rotas de evacuação criadas para a movimentação de população afectada não permitem a determinação do posicionamento destes grupos de habitantes durante o decorrer do tempo de evacuação. A actualização da população presente em cada nó é realizada após o decorrer do tempo de evacuação;
- A evacuação da zona afectada é realizada até aos pontos de refúgios pré-definidos, mas que poderão ser alterados na constituição da rede;
- Considera-se que os pontos de refúgio pré-estabelecidos estão restritos a uma população máxima de um milhar de habitantes acima do valor de população presente e os restantes nós, a meio milhar de habitantes;
- A altura da onda é uniforme e implica a inundação de todos os nós abaixo da altura da onda, não tendo sido utilizados quaisquer modelos matemáticos para determinação da progressão da onda em meio emerso;
- Assume-se que a população disponibilizada através dos dados estatísticos se encontra no centróide de cada secção criada;

- Aceita-se que parte da população presente nas áreas afectadas possa subir a edifícios com pisos elevados mas não será considerado. Toda a população da área afectada é contabilizada na evacuação para zonas seguras;
- A população desloca-se garantidamente à velocidade de 1 m/s, não havendo lugar à variação de velocidade de acordo com a classe etária predominante em determinada subsecção ou ao tipo de terreno ou inclinação do mesmo;
- A capacidade de fluxo das arestas da rede urbana não é considerada. As arestas servem única e exclusivamente de ligação entre nós. As ligações aos nós (arestas) possibilitam a movimentação nos dois sentidos e representam todas as ligações reais entre duas zonas contíguas;
- Para efeitos de contabilização de transporte e alocação populacional, não são feitas distinções entre população de mobilidade condicionada, idosos, crianças ou outros.

#### **2.4 Rotas de emergência/evacuação e problemas de transportes - *State of the art***

Os vários estudos realizados ao longo dos anos relativamente à planificação das evacuações de emergência em meios urbanos, considerando custos e minimizando os tempos de evacuação, explicam a dificuldade de resolução do problema perante os vários pressupostos fixados por cada autor.

Em 1959, Dijkstra propôs aquele que terá sido o primeiro algoritmo para determinação do caminho mais curto aplicado a uma rede. Determina, para custos positivos associados às arestas, o menor custo de entre cada conjunto de nós de origem e destino. O algoritmo de Dijkstra possibilitou o desenvolvimento de funções (*shortest path*) para obtenção do caminho mais curto, que serão utilizadas adiante no desenvolvimento do algoritmo de emergência.

(Yamada, 1996) aplicou o caminho mais curto no planeamento de evacuações de emergência, demonstrando como a aplicação de uma rede de fluxos (através de um grafo) podia ser aplicada à evacuação de uma cidade (Yokosuka, Japão). Yamada atribui também, no mesmo estudo, capacidades e custos às arestas para determinação de rotas através do método do custo mínimo.



Também Kumar et al (1996) desenvolveram uma metodologia para avaliação de sistemas de evacuação utilizando sistemas de informação geográfica (SIG), analisando os tempos de evacuação individualmente e em grupo para as populações. Segundo os mesmos autores, o tempo estimado de evacuação é geralmente usado para medir a efectividade do sistema de evacuação. Corresponde ao tempo desde o momento do alerta de evacuação até à chegada da última pessoa ao ponto de refúgio, e compreende a soma do tempo de preparação para evacuação e o tempo necessário à deslocação de um ponto para outro.

Opasanon et al, propõem em 2009 um algoritmo (SEscape) que determina a rota mais segura para planos de evacuação de emergência aplicados a grandes edifícios ou regiões geográficas. Consiste em determinar os conjuntos de caminhos e número de evacuados a enviar por cada caminho, de tal forma que a probabilidade mínima de chegada a uma saída para qualquer evacuado é maximizada. Tais caminhos minimizam o risco corrido pelos evacuados que são forçados a correr um risco elevado. Os autores consideram o problema de forma dinâmica e com variações temporais, onde as arestas são monitorizadas constantemente obtendo-se funções de distribuições de probabilidade que variam com o tempo.

Para este trabalho a determinação das rotas de emergência será efectuada com base no método do custo mínimo. Será construída uma matriz de custos positivos, ponderando as distâncias e características físicas dos nós de destino, e vectores linha e coluna indicando as populações presentes nos nós de origem e a lotação de cada nó de destino. A distribuição e alocação populacional em cada nó serão resolvidas através do mesmo método, tal como um problema de transportes.

### 3. ANÁLISE SIMPLIFICADA DE VULNERABILIDADE SISMICA DO NUCLEO URBANO DE FARO

Pretende-se através da análise simplificada de vulnerabilidade sísmica do centro urbano da cidade de Faro, avaliar o impacto de um sismo de intensidade X na Escala de Mercalli Modificada, máximo registado de acordo com a sismicidade histórica da região algarvia.

O efeito pós-sismo traduz-se, em termos materiais, numa distribuição média de dano em edifícios que será estimada através do Método Macrosísmico, proposto por Giovinazzi e Lagomarsino (2006), em função da intensidade máxima acima referida, da vulnerabilidade do edifício e do factor de ductilidade do material estrutural. Esta metodologia enquadra-se bem no objectivo do trabalho, por se tratar de um modelo de análise de vulnerabilidade expedito e facilmente praticável tendo em conta a extensão da malha urbana, baseando-se fundamentalmente nos parâmetros mais importantes da avaliação de vulnerabilidade, permitindo com facilidade a implementação em modelos de cálculo.

O presente capítulo contribui para a determinação da estimativa de distribuição de dano dos edifícios existentes no núcleo urbano da cidade de Faro. Para a análise de vulnerabilidade sísmica foram identificadas algumas zonas “padrão” do parque edificado do núcleo urbano de Faro, que se ajuízam representativas do parque edificado da cidade. Estas zonas foram alvo de um trabalho de campo cujo objectivo consistiu em identificar a época de construção, tipo de estrutura e números de pisos, entre outros factores que afectem o comportamento estrutural do edifício quando solicitado por acções sísmicas. Para a recolha destes dados foi elaborada uma ficha de levantamento modelo, cujo preenchimento, para cada zona, pode ser consultado em anexo (Tabela A.1).

Os dados estatísticos do CENSOS 2001, fornecidos pelo INE (Instituto Nacional de Estatística), são uma importante ferramenta no que se refere à obtenção de dados a utilizar em análises e estudos nas mais variadas vertentes científicas. Estes dados servem inclusivamente de base ao mais recente estudo de risco sísmico e *tsunami* para a região do Algarve.

Neste sentido, após o levantamento, foi realizado um tratamento dos dados obtidos e comparados com os dados estatísticos do CENSOS 2001, apenas para as zonas em questão. Este passo serviu para aferir o número de edifícios, identificando construções novas desde então, como também para validar a escolha de tipologias estruturais proposta para este trabalho e determinar padrões de variações de vulnerabilidade conforme a tipologia estrutural e número de pisos do edifício.

Verificando-se uma semelhança entre os dados obtidos no levantamento e os dados estatísticos fornecidos pelo CENSOS 2001 para as zonas padrão, foi efectuado um cálculo de distribuição média de danos ponderada para cada uma das 80 zonas que compõem o núcleo urbano da cidade de Faro, de acordo com os dados do INE.

### **3.1 O método macrosísmico europeu de acordo com EMS-98**

O conceito base subjacente ao método macrosísmico utilizando a escala EMS-98, tem como objectivo uma escala macrossísmica que meça a gravidade do sismo a partir da observação do dano sofrido pelos edifícios, podendo da mesma forma, representar para efeitos de previsão, um modelo de vulnerabilidade capaz de fornecer, para uma dada intensidade, uma distribuição provável de danos. Trata-se de um método observacional, de aplicação à escala territorial utilizado na elaboração de mapas de risco e intensidade sísmica (Giovinazzi, 2005).

Este método recorre à classificação dos tipos de estruturas da escala EMS-98 e a um índice de vulnerabilidade construído a partir do modelo de vulnerabilidade contido implicitamente nesta escala. Este índice pode ser refinado com base em factores capazes de modificar o comportamento sísmico dos edifícios que, por sua vez, podem ser aferidos a partir de estatísticas de danos (Lagomarsino & Giovinazzi, 2006).

Como o objectivo da escala EM-98 é medir a severidade de um sismo a partir da observação dos seus efeitos, ela também pode ser utilizada de forma inversa, fornecendo um modelo de vulnerabilidade capaz de sugerir uma distribuição de probabilidade de dano, para um dado valor da intensidade macrossísmica (Lagomarsino & Giovinazzi, 2006).

A escolha desta metodologia é justificada em primeiro lugar, pelo factor escala da área de análise, e em segundo lugar pelo grau de rigor pretendido, tendo em conta o tempo necessário para a elaboração e a informação facultada pelo Instituto Nacional de Estatística.

O grau de dano médio ( $\mu_D$ ) para edifícios de estrutura de betão armado é dada por: (Giovinazzi, 2005, p. 65)

$$\mu_D = 2.5 \times \left[ 1 + \tanh \left( \frac{I + 6.25 \times V - 13.1}{Q} \right) \right] \quad (\text{equação fundamental}) \quad (3.1)$$

Em que:

$\mu_D$  – Grau de dano médio do edifício de estrutura de betão armado

I – Intensidade macrossísmica

V – Índice de vulnerabilidade sísmica

Q – Índice de ductilidade

A distribuição média de dano ou grau de dano, varia entre 0, correspondente à estrutura sem danos, e 5, máximo correspondente ao colapso total da estrutura (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**).


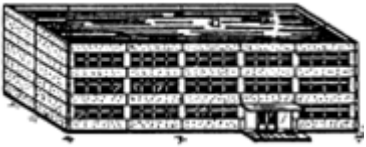

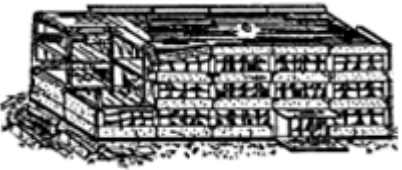

Ainda que no método macrosísmico proposto, a distribuição média de dano seja obtida em função da intensidade segundo a escala EMS-98, o grau de intensidade de cálculo foi assumido como grau X, em correspondência ao máximo valor histórico registado na Escala de Mercalli Modificada para o litoral algarvio (Figura 1.1).

O índice de vulnerabilidade sísmica é proveniente da análise das zonas padrão, e será calculado de acordo com a equação 3.2, para cada edifício individualmente.

O índice de ductilidade a utilizar no cálculo da distribuição de dano em edifícios de estrutura de betão armado será 2.3, sendo este valor proposto por Lagomarsino e Giovinazzi (2006) e que deriva das curvas da escala EMS-98.

Na figura seguinte estão classificados os graus de dano em edifícios de estrutura de betão armado, segundo a EMS-98.

Tabela 3.1 – Classificação de dano para edifícios de estrutura de betão armado, segundo a escala EMS-98 (ESC, 1998, p. 16).

<b>Classificação de dano para edifícios de betão armado segundo escala EMS-98</b>	
	<p>Grau 1 – Dano insignificante a ligeiro (sem danos estruturais, ligeiros danos não estruturais)</p> <p>Pequenas fissuras no gesso sobre os elementos estruturais ou nas bases das paredes. Pequenas fissuras nos panos de enchimento de alvenaria.</p>
	<p>Grau 2 – Dano moderado (danos estruturais ligeiros, danos não estruturais moderados)</p> <p>Fissuras em pilares, vigas e paredes estruturais. Fissuras nos panos de enchimento de alvenaria, queda de revestimentos frágeis e gessos. Queda de argamassa junto às ligações dos panos de parede.</p>
	<p>Grau 3 – Dano substancial a elevado (danos estruturais moderados, elevados danos não estruturais)</p> <p>Fissuras em pilares e ligações pilar-viga, na base e ligações de paredes duplas. Fragmentação do recobrimento dos elementos de betão armado, encurvadura de elementos de reforço estrutural. Fissuras largas em panos de enchimentos de alvenaria, queda de panos de paredes simples.</p>
	<p>Grau 4 – Dano muito elevado (danos estruturais elevados, danos não estruturais muito elevados)</p> <p>Fissuras largas em elementos estruturais e fractura de elementos de reforço estrutural, inclinação de alguns pilares. Colapso de alguns pilares ou de um piso elevado.</p>
	<p>Grau 5 – Destruído (danos estruturais muito elevados)</p> <p>Colapso do piso térreo ou partes (alas, por exemplo) dos edifícios.</p>

Para os edifícios de alvenaria, foi utilizada uma expressão semi-empírica, proposta por Costa *et al* (2010), aplicável na estimativa do grau de dano médio de paredes de fachada. Resulta de várias calibrações e reajustamentos da equação proposta por Lagomarsino e Giovinazzi (Equação 3.1), baseados em observação de dano em paredes de fachada após o sismo de Abruzzo em 2009.

Foi então estimado o grau de dano médio de paredes de fachada em edifícios de estrutura de alvenaria através da seguinte equação (Costa, Varum, Ferreira, Vicente, & Mendes da Silva, 2010, p. 7):

$$\mu_D = 1.51 + 2.5 \times \left[ 1 + \tanh \left( \frac{I + 5.25 \times V - 11.6}{Q} \right) \right] \quad (3.2)$$

Em que:

$\mu_D$  – Grau de dano médio das paredes de fachada do edifício de estrutura de alvenaria

I – Intensidade macrossísmica

V – Índice de vulnerabilidade sísmica

Q – Índice de ductilidade

O índice de ductilidade a utilizar no cálculo da distribuição de dano em edifícios de estrutura de alvenaria será 2,0. A escolha deste valor teve por base a melhor aproximação obtida entre o valor de dano determinado através da curva de dano médio,  $\mu_D$ , e observações de dano pós-sismo (Costa, Varum, Ferreira, Vicente, & Mendes da Silva, 2010).

Uma vez que a equação foi calibrada para este valor de ductilidade, será adequado mante-lo, embora se reconheça que as estruturas de alvenaria em estudo, têm características diferentes de região para região.






De acordo com Costa et al (2010), são classificados na figura seguinte o grau de dano médio de fachadas em edifícios de alvenaria.

Tabela 3.2 - Graus de dano médio adaptados à avaliação das paredes de fachada em edifícios de alvenaria (Costa, Varum, Ferreira, Vicente, & Mendes da Silva, 2010, p. 6).

<b>Grau de dano em paredes de fachada</b>	<b>Descrição</b>
<b>Grau 1 – Sem dano</b>	Sem dano ou com a presença de fissuração localizada de muito pequena amplitude ( $\approx 1$ mm)
<b>Grau 2 – Dano moderado</b>	Fissuração concentrada na zona dos vãos; desligamentos localizados do reboco
<b>Grau 3 – Dano extensivo</b>	Fissuração diagonal de grande amplitude; desligamento e destacamento generalizado do reboco
<b>Grau 4 – Dano severo</b>	Colapso parcial da parede de fachada (fissuração diagonal de corte, desagregação, etc.)
<b>Grau 5 – Colapso</b>	Colapso total da fachada, no seu plano ou para fora do plano

Na tabela seguinte estão classificados os graus de dano em edifícios de estrutura de alvenaria, segundo a EMS-98.

Tabela 3.3 - Classificação de dano para edifícios de estrutura de alvenaria resistente, segundo a escala EMS-98 (ESC, 1998 p. 15).

Classificação de dano para edifícios de alvenaria segundo escala EMS-98	
	<p>Grau 1 – Dano insignificante a ligeiro (sem danos estruturais, ligeiros danos não estruturais)</p> <p>Pequenas fissuras de pequena espessura em poucas paredes. Queda de pequenas partes de gesso apenas. Queda de pedra solta de partes elevadas do edifício em muito poucos casos.</p>
	<p>Grau 2 – Dano moderado (danos estruturais ligeiros, danos não estruturais moderados)</p> <p>Fissuras em várias paredes. Queda de grandes partes de gesso. Colapso parcial de chaminés.</p>
	<p>Grau 3 – Dano substancial a elevado (danos estruturais moderados, elevados danos não estruturais)</p> <p>Largas e extensas fissuras na maioria das paredes. Destacamento de telhas. Fractura de chaminés ao nível do telhado. Colapso de elementos individuais não estruturais.</p>
	<p>Grau 4 – Dano muito elevado (danos estruturais elevados, danos não estruturais muito elevados)</p> <p>Paredes severamente danificadas, colapso de telhados e pisos elevados.</p>
	<p>Grau 5 – Destruído (danos estruturais muito elevados)</p> <p>Colapso total ou quase total do edifício.</p>

### 3.1.1 Índices de vulnerabilidade segundo o método macrosísmico europeu (EMS-98)

A provável distribuição média de dano é calculada segundo índices de vulnerabilidade estabelecidos por Lagomarsino e Giovinazzi (2006) conforme a tipologia estrutural do edifício e pormenores construtivos, contribuindo para a determinação da vulnerabilidade de cada edifício e conseqüentemente no grau de dano médio, para uma dada intensidade sísmica.

Esta relação entre as tipologias estruturais e a vulnerabilidade é possível devido à observação dos danos sofridos em construções semelhantes, verificados em sismos anteriores.

Os índices de vulnerabilidade considerados por Lagomarsino e Giovinazzi (2006) segundo a tipologia estrutural estão indicados no quadro seguinte (Tabela 3.4). Estes índices foram criados com base nas principais características do edifício após avaliações e inspeções.

Tabela 3.4 - Índices de vulnerabilidade segundo as diferentes tipologias estruturais (adaptado de (Lagomarsino & Giovinazzi, 2006; Giovinazzi, 2005)).

Tipologias		Tipo de edifício	Índices de Vulnerabilidade				
			$V^{\min}$	$V^-$	$V_0$	$V^+$	$V^{\max}$
Alvenaria	M1	Alvenaria de pedra irregular e solta	0,62	0,81	0,873	0,98	1,02
	M2	Adobe (taipa)	0,62	0,687	0,84	0,98	1,02
	M3	Adobe de pedra (aparelhada)	0,46	0,65	0,74	0,83	1,02
	M4	Alvenaria de pedra aparelhada (silhares)	0,3	0,49	0,616	0,793	0,86
	M5	Alvenaria de blocos de betão ou tijolo (não reforçada)	0,46	0,65	0,74	0,83	1,02
	M6	Alvenaria com pavimentos em betão armado	0,3	0,49	0,616	0,79	0,86
	M7	Alvenaria confinada/Alvenaria reforçada	0,14	0,33	0,451	0,633	0,7
Betão armado	RC1	Estrutura porticada em betão armado sem CSR ou com CSR mínimo	0,3	0,49	0,644	0,8	1,02
	RC2	Estrutura porticada em betão armado com CSR moderado	0,14	0,33	0,484	0,64	0,86
	RC3	Estrutura porticada em betão armado com CSR elevado	-0,02	0,17	0,324	0,48	0,7
	RC4	Estrutura de paredes em betão armado sem CSR ou com CSR mínimo	0,3	0,367	0,544	0,67	0,86
	RC5	Estrutura de paredes em betão armado com CSR moderado	0,14	0,21	0,384	0,51	0,7
	RC6	Estrutura de paredes em betão armado com CSR elevado	-0,02	0,047	0,224	0,35	0,54
Aço	S	Estrutura metálica	-0,02	0,17	0,324	0,48	0,7
Madeira	W	Estrutura de madeira	0,14	0,207	0,447	0,64	0,86

CSR - concepção sismo resistente



O índice de vulnerabilidade padronizado ( $V_0$ ) para cada tipo de tipologia estrutural foi obtido por Lagomarsino e Giovinazzi (2006), através da teoria de conjuntos difusos (fuzzy) assim como os respectivos limites máximos e mínimos admissíveis ( $V^{\text{máx}}$  e  $V^{\text{mín}}$ ).

O índice de vulnerabilidade de cada edifício é obtido através da soma das seguintes parcelas: índice de vulnerabilidade padronizado para dada tipologia estrutural, variação de vulnerabilidade provocada por efeitos regionais (relacionadas com as práticas construtivas) e variação de vulnerabilidade tendo em conta a contribuição de factores modificadores de comportamento estrutural.

$$V = V_0 + \Delta V_r + \Delta V_m \quad (3.3)$$

Em que:

$V$  – Índice de vulnerabilidade

$V_0$  – Índice de vulnerabilidade padrão para dada tipologia estrutural

$\Delta V_r$  – Variação de vulnerabilidade provocada por efeitos regionais (geográficos)

$\Delta V_m$  – Variação de vulnerabilidade tendo em conta a contribuição de factores modificadores de comportamento estrutural

A variação de vulnerabilidade provocada por efeitos regionais geográficos ( $\Delta V_r$ ) não será contabilizada por não existirem valores de referência para acerto dos índices de vulnerabilidade das tipologias existentes na região em estudo ou ainda para Portugal Continental. Para a resolução do problema proposto, este factor não terá consideração relevante, uma vez que se trata de uma parcela constante comum na vulnerabilidade de todos os edifícios e o algoritmo de emergência se basear numa organização crescente dos graus de distribuição de dano, para determinação dos refúgios com danos mínimos e nas rotas de evacuação até estes destinos.

A variação de vulnerabilidade correspondente à contribuição de factores modificadores de comportamento estrutural ( $\Delta V_m$ ) não só depende do sistema estrutural mas é também afectado por outros factores como a qualidade da construção, a altura do edifício, a regularidade estrutural em planta e alçado e condições de manutenção.

Seguidamente apresentam-se os valores de variação de vulnerabilidade ( $\Delta V_m$ ) propostos por Lagomarsino e Giovinazzi (2006):

Tabela 3.5 - Valores de variação de vulnerabilidade segundo factores modificadores de comportamento, para estruturas de alvenaria resistente ou betão armado (adaptado de (Giovinazzi, 2005, p. 69)).

Factores modificadores de comportamento	Alvenaria		Betão Armado			
	$\Delta V_m$		Nível CSR	Sem	Moderado	Alto
				$\Delta V_m$	$\Delta V_m$	$\Delta V_m$
<b>Estado de Conservação</b>	Bom	-0,04	Bom	-	-	-
	Mau	0,04	Mau	0,04	0,02	0
<b>Número de Pisos</b>	Baixo (< 2)	-0,08	Baixo (< 3)	-0,02	-0,02	-
	Médio (3 a 5)	0	Médio (4 a 7)	0	0	0,02
	Alto (>= 6)	0,08	Alto (>= 8)	0,04	0,04	0
<b>Sistema estrutural</b>	Espessura de paredes	-0,04 a +0,04				
	Distância entre paredes					
	Conexões de paredes					
<b>Irregularidade em Planta</b>	Geometria	0,04	Geometria	0,04	0,02	0
	Distribuição de massas	0,04	Massa	0,02	0,01	0
<b>Irregularidade em Alçado</b>	Geometria	0,04	Geometria	0,04	0,02	0
	Distribuição de massas	0,04	Massa			
<b>Pisos Acrescidos</b>		0,04				
<b>Telhado</b>	Peso, ligações e estado conservação	0,04				
<b>Intervenções de Reparação de Anomalias</b>		-0,08 a +0,08				
<b>Conjunto de edifícios: Posição</b>	Centro	-0,04	Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0,04	0	0
	Canto	0,04				
	Topo	0,06				
<b>Conjunto de edifícios: Elevação</b>	Pisos a cotas diferentes	0,04				
	Edifícios com alturas diferentes	-0,04 a +0,04				
			Pilares Curtos	0,02	0,01	0
			Janelas Curvas	0,04	0,02	0

### 3.2 Vulnerabilidade de edifícios da baixa de Faro - Aplicação ao caso de estudo

A análise de vulnerabilidade dos edifícios do núcleo urbano da cidade de Faro implicou a recolha de dados em campo, de modo a determinar um índice de vulnerabilidade de acordo com os parâmetros definidos anteriormente, e consequentemente a aplicação do Método Macrosísmico.

A determinação do índice de vulnerabilidade teve como base o levantamento de zonas caracterizadoras do parque edificado, de modo a servirem de zonas de controlo na determinação de um valor adequado de distribuição média de dano. Este trabalho de campo permitiu também determinar, para cada tipologia estrutural, as variações médias de vulnerabilidade devido a factores modificadores de comportamento relativamente às vulnerabilidades padrão.

#### 3.2.1 Definição de tipologias a utilizar

Numa primeira fase foram classificadas as tipologias que se inseriam no núcleo urbano de Faro e correlacionadas com as tipologias estruturais segundo a EMS-98 (Tabela 3.7), com vista a serem utilizadas aquando do preenchimento da ficha de levantamento modelo.

Tabela 3.6 - Tipologias estruturais e nomenclaturas propostas a utilizar neste trabalho, segundo material e época de construção.

<b>Material</b>	<b>Nomenclatura a adoptar</b>	<b>Características</b>
Betão Armado	BA1	Construído antes de 1962
	BA2	Construído entre 1963 e 1985
	BA3	Construído entre 1985 e 2010
Alvenaria Resistente	A1	Alvenaria de Pedra
	A2	Alvenaria de Terra (Taipa/Adobe)

Relativamente às estruturas de alvenaria resistente, a sua relação com as tipologias estruturais propostas pela EMS-98 foi directa. Nas estruturas de betão armado, observa-se uma relação da vulnerabilidade sísmica com a regulamentação utilizada à data de construção. De acordo com a época de construção, assim é possível encontrar uma relação com regulamentação da utilizada na altura e pressupor um dado desempenho sísmico, segundo condições normais de construção, utilização e manutenção dos edifícios.

Apresenta-se o quadro seguinte de definição de tipologias a utilizar nesta análise e correlação com tipologias propostas pela EMS-98, bem como valores de vulnerabilidade padrão.

Tabela 3.7 – Definição de tipologias a utilizar no levantamento e correlação com tipologias estruturais segundo a EMS-98.

Material	Nomenclatura adoptada	Características	Correlação EMS-98	$V_0$
Betão Armado	BA1	Antes de 1962	RC1 – Estrutura porticada em betão armado sem CSR ou com CSR mínimo	0.644
	BA2	Entre 1963-1985	RC2 – Estrutura porticada em betão armado com CSR moderado	0.484
	BA3	Entre 1985-2010	RC3 – Estrutura porticada em betão armado com CSR elevado	0.324
Alvenaria Resistente	A1	Pedra	M4 – Alvenaria de pedra aparelhada (silhares)	0.616
	A2	Terra (Taipa/Adobe)	M2 – Abode (taipa)	0.840

São obtidos assim os seguintes valores limites, de acordo com a Tabela 3.4 e a tabela anterior:

Tabela 3.8 – Valores de índice de vulnerabilidade padrão e limites segundo as tipologias estruturais estipuladas.

Tipologias Estruturais de Edifícios		Índice de Vulnerabilidade				
		$V_{\min}$	$V^-$	$V_0$	$V^+$	$V_{\max}$
Betão Armado	BA1 - BA antes de 1962	0,300	0,490	0,644	0,800	1,020
	BA2 - BA entre 1963-1985	0,140	0,330	0,484	0,640	0,860
	BA3 - BA entre 1985-2010	-0,020	0,170	0,324	0,480	0,700
Alvenaria Resistente	A1 - Alvenaria Pedra	0,300	0,490	0,616	0,793	0,860
	A2 - Alvenaria Terra (Taipa/Adobe)	0,620	0,687	0,840	0,980	1,020

### 3.2.2 Definição da zona de estudo

A zona em estudo é constituída por toda a baixa da cidade de Faro e núcleo urbano até à Av. Calouste Gulbenkian continuando pela Av. Cidade de Hayward até à EN125, delimitada a Sul pelos espaços lagunares e sapais da Ria Formosa. Existe ainda uma zona industrial a Sudeste deste perímetro que não foi contemplada na zona de estudo por não se encontrar dentro do núcleo urbano e possuir população residente nula, conforme se demonstra na Figura 3.1.



Figura 3.1 - Definição da zona em estudo – zona limitada pela linha contínua a preto. Inclui a baixa da cidade de Faro e núcleo urbano até à Av. Calouste Gulbenkian continuando pela Av. Cidade de Hayward até à EN125, delimitada a Sul pelos espaços lagunares e sapais da Ria Formosa.

Desta zona de estudo, foram seleccionadas cinco zonas mais pequenas que serão alvo do processo de levantamento em campo de forma a proceder-se à análise de vulnerabilidade sísmica.

As zonas de levantamento padrão foram seleccionadas com base na sua abrangência de tipologias estruturais e na representatividade e semelhança com outras manchas urbanas da cidade, estando de acordo com a diversidade do parque construído.

Deste modo foram definidas as seguintes zonas sujeitas ao levantamento de acordo com a Figura 3.2.






Figura 3.2 - Definição de zonas de levantamento e limites da zona de estudo.



Tratam-se de zonas com características bastante distintas, seleccionadas de acordo com o grau de representatividade que demonstram. Possuem tipologias estruturais variadas destinadas maioritariamente à habitação, à excepção da zona 4 que é constituída por parte do centro histórico da cidade.

Em algumas destas zonas a amplitude de tipologias existentes é elevada, tornando-se zonas mistas no que se refere ao tipo estrutural, muitas vezes também com grande variedade de condições de manutenção.

Descrevem-se, em seguida, as zonas de levantamento, sua localização e predominância de número de pisos e tipologias estruturais, bem como época de construção.

Tabela 3.9 - Descrição das zonas de levantamento.

Zona	Descrição	
1	<p>Trata-se de uma zona com predominância em edifícios de 3/4 pisos, construídos na década de 80, na sua maioria destinados a habitação com comércio no R/C.</p> <p>É delimitada a Sul pela Rua de Santo António e a Este pela Rua de Portugal.</p>	 <p>Figura 3.3 – Delimitação e identificação da zona 1.</p>
2	<p>Trata-se de uma zona recente, maioritariamente habitacional, com alguns serviços e comércio nos pisos térreos. Os edifícios são geralmente de 6 pisos.</p> <p>É delimitada a Nordeste pela R. Mouzinho de Albuquerque, a Sudoeste pela Rua João de Deus e a Norte pela Rua Dr. Cândido Guerreiro.</p>	 <p>Figura 3.4 – Delimitação e identificação da zona 2.</p>
3	<p>Trata-se de uma zona antiga, a Sul da cidade, com bastantes imóveis devolutos e em mau estado de conservação, à excepção do edifício residencial de 10 pisos a Sul.</p> <p>É delimitada a Sudoeste pela Av. Da República, a Sueste pela Rua Gil Eanes e a Noroeste pela Rua Francisco Barreto.</p>	 <p>Figura 3.5 – Delimitação e identificação da zona 3.</p>

<p>4</p>	<p>Trata-se de uma zona histórica, bem conservada, rodeada por muralhas que datam do século IX. É composta por alguns edifícios notáveis da cidade de Faro datados do séc. XVI e XVII, reconstruídos após o sismo de 1755.</p> <p>Localiza-se no centro histórico da cidade, limitada pela Rua Comandante Francisco Manuel, pela Rua do Município e pelos edifícios do Paço Episcopal.</p>	 <p>Figura 3.6 – Delimitação e identificação da zona 4.</p>
<p>5</p>	<p>Trata-se de uma zona antiga da cidade onde surgiram algumas novas construções nos anos 70 e 80, razoavelmente conservadas. Possui bastantes edifícios devolutos e em mau estado. O número de pisos varia entre 2 e 6.</p> <p>É delimitada pela Rua de Santo António, pela Rua Tenente Valadim, pela Rua Pé da Cruz e Rua Alexandre Herculano.</p>	 <p>Figura 3.7 – Delimitação e identificação da zona 5.</p>

### 3.2.3 Levantamento das zonas padrão

O trabalho de campo consistiu, como já foi referido, na recolha de informação característica dos edifícios das zonas seleccionadas. Foi realizado entre Janeiro e Fevereiro de 2011, em cinco zonas previamente identificadas.

No trabalho de campo, para cada zona, foram enumerados e recolhidos elementos fotográficos de todos os edifícios existentes, procedendo-se seguidamente à sua caracterização individual e preenchimento da ficha de levantamento modelo, a qual se exemplifica em seguida.

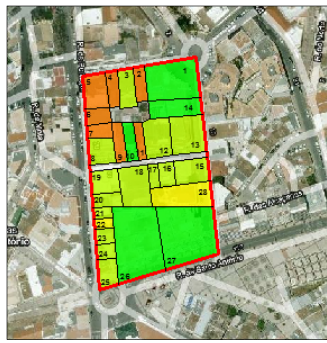


Tabela 3.10 - Exemplo de preenchimento da ficha de levantamento modelo para a zona 1.

Nº Edifício	Nº Pisos	Ano Construção	Tipo Estrutura	Observações
1	4 pisos+ 1 recuado + cave	década 2000	BA3	Destinado a habitação, com comércio no R/C.
2	1		A1	Devoluto
3	3 pisos + 1 recuado + cave	anos 70/80	BA2	Estado razoável
4	1	anos 50	A1	Devoluto
5	2 pisos + cave	anos 50	A1	Bom estado, Ed. João Nabais (curva)
6	2		A1	Bom estado (ed. Cor de rosa)
7	2		A1	Bom estado (ed. Loja Sonata)
8	5	70	BA2	Bom estado
9	1		A1	Devoluto
10	4 pisos + 1 recuado	anos 80/90	BA3	Bom estado de conservação
11	1	anos 40/50	A1	Devoluto
12	3 pisos +1recuado +1recuado	Anos 80	BA2	Bom estado
13	3 pisos +1recuado +1recuado	Anos 80	BA2	Bom estado
14	3pisos +1recuado +1recuado	2000	BA3	Bom estado
15	3pisos+1recuado	Anos 80	BA2	Razoável, Ed. CTT

Uma vez preenchida a ficha de levantamento modelo, foi necessária proceder ao tratamento de dados em forma digital através da elaboração de uma folha de cálculo mais complexa, na qual se identificam para cada edifício individualmente os factores modificadores de comportamento sísmico e se determina o índice de vulnerabilidade total, bem como o grau estimado de dano.

Foram identificados os edifícios alvo de levantamento correspondentes às zonas seleccionadas (Figura 3.8). e caracterizados de acordo com a sua tipologia estrutural



Zona 1



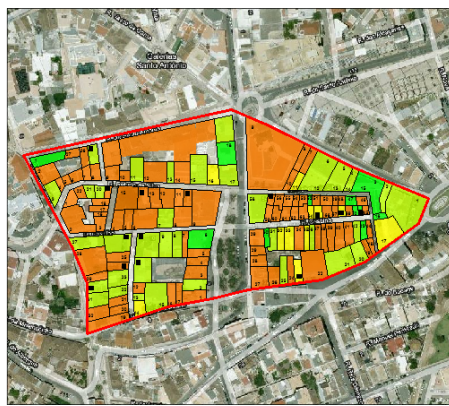
Zona 2



Zona 3



Zona 4



Zona 5

Legenda:

- A - BA antes de 1962
- B - BA entre 1963-1985
- C - BA pós 1985
- D - Alvenaria Pedra
- E - Alvenaria Terra (Taipa/Adobe)

Figura 3.8 - Resultado do levantamento realizado. Caracterização dos edifícios de acordo com as tipologias estruturais identificadas.

### 3.2.4 Tratamento de dados

O tratamento de dados possui duas fases distintas. A primeira fase consiste na análise dos dados do levantamento e a segunda, na confrontação dos mesmos com os dados fornecidos pelo CENSOS 2001.

A análise dos dados do levantamento consistiu na elaboração de uma folha de cálculo, onde através da introdução dos parâmetros avaliados edifício a edifício, se determinaram automaticamente os valores de vulnerabilidade padrão e de variação de vulnerabilidade devido a factores modificadores de comportamento, conforme as tipologias estruturais e suas características. Esta folha de cálculo foi crucial para o tratamento dos dados recolhidos e para a aplicação do método Macrosísmico.

O exercício de tratamento de dados consistiu no procedimento seguinte, para todos os edifícios caracterizados através das fichas de levantamento, em anexo (Tabelas A.2 a A.6):

1. Determinação do índice de vulnerabilidade padrão ( $V_0$ ) segundo a tipologia estrutural do edifício;
2. Determinação da variação de vulnerabilidade segundo factores modificadores de comportamento ( $\Delta V_m$ ) (número de pisos, estado de conservação do imóvel, irregularidades estruturais, posicionamento relativamente a outros edifícios, entre outros parâmetros);
3. Cálculo do índice de vulnerabilidade ( $V$ ) através da equação 3.3. A variação de vulnerabilidade provocada por efeitos regionais geográficos ( $\Delta V_r$ ) será considerada nula;
4. Cálculo do indicador grau de dano ( $\mu_D$ ) para cada edifício individualmente, através da equação 3.1 ou 3.2, conforme se trate de estrutura de betão armado ou alvenaria.

Determinados os graus de dano para todos os edifícios de cada zona, segue-se o seguinte:

5. Determinação do grau de dano médio ( $\mu_{D\text{médio}}$ ) para cada zona e respectivo desvio padrão;
6. Determinação da média da variação de vulnerabilidade segundo factores modificadores de comportamento à excepção do número de pisos ( $\Delta V_{m\text{médio}}$ ), segundo cada tipologia estrutural.

O grau de dano para cada edifício e zona do levantamento foi obtido considerando o número de pisos na variação de vulnerabilidade.

O cálculo da média de variação de vulnerabilidade segundo factores modificadores de comportamento à excepção do número de pisos ( $\Delta V_{m\text{médio}}$ ), deverá conduzir a um valor de variação que caracteriza as tipologias estruturais existentes neste seio urbano em particular. Este valor será posteriormente somado à variação de vulnerabilidade provocada pela influência do número médio de pisos de cada zona, informação que o CENSOS 2001 fornece, para obtenção de um valor mais preciso de índice de vulnerabilidade.

Na segunda fase do tratamento de dados, procedeu-se ao cálculo da distribuição de grau de dano, segundo os dados do INE, para cada uma das secções que constituem a rede urbana criada, sendo estes os dados a serem utilizados no algoritmo de emergência desenvolvido.

Os dados observados pelo CENSOS 2001, encontravam-se organizados por secções e subsecções, caracterizadas por diversos campos. Foi feita uma selecção dos campos com interesse para o presente trabalho (área secção, número de edifícios, ano de construção, número de pisos, tipologia estrutural e população presente) e eliminados os restantes. Foram realizados os seguintes procedimentos aos seus conjuntos de valores, conforme em anexo (Tabela A.8).

1. Determinação da média de número de pisos para cada zona ( $N^{\circ}_{\text{médio pisos}}$ );
2. Determinação da variação de vulnerabilidade, segundo o número médio de pisos da zona em estudo, para estruturas de betão armado e alvenaria ( $\Delta V_{m\_BApisos}$  e  $\Delta V_{m\_Apisos}$ );
3. Determinação de índice de vulnerabilidade ( $V$ ) para cada tipologia estrutural, segundo a equação 3.3. O valor de variação de vulnerabilidade  $\Delta V_m$ , será obtido através da soma do valor obtido no ponto anterior ( $\Delta V_{m\_BA\_pisos}$  e  $\Delta V_{m\_Alv\_pisos}$ ) e o valor  $\Delta V_{m\text{médio}}$  obtido no procedimento anterior (ponto 6), para cada tipologia estrutural. A variação de vulnerabilidade provocada por efeitos regionais geográficos ( $\Delta V_r$ ) será considerada nula.
4. Obtidos os índices de vulnerabilidades, é calculada a distribuição de dano ( $\mu_D$ ) utilizando as equações 3.1 ou 3.2, conforme o material e tipologia estrutural.
5. A distribuição de dano média por zona ( $\mu_{D\text{médio}}$ ) é obtida através de uma média ponderada dos graus de dano estimado por tipologia e o número de edifícios existentes de dada tipologia estrutural.

É de referir que a associação entre os valores do CENSOS nos diferentes campos é difícil ou mesmo impossível pelo que não é possível determinar através destes dados com exactidão, por exemplo, quantos edifícios de betão armado com 1 ou 2 pisos existem ou quantos edifícios existem de alvenaria construídos após os anos 50. Ainda assim, para efeitos de determinação da média ponderada de grau de dano do ponto 5, as tipologias estruturais foram associadas às datas de construção, nomeadamente; até 1919 – tipologia A2; até 1945 - tipologia A1; até 1960 – tipologia BA1; até 1980 – tipologia BA2 e finalmente até aos dias de hoje – tipologia BA3.

### 3.2.5 Resultados obtidos e análise de resultados

Com os resultados de distribuição de dano obtidos para as zonas em estudo, verificou-se uma relação acentuada entre as tipologias estruturais adoptadas e os graus de dano estimados. Em regra, as estruturas de alvenaria resistente corresponderem aos graus de dano mais elevados, as estruturas recentes em betão armado aos danos mínimos, ficando as restantes tipologias, nomeadamente betão armado até 1985, com os graus de dano intermédios (Figura 3.9 e Figura 3.10). Nas figuras seguintes é possível constatar esta relação.

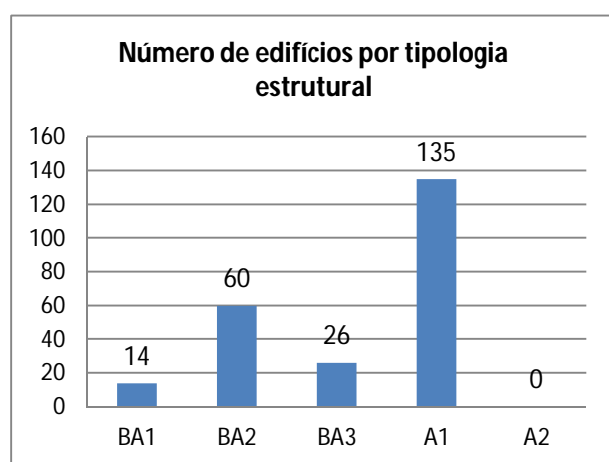


Figura 3.9 - Número de edifícios identificados no levantamento das zonas de estudo segundo tipologia estrutural.

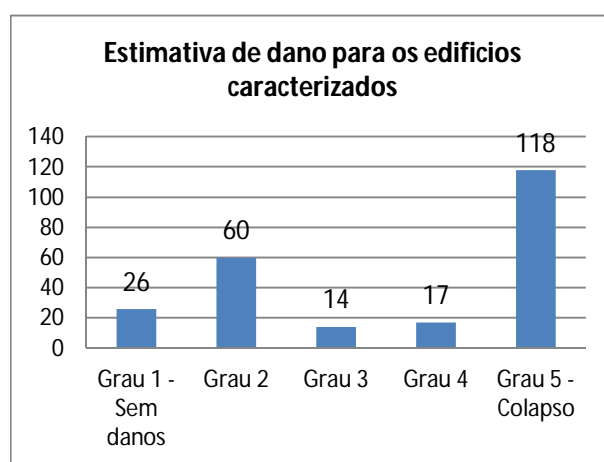


Figura 3.10 - Estimativa de dano para os edifícios identificados no levantamento das zonas de estudo.

Comparando os dados de levantamento com os dados do INE, verifica-se que a estatística não reflecte o parque edificado na sua totalidade e precisão. Existe alguma discrepância entre os valores observados pelo CENSOS 2001 e os valores recolhidos em campo, nomeadamente no que refere ao número de edifícios existentes, tendo sido observados mais prédios do que os referidos nos dados do INE. Os motivos para estes desvios podem ser vários, a começar pelo facto de os dados do CENSOS corresponderem a 2001 e a recolha de dados ser feita em 2011. Outro motivo poderá ser justificado com a dificuldade na identificação exacta de fracções ou partes de edifícios mais antigos existentes no seio urbano, que por vezes poderão contabilizar apenas um só para efeitos estatísticos, ou ainda, por alguns dos edifícios se encontrarem devolutos à data da recolha dos dados estatísticos e/ou outros edifícios que possam ter sido reconstruídos de raiz.

Tabela 3.11 – Comparação da estimativa de grau de distribuição de dano segundo os dados fornecidos pelo INE e os dados obtidos no levantamento.

$\mu_D$ médio	Segundo dados CENSOS 2001	Segundo dados obtidos no levantamento
Zona 1	2,5	3,0
Zona 2	2,4	2,1
Zona 3	2,9	4,3
Zona 4	3,5	5,0
Zona 5	3,5	4,0

Verifica-se através da Tabela 3.11, que para quatro das cinco zonas em estudo foi estimado um grau de dano superior ao obtido através dos dados do CENSOS 2001, pelo que se julga que os danos causados por um evento desta intensidade, possam estar a um nível de dano superior do que o obtido através dos dados estatísticos, uma vez que o número de edifícios existentes é superior ao estimado, particularmente em zonas mais antigas do núcleo urbano com edifícios de estrutura em alvenaria.

Para as zonas sujeitas a levantamento, foram avaliadas as diferenças do grau de dano obtido considerando a contribuição de factores modificadores de comportamento sísmico e comparadas com o grau de dano obtido considerando apenas a vulnerabilidade padrão das tipologias. A diferença entre estes graus de dano raramente excede as duas décimas de grau, sendo a variação média por zona cerca de uma décima de grau de dano.

Da mesma forma foram também determinadas as mesmas diferenças para as novas zonas criadas e observou-se que a contribuição da parcela de factores modificadores de comportamento sísmico, para as zonas em estudo, praticamente não condiciona o valor de dano, variando, em alguns casos, cerca de uma décima de grau.

Deste modo, obtiveram-se valores de distribuição de dano que representam as tipologias existentes, os quais foram extrapolados para todo o núcleo urbano em estudo. Com os valores de distribuição de dano prováveis, serão identificados pelo algoritmo de emergência, os locais com menor grau de dano, como sendo os pontos de refúgios capazes de suportar a aglomeração populacional e o impacto de um *tsunami*, num cenário pós sismo.

Observa-se também que a escolha de tipologias estruturais adoptadas na avaliação enquadra-se com os pressupostos das tipologias existentes na região, ainda que não tenham sido identificados edifícios de alvenaria de terra. Grande maioria dos edifícios de estrutura de alvenaria resistente, possuem uma dificuldade acrescida na identificação exacta da composição da parede de alvenaria, uma vez que as intervenções de reparação, manutenção e ocultação de anomalias a que os edifícios foram sendo sujeitos ao longo dos anos, impossibilitam a exacta avaliação de tipologia estrutural, tendo em conta a avaliação sumária realizada. Foi praticamente impossível distinguir os edifícios de alvenaria de pedra ou terra, a não ser quando em edifícios mais deteriorados existiam partes de fachadas com rebocos desagregados e se conseguia observar o tipo de alvenaria. Ainda assim, não foram encontrados nas zonas em estudo, edifícios com estrutura de alvenaria de terra ainda que estes possam existir, dissimulados e alterados através de operações de reabilitação, ou por outro lado, ter dado origem a novos edifícios.

Ainda assim, e sendo esta a base de dados existente e possível de empregar, será utilizada na obtenção de um possível cenário de danos que se acredita ser suficientemente fiável para a criação de um cenário pós sismo para a implementação do algoritmo de evacuação que se pretende elaborar.

Com o presente capítulo foi possível constituir uma avaliação sumária de vulnerabilidade sísmica do parque edificado do núcleo urbano de Faro, analisando numa primeira fase a distribuição de dano das zonas seleccionadas, com a qual se obteve, para além da distribuição provável de dano, a variação dos factores modificadores de comportamento sísmico dos edifícios caracterizadores do parque edificado. Estas variações foram, numa segunda fase, adicionadas aos índices de vulnerabilidade padrão e aplicados às restantes secções, no sentido de se obterem valores de distribuição de dano que considerem as variações de vulnerabilidade sísmica características das tipologias estruturais existentes neste município.

## 4. CRIAÇÃO DE ROTAS DE EMERGÊNCIA

O desenvolvimento de cenários sísmicos conduz a uma avaliação de danos que permite não só programar as acções de protecção civil antes da emergência, ao nível da adopção de medidas preventivas e de mitigação, mas também durante a emergência, na definição das zonas de intervenção no âmbito do Sistema Integrado de Operações de Protecção e Socorro, nas quais assentará a organização da resposta dos agentes de protecção civil (Costa, Vicêncio, & Pires, 2010).

Esta análise permite otimizar, a nível logístico, a eficiência das operações de socorro levadas a cabo pela Protecção Civil em caso de alerta de ocorrência de desastre natural. Contudo, perante a ameaça de chegada de uma onda marítima de grande envergadura (*tsunami*), o período de espera por instruções de evacuação pode ser determinante para o salvamento ou não de determinado grupo de pessoas, que seja por mobilidade condicionada ou por localização geográfica desfavorável, procuram ajuda através das entidades competentes. Nas piores das hipóteses, poderá não haver tempo suficiente para a evacuação, caso esta não se inicie imediatamente após o alerta.

Neste sentido, é fundamental que a população possua conhecimento de como reagir nos casos descritos, tanto ao nível do comportamento de reacção como de movimentação no seio urbano de uma cidade. Um bom conjunto de procedimentos e critérios pré-estabelecidos pode facultar uma preciosa ajuda na tomada de decisões em desafios enfrentados pelos indivíduos durante situações de crise, relativamente à utilização de recursos, às prioridades e partilha de informação, conduzindo a uma minimização do impacto social e, sobretudo, humano. Uma rota de evacuação através de locais seguros até um ponto de refúgio conhecido poderá constituir um destes procedimentos.

Perante este problema, pretende-se criar um algoritmo capaz de gerar rotas de evacuação de emergência, para a movimentação da população presente nas zonas afectadas pela altura da onda para locais que possam servir de pontos de refúgio e aglomeração de pessoas, em caso de crise sísmica seguida de um *tsunami*, tendo em conta o tempo de evacuação. No caso em que parte da população afectada não consiga atingir pontos de refúgio a salvo da onda marítima dentro deste tempo de evacuação, o algoritmo deverá gerar rotas de evacuação até aos locais mais próximos, com menor dano e maior cota altimétrica, de modo a poder facultar uma possibilidade de refúgio e salvaguarda.



Tendo em conta os dados já obtidos anteriormente de distribuição média de dano do parque edificado para determinado cenário sísmico e população presente, e as directrizes de resolução do problema, verifica-se que a aplicação da teoria dos grafos, mediante a utilização de alguns dos seus algoritmos, permite a resolução de problemas representados através de um modelo de rede que traduza um núcleo urbano ou uma área urbana. Este capítulo contribui para o desenvolvimento e aplicação do algoritmo de emergência ao núcleo urbano da cidade de Faro.

#### 4.1 Breve introdução à teoria dos grafos

A teoria dos grafos é uma das áreas mais importantes da matemática discreta. Muitos dos problemas sobre grafos tornaram-se célebres porque são um interessante desafio intelectual e porque têm importantes aplicações práticas.

Com raízes em jogos e recreações matemáticas, atribui-se a sua criação a Euler, ao resolver o problema das sete pontes de Königsberg em 1736. Mas foram os problemas acerca de fórmulas de estrutura de compostos químicos, que A. Cayley resolveu na segunda metade do século XIX, que começaram a desenvolver. Hoje, a Teoria dos Grafos tem sido aplicada a muitas áreas (Informática, Investigação Operacional, Economia, Sociologia, Genética, etc.), pois um grafo constitui o modelo matemático ideal para o estudo das relações entre objectos discretos de qualquer tipo (adaptado de (Picado, 2009, p. 53)).

Exemplificam-se, em seguida, dois esquemas pertencentes a ramos completamente distintos, nomeadamente uma secção de um mapa de estradas e pontes e um esquema de circuito eléctrico.

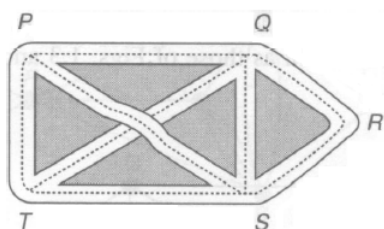


Figura 4.1 – Secção de um mapa de estradas e pontes (Picado, 2009, p. 53)

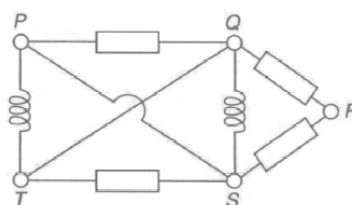


Figura 4.2 – Secção de uma rede eléctrica (Picado, 2009, p. 53)

Ambos os esquemas anteriormente indicados podem ser representados por meio de pontos e segmentos de recta através de um grafo.

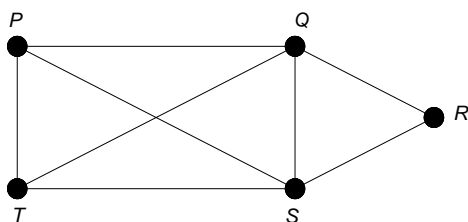


Figura 4.3 – Grafo representativo dos esquemas geométricos indicados nas figuras 4.1 e 4.2 (adaptado de (Picado, 2009, p. 53)).

Segundo Picado, um grafo simples  $G$ , consiste num conjunto finito e não vazio  $V(G)$  de elementos chamados vértices e num conjunto finito  $A(G)$  de pares não ordenados de elementos distintos de  $V(G)$ , chamados arestas, ou seja, ainda que possam existir grafos compostos apenas por vértices, não é admissível a existência de grafos formados apenas por arestas.

Dois vértices  $a$  e  $b$  de  $G$  dizem-se adjacentes se o par  $\{u; v\}$  pertence a  $A(G)$ . Habitualmente representa-se um grafo simples  $G$  por um diagrama no qual os vértices são representados por pontos e as arestas por linhas unindo vértices adjacentes (Picado, 2009).

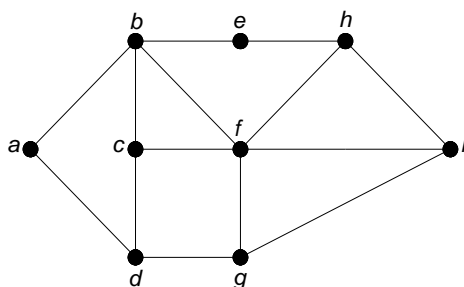


Figura 4.4 – Exemplo de um grafo simples  $G(V,A)$  (adaptado de (Picado, 2009, p. 54)).

O diagrama indicado na figura acima, representativo de um grafo simples  $G(V,A)$ , pode ser definido por:

- Um conjunto de vértices:  $V(G) = \{a, b, c, d, e, f, g, h, i\}$
- Um conjunto de arestas:

$$A(G) = \{(a, b), (a, d), (b, c), (b, e), (b, f), (c, d), (c, f), (d, g), (e, h), (f, g), (f, h), (f, i), (g, i), (h, i)\}$$

Em qualquer grafo simples, existe no máximo uma aresta unindo cada par de vértices. No entanto, muitos resultados envolvendo grafos simples podem ser estendidos a grafos mais gerais nos quais dois vértices podem ter várias arestas (arestas múltiplas) unindo-os. Podemos ainda remover a restrição que impõe que as arestas unam vértices distintos, admitindo lacetes, ou seja, arestas unindo um vértice a ele próprio. O grafo daí resultante, no qual lacetes e arestas múltiplas são admitidas, diz-se um pseudografo (Picado, 2009, p. 55).

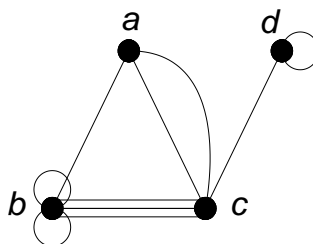


Figura 4.5 - Exemplo de pseudografo, com arestas múltiplas e lacetes (adaptado de (Picado, 2009, p. 55)).

Muitas vezes, na modelação de certos problemas torna-se conveniente considerar um sentido para as arestas, como por exemplo, na modelação de mapas de estradas com sentido único. As arestas de um grafo podem admitir uma direcção, tornando-o direccionado.

Um grafo dirigido  $D$  (ou, abreviadamente, dígrafo) consiste num conjunto finito não vazio  $V(D)$  de elementos chamados vértices, e num conjunto finito  $A(D)$  de arestas orientadas (eventualmente múltiplas), chamadas aros (adaptado de (Picado, 2009)).

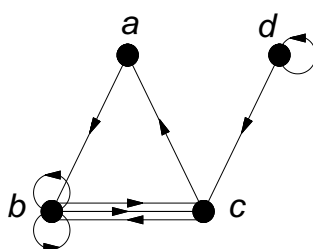


Figura 4.6 - Exemplo de um grafo dirigido (dígrafo), com lacetes (adaptado de (Picado, 2009)).

O grafo  $G$  ao qual se associem pesos numéricos aos seus vértices ou arestas, denomina-se ponderado ou paramétrico. Estes pesos ou ponderações, na prática, podem representar custos, distâncias, capacidades, oferta e procura, tempo, probabilidade, capacidade de carga, entre outros (Picado, 2009).

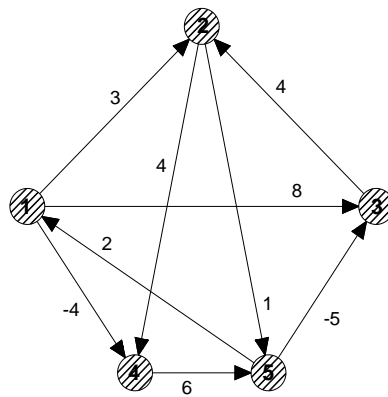


Figura 4.7 – Grafo  $G$  ao qual foram adicionados pesos aos arcos e fluxos às arestas, resultando numa rede  $(R(G,f))$ .

Para este trabalho em particular, a representatividade geométrica que o grafo transmite e a possibilidade de se poderem atribuir propriedades e pesos aos vértices e aos arcos, resultando numa rede que traduz a geometria e características de edificado do núcleo urbano de Faro, enquadra-se bem com as necessidades de resolução do problema proposto.

A atribuição de propriedades aos nós, para além das suas coordenadas planimétricas e altimétricas, possibilita admitir um presumível grau de dano e população residente e determinar os caminhos mais curtos até localizações seguras, apresentando uma solução óptima de evacuação, para toda a população afectada. Os arcos traduzem as vias de evacuação com pesos relativamente ao seu comprimento.

## 4.2 Criação da rede

A criação da rede é determinante para a implementação do plano de emergência, sendo necessária a sua elaboração sempre que se trate de um novo local de estudo.

A criação da rede pode ser dividida em três fases distintas. A primeira consiste na zonagem da rede urbana com características semelhantes às quais se podem aplicar padrões de comportamento iguais. Foi realizada de modo a formar uma rede menos densa, uma vez que a base fornecida pelo Sistema de Informação Geográfica (SIG) é demasiado extensa e minuciosa, originando zonas demasiado pequenas que prejudicariam o cálculo.

Os dados fornecidos pelo INE através de SIG possuem informação nas tabelas de atributos relativamente à demografia, número de pisos, data de construção dos edifícios, população presente, entre outros. A segunda fase consiste na identificação e criação dos pontos de refúgio, para determinação dos destinos a ter em conta numa primeira abordagem do algoritmo. A terceira fase consiste na modelação geométrica da rede urbana e criação da rede propriamente dita, utilizando o *software* de cálculo SCILAB como ferramenta de trabalho.

#### 4.2.1 Zonamento da rede urbana

O zonamento da rede urbana permitiu, antes da criação da rede propriamente dita, realizar alguns ajustes no sentido de reduzir o número de subsecções a avaliar, de forma a eliminar redundâncias e evitar cálculo computacional.

Relativamente ao *software* utilizado nesta fase, destaca-se o Quantum GIS e o gvSIG, na componente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), que permitiu a leitura dos dados fornecidos pelo CENSOS 2001. Estes dados para além da identificação das secções e subsecções que compunham o núcleo urbano em estudo, continha bastante informação desde número total de edifícios, número de edifícios de acordo com o material estrutural, número de edifícios por data de construção, população presente, entre muitos outros dados, embora estes sejam os que se revelam com maior interesse para este estudo em particular.

Neste seguimento, o *software* permitiu também a junção de várias subsecções e soma dos seus dados estatísticos, permitindo a elaboração de uma zonagem com menor definição em termos geométricos, mas suficiente para criar uma rede que define com rigor as características construtivas de cada conjunto de subsecções e suas principais vias de evacuação.

Assim sendo, com base nos dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Estatística (CENSOS 2001), e através de ferramentas de SIG acima referidas, foram seleccionadas as subsecções do município que correspondiam à área em estudo. No total, existiam inicialmente 321 subsecções que compunham este núcleo urbano.

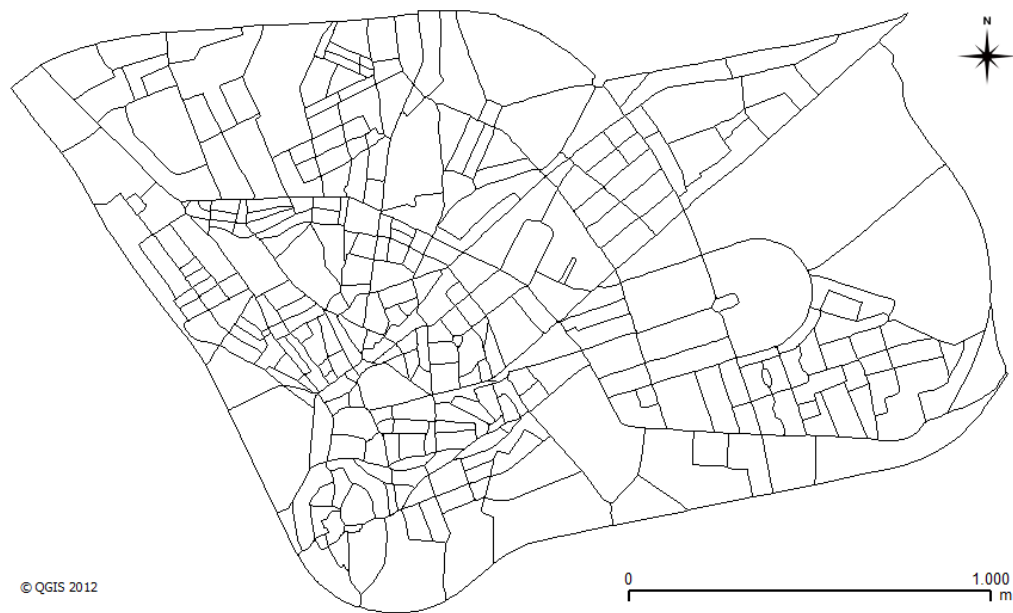


Figura 4.8 - Subsecções constituintes da zona em estudo no seu estado inicial - núcleo urbano da cidade de Faro (SIG).

As subsecções adjacentes que de alguma forma possuíam características construtivas semelhantes e sendo demasiado pequenas, foram unidas, de modo a formar uma rede de menor dimensão, com 81 novas secções.

A constituição da nova rede resulta da aplicação da zonagem da área urbana realizada de acordo com a homogeneidade do parque edificado, parâmetros de altitude e existência das principais redes viárias. Todas subsecções adjacentes com semelhanças em termos de tipologias estruturais, número de pisos e grau de conservação foram unidas, para se conseguir a representatividade desejada, sem perder o rigor. Na prática, as novas subsecções correspondem a quarteirões que foram reunidos por grupos.

Os dados das tabelas de atributos de cada subsecção unida foram, através de SIG, somados e exportados para uma nova tabela de atributos, que contém os dados desta nova rede.

Após a conclusão desta fase, determinaram-se os centróides de cada um destes novos polígonos, aos quais se farão corresponder os nós da rede a criar. Os arcos serão criados com base na existência de vias com características razoáveis à evacuação da população, partindo do pressuposto que estes arcos representam todas as ligações reais entre duas zonas contíguas.

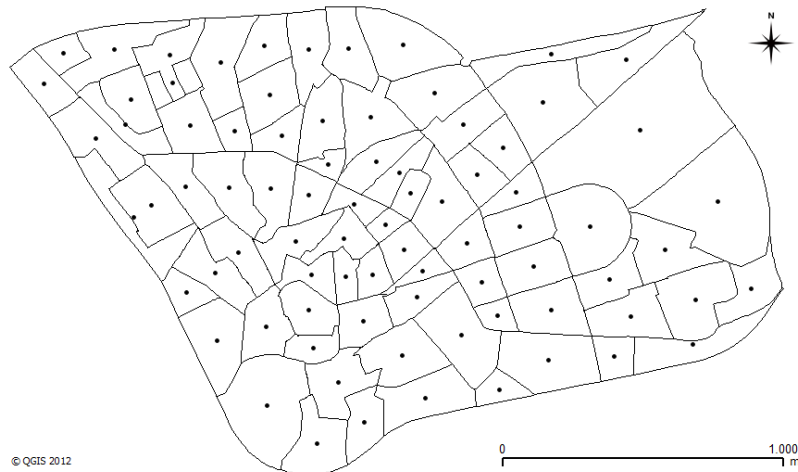


Figura 4.9 – Novas secções homogêneas e respectivos centróides - núcleo urbano da cidade de Faro (SIG).

Obtidos os centróides foram então determinadas através do Quantum GIS as suas coordenadas planimétricas e adicionadas à tabela de atributos. As coordenadas altimétricas foram obtidas através da sobreposição do mapa da zona de estudo com a indicação dos centróides sobre os mapas satélite do Google Earth.

Estabelecida a configuração da rede, são eleitos os pontos de refúgio ou resgate.

#### 4.2.2 Pontos de refúgio

Os pontos de refúgio ou de resgate, são nós considerados seguros, em locais e/ou edifícios com vários pisos que tenham resistido aos efeitos sísmicos, desde que possuam cota acima da altura estimada de impacto em caso de *tsunami*, ou ainda que possuam espaço amplo para o caso de réplica de sismos possibilitando a montagem de zonas de abrigo e assistência médica.

Estes locais foram identificados utilizando os seguintes critérios:

1. Devem afastar o mais rapidamente a população da zona costeira.
2. Devem ser preferencialmente locais com cota topográfica elevada ou edifícios recentes de estrutura de betão armado, com mais de quatro pisos.
3. A proximidade máxima às principais zonas de aglomeração de população não devem exceder os 300 metros, (entre 3 a 5 minutos para a evacuação até ao refúgio).

4. Os locais e edifícios declarados como pontos de refugio devem possibilitar a alocação de um elevado número de pessoas, ainda que um curto período de tempo, no seu espaço ou pisos acima da cota de inundação. No caso dos edifícios, estes devem estar dotados de mecanismos de alerta que desbloqueie as portas da entrada e caixa de escadas, incluindo terraços acessíveis, de modo a permitir a ascensão da população em perigo aos pisos superiores.
5. As escolas e lotes de terreno amplos sem construção são também declarados pontos de refúgio uma vez que permitem a alocação de um elevado número de população num curto espaço de tempo. Numa fase posterior, podem também permitir a montagem de zonas de abrigo e assistência médica.

Neste sentido foram seleccionados os seguintes pontos de refúgio dentro da zona em estudo:

Tabela 4.1 – Enumeração e descrição dos pontos de refúgio eleitos para inclusão no algoritmo.

	Nº Nó SIG	Nº Nó SCILAB <sup>1</sup>	Descrição do ponto de refúgio	Cota altimétrica (m)
<b>PR1</b>	18	19	Escola do Ensino Básico 2,3 Dom Afonso III	+18
<b>PR2</b>	76	77	Lote terreno com cerca de 0,8 hectares	+23
<b>PR3</b>	10	11	Hospital de Faro	+24
<b>PR4</b>	19	20	Estádio do Sporting Clube Farense	+24
<b>PR5</b>	32	33	Largo do Carmo	+19
<b>PR6</b>	55	56	Edifícios habitacionais recentes com mais de 5 pisos	+18
<b>PR7</b>	56	57	Edifícios habitacionais recentes com mais de 5 pisos	+20
<b>PR8</b>	42	43	Edifícios habitacionais recentes com mais de 5 pisos	+23
<b>PR9</b>	15	16	Lote terreno amplo com cerca de 9 hectares	+24
<b>PR10</b>	49	50	Escola Secundária João de Deus	+37
<b>PR11</b>	28	29	Lote terreno amplo com cerca de 3 hectares	+23
<b>PR12</b>	65	66	Escola Secundária Tomás Cabreira e Jardim da Alameda João de Deus	+16
<b>PR13</b>	5	6	Muralhas e Parque de Estacionamento do Largo de São Francisco	+7

Em seguida encontra-se uma figura com a planta da zona de estudo e localização dos pontos de refúgio (PR) e em anexo (Figura A.1) a mesma planta com indicação dos raios de 300 metros de distância aos pontos de refúgio.

<sup>1</sup> A numeração dos nós em SCILAB é dada por  $n+1$ , sendo  $n$  a sua identificação em SIG, uma vez que o *software* de análise SIG considera a primeira secção como sendo a número 0 (zero), e no SCILAB a enumeração do número de nós inicia-se no número 1.



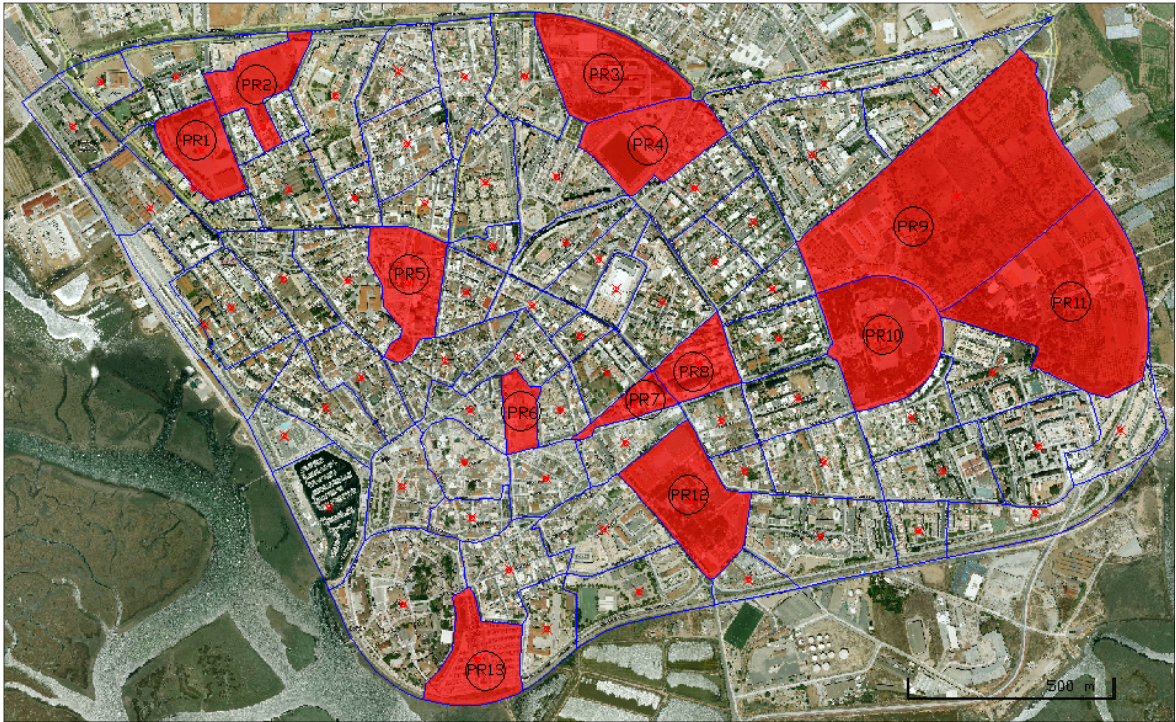


Figura 4.10 – Vista satélite da zona urbana em estudo, com identificação dos pontos de refúgio (PR).

Os pontos de refúgio (PR) acima indicados serão identificados nos dados de entrada dos nós na construção do grafo inicial.

#### 4.2.3 Modelação geométrica da zona urbana

A criação da rede consistiu na modelação geométrica da rede urbana recorrendo ao SCILAB, um *software* de cálculo de programação de cariz matricial. É uma alternativa *open-source* ao conhecido MATLAB, permitindo carregar *toolboxes* auxiliares de cálculo, onde se inclui o Metanet, ferramenta indispensável para criação e interpretação de problemas em redes genéricas.

Relativamente à referenciação geográfica, foi utilizado o sistema Hayford Gauss Militar, através das coordenadas rectangulares militares (x,y), obtidas directamente do Quantum GIS, sem necessidade de transformação, consequentemente facilitando também a implementação da geometria da rede no *software* SCILAB.

Reunidas todas as coordenadas e parâmetros caracterizadores de cada nó e arco, estes foram carregados para o *software*. O grafo foi criado com base no número de nós, e um vector de origens e outro de destinos. Após a criação da rede, foram atribuídas todas as propriedades geométricas (coordenadas planimétricas e altimétricas) e restantes pesos a todos os seus nós (graus de dano, população presente e identificação de ponto de refugio) e arcos (comprimentos), obtendo-se a rede que serve de base ao desenvolvimento e estudo do algoritmo.

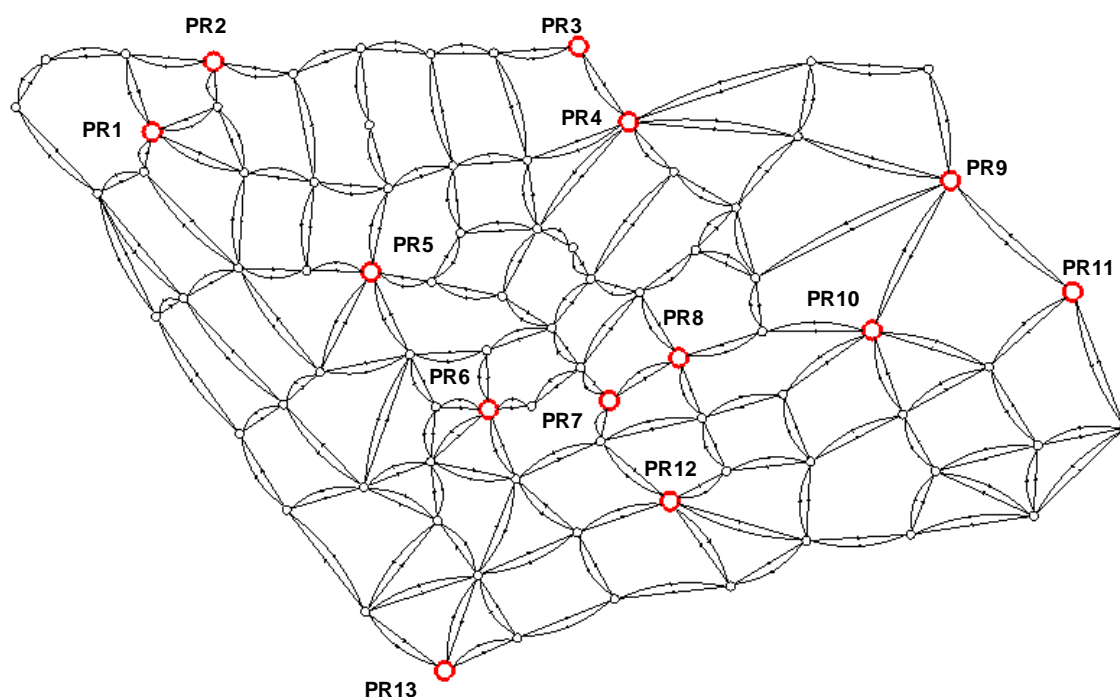


Figura 4.11 – Grafo direccional gerado em SCILAB, representativo do núcleo urbano da cidade de Faro com indicação dos pontos de refúgios pré-seleccionados. Os nós de maior diâmetro (a preto) representam os pontos de refúgio, os nós de menor diâmetro (a preto) representam os centróides das restantes subsecções e as arestas direccionais, as direcções possíveis de evacuação.

O algoritmo corresponde à aquisição dos dados e criação da rede em SCILAB pode ser consultado na Tabela 4.3 no sub-capítulo 4.3.1.1.

### 4.3 Construção do algoritmo

Após a recolha de toda a informação necessária para a resolução do problema ao nível de análise simplificada de vulnerabilidade do parque edificado de Faro, seguida da construção da rede urbana com recurso a esses dados, passou-se à fase determinante que consta da criação do plano de evacuação.

Tem como principal objectivo a determinação de uma solução óptima de rotas de emergência para a população presente nos nós afectados pela onda marítima até aos pontos de refúgio, primeiramente segundo um critério de proximidade, e numa segunda abordagem, rotas de emergência segundo um critério de custos que ponderam os seguintes características; proximidade, cota superior à altura da onda, baixo grau de dano pós-sismo e espaço de ocupação.

O algoritmo segue o diagrama indicado na Figura 4.12.



Figura 4.12 – Diagrama de cálculo do algoritmo de emergência.

Os dados de entrada do algoritmo estão concentrados em dois ficheiros csv: um (0\_AE\_data\_nodes.csv) para os dados dos nós - área, coordenadas planimétricas (militares) e altimétricas, população presente, grau de dano estimado e indicação de refúgio – e outro (0\_AE\_data\_edges.csv) para as arestas, com informação dos nós de origem e nós de destino. Esta fase deu origem à rede urbana caracterizada anteriormente que serve de base ao estudo e desenvolvimento do algoritmo. Os ficheiros de dados de entrada podem ser analisados em anexo (Tabela A.9 e

Tabela A.10).

Durante o processamento, a aplicação do algoritmo de emergência depende, para além de toda a rede caracterizada, de duas variáveis essenciais à resolução do problema: o tempo de chegada e altura da onda marítima, sendo este último essencial para identificar os nós afectados. Após esta determinação de área inundada o algoritmo procede, através de duas abordagens, faseadas, à determinação das rotas de emergência.

O algoritmo respeita o seguinte esquema fundamental, que será descrito detalhadamente adiante.

Tabela 4.2 - Algoritmo 1 - Esquema fundamental do algoritmo de emergência.

- |   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. Aquisição dos dados e criação da rede</li><li>2. Processamento para obtenção das rotas de emergência<ol style="list-style-type: none"><li>2.1. Determinação de rotas de emergência dentro da área de segurança</li><li>2.2. Determinação de rotas de segurança fora da área de segurança<ol style="list-style-type: none"><li>2.2.1. Aplicação do método do custo mínimo na determinação de rotas de emergência</li></ol></li></ol></li><li>3. Obtenção de resultados (grafos e ficheiros csv)<ol style="list-style-type: none"><li>3.1. Identificação de rotas de emergência e relatório final de simulação</li></ol></li></ol> |
|---|

Determinadas as soluções óptimas de rotas de evacuação, estas são exportadas para ficheiros csv, gerando um relatório final de simulação.

#### 4.3.1 Primeira fase

A primeira fase do algoritmo de emergência consiste na criação da rede e determinação das rotas de emergência através dos caminhos mais curtos, os quais dependem apenas das distâncias entre nós. Estas rotas de emergência serão determinadas para todos os nós que se encontrem dentro do raio de segurança, o qual se define como sendo a distância possível de percorrer (à velocidade de 1 m/s) durante o tempo de evacuação.

#### 4.3.1.1 Aquisição dos dados e criação da rede

Tabela 4.3 - Algoritmo 2 - Aquisição dos dados e criação da rede.

1. Leitura dos ficheiros que contêm os dados de entrada (nós e arestas)
2. Criação dos vectores de origens e destinos
3. Criação da rede base
4. Afectação dos dados aos nós da rede
5. Afectação dos dados às arestas da rede
6. Identificação dos pontos de refúgio

Analisando o ponto 1 do algoritmo 1, este pode ser particularizado de acordo com o algoritmo 2, em que se processa, de um modo geral, à leitura dos dados de entrada, criação do grafo e afectação de propriedades aos objectos do grafo.

Este algoritmo deu origem à rede urbana caracterizada anteriormente na Figura 4.11.

#### 4.3.1.2 Processamento para obtenção das rotas de emergência dentro da zona de segurança

Para a fase de processamento, correspondente ao ponto 2 do esquema fundamental, são determinantes os parâmetros de entrada do problema: o tempo de chegada (minutos) e a altura da onda marítima (metros). O processamento do algoritmo de emergência depende, para além da caracterização da rede, destas duas variáveis.

Esta abordagem consiste em, primeiro lugar, na determinação dos nós afectados pela altura da onda, posteriormente, na determinação das rotas de emergência até aos pontos de refúgio pré-definidos para os cidadãos que se localizem num raio de proximidade em função do tempo útil de evacuação.

Após a introdução das variáveis tempo de chegada e altura da onda que servem de enunciado ao problema, é possível gerar uma simulação da rede urbana de Faro afectada por uma onda *tsunami* de 15 metros. Os valores utilizados na demonstração do processamento do algoritmo de emergência são meramente académicos.

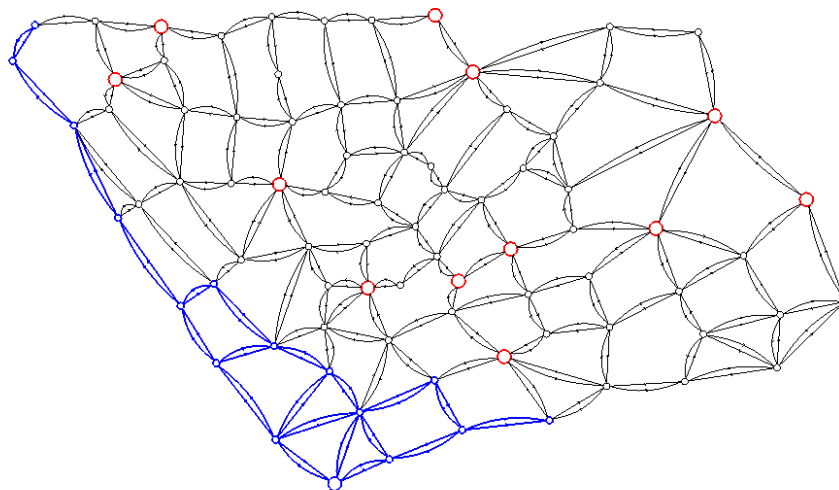


Figura 4.13 – Simulação da rede urbana de Faro afectada por uma onda *tsunami* de 15 metros. As arestas de maior espessura (a azul) correspondem à zona afectada pela altura da onda. Os nós de maior diâmetro (a vermelho) indicam os pontos de refúgio.

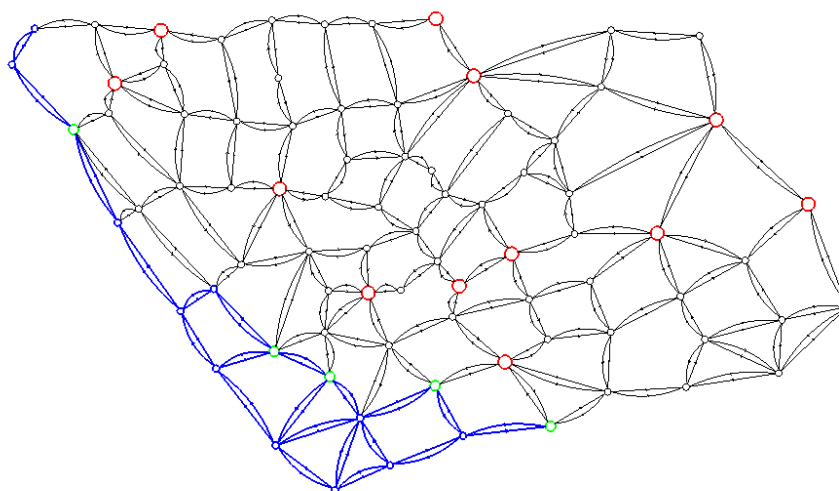


Figura 4.14 – Identificação dos nós afectados pela altura da onda de *tsunami* (a azul) e dos nós que dentro desta área afectada conseguem ser evacuados em segurança (a verde), dentro do tempo de chegada da onda. Note-se que os pontos de refúgio afectados pela altura da onda de *tsunami*, passam a nós afetados, deixando de ser ponto de destino possível para evacuação.

O algoritmo 3 admite os parâmetros do problema e executa o procedimento indicado na Tabela 4.4, para os nós dentro da zona de segurança.

Tabela 4.4 - Algoritmo 3 - Processamento para obtenção das rotas de emergência dentro da área de segurança.

1. Admissão dos parâmetros do problema: tempo de chegada em minutos ( $t_1$ ) e altura da onda em metros ( $h_1$ )
2. Se altura da onda ( $h_1$ ) for maior que a cota mínima dos nós:
  - 2.1. Determinar os nós afectados
  - 2.2. Determinar as arestas afectadas
  - 2.3. Cálculo da população e área afectadas
  - 2.4. Determinação da zona de segurança
  - 2.5. Identificação dos pontos de refúgio fora da zona afectada
  - 2.6. Determinação do caminho mais curto entre os nós afectados e os pontos de refúgio
  - 2.7. Se a distância a percorrer for inferior à distância da zona segurança então:
    - 2.7.1. Identificação dos nós afectados dentro da zona de segurança
    - 2.7.2. Determinação da população máxima admissível em cada nó
    - 2.7.3. Determinação das distâncias de segurança, por ordem crescente, até ao ponto de refúgio
    - 2.7.4. Estimar envio de população para os refúgios por ordem crescente de distâncias
    - 2.7.5. Simular os movimentos de evacuação da população
    - 2.7.6. Apresentação dos resultados estatísticos

O algoritmo apenas realiza o cálculo se a altura da onda marítima for superior à cota mínima dos nós constituintes da zona urbana. Se a cota de dado nó for inferior à altura da onda então esse nó é considerado afectado. Para a determinação das arestas afectadas, se o nó de início (head) e o nó de fim (tail) de cada aresta, possuírem cota inferior à altura da onda então essa aresta é considerada afectada. O cálculo da população e área afectadas é realizado através da soma dos respectivos parâmetros para o vector que contém todos os nós afectados.

A determinação da distância desde os pontos de refúgio até aos limites das zonas de segurança é obtida através da multiplicação da velocidade estimada de evacuação (em metros por minuto) pelo tempo de chegada (em minutos). Sobre todos os pontos de refúgio, são criados virtualmente, círculos de segurança de raio igual à distância anteriormente determinada, os quais se consideram que contêm os nós que se encontram dentro da zona de segurança.

É tomada como garantida uma velocidade média de deslocação de um ser humano de 1 m/s, considerando apenas a evacuação pedestre, excluindo-se assim a utilização de automóveis. Pressupõe-se que as pessoas dentro deste anel de segurança conseguem chegar aos pontos de refúgio dentro do intervalo de tempo de chegada da onda.

A identificação dos pontos de refúgio é executada de acordo com os dados de entrada do problema, mais propriamente, com a caracterização dos nós, onde se identificam quais os pontos de refúgio pré definidos.

A determinação do caminho mais curto é feita através da função *shortest path* incluída na *toolbox* Metanet. O algoritmo intrínseco nesta função foi desenvolvido por Dijkstra em 1959 e soluciona o problema da determinação do caminho mais curto numa rede com arestas de peso não negativo, como é o caso de problemas de transportes, onde normalmente os pesos se referem a tempos ou distâncias.

Com base nesta função foram determinadas todas as distâncias que envolvem os caminhos mais curtos entre os nós afectados e os pontos de refúgio pré estabelecidos. Caso as distâncias calculadas sejam inferiores à distância do raio de segurança, são identificados estes nós, e é simulada a movimentação das populações aí presentes para os destinos, por ordem crescente de distâncias.

As populações máximas admissíveis consideradas, permitem apenas verificar a validade das movimentações em termos numéricos, porque na realidade, ainda que se julgue que deverá existir mais espaço de ocupação do que foi estimado, estes valores de ocupação populacional não possuem qualquer origem científica. Foi considerado que os pontos de refúgio teriam uma população máxima de 1 milhar de habitantes a somar aos presentes, e os todos os restantes nós, meio milhar de habitantes a adicionar à população presente.

As movimentações são calculadas da seguinte forma: a população do ponto de refúgio é dada pela soma da população presente neste nó a somar à população enviada para este mesmo ponto. Se o local de refúgio permitir alocar toda a população do nó de origem, então este deverá ficar com população nula. Se a população do nó de origem superar a capacidade do refúgio, então caberá ao algoritmo enviar apenas o número de indivíduos suficientes para lotar os lugares, ficando o nó de origem com a população remanescente por encaminhar. O processo de reencaminhamento da população ficará concluído assim que todos os nós abrangidos nesta abordagem sejam evacuados ou os pontos de refúgios fiquem lotados com a população presente.



Para a apresentação das rotas de emergência, foi elaborado um esquema de cores e espessuras das rotas de emergência, ao qual se relaciona o tempo de evacuação. Assim para todas as rotas de emergência inferiores a 1/3 do raio de segurança, é atribuída a cor azul ciano de maior espessura, às superiores a 1/3 do raio de segurança, é atribuída a cor vermelha e menor espessura, ficando as rotas intermédias com a cor verde e espessura média.

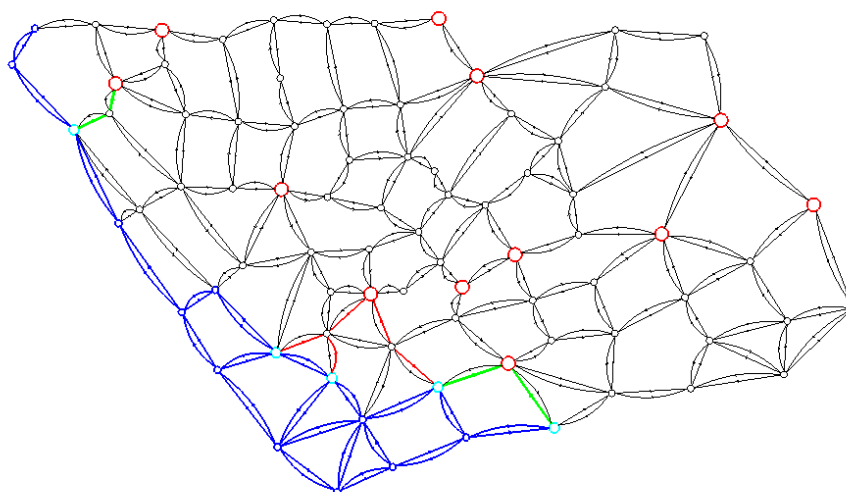


Figura 4.15 – Resultado da simulação para a rede urbana de Faro, de uma onda de *tsunami* de 15 metros e 6 minutos de tempo de evacuação. As rotas de emergência possuem uma hierarquia de espessuras que correspondem ao tempo de evacuação, quanto maior for a espessura menor será o tempo de evacuação. As rotas a ciano (de maior espessura) correspondem aos caminhos mais curtos, a verde aos intermédios e a vermelho (de menor espessura), os caminhos mais longos.

Para os nós remanescentes, ou seja, os afectados pela onda marítima mas não absorvidos pelo círculo de segurança, e existindo população por movimentar, é aplicado o algoritmo 4.

#### 4.3.2 Segunda fase

##### 4.3.2.1 Processamento para obtenção das rotas de emergência fora da zona de segurança

O algoritmo 4 compreende o processamento para obtenção das rotas de emergência fora da área de segurança. Proceda a uma abordagem de selecção de rotas de emergência até aos pontos de refúgio, eleitas automaticamente pelo algoritmo em função de uma formulação de ponderação de custos, que através da aplicação do método do custo mínimo, resulta num conjunto de soluções óptimas de movimentação.

O método do custo mínimo é frequentemente aplicado a problemas de transportes em que se pretende minimizar o custo total. Para este caso em particular, o custo refere-se a um coeficiente que relaciona a distância e características do nó de destino. O custo mínimo entre um determinado nó de origem e um outro nó de destino corresponderá a um ponto de refúgio. No mesmo contexto do problema de transportes, as populações podem ser consideradas como sendo os bens a transportar, integrando-se bem na necessidade de resolução do problema no que toca à alocação e distribuição da população.

Tabela 4.5 - Algoritmo 4 - Processamento para obtenção das rotas de emergência fora da área de segurança.

1. Actualizar informação gráfica remanescente
2. Estimar os parâmetros iniciais (população, nós a salvar)
  - 2.1. Determinação de população nos nós a evacuar
  - 2.2. Determinação de inclinação média do terreno por metro
3. Construção das matrizes de custos/pesos segundo formulação de ponderações de pesos
4. Aplicação do método do custo mínimo na determinação das rotas de emergência
5. Apresentação dos resultados gráficos e estatísticos

#### 4.3.2.2 Construção da matriz de pesos segundo formulação proposta

Para se poder aplicar o método do custo mínimo foi criada uma matriz de pesos (nós origem por de nós destino) em que foram ponderadas as características altimétricas, grau de dano e distancias aos nós de destino, em busca dos que possam oferecer um custo mínimo, que na prática se reflecte num destino mais perto, com maior cota e menor grau de dano. Os nós de destino a considerar serão aqueles que possuírem menores custos associados à movimentação de toda a população presente nos nós.

Para a criação da matriz de custo foi idealizada uma formulação empírica para obtenção dos custos correspondentes aos caminhos entre nós de origem e destino. A equação 4.1 pondera a normalização da soma de 25% da razão entre a distância até ao nó de destino e a inclinação média do terreno da zona em estudo, explicada adiante, 25% do grau de dano do nó de destino e 50% da inversa da cota altimétrica do nó de destino. Trata-se de um expressão obtida por tentativa e erro, na qual se pretendem minimizar cada uma as parcelas.

$$\begin{aligned}
\text{Custo}(\text{nó\_origem}, \text{nó\_destino}) = & \frac{1}{4} \frac{\frac{\text{distancia\_evacuação}(\text{nó\_origem}, \text{nó\_destino})}{\text{inclinação\_terreno}}}{\text{distancia\_max\_evacuação}} + \\
& + \frac{1}{4} \frac{\text{dano}(\text{nó\_destino})}{\text{distancia\_max\_evacuação}} + \frac{1}{2} \frac{1}{\text{distancia\_max\_evacuação}} \frac{\text{cota}(\text{nó\_destino})}{\text{distancia\_max\_evacuação}}
\end{aligned} \tag{4.1}$$

A primeira parcela encontra uma relação entre a distância a percorrer com a inclinação média obtida através das cotas altimétricas máximas e mínimas da zona em estudo. Esta operação permite desde logo uma redução do peso desta parcela, ainda antes da normalização pelo caminho mais longo, uma vez que se tratam de valores com ordem de grandeza muito superiores ao grau de dano e cota altimétrica. A parcela da distância de evacuação demonstrou, durante as fases de testes, um peso demasiado elevado relativamente às restantes e a relação com a inclinação permitiu atenuar esta tendência. A segunda parcela contabiliza o grau de dano do nó de destino, e para a terceira parcela contabiliza a contribuição da cota altimétrica do nó de destino. Os pesos de cada uma das parcelas foram atribuídos de forma a dar particular relevância à cota altimétrica.

A matriz de pesos entre origens e destinos é obtida através da aplicação da equação 4.1, respectivamente. Gerada a matriz é aplicado o método de custo mínimo, recorrendo a uma função realizada em SCILAB, de acordo com o algoritmo 5.

Tabela 4.6 - Algoritmo 5 – Função método do custo mínimo.

1. Enquanto existirem custos positivos, por ordem crescente até preencher todas as células da matriz
  - 1.1. Encontrar o menor custo unitário e atribuir do maior número de pessoas ao nó de destino correspondente
  - 1.2. Preencher com zeros a linha ou coluna satisfeita
  - 1.3. Ajustar os elementos da linha ou coluna não satisfeita a partir da variável de menor custo
2. Apresentação dos resultados de evacuação e solução ótima

A função admite a matriz de custos, um vector linha que corresponde às populações máximas admitidas nos nós de destino e um vector de coluna que corresponde às populações que restam evacuar, procurando repetidamente pelo custo mínimo da matriz e anulando linhas e colunas até que toda a população seja evacuada, ou os refúgios atinjam a lotação máxima estimada. Este processo deverá conduzir a soluções óptimas de evacuação e alocação de população.

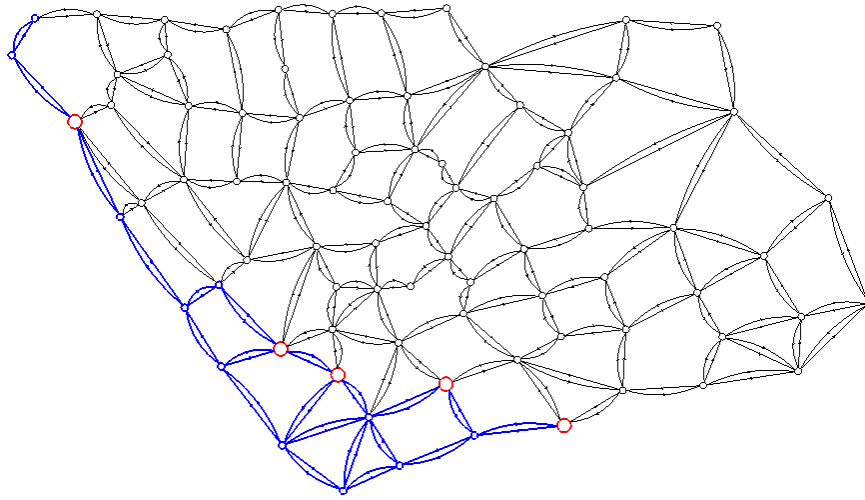


Figura 4.16 – Identificação dos pontos de refúgio eleitos através dos custos mínimos, resultado da segunda fase da simulação do algoritmo de emergência para onda de 15 metros e 6 minutos de tempo de evacuação. Os nós de maior diâmetro (a vermelho) são os nós seleccionados como destinos possíveis para a população afectada fora da zona de segurança.

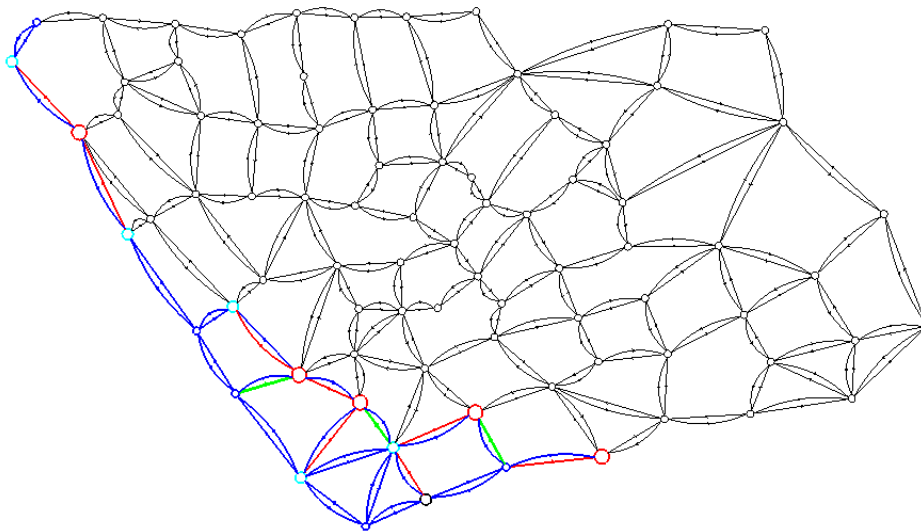


Figura 4.17 – Rotas de emergência geradas pela segunda fase de processamento do algoritmo de emergência. As rotas de emergência possuem uma hierarquia de espessuras que correspondem ao tempo de evacuação, quanto maior for a espessura menor será o tempo de evacuação. Os nós a ciano correspondem a nós evacuados na totalidade e os nós a castanho, os nós onde restam habitantes por evacuar.

### 4.3.3 Obtenção de resultados

A obtenção dos resultados gráficos e estatísticos pode ser feita de duas formas.

A primeira forma de obtenção de resultados pode ser pela linha de comandos do SCILAB, onde após a execução do algoritmo de emergência, se propõe a visualização dos grafos gerados e, em seguida, dos relatórios e rotas de emergência, conforme a introdução dos comandos apresentados (*RESULT*, *MOVIMENTOS1* e *MOVIMENTOS2*). Os comandos *MOVIMENTOS1* e *MOVIMENTOS2* permitem verificar os movimentos dos grupos de habitantes (entre os nós de origem e nós de destino), para a primeira e segunda fase respectivamente. Indicam também se existe espaço para alocação de toda população movimentada para cada uma das fases.

Tabela 4.7 - Exemplo de resumo de simulação obtido para onda de 15 metros e tempo de evacuação de 6 min. Este relatório pode ser obtido digitando *RESULT* na linha de comandos ou abrindo o ficheiro exportado correspondente aos dados de entrada.

<pre>RESUMO DA SIMULACAO  --- Dados de Entrada --- Altura da onda: 15 metros Tempo de evacuação/chegada da onda: 6 minutos  ----- Resultados ----- População afectada pela altura da onda: 2776 pessoas. Área afectada pela altura da onda: 59.0761 hectares. Percentagem de área afectada: 19.37359 %.  População dentro do raio de segurança e com lugar nos refúgios (NOS Ciano): 1223 pessoas. População a movimentar para os refúgios (1a FASE): 1223 pessoas. População dentro do raio de segurança sem lugar nos refúgios (NOS Castanhos): 0 pessoas. População fora do raio de segurança (NOS Azuis): 1553 pessoas.  É necessário correr a 2a Fase do programa pois existem 1553 pessoas na zona afectada para movimentar para locais mais seguros.</pre>
---

A segunda forma de obtenção dos resultados é através da leitura dos ficheiros exportados, quer ao nível dos grafos (ficheiros *\*.graph*), como também para os dados estatísticos dos relatórios (ficheiros *\*.csv*). Todos os grafos e relatórios obtidos na simulação são exportados para a mesma localização do ficheiro do algoritmo de emergência, e ordenados pelos dados de entrada, nomeadamente, metros e minutos.

Tabela 4.8 - Exemplo de simulação de movimentos para a primeira abordagem de cálculo do algoritmo. Este resultado pode ser obtido digitando *MOVIMENTOS1* na linha de comandos ou abrindo o ficheiro exportado correspondente aos dados de entrada.

RESUMO DE SIMULACAO MOVIMENTOS - 1a Fase

--- Dados de Entrada ---

Altura da onda: 15 metros

Tempo de evacuação/chegada da onda: 6 minutos

450 pessoas encaminhadas do NO 26 para o nó de refugio 19.

352 pessoas encaminhadas do NO 73 para o nó de refugio 66.

22 pessoas encaminhadas do NO 3 para o nó de refugio 66.

226 pessoas encaminhadas do NO 2 para o nó de refugio 56.

173 pessoas encaminhadas do NO 67 para o nó de refugio 56.

NO 73 já evacuado. Toda a população deste NO se encontra a salvo.

População movimentada para os refúgios: 1223 pessoas.

Existem lugares suficientes nos refúgios para alojar toda a população em risco.

Após o desenvolvimento do algoritmo de emergência foi estabelecido para a rede urbana caracterizada um cenário de chegada de onda de *tsunami* com de 12 metros de altura, enquadrado dentro dos limites propostos por Baptista para a região algarvia, para o caso mais desfavorável. A análise e discussão de resultados são realizadas no capítulo seguinte.

## 5. RESULTADOS

A aplicação do método macrossísmico é bastante acessível do ponto de vista da facilidade com que podem ser recolhidos os dados em campo tendo em conta a escala do levantamento, pelo que se acredita ser uma boa ferramenta na elaboração de planos de risco sísmico, para diferentes intensidades sísmicas.

Relativamente ao cálculo do grau de dano para conjuntos de edifícios que compõem as zonas, observa-se que a determinação destes valores através dos dados estatísticos fornecidos seja de alguma complexidade, nomeadamente na interligação entre os dados dos campos fornecidos pelo CENSOS 2001. A razão desta complexidade assenta no facto em que não existe qualquer relação entre os dados dos campos, como por exemplo, a dificuldade em interligar o número de edifícios em betão armado ao número médio de pisos apenas para esta tipologia.

Relativamente à análise simplificada de vulnerabilidade do núcleo urbano da cidade de Faro, os graus de dano estimados no levantamento são frequentemente superiores aos calculados através do CENSOS 2001. Esta estimativa de distribuição de dano deveria ser comparada com os graus de dano estimados com os novos dados estatísticos obtidos com o CENSOS 2011, de forma a observar as variações obtidas, que no caso de existirem, dever-se-á determinar a causa desta discrepância.

Quanto ao algoritmo de emergência, de modo geral, cumpre o objectivo estipulado inicialmente. Permite a identificação e das zonas e populações afectadas, propondo rotas de evacuação, primeiramente em função das distâncias aos destinos pré-estabelecidos e em segundo lugar, em função da distância a percorrer, do grau de dano e cota altimétrica dos vários destinos possíveis.

Relativamente às análises de resultados efectuadas, observa-se que se o tempo de evacuação for demasiado longo, não existe lugar a uma segunda abordagem uma vez que a população possui tempo suficiente para se movimentar até aos pontos de refúgio, a menos que não existam lugares para alocar toda a população (refúgios cheios). Se pelo contrário, o tempo de evacuação for demasiado curto, na ordem dos 1 a 3 minutos, poderão não ser detectados pontos de refúgio perto dos nós afectados e o algoritmo não sugere rotas de evacuação e finaliza.

Foram realizadas simulações para os potenciais impactos de ondas de 12m de altura mas é possível definir vários cenários, obviamente com diferentes impactos. A escolha desta altura de onda para a simulação prende-se com o facto de ser um valor conservativo pela pior das hipóteses e se situar dentro do intervalo proposto por vários autores relativamente ao evento de 1755 para o Algarve. Para esta amplitude de onda, a área do núcleo urbano afectada ronda os 10%, sendo a população presente afectada na ordem dos 400 habitantes.

Para a mesma altura de onda e variando o tempo de chegada, é possível verificar a população abrangida pelas rotas de evacuação de acordo com as duas fases de processamento. Como seria de esperar, conforme se reduz o tempo de evacuação menor será o número de habitantes com probabilidade de atingir localizações seguras.

Tabela 5.1 - Resultado da simulação do algoritmo de emergência para ondas de 12 metros de altura.

Altura da onda	Percentagem de área afectada	Tempo de chegada (minutos)	População evacuada		
			1ª Fase	2ª Fase	Total
12 m	9,29 %	10	382	0	382
		9	47	335	382
		8	47	124	171
		7	0	124	124
		6	0	0	0

Verifica-se que caso o tempo de chegada seja igual ou superior a 10 minutos, a evacuação de toda a população afectada é realizada dentro do tempo previsto na primeira fase de execução do algoritmo, ou seja, até aos pontos de refúgio estipulados, havendo lugar para todos os residentes da área afectada.

Para tempos de chegada abaixo de 9 minutos, o processamento das rotas de evacuação contempla as duas fases, uma vez que não é possível garantir a movimentação da totalidade da população afectada logo na primeira fase até aos pontos de refúgio. Ainda assim, toda a população afectada consegue ser evacuada nas duas fases, dados os 9 minutos de evacuação.



Para tempos de chegada de 8 minutos, menos de metade da população afectada será evacuada a tempo. No caso de tempo de evacuação igual a 7 minutos, não há lugar ao processamento da primeira fase, uma vez que a população atingida se encontra fora do raio de segurança de evacuação. Na pior das hipóteses, os 6 minutos de evacuação serão insuficientes para a desmobilização da população presente até aos locais estipulados como seguros.

De modo geral, e segundo o algoritmo de emergência desenvolvido, para tempos de evacuação acima de 16 minutos, mesmo para alturas de onda entre 15 e 20 metros (casos extremos), é possível evacuar toda a população da zona afectada até aos refúgios e nós eleitos como sendo seguros.

Analisando os resultados obtidos ao fim de várias simulações, verifica-se que a matriz de custos gerada pela aplicação da fórmula 4.1, conduz a mínimos que ocupam frequentemente a mesma posição (linha/coluna) que os mínimos da matriz de distâncias original. Este facto conduz a rotas de evacuação que se assemelham às rotas atribuídas pelo critério de distância ao destino. Pode ser explicado pela diferença da ordem de valores entre as distâncias a percorrer (na ordem das centenas de metros) e as cotas e graus de dano (na ordem das unidades), ainda que tenham sido introduzidos factores redutores para forçar a diminuição desta parcela. Esta tendência foi minimizada tanto quanto possível, através da introdução de uma normalização pelo caminho mais longo a percorrer, entre o nó de origem e destino mais afastados. No entanto, os pesos de ponderação entre as parcelas tendem para contribuir pouco face à parcela das distâncias entre nó de origem e destino.

Na matriz de custos obtida através da fórmula, o posicionamento dos valores mínimos pode também variar se as distâncias possuírem valores semelhantes, deixando o grau de dano e a cota ganhar expressão numérica na obtenção desse mesmo custo. Exceptuam-se os casos em que os destinos possuam danos e cotas demasiados elevados, onde a fórmula ganha sensibilidade face a estes parâmetros.

Após o estudo e desenvolvimento do presente algoritmo, verifica-se que a sua utilização pode constituir uma importante ferramenta tanto na determinação de rotas de emergência para casos reais, como por outro lado, uma ferramenta de simulação que ajude a perceber quais são as áreas do núcleo urbano de maior perigosidade relativamente ao impacto de um *tsunami*.

A simulação para vários cenários de altura e tempo de chegada da onda poderá identificar as ruas com maior fluxo populacional aquando do processo de evacuação, prevendo inclusive após análises mais detalhadas, o congestionamento destas vias de transporte.

## 6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A elaboração do presente trabalho implicou uma interacção entre diferentes campos científicos nomeadamente a engenharia civil, a matemática e a informática, que acabaram por ser complementares. Esta sinergia resultou num trabalho exaustivo desde a necessária investigação preliminar passando pela recolha e análise de dados caracterizadores da vulnerabilidade do parque edificado até à concepção do algoritmo de emergência, com o objectivo final de gerar rotas de emergência seguras em seio urbano aquando de um alerta de *tsunami* e num cenário pós sismo de intensidade X.

O resultado final foi atingido com sucesso, tendo sido cumprido o estipulado para o algoritmo de emergência. Demonstrou-se como se podem utilizar processos determinísticos baseados em redes para resolver problemas de evacuação através de processos fáceis, procedendo a simulações rápidas de evacuação em caso de *tsunami*, ou outros acidentes.

A facilidade e rapidez de utilização do algoritmo de emergência criado em SCILAB, possibilita várias simulações de acordo com os dados de entrada, permitindo o aprofundamento do conhecimento das áreas de maior risco face ao impacto do *tsunami* e a aferição de rotas de evacuação a utilizar. Também o trabalho de análise de vulnerabilidade contribuiu, de entre outros, para a determinação das variações de vulnerabilidade características de cada tipologia, para esta região, ainda que conduzam a pequenas variações do grau de dano.

Em termos geográficos, constata-se que a cidade de Faro está num segundo patamar relativamente a outras cidades algarvias no que respeita ao risco perante a ameaça de um *tsunami*. O efeito barreira criado pelas ilhas e a baixa profundidade das águas da Ria Formosa que banham a baixa de Faro diminuem a força gerada pelas ondas marítimas.

Para que a cidade de Faro seja atingida por ondas com mais de 10 metros, é necessário que a libertação de energia seja imensa, significando que as várias cidades costeiras algarvias e nomeadamente as do barlavento, serão afectadas com ondas marítimas superiores a 12 metros. Ainda assim, este facto não inibe o desenvolvimento de programas de prevenção para a cidade de Faro, e que procedimentos idênticos possam ser aplicados a outros centros urbanos costeiros com risco mais elevado.

## 6.1 Conclusões

O planeamento de emergência poderá trazer inúmeras mais-valias numa situação de crise sísmica. A maior será, em primeira instância, o alívio do impacto da onda *tsunami* relativamente às populações presentes nas áreas afectadas, sendo a determinação de locais seguros determinante para o sucesso da operação de evacuação.

Nesta vertente conclui-se que o método macrosísmico segundo Lagomarsino e Giovinazzi (2006) se adapta com sucesso ao estudo pretendido. A forma expedita mas abrangente com que se determinam os índices de vulnerabilidade de um edifício ou conjunto de edifícios facilita a implementação do método, tendo em conta a escala do trabalho. Conclui-se que, com relativa facilidade, poderiam ser elaborados mapas de vulnerabilidade sísmica de acordo com este método, para a cidade de Faro, com base nos dados estatísticos do CENSOS 2011. Contudo, importa salientar que para as tipologias estruturais de alvenaria, a correcta identificação do material estrutural é de dificuldade acrescida em edifícios reabilitados e bem conservados. No levantamento deste caso de estudo, não foram encontradas estruturas de taipa ou adobe.

Verifica-se que existe uma discrepância ainda significativa no grau de dano médio das zonas analisadas que pode estar relacionada com o facto de a estatística não reflectir o parque edificado em precisão. De modo geral, obtiveram-se graus de danos superiores com os dados do levantamento. Deveria ser feita uma nova análise com os recentes dados do CENSOS 2011 de forma a observar estes resultados e verificar as discrepâncias. Os danos causados por um evento desta intensidade podem estar a um nível de dano superior do que o obtido através dos dados estatísticos, uma vez que o número de edifícios existentes é superior ao estimado segundo o CENSOS 2001.

Ainda relativamente à análise simplificada de vulnerabilidade sísmica, conclui-se que a parcela de factores modificadores de comportamento sísmico pouco condicionou o grau de dano dos edifícios. Nas comparações efectuadas, o grau de dano sofre variações na ordem da décima de grau.

Relativamente à aplicação do algoritmo de emergência e no caso do núcleo urbano de Faro em particular, verifica-se que a população afectada é diminuta por duas razões. A primeira tem a ver com a morfologia e topografia da zona costeira de Faro. Devido à existência da Ria Formosa será expectável uma atenuação da força das ondas favorável a um abrandamento da

velocidade a que se propagam as ondas de *tsunami* e também diminuição da altura da onda, por dissipação de uma grande quantidade de energia. Diminuindo a altura da onda, a área afectada também será menor. A segunda razão está relacionada com a primeira e tem a ver com o facto de a cidade não ser directamente banhada pelo Oceano Atlântico implicando a não existência de praias oceânicas junto ao núcleo urbano, evitando a concentração populacional em meses de Verão, contrariamente à Ilha de Faro. Estes factores explicam o risco inferior do núcleo urbano de Faro, face a outras cidades costeiras algarvias, na medida em que a perigosidade e os elementos em risco são também inferiores.

Ainda assim, a simulação realizada com o algoritmo de emergência com alturas de ondas de 12 metros permite não só testar o algoritmo para uma situação real, mas também prever para o pior dos cenários para esta área. A delimitação da área inundada de acordo com esta altura de onda, para além de servir de base de definição de cenários e determinação de tarefas de emergência, pode servir ainda de guia em operações de urbanismo e de gestão do território.

Os resultados obtidos através do algoritmo de emergência revelam-se preocupantes. Para tempos de evacuação inferiores a 9 minutos, nem toda a população afectada conseguirá atingir os pontos de refúgio designados. No pior dos cenários, para 6 minutos, nenhum dos habitantes conseguirá chegar a um ponto de refúgio. Perante estas constatações julga-se que o poder local deve desenvolver políticas para permitir melhorar estes resultados, através da criação de pontos de refúgio apropriados distribuídos pelos núcleos urbanos e do envolvimento das populações civis na execução de simulacros.

A presente metodologia poderá constituir uma ferramenta para elaboração de rotas de evacuação para cada conjunto de famílias residentes nas áreas afectadas. A estes residentes poderá ser facultado um documento contendo as explicações sucintas do fenómeno e seu funcionamento, tal como por exemplo a identificação de chegada de *tsunami*, mas também procedimentos de emergência e principalmente uma rota de evacuação pré-definida a ser utilizada em caso de *tsunami*. A juntar a este documento, deveriam ser realizadas operações de simulação de evacuação de emergência nas escolas permitindo a divulgação da informação e instruções desde as camadas mais jovens no sentido de adoptar o comportamento correcto, à semelhança do que acontece noutros países e do que é feito para situações de sismos.

A metodologia geral aplicada neste trabalho revelou-se de baixo custo e adequada à escala do trabalho pretendido, resultando numa caracterização sumária do parque edificado com vista à criação de rotas de evacuação. Se numa próxima confrontação de dados de levantamento com os dados CENSOS 2011 se constatar que os graus de dano possuem semelhanças, a metodologia poderá ser aplicada a outros núcleos urbanos com relativa facilidade, utilizando directamente os dados estatísticos do CENSOS 2011, sem necessidade de levantamento “in-situ”.

## 6.2 Trabalhos futuros

Após a realização do presente trabalho propõem-se os seguintes trabalhos futuros onde poderá ser implementada a metodologia desenvolvida ou, por outro lado, que poderão complementar o presente estudo.

A equação 4.1 que pondera a distância a percorrer com o dano e cota dos destinos poderá ser alvo de estudo de modo a permitir a sua afinação, conduzindo a resultados que sejam mais sensíveis à variação de dano e cota altimétrica dos nós de destino, quando a parcela das distâncias ronda a ordem das centenas de metros.

Propõe-se a aplicação da metodologia estudada neste trabalho, em localidades costeiras que apresentem risco elevado tais como: Lagos, Portimão, Armação de Pêra, Albufeira, Vilamoura, Quarteira, Manta Rota e Monte Gordo, de modo a poder não só elaborar planos de evacuação e emergência, mas também para identificar localmente áreas costeiras vulneráveis e restringir o desenvolvimento urbano nestes pontos.

Relativamente à aplicação da metodologia, julga-se que seria oportuna a realização de uma análise de vulnerabilidade dos edifícios relativamente à ocorrência de um *tsunami* para a cidade de Faro, a qual poderia complementar o presente trabalho numa fase de avaliação pós-*tsunami*. Esta análise de vulnerabilidade poderia levar à identificação de estruturas com fraca resistência ao impacto de *tsunamis*, evitando assim a escolha destes nós como pontos de refúgio, uma vez que o efeito da onda poderá levar a um agravamento do grau de dano dos nós que se encontrem dentro da área afectada.

Também se julga de importância acrescida a aplicação de modelos hidrodinâmicos para determinação da progressão da onda em águas pouco profundas e em solo emerso para aferir o *run-in*, ou seja, a distância deste a costa até ao ponto mais distante afectado pela inundação, removendo uma das restrições deste trabalho, em que a altura da onda afecta apenas os nós abaixo desta cota, o que não é verdade.

O trabalho desenvolvido impunha a elaboração de uma rede da cidade de Faro, que constituía um modelo global de abstracção. No entanto, a rede poderá ser construída com maior detalhe possibilitando criar rotas mais específicas associadas a ruas e caminhos. A esta escala, o problema poderia ser resolvido recorrendo à redução de fluxos das arestas de acordo com os graus de dano dos edifícios existentes em cada rua, obtendo-se um grau de obstrução da via.

A possibilidade de exportar o algoritmo para outro tipo de suportes, nomeadamente sistemas Android ou Apple com localização GPS, vocacionado para a utilização civil, poderia, mediante um alerta de *tsunami*, seleccionar em função da localização, uma rota segura de evacuação até um destino proposto pelo algoritmo de emergência. Actualmente existem aplicações do género para estes dispositivos portáteis disponibilizados pelas comunidades científicas, nomeadamente para países banhados pelo Oceano Pacífico e Índico, embora só permitam a notificação do alerta, geralmente por SMS (Short Message Service). Estas aplicações dependem dos avisos emitidos pelos sistemas internacionais de alerta de *tsunami*.

## BIBLIOGRAFIA

- ANPC. (2008). *Plano Especial de Emergência de Protecção Civil para o Risco Sísmico e de Tsunamis na Região do Algarve*. Autoridade Nacional de Protecção Civil.
- Baptista, M. A. (s. d.). *Tsunamis*. Academia das Ciências de Lisboa, Instituto de Estudos Académicos para Séniores.
- Baptista, M. A., & Miranda, J. M. (9 de Janeiro de 2009). Revision of the Portuguese catalog of Tsunamis. *Natural Hazards and Earth System Sciences*.
- Baptista, M. A., Heitor, S., Miranda, J. M., Miranda, P., & Victor, L. M. (1998). *The 1755 Lisbon Tsunami; Evaluation of the Tsunami Parameters*.
- Baptista, M. A., Miranda, J. M., Chierici, F., & Zitellini, N. (7 de Fevereiro de 2003). New study of the 1755 earthquake source based on multi-channel seismic survey data and tsunami modeling. *Natural Hazards and Earth System Sciences*.
- Bryant, E. (2008). *Tsunami - The underrated hazard*. Chichester, UK: Praxis Publishing.
- Cabral, J. (2003). *A Geologia na Avaliação da Perigosidade Sísmica*. Associação Portuguesa de Geólogos.
- Costa, A., Varum, H., Ferreira, T., Vicente, R., & Mendes da Silva, J. (2010). *Metodologia de avaliação da vulnerabilidade sísmica das paredes de fachada de edifícios tradicionais de alvenaria*. Aveiro: 8º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica.
- Costa, E., Vicêncio, H., & Pires, P. (2010). *Aplicação do Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve no Planeamento de Emergência*. Aveiro.
- Dias, J. M. (20 de 3 de 2006). *Geologia Ambiental*. (CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental) Obtido em 7 de 5 de 2012, de Página pessoal de J. M. Alveirinho Dias: <http://w3.ualg.pt/~jdias/>
- ESC, E. S. (1998). *European Macroseismic Scale*. Luxemburgo: G. Grünthal.
- FEMA. (s.d.). *Federal Emergency Management Agency*. (U.S. Department of Homeland Security) Obtido em 28 de 11 de 2011, de <http://www.fema.gov/>
- Giovinazzi, S. (2005). *The Vulnerability Assessment and the Damage Scenario in Seismic Risk*

- Analysis*. Lanciano, Italy: DCE, Technical University Carolo-Wilhelmina at Braunschweig and University of Florence.
- Google. (2012). (Google) Obtido em 5 de 3 de 2012, de Memories for the Future: <http://www.miraikioku.com/streetview/en/>
- Instituto Nacional de Estatística, I. (2001). *Censos*.
- Instituto Nacional de Estatística, I. (2011). *Arquivo Digital (INE)*. Obtido em 22 de 8 de 2011, de Instituto Nacional de Estatística: [www.ine.pt](http://www.ine.pt)
- ITIC. (s.d.). (UNESCO) Obtido em 12 de 2 de 2012, de International Tsunami Information Center: <http://itic.ioc-unesco.org/index.php>
- Kumar, J. K., Ishibashi, A., Ishii, H., & Koizumi, E. (1996). *Methodology for Assessment of Evacuation System using GIS*.
- Lagomarsino, S., & Giovinazzi, S. (30 de Setembro de 2006). Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings. *Bull Earthquake Eng.*
- Mimura, N., Yasuhara, K., Kawagoe, S., Yokoki, H., & Kazama, S. (2011). *Damage from the Great East Japan Earthquake and Tsunami - A quick report*. Mitig Adapt Strateg Glob Change.
- Miranda, J. M., Luís, J. F., Costa, P. T., & Santos, F. A. (2000). *Fundamentos de Geofísica*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Nelson, S. A. (2011). *Natural Disasters - Tsunami*. Tulane University, Dept. Earth & Environmental Sciences.
- Oliveira, C. S., Oliveira, M., Ferreira, M. A., Pestana, P., & Dias, C. S. (2004). *Planning in Seismic Risk Areas – The Case of Faro – Algarve*. Genova: Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Instituto Superior Técnico.
- Opananon, S., & Miller-Hooks, E. (2009). *The Safest Escape problem*. Journal of the Operational Research Society.
- Oregon Emergency Management, O. (2005). (Oregon Emergency Management) Obtido em 5 de 3 de 2012, de Oregon Department of Geology and Mineral Industries: <http://www.oregongeology.org/pubs/tsubrochures/RockawayBeachEvac.pdf>



- Picado, J. (2009). *Estruturas Discretas*. Departamento Matemática, Universidade de Coimbra.
- PROTAL. (2004). Volume II, Anexo J - Apreciação do Risco Sísmico do Algarve. In C. d. Algarve, *Plano Regional de Ordenamento do Território do Algarve (PROTAL)* (p. 7).
- Scheer, S., Gardi, A., Guillande, R., Eftichidis, G., Varela, V., Vanssay, B. d., et al. (2011). *Manual de Planificação de Evacuação por Tsunami*. SCHEMA – Scenarios for Hazard-induced Emergencies Management - JRC Scientific and Technical Reports.
- Senos, M. L., & Carrilho, F. (2003). *Sismicidade de Portugal Continental*. Lisboa: Divisão de Sismologia/ Instituto de Meteorologia.
- Silveira, F. L., & Varriale, M. C. (s.d.). *Propagação das ondas marítimas e dos tsunamis*.
- Sousa Sotto-Mayor, M. L. (2006). *Risco Sísmico em Portugal Continental*. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- Sousa, M. L. (2007). *Hierarquização das regiões de Portugal Continental em função do seu risco sísmico*. 7º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica.
- The Scilab, C. (s.d.). Obtido em 7 de 3 de 2011, de Scilab - Free Open Source Software for Numerical Computation: <http://www.scilab.org/>
- Tingle, A. (2007). *Flood Maps Europe*. Obtido em 12 de 08 de 2011, de Flood Maps: <http://flood.firetree.net/>
- Yamada, T. (1996). *A network flow approach to a city emergency evacuation planning*.
- Zêzere, J., Pereira, A., & Morgado, P. (2006). *Perigos Naturais e Tecnológicos no Território de Portugal Continental*. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa.



**Tabela de cálculo de vulnerabilidade e grau de dano**

Betão Armado	BA1	BA antes de 1962	2	0,644	DADOS: Intensidade (I) 10 Q (BA) 2,3 Q (Alvenaria) 2,0 27 Edifícios
	BA2	BA entre 1963-1985	13	0,484	
	BA3	BA entre 1985-2010	5	0,324	
Alvenaria	A1	Alvenaria Pedra	7	0,616	
	A2	Alvenaria Terra (Taipa/Adobe)	0	0,84	

Grau 1 - Sem danos	5	V0 médio pond	0,500
Grau 2 - Colapso	13	μD Médio	2,982
Grau 3 - Colapso	2	Desvio padrao	1,312
Grau 4 - Colapso	1	Vtotal médio	0,488
Grau 5 - Colapso	6	Média-1,64*DP	0,831
		Média+1,64*DP	5,133

ZONA 1

Data levantamento:

Jan-11

Edifício	Nº Pisos	pisos acima do solo	Ano Construção	Tipo Estrutura	Observações	Vulnerabilidade (V)				Vmin	Vmax	Verificação	μD	EMS-98
						V <sub>0</sub>	ΔVm	ΔVr	Vtotal (cálculo)					
1	4p + 1r + cave	5	década 2000	BA3	Destinado a habitação, com comércio no R/C.	0,324	0,000	0,000	0,324	-0,020	0,70	OK	1,41	Grau 1 - Sem danos
2	1	1		A1	Devoluta	0,616	0,020	0,000	0,636	0,300	0,86	OK	5,00	Grau 5 - Colapso
3	3p + 1r + cave	4	anos 70/80	BA2	Estado razoável	0,484	0,010	0,000	0,494	0,140	0,86	OK	2,49	Grau 2
4	1	1	anos 50	A1	Devoluta	0,616	-0,020	0,000	0,596	0,300	0,86	OK	5,00	Grau 5 - Colapso
5	2p + cave	2	anos 50	A1	Bom estado, Ed. João Nabais (curva)	0,616	-0,060	0,000	0,556	0,300	0,86	OK	5,00	Grau 5 - Colapso
6	2	2		A1	Bom estado (ed. Cor de rosa)	0,616	-0,160	0,000	0,456	0,300	0,86	OK	4,95	Grau 4
7	2	2		A1	Bom estado (ed. Loja Sonata)	0,616	-0,140	0,000	0,476	0,300	0,86	OK	5,00	Grau 5 - Colapso
8	5	5	70	BA2	Bom estado	0,484	0,000	0,000	0,484	0,140	0,86	OK	2,42	Grau 2
9	1	1		A1	Devoluta	0,616	0,020	0,000	0,636	0,300	0,86	OK	5,00	Grau 5 - Colapso
10	4p + 1r	5	anos 80/90	BA3	Bom estado	0,324	0,000	0,000	0,324	-0,020	0,70	OK	1,41	Grau 1 - Sem danos
11	1	1	anos 40/50	A1	Devoluta	0,616	-0,020	0,000	0,596	0,300	0,86	OK	5,00	Grau 5 - Colapso
12	3p+1r+1r	5		BA2	Bom estado	0,484	0,000	0,000	0,484	0,140	0,86	OK	2,42	Grau 2
13	3p+1r+1r	5		BA2	Bom estado	0,484	0,000	0,000	0,484	0,140	0,86	OK	2,42	Grau 2
14	3+1+1	5		BA3	Bom estado	0,324	0,000	0,000	0,324	-0,020	0,70	OK	1,41	Grau 1 - Sem danos
15	3p+1r	4		BA2	Razoável, Ed. CTT	0,484	0,000	0,000	0,484	0,140	0,86	OK	2,42	Grau 2
16 e 17	3	3		BA2	Razoável, Ed. Amarelo	0,484	-0,020	0,000	0,464	0,140	0,86	OK	2,28	Grau 2
18	2p pé dr duplo	2		BA2	Garagem/Oficina	0,484	-0,010	0,000	0,474	0,140	0,86	OK	2,35	Grau 2
19	4p+1r	5		BA2		0,484	0,010	0,000	0,494	0,140	0,86	OK	2,49	Grau 2
20	3	3		BA2	Mau estado, Loja Hoover R/C	0,484	-0,010	0,000	0,474	0,140	0,86	OK	2,35	Grau 2
21	3	3		BA2	Estado Razoável (Pastelaria R/C)	0,484	-0,010	0,000	0,474	0,140	0,86	OK	2,35	Grau 2
22	1	1		BA1	Bom estado	0,644	0,020	0,000	0,664	0,300	1,02	OK	3,57	Grau 3
23	3p + 1r	4		BA2	Bom estado	0,484	0,000	0,000	0,484	0,140	0,86	OK	2,42	Grau 2
24	4p+1r	5		BA2	Estado Razoável (Loja Pandora R/C)	0,484	0,010	0,000	0,494	0,140	0,86	OK	2,49	Grau 2
25	6	6		BA2	Estado Razoável (Loja Calzedonia R/C)	0,484	0,010	0,000	0,494	0,140	0,86	OK	2,49	Grau 2
26	7	7		BA3	Bom estado (maioria destinado a escritórios)	0,324	0,000	0,000	0,324	-0,020	0,70	OK	1,41	Grau 1 - Sem danos
27	8p+1r	9		BA3	Bom estado, Ed. Stº Antonio	0,324	0,040	0,000	0,364	-0,020	0,70	OK	1,64	Grau 1 - Sem danos
28	1p+1r	2		BA1	Bom estado	0,644	-0,020	0,000	0,624	0,300	1,02	OK	3,34	Grau 3



Betão Armado														
Estado de Conservação	Numero de Pisos	Irregularidade em Planta	Irregularidade em Alçado	Conjunto de Edifícios: Posição	Pilares Curtos	Janelas Curvas	ΔVm segundos os factores modificadores de comportamento sísmico para Betão Armado				ΔVm Total BA	TOTAL ΔVm		
Bom	Médio (4 a 7)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
							0	0	0	0	0	0	0,00	0,02
Razoável	Médio (4 a 7)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0,01	0	0	0	0	0	0,01	0,01
							0	0	0	0	0	0	0,00	-0,02
							0	0	0	0	0	0	0,00	-0,06
							0	0	0	0	0	0	0,00	-0,16
							0	0	0	0	0	0	0,00	-0,14
Bom	Médio (4 a 7)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
							0	0	0	0	0	0	0,00	0,02
Bom	Médio (4 a 7)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
							0	0	0	0	0	0	0,00	-0,02
Bom	Médio (4 a 7)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Bom	Médio (4 a 7)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Bom	Médio (4 a 7)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Bom	Médio (4 a 7)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Bom	Baixo (< 3)						0	-0,02	0	0	0	0	-0,02	-0,02
Razoável	Baixo (< 3)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0,01	-0,02	0	0	0	0	-0,01	-0,01
Razoável	Médio (4 a 7)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0,01	0	0	0	0	0	0,01	0,01
Razoável	Baixo (< 3)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0,01	-0,02	0	0	0	0	-0,01	-0,01
Razoável	Baixo (< 3)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0,01	-0,02	0	0	0	0	-0,01	-0,01
Bom	Baixo (< 3)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0	-0,02	0	0	0,04	0	0,02	0,02
Bom	Médio (4 a 7)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Razoável	Médio (4 a 7)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0,01	0	0	0	0	0	0,01	0,01
Razoável	Médio (4 a 7)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0,01	0	0	0	0	0	0,01	0,01
Bom	Médio (4 a 7)						0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Bom	Alto (>= 8)						0	0,04	0	0	0	0	0,04	0,04
Bom	Baixo (< 3)						0	-0,02	0	0	0	0	-0,02	-0,02
												Média	0,00	



	BA1	BA2	BA3	A1	A2
ΔVm Médio	0,03	0,00	0,01	-	-
Nº médio Pisos acima do solo	2,00	3,33	6,14	-	-

0% edifícios colapsados

Alvenaria																							
Estado de Conservação	Numero de Pisos	Irregularidade em Planta	Irregularidade em Alçado	Pisos Acrescidos	Telhado	Intervenções de Reparação de Anomalias	Conjunto de Edifícios: Posição	Conjunto de Edifícios: Elevação	Edifícios com alturas diferentes (-0,04 a 0,04)	ΔVm segundos os factores modificadores de comportamento sísmico para Alvenaria										ΔVm Total Alvenaria			
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
										Média										0,00			





## Tabela de cálculo de vulnerabilidade e grau de dano

Betão Armado	BA1	BA antes de 1962	0	0,644	DADOS: Intensidade (I) 10 Q (BA) 2,3 Q (Alvenaria) 2,0 39 Edifícios
	BA2	BA entre 1963-1985	7	0,484	
	BA3	BA entre 1985-2010	3	0,324	
Alvenaria	A1	Alvenaria Pedra	29	0,616	
	A2	Alvenaria Terra (Taipa/Adobe)	0	0,84	

Grau 1 - Sem danos	3	V0 médio pond	0,570
Grau 2	7	μD Médio	4,238
Grau 3	0	Desvio padrao	1,277
Grau 4	4	Vtotal médio	0,564
Grau 5 - Colapso	25	Média-1,64*DP	2,144
		Média+1,64*DP	6,333

ZONA 3

Data levantamento: Fev-11

Fev-11

Edifício	Nº Pisos	pisos acima do solo	Ano Construção	Tipo Estrutura	Observações	Vulnerabilidade (V)				Vmin	Vmax	Verificação	μD	EMS-98
						V <sub>0</sub>	ΔVm	ΔVr	Vtotal					
1	10p+1r+cave	11	2002	BA3	Bom estado, Junta Freguesia S. Pedro e Ministério da Cerveja	0,32	0,04	0,00	0,36	-0,020	0,70	OK	1,640	Grau 1 - Sem danos
2	2	2	anos 50	A1	Rest. O brinde	0,62	0,00	0,00	0,62	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
3	2	2	anos 50	A1	Estado razoável	0,62	-0,06	0,00	0,56	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
4	1pd duplo	2	anos 50	A1	Estado razoável, oficina "Só escape"	0,62	-0,02	0,00	0,60	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
5	2 ou 1pd duplo	2	anos 50	A1	Devoluto	0,62	0,06	0,00	0,68	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
6	1	1		A1	Edif. Canto	0,62	-0,04	0,00	0,58	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
7	1	1		A1	rest. Guerreros	0,62	-0,16	0,00	0,46	0,300	0,86	OK	4,953	Grau 4
8	2	2	60	BA2	Agencia Viagens	0,48	-0,01	0,00	0,47	0,140	0,86	OK	2,351	Grau 2
9	3	3		BA3	Bom estado	0,32	-0,02	0,00	0,30	-0,020	0,70	OK	1,302	Grau 1 - Sem danos
10	8	8		BA2	Estado razoavel, Loja Janela Imobiliária	0,48	0,05	0,00	0,53	0,140	0,86	OK	2,757	Grau 2
11	3	3	60	BA2	Mau estado	0,48	0,00	0,00	0,48	0,140	0,86	OK	2,419	Grau 2
12, 13 e 14	2	2	60	A1	Devoluto (canto)	0,62	0,16	0,00	0,78	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
15	2	2	60	A1	Devoluto	0,62	-0,04	0,00	0,58	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
16	3	3		BA3	pizo vazado no R/C	0,32	-0,02	0,00	0,30	-0,020	0,70	OK	1,302	Grau 1 - Sem danos
18	2	2	60	A1	Devoluto (canto)	0,62	0,18	0,00	0,80	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
19	2	2	60	A1	Devoluto	0,62	0,12	0,00	0,74	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
20	1	1	60	A1	Devoluto	0,62	0,04	0,00	0,66	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
21	1	1	60	A1	Devoluto	0,62	0,04	0,00	0,66	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
22	2	2	60	A1	Estado razoável	0,62	-0,12	0,00	0,50	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
23	2	2	60	A1	Mau estado	0,62	0,04	0,00	0,66	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
24	2	2		A1	Bom estado	0,62	-0,24	0,00	0,38	0,300	0,86	OK	4,472	Grau 4
25	2	2		A1	Bom estado, Loja Método DeLarose	0,62	-0,24	0,00	0,38	0,300	0,86	OK	4,472	Grau 4
26	2	2	60	A1	Mau estado	0,62	0,04	0,00	0,66	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
27	1	1		A1	Mau estado	0,62	0,04	0,00	0,66	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
28	2	2		A1	Bom estado	0,62	-0,16	0,00	0,46	0,300	0,86	OK	4,953	Grau 4
29	2	2		A1	Talho no R/C	0,62	0,04	0,00	0,66	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
30	1pd duplo	2	60	A1	Mau estado, ed canto	0,62	0,18	0,00	0,80	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
31	3	3		BA2	Mau estado. Ed canto	0,48	0,00	0,00	0,48	0,140	0,86	OK	2,419	Grau 2
32	1	1		A1	Devoluto	0,62	0,06	0,00	0,68	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
33	1	1		A1	Devoluto	0,62	-0,12	0,00	0,50	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
34	3	3		BA2	Bom estado	0,48	-0,02	0,00	0,46	0,140	0,86	OK	2,283	Grau 2
35	1pd duplo	2		A1	Devoluto (loja)	0,62	-0,02	0,00	0,60	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
36	4+1r	5		BA2	Ed. Habitação	0,48	0,01	0,00	0,49	0,140	0,86	OK	2,486	Grau 2
37	4+1r	5		BA2	Ed. Habitação	0,48	0,01	0,00	0,49	0,140	0,86	OK	2,486	Grau 2
38	1pd duplo	2		A1	Res. Adega Nova	0,62	0,06	0,00	0,68	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
39	2	2		A1	Oficina (ed. Canto)	0,62	-0,08	0,00	0,54	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
40	1	1		A1	Oficina R/C, habitação 1º piso	0,62	-0,04	0,00	0,58	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
41	1	1		A1		0,62	0,00	0,00	0,62	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
42	1	1		A1		0,62	0,00	0,00	0,62	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso

	BA1	BA2	BA3	A1	A2
ΔVm Médio	-	0,01	0,00	-0,01	-
Nº médio Pisos acima	-	4,14	5,67	1,66	-

64% edifícios colapsados

Alvenaria																						
Estado de Conservação	Numero de Pisos	Irregularidade em Planta	Irregularidade em Alçado	Pisos Acrescidos	Telhado	Intervenções de Reparação de Anomalias	Conjunto de Edifícios: Posição	Conjunto de Edifícios: Elevação	Edifícios com alturas diferentes (-0,04 a 0,04)	ΔVm segundos os factores modificadores de comportamento sísmico para Alvenaria							ΔVm Total Alvenaria					
Bom	Baixo (< 2)					Suficientes	Topo	Pisos a cotas diferentes	0,02	-0,04	-0,08	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0,04	0,02	0,00
Razoável	Baixo (< 2)					Suficientes	Centro	Pisos a cotas diferentes	0,02	0	-0,08	0	0	0	0	0	0	-0,04	0,04	0,02	-0,06	
Razoável	Baixo (< 2)				Peso, ligações e estado conservação	Suficientes	Centro	Pisos a cotas diferentes	0,02	0	-0,08	0	0	0	0,04	0	-0,04	0,04	0,02	-0,02		
Razoável	Baixo (< 2)				Peso, ligações e estado conservação	Inexistentes ou agravantes	Centro	Pisos a cotas diferentes	0,02	0	-0,08	0	0	0	0,04	0,08	-0,04	0,04	0,02	0,06		
Razoável	Baixo (< 2)					Suficientes	Canto		0	0	-0,08	0	0	0	0	0	0,04	0	0	-0,04		
Bom	Baixo (< 2)					Suficientes	Centro		0	-0,04	-0,08	0	0	0	0	0	-0,04	0	0	0	-0,16	
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
Mau	Baixo (< 2)				Peso, ligações e estado conservação	Inexistentes ou agravantes	Canto	Pisos a cotas diferentes	0	0,04	-0,08	0	0	0	0,04	0,08	0,04	0,04	0	0	0,16	
Razoável	Baixo (< 2)					Suficientes	Canto		0	0	-0,08	0	0	0	0	0	0,04	0	0	-0,04		
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
Mau	Baixo (< 2)				Peso, ligações e estado conservação	Inexistentes ou agravantes	Canto	Pisos a cotas diferentes	0,02	0,04	-0,08	0	0	0	0,04	0,08	0,04	0,04	0,02	0,18		
Mau	Baixo (< 2)				Peso, ligações e estado conservação	Inexistentes ou agravantes	Canto		0	0,04	-0,08	0	0	0	0,04	0,08	0,04	0	0	0,12		
Mau	Baixo (< 2)				Peso, ligações e estado conservação	Inexistentes ou agravantes	Centro		0	0,04	-0,08	0	0	0	0,04	0,08	-0,04	0	0	0,04		
Mau	Baixo (< 2)				Peso, ligações e estado conservação	Inexistentes ou agravantes	Centro		0	0,04	-0,08	0	0	0	0,04	0,08	-0,04	0	0	0,04		
Razoável	Baixo (< 2)					Suficientes	Centro		0	0	-0,08	0	0	0	0	0	-0,04	0	0	-0,12		
Mau	Baixo (< 2)				Peso, ligações e estado conservação	Inexistentes ou agravantes	Centro		0	0,04	-0,08	0	0	0	0,04	0,08	-0,04	0	0	0,04		
Bom	Baixo (< 2)					Bem executadas	Centro		0	-0,04	-0,08	0	0	0	0	-0,08	-0,04	0	0	-0,24		
Bom	Baixo (< 2)					Bem executadas	Centro		0	-0,04	-0,08	0	0	0	0	-0,08	-0,04	0	0	-0,24		
Mau	Baixo (< 2)				Peso, ligações e estado conservação	Inexistentes ou agravantes	Centro		0	0,04	-0,08	0	0	0	0,04	0,08	-0,04	0	0	0,04		
Mau	Baixo (< 2)				Peso, ligações e estado conservação	Inexistentes ou agravantes	Centro		0	0,04	-0,08	0	0	0	0,04	0,08	-0,04	0	0	0,04		
Bom	Baixo (< 2)					Suficientes	Centro		0	-0,04	-0,08	0	0	0	0	0	-0,04	0	0	-0,16		
Mau	Baixo (< 2)				Peso, ligações e estado conser	Inexistentes ou agravantes	Centro		0	0,04	-0,08	0	0	0	0,04	0,08	-0,04	0	0	0,04		
Mau	Baixo (< 2)				Peso, ligações e estado conser	Inexistentes ou agravantes	Canto	Pisos a cotas diferentes	0,02	0,04	-0,08	0	0	0	0,04	0,08	0,04	0,04	0,02	0,18		
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
Mau	Baixo (< 2)					Inexistentes ou agravantes	Centro	Pisos a cotas diferentes	0,02	0,04	-0,08	0	0	0	0,08	-0,04	0,04	0,02	0,06			
Razoável	Baixo (< 2)					Suficientes	Centro			0	-0,08	0	0	0	0	0	-0,04	0	0	-0,12		
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
Mau	Baixo (< 2)						Centro	Pisos a cotas diferentes	0,02	0,04	-0,08	0	0	0	0	0	-0,04	0,04	0,02	-0,02		
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
Mau	Baixo (< 2)					Inexistentes ou agravantes	Centro	Pisos a cotas diferentes	0,02	0,04	-0,08	0	0	0	0,08	-0,04	0,04	0,02	0,06			
Bom	Baixo (< 2)					Suficientes	Canto			-0,04	-0,08	0	0	0	0	0,04	0	0	-0,08			
Razoável	Baixo (< 2)					Inexistentes ou agravantes	Centro		0	0	-0,08	0	0	0	0,08	-0,04	0	0	-0,04			
Mau	Baixo (< 2)					Inexistentes ou agravantes	Centro		0	0,04	-0,08	0	0	0	0,08	-0,04	0	0	0,00			
Mau	Baixo (< 2)					Inexistentes ou agravantes	Centro		0	0,04	-0,08	0	0	0	0,08	-0,04	0	0	0,00			

Média -0,01

Betão Armado														
Estado de Conservação	Numero de Pisos	Irregularidade em Planta	Irregularidade em Alçado	Conjunto de Edifícios: Posição	Pilares Curtos	Janelas Curvas	ΔVm segundos os factores modificadores de comportamento sísmico para Betão Armado				ΔVm Total BA	TOTAL ΔVm		
Bom	Alto (>= 8)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0	0,04	0	0	0	0	0,04	0,04
							0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
							0	0	0	0	0	0	0,00	-0,06
							0	0	0	0	0	0	0,00	-0,02
							0	0	0	0	0	0	0,00	0,06
							0	0	0	0	0	0	0,00	-0,04
							0	0	0	0	0	0	0,00	-0,16
Razoável	Baixo (< 3)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0,01	-0,02	0	0	0	0	-0,01	-0,01
Bom	Baixo (< 3)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0	-0,02	0	0	0	0	-0,02	-0,02
Razoável	Alto (>= 8)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0,01	0,04	0	0	0	0	0,05	0,05
Mau	Baixo (< 3)						0,02	-0,02	0	0	0	0	0,00	0,00
							0	0	0	0	0	0	0,00	0,16
							0	0	0	0	0	0	0,00	-0,04
Bom	Baixo (< 3)	Massa	Geometria	Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0	-0,02	0	0	0	0	-0,02	-0,02
							0	0	0	0	0	0	0,00	0,18
							0	0	0	0	0	0	0,00	0,12
							0	0	0	0	0	0	0,00	0,04
							0	0	0	0	0	0	0,00	0,04
							0	0	0	0	0	0	0,00	-0,12
							0	0	0	0	0	0	0,00	0,04
							0	0	0	0	0	0	0,00	-0,24
							0	0	0	0	0	0	0,00	-0,24
							0	0	0	0	0	0	0,00	0,04
							0	0	0	0	0	0	0,00	0,04
							0	0	0	0	0	0	0,00	-0,16
							0	0	0	0	0	0	0,00	0,04
							0	0	0	0	0	0	0,00	0,18
Mau	Baixo (< 3)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0,02	-0,02	0	0	0	0	0,00	0,00
							0	0	0	0	0	0	0,00	0,06
							0	0	0	0	0	0	0,00	-0,12
Bom	Baixo (< 3)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0	-0,02	0	0	0	0	-0,02	-0,02
							0	0	0	0	0	0	0,00	-0,02
Razoável	Médio (4 a 7)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0,01	0	0	0	0	0	0,01	0,01
Razoável	Médio (4 a 7)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0,01	0	0	0	0	0	0,01	0,01
							0	0	0	0	0	0	0,00	0,06
							0	0	0	0	0	0	0,00	-0,08
							0	0	0	0	0	0	0,00	-0,04
							0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
							0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
													Média	0,00



	BA1	BA2	BA3	A1	A2
ΔVm Médio	-	-	-	-0,07	-
Nº médio Pisos acima	-	-	-	2	-

69% edifícios colapsados

Alvenaria																					
Estado de Conservação	Numero de Pisos	Irregularidade em Planta	Irregularidade em Alçado	Pisos Acrescidos	Telhado	Intervenções de Reparação de Anomalias	Conjunto de Edifícios: Posição	Conjunto de Edifícios: Elevação	Edifícios com alturas diferentes (-0,04 a 0,04)	ΔVm segundos os factores modificadores de comportamento sísmico para Alvenaria					ΔVm Total Alvenaria						
Bom	Baixo (< 2)	Geometria				Suficientes	Centro	Pisos a cotas diferentes	0	-0,04	-0,08	0	0,04	0	0	0	0	-0,04	0,04	0	-0,08
Bom	Baixo (< 2)					Bem executadas	Centro	Pisos a cotas diferentes	0	-0,04	-0,08	0	0	0	0	0	-0,08	-0,04	0	0	-0,24
Bom	Médio (3 a 5)					Suficientes	Centro	Pisos a cotas diferentes	0	-0,04	0	0	0	0	0	0	0	-0,04	0,04	0	-0,04
								Pisos a cotas diferentes		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Razoável	Baixo (< 2)					Suficientes	Centro	Pisos a cotas diferentes	0	0	-0,08	0	0	0	0	0	0	-0,04	0,04	0	-0,08
								Pisos a cotas diferentes		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Bom	Baixo (< 2)					Bem executadas	Centro		0	-0,04	-0,08	0	0	0	0	0	-0,08	-0,04	0	0	-0,24
Bom	Baixo (< 2)					Bem executadas	Canto		0	-0,04	-0,08	0	0	0	0	0	-0,08	0,04	0	0	-0,16
Bom	Baixo (< 2)					Suficientes	Centro		0	-0,04	-0,08	0	0	0	0	0	0	-0,04	0	0	-0,16
Razoável	Baixo (< 2)					Inexistentes ou agravantes	Centro		0	0	-0,08	0	0	0	0	0	0,08	-0,04	0	0	-0,04
Razoável	Baixo (< 2)					Inexistentes ou agravantes	Centro		0	0	-0,08	0	0	0	0	0	0,08	-0,04	0	0	-0,04
Razoável	Baixo (< 2)					Inexistentes ou agravantes	Centro		0	0	-0,08	0	0	0	0	0	0,08	-0,04	0	0	-0,04
Razoável	Baixo (< 2)					Suficientes	Canto		0	0	-0,08	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0	-0,04
Bom	Baixo (< 2)					Suficientes	Topo		0,04	-0,04	-0,08	0	0	0	0	0	0	0,06	0	0,04	-0,02
Bom	Baixo (< 2)					Suficientes	Canto		0,04	-0,04	-0,08	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0,04	-0,04
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
											Média					-0,07					



**Tabela de cálculo de vulnerabilidade e grau de dano**

ZONA 5

Data levantamento: Fev-11

Betão Armado	BA1	BA antes de 1962	10	0,644	DADOS: Intensidade (I) 10 Q (BA) 2,3 Q (Alvenaria) 2,0 144 Edifícios
	BA2	BA entre 1963-1985	37	0,484	
	BA3	BA entre 1985-2010	11	0,324	
Alvenaria	A1	Alvenaria Pedra	86	0,616	
	A2	Alvenaria Terra (Taipa/Adobe)	0	0,84	

Grau 1 - Sem danos	11	V0 médio pond	0,562
Grau 2	37	μD Médio	3,947
Grau 3	10	Desvio padrao	1,343
Grau 4	8	Vtotal médio	0,533
Grau 5 - Colapso	78	Média-1,64*DP	1,744
		Média+1,64*DP	6,149

Edifício	Nº Pisos	Pisos acima do solo	Ano Construção	Tipo Estrutura	Observações	Vulnerabilidade (V)				Vmin	Vmax	Verificação	μD	EMS-98
						V <sub>0</sub>	ΔVm	ΔVr	Vtotal					
1	4	4	anos 70	BA2	Estado razoável	0,48	0,03	0,00	0,51	0,140	0,86	OK	2,622	Grau 2
2	4	4	anos 70	BA2	Loja Centro Ortopédico do Sul	0,48	0,00	0,00	0,48	0,140	0,86	OK	2,419	Grau 2
3	4	4	recente	BA3	Abertura no R/C, irregular em planta	0,32	0,00	0,00	0,32	-0,020	0,70	OK	1,410	Grau 1 - Sem danos
4	3	3	70	BA2	Papelaria no R/C	0,48	-0,02	0,00	0,46	0,140	0,86	OK	2,283	Grau 2
5	5	5	70	BA2	Ortopedia + Lojas chinês R/C	0,48	0,00	0,00	0,48	0,140	0,86	OK	2,419	Grau 2
6	5	5	70	BA2	BPN no R/C	0,48	0,01	0,00	0,49	0,140	0,86	OK	2,486	Grau 2
7	2pd duplos	4	50	A1	Pizzaria Napoli	0,62	-0,02	0,00	0,60	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
8	2	2	50	A1	Salão Orquídea	0,62	-0,06	0,00	0,56	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
9	2pd duplos	4		A1	Ed. Notável "Museu Regional do Algarve", CCDR no canto	0,62	-0,12	0,00	0,50	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
10	1	1		A1	Devoluto	0,62	-0,06	0,00	0,56	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
11	2	2		A1		0,62	-0,12	0,00	0,50	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
12	1pd duplo	2			traseiras edifício 6									
13	2	2			traseiras edifício 5									
14	2	2			traseiras edifício 4									
15	4	4			traseiras edifício 3									
16	2	2		BA3	Casa das chaves	0,32	-0,02	0,00	0,30	-0,020	0,70	OK	1,302	Grau 1 - Sem danos
17	2	2		BA1	Devoluto e em mau estado	0,64	0,06	0,00	0,70	0,300	1,02	OK	3,780	Grau 3
18	1	1		A1	Devoluto	0,62	0,08	0,00	0,70	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
19	1	1		A1	Devoluto	0,62	0,02	0,00	0,64	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
20	5	5	70	BA2	razoável, ed. Cor de rosa	0,48	0,01	0,00	0,49	0,140	0,86	OK	2,486	Grau 2
21	5	5	70	BA2	razoável, residencial	0,48	0,01	0,00	0,49	0,140	0,86	OK	2,486	Grau 2
22	2	2	antes 50	A1	mal conservado	0,62	0,00	0,00	0,62	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
23	2	2	60	BA1	Bom estado	0,64	0,02	0,00	0,66	0,300	1,02	OK	3,568	Grau 3
24	1	1		A1	Mal conservado e devoluto	0,62	0,04	0,00	0,66	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
25	3	3	70	BA2		0,48	-0,02	0,00	0,46	0,140	0,86	OK	2,283	Grau 2
26	1	1		A1	Devoluto, devem ser duas casas, mas são da mesma época	0,62	0,04	0,00	0,66	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
27	2	2	60	A1	Ed. Canto	0,62	0,08	0,00	0,70	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso

	BA1	BA2	BA3	A1	A2
ΔVm Médio	0,03	0,00	-0,01	-0,05	-
Nº médio Pisos acima	2,00	3,54	3,36	1,6	-

54% edifícios colapsados

Alvenaria											ΔVm Total Alvenaria
Estado de Conservação	Numero de Pisos	Irregularidade em Planta	Irregularidade em Alçado	Pisos Acrescidos	Telhado	Intervenções de Reparação de Anomalias	Conjunto de Edifícios: Posição	Conjunto de Edifícios: Elevação	Edifícios com alturas diferentes (-0,04 a 0,04)	ΔVm segundo os factores modificadores de comportamento sísmico para Alvenaria	ΔVm Total Alvenaria
										0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0,00
										0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0,00
										0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0,00
										0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0,00
										0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0,00
										0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0,00
										0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0,00
Razoável	Baixo (< 2)			Sim	Pêsos, ligações e estado conservação	Suficientes	Centro	0,02	0,02	0 -0,08 0 0 0,04 0,04 0 -0,04 0 0,02	-0,02
Razoável	Baixo (< 2)				Pêsos, ligações e estado conservação	Suficientes	Centro	0,02	0,02	0 -0,08 0 0 0 0,04 0 -0,04 0 0,02	-0,06
Bom	Baixo (< 2)	Geometria				Bem executadas	Canto	0	0	-0,04 -0,08 0,04 0 0 0 -0,08 0,04 0 0	-0,12
Mau	Baixo (< 2)					Suficientes	Centro	0,02	0,02	0,04 -0,08 0 0 0 0 0 -0,04 0 0,02	-0,06
Razoável	Baixo (< 2)					Suficientes	Centro	0	0	0 -0,08 0 0 0 0 0 -0,04 0 0	-0,12
										0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0,00
										0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0,00
										0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0,00
										0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0,00
										0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0,00
										0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0,00
Mau	Baixo (< 2)					Inexistentes ou agravantes	Canto	0	0	0,04 -0,08 0 0 0 0 0,08 0,04 0 0	0,08
Mau	Baixo (< 2)					Inexistentes ou agravantes	Centro	0,02	0,02	0,04 -0,08 0 0 0 0 0,08 -0,04 0 0,02	0,02
										0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0,00
										0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0,00
Mau	Baixo (< 2)					Suficientes	Centro	0,04	0,04	0,04 -0,08 0 0 0 0 0 -0,04 0,04 0,04	0,00
										0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0,00
Mau	Baixo (< 2)					Inexistentes ou agravantes	Centro	0,04	0,04	0,04 -0,08 0 0 0 0 0,08 -0,04 0 0,04	0,04
										0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0,00
Mau	Baixo (< 2)					Inexistentes ou agravantes	Centro	0,04	0,04	0,04 -0,08 0 0 0 0 0,08 -0,04 0 0,04	0,04
Razoável	Baixo (< 2)					Inexistentes ou agravantes	Canto	0,04	0,04	0 -0,08 0 0 0 0 0,08 0,04 0 0,04	0,08



Betão Armado															
Estado de Conservação	Numero de Pisos	Irregularidade em Planta	Irregularidade em Alçado	Conjunto de Edifícios: Posição	Pilares Curtos	Janelas Curvas	ΔVm segundos os factores modificadores de comportamento sísmico para Betão Armado				ΔVm Total BA	TOTAL ΔVm			
Razoável	Médio (4 a 7)	Geometria		Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0,01	0	0,02	0	0	0	0	0,03	0,03
Bom	Médio (4 a 7)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Bom	Médio (4 a 7)	Massa	Geometria	Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Bom	Baixo (< 3)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0	-0,02	0	0	0	0	0	-0,02	-0,02
Bom	Médio (4 a 7)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Razoável	Médio (4 a 7)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0,01	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01
							0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,02
							0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,06
							0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,12
							0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,06
							0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,12
							0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
							0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
							0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Bom	Baixo (< 3)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0	-0,02	0	0	0	0	0	-0,02	-0,02
Mau	Baixo (< 3)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0,04	-0,02	0	0	0,04	0	0	0,06	0,06
							0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,08
							0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,02
Razoável	Médio (4 a 7)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0,01	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01
Razoável	Médio (4 a 7)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0,01	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01
							0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Bom	Baixo (< 3)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0	-0,02	0	0	0,04	0	0	0,02	0,02
							0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,04
Bom	Baixo (< 3)			Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes			0	-0,02	0	0	0	0	0	-0,02	-0,02
							0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,04
							0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,08

28	2	2	60	A1	Devoluto, mau estado	0,62	-0,04	0,00	0,58	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
29	1	1		A1	Devoluto	0,62	-0,08	0,00	0,54	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
30	2p+1r	3	90/2000	BA3	Ed. Canto (branco), bom estado	0,32	-0,02	0,00	0,30	-0,020	0,70	OK	1,302	Grau 1 - Sem danos
31	2	2	80	BA2	Razoável	0,48	-0,01	0,00	0,47	0,140	0,86	OK	2,351	Grau 2
32	1	1		BA1	Razoável	0,64	0,04	0,00	0,68	0,300	1,02	OK	3,677	Grau 3
33	2	2	60	BA1	Mau estado, fissuração no BA	0,64	0,06	0,00	0,70	0,300	1,02	OK	3,780	Grau 3
34	2	2		A1	Devoluto, s/ tecto	0,62	0,06	0,00	0,68	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
35	1	1		BA1	Rest. "Tá-se bem"	0,64	0,04	0,00	0,68	0,300	1,02	OK	3,677	Grau 3
36	3	3	70	BA2	Bom estado	0,48	-0,02	0,00	0,46	0,140	0,86	OK	2,283	Grau 2
37	2	2		A1	Mau estado, devoluto	0,62	0,06	0,00	0,68	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
38	2	2		A1	Razoável	0,62	-0,14	0,00	0,48	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
39	2	2		A1	Razoável	0,62	-0,10	0,00	0,52	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
40	1	1		A1	Razoável	0,62	-0,10	0,00	0,52	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
41	1	1		A1	Razoável	0,62	-0,10	0,00	0,52	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
42	3	3		BA2	Razoável	0,48	-0,01	0,00	0,47	0,140	0,86	OK	2,351	Grau 2
43	2	2		BA3	Bom estado	0,32	-0,02	0,00	0,30	-0,020	0,70	OK	1,302	Grau 1 - Sem danos
44	1	1		A1	Ed. Canto	0,62	0,10	0,00	0,72	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
45	1	1		A1	Bom estado	0,62	-0,06	0,00	0,56	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
46	1	1		A1	Devoluto	0,62	0,02	0,00	0,64	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
47	2p+1r	3		BA3	Bom estado	0,32	-0,02	0,00	0,30	-0,020	0,70	OK	1,302	Grau 1 - Sem danos
48	1	1		A1	Razoável	0,62	-0,10	0,00	0,52	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
49	1	1		A1	Devoluto	0,62	0,00	0,00	0,62	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
50	1	1		A1	Devoluto, portões verdes	0,62	-0,08	0,00	0,54	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
51	1	1		A1	Devoluto, ed. rosa	0,62	-0,06	0,00	0,56	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
52	2	2		BA3	Bom estado	0,32	-0,02	0,00	0,30	-0,020	0,70	OK	1,302	Grau 1 - Sem danos
53	térreo				parte de trás de edifício rua 10									
54	1	1		A1	Devoluto	0,62	-0,08	0,00	0,54	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
55	2	2		A1	Razoável	0,62	-0,18	0,00	0,44	0,300	0,86	OK	4,839	Grau 4
56	1	1		A1	Razoável	0,62	-0,12	0,00	0,50	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
57	1	1		A1	Devoluto	0,62	0,02	0,00	0,64	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso

Mau	Baixo (< 2)	Suficientes	Centro	0,04	0,04	-0,08	0	0	0	0	0	0	-0,04	0	0,04	-0,04
Razoável	Baixo (< 2)	Suficientes	Centro	0,04	0	-0,08	0	0	0	0	0	0	-0,04	0	0,04	-0,08
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Mau	Baixo (< 2)	Peso, ligações e estado conse	Inexistentes ou agravantes	Centro	0,02	0,04	-0,08	0	0	0	0,04	0,08	-0,04	0	0,02	0,06
						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Mau	Baixo (< 2)	Peso, ligações e estado conse	Inexistentes ou agravantes	Centro	0,02	0,04	-0,08	0	0	0	0,04	0,08	-0,04	0	0,02	0,06
Razoável	Baixo (< 2)	Suficientes	Centro	-0,02	0	-0,08	0	0	0	0	0	0	-0,04	0	-0,02	-0,14
Razoável	Baixo (< 2)	Suficientes	Centro	0,02	0	-0,08	0	0	0	0	0	0	-0,04	0	0,02	-0,10
Razoável	Baixo (< 2)	Suficientes	Centro	0,02	0	-0,08	0	0	0	0	0	0	-0,04	0	0,02	-0,10
Razoável	Baixo (< 2)	Suficientes	Centro	0,02	0	-0,08	0	0	0	0	0	0	-0,04	0	0,02	-0,10
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Mau	Baixo (< 2)	Inexistentes ou agravantes	Canto	0,02	0,04	-0,08	0	0	0	0	0,08	0,04	0	0,02	0,10	
Bom	Baixo (< 2)	Suficientes	Canto	0,02	-0,04	-0,08	0	0	0	0	0	0,04	0	0,02	-0,06	
Mau	Baixo (< 2)	Suficientes	Canto	0,02	0,04	-0,08	0	0	0	0	0	0,04	0	0,02	0,02	
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
Razoável	Baixo (< 2)	Suficientes	Centro	0,02	0	-0,08	0	0	0	0	0	0	-0,04	0	0,02	-0,10
Mau	Baixo (< 2)	Inexistentes ou agravantes	Centro	0	0,04	-0,08	0	0	0	0	0,08	-0,04	0	0	0,00	
Mau	Baixo (< 2)	Suficientes	Centro	0	0,04	-0,08	0	0	0	0	0	-0,04	0	0	-0,08	
Mau	Baixo (< 2)	Suficientes	Centro	0,02	0,04	-0,08	0	0	0	0	0	-0,04	0	0,02	-0,06	
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
Mau	Baixo (< 2)	Suficientes	Centro	0	0,04	-0,08	0	0	0	0	0	-0,04	0	0	-0,08	
Razoável	Baixo (< 2)	Bem executadas	Centro	0,02	0	-0,08	0	0	0	0	-0,08	-0,04	0	0,02	-0,18	
Razoável	Baixo (< 2)	Suficientes	Centro	0	0	-0,08	0	0	0	0	0	-0,04	0	0	-0,12	
Mau	Baixo (< 2)	Inexistentes ou agravantes	Centro	0,02	0,04	-0,08	0	0	0	0	0,08	-0,04	0	0,02	0,02	



58	6	6		BA2	Ed canto, destinado a comércio	0,48	0,00	0,00	0,48	0,140	0,86	OK	2,419	Grau 2
59	1	1		A1	Casa amarela, bom estado	0,62	-0,14	0,00	0,48	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
60	1	1		A1	Devoluto	0,62	0,02	0,00	0,64	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
61	1	1		A1		0,62	-0,10	0,00	0,52	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
62	1	1		A1	Razoável	0,62	-0,04	0,00	0,58	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
63	1	1		A1	Mau estado	0,62	0,02	0,00	0,64	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
64	2	2		BA1	Ed. Vermelho	0,64	0,02	0,00	0,66	0,300	1,02	OK	3,568	Grau 3
65	2	2		BA1	Branco	0,64	0,02	0,00	0,66	0,300	1,02	OK	3,568	Grau 3
66	1	1		A1	Devoluto	0,62	-0,06	0,00	0,56	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
67	1pd duplo	2		A1	Razoavel	0,62	-0,04	0,00	0,58	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
68	1p+1r	2		BA1		0,64	0,04	0,00	0,68	0,300	1,02	OK	3,677	Grau 3
69	1	1		A1	Devoluto	0,62	0,06	0,00	0,68	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
70	3	3		BA3	Bom estado	0,32	-0,02	0,00	0,30	-0,020	0,70	OK	1,302	Grau 1 - Sem danos
71	3	3		BA3	Bom estado	0,32	-0,02	0,00	0,30	-0,020	0,70	OK	1,302	Grau 1 - Sem danos
1	2	2		A1	Ed. Canto	0,62	0,04	0,00	0,66	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
2	4	4		BA2	Multimac no R/C	0,48	0,01	0,00	0,49	0,140	0,86	OK	2,486	Grau 2
3	2	2		A1	Ed. Cor de rosa	0,62	0,00	0,00	0,62	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
4	1	1		A1	Devoluto, mau estado	0,62	0,06	0,00	0,68	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
5	1	1		A1	Bem conservado	0,62	-0,16	0,00	0,46	0,300	0,86	OK	4,953	Grau 4
6	5	5		BA3	Ed. Canto, cafeteria no R/C	0,32	0,00	0,00	0,32	-0,020	0,70	OK	1,410	Grau 1 - Sem danos
7	1	1		A1	Devoluto	0,62	0,00	0,00	0,62	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
8	3p+1r	4		BA2	Bom estado	0,48	0,00	0,00	0,48	0,140	0,86	OK	2,419	Grau 2
9	3p+1r	4		BA2	Bom estado	0,48	0,00	0,00	0,48	0,140	0,86	OK	2,419	Grau 2
10	3	3		BA2	Bom estado, ed. Canto	0,48	-0,02	0,00	0,46	0,140	0,86	OK	2,283	Grau 2
11	3	3		BA2	Bom estado	0,48	-0,02	0,00	0,46	0,140	0,86	OK	2,283	Grau 2
12	2	2		A1	Razoável	0,62	-0,04	0,00	0,58	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
13	3	3		BA2	Bom estado	0,48	-0,02	0,00	0,46	0,140	0,86	OK	2,283	Grau 2



Bom	Médio (4 a 7)	Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
			0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,14
			0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,02
			0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,10
			0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,04
			0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,02
Bom	Baixo (< 3)	Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0	-0,02	0	0	0,04	0	0	0,02	0,02
Bom	Baixo (< 3)	Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0	-0,02	0	0	0,04	0	0	0,02	0,02
			0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,06
			0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,04
Razoável	Baixo (< 3)	Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0,02	-0,02	0	0	0,04	0	0	0,04	0,04
			0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,06
Bom	Baixo (< 3)	Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0	-0,02	0	0	0	0	0	-0,02	-0,02
Bom	Baixo (< 3)	Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0	-0,02	0	0	0	0	0	-0,02	-0,02
			0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,02
Razoável	Médio (4 a 7)	Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0,01	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01
			0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,02
			0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,06
			0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,14
Bom	Médio (4 a 7)	Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
			0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Bom	Médio (4 a 7)	Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Bom	Médio (4 a 7)	Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Bom	Baixo (< 3)	Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0	-0,02	0	0	0	0	0	-0,02	-0,02
Bom	Baixo (< 3)	Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0	-0,02	0	0	0	0	0	-0,02	-0,02
			0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,06
Bom	Baixo (< 3)	Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0	-0,02	0	0	0	0	0	-0,02	-0,02

14	3	3		BA1	Ed. Canto	0,64	0,02	0,00	0,66	0,300	1,02	OK	3,568	Grau 3
15	5	5		BA2	Bom estado	0,48	-0,02	0,00	0,46	0,140	0,86	OK	2,283	Grau 2
16	2	2		A1	Estado razoável	0,62	-0,06	0,00	0,56	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
17	2	2		A1	Devoluto	0,62	-0,08	0,00	0,54	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
18	2	2		A1	Ed canto, bom estado	0,62	-0,08	0,00	0,54	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
19	2	2		A1	Bom estado	0,62	-0,12	0,00	0,50	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
20	2	2		A1	Bom estado	0,62	-0,08	0,00	0,54	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
21	4	4		BA2	Bom estado	0,48	0,00	0,00	0,48	0,140	0,86	OK	2,419	Grau 2
22	4	4		BA2	Bom estado, c/ piso vazado	0,48	0,01	0,00	0,49	0,140	0,86	OK	2,486	Grau 2
23	1	1		A1	Devoluto, mau estado	0,62	0,06	0,00	0,68	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
24	1	1		A1	Mau estado	0,62	0,04	0,00	0,66	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
25	3	3		BA2	Estado razoavel, ed canto	0,48	-0,01	0,00	0,47	0,140	0,86	OK	2,351	Grau 2
26	3	3		BA2	Ed. Canto, razoável	0,48	-0,01	0,00	0,47	0,140	0,86	OK	2,351	Grau 2
27	2	2		A1	Estado razoável	0,62	0,04	0,00	0,66	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
28	1	1		A1	Devoluto	0,62	-0,04	0,00	0,58	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
29	2p+1r	3			traseira do edificio									
30	2p+1r	3			traseira do edificio									
31	2	2		A1	Estado razoável	0,62	-0,08	0,00	0,54	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
32					ed canto, mm que ed. 19									
33														
1	4	4	recente	BA3	Bom estado, novo	0,32	0,00	0,00	0,32	-0,020	0,70	OK	1,410	Grau 1 - Sem danos
2	2	2	anos 40	A1	Bom estado	0,62	-0,16	0,00	0,46	0,300	0,86	OK	4,953	Grau 4
3	4	4		BA2	Razoavel	0,48	0,01	0,00	0,49	0,140	0,86	OK	2,486	Grau 2
4	1	1		A1	Devoluto	0,62	-0,08	0,00	0,54	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
5	1	1		A1	Razoavel	0,62	-0,08	0,00	0,54	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
6	2	2		BA2	Bom estado	0,48	-0,02	0,00	0,46	0,140	0,86	OK	2,283	Grau 2
7	3	3		BA2	Bom estado	0,48	-0,02	0,00	0,46	0,140	0,86	OK	2,283	Grau 2
8	2	2		A1	Ed. Canto, mau estado	0,62	-0,02	0,00	0,60	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
9	1	1		A1	Pastelaria Gardy, Bom estado	0,62	-0,10	0,00	0,52	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
10	2	2		A1	Devoluto	0,62	0,00	0,00	0,62	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
11	2	2		BA2	Razoavel	0,48	0,01	0,00	0,49	0,140	0,86	OK	2,486	Grau 2
12	2	2		A1	Razoavel	0,62	-0,06	0,00	0,56	0,300	0,86	OK	5,000	Grau 5 - Colapso
13	3	3		BA2	Bom estado	0,48	0,00	0,00	0,48	0,140	0,86	OK	2,419	Grau 2
14	2	2	80	A1	Bom estado, traseiras Loja Antonio Manuel	0,62	-0,20	0,00	0,42	0,300	0,86	OK	4,720	Grau 4
15	4	4	70	BA2	Razoavel	0,48	0,01	0,00	0,49	0,140	0,86	OK	2,486	Grau 2
16	3	3		BA1	Razoável	0,64	0,00	0,00	0,64	0,300	1,02	OK	3,455	Grau 3
17	4	4		BA2	Razoavel	0,48	0,01	0,00	0,49	0,140	0,86	OK	2,486	Grau 2





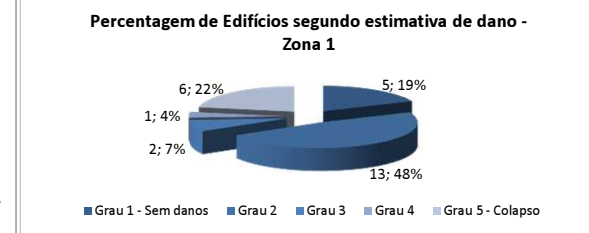
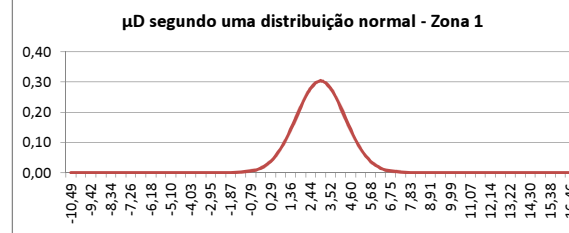
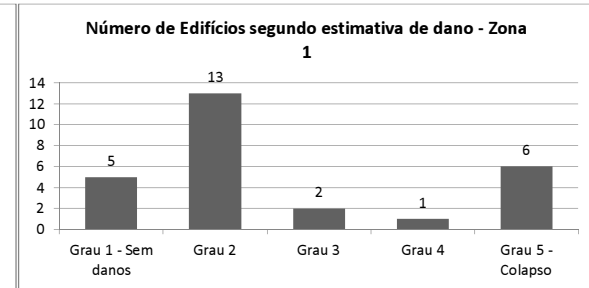
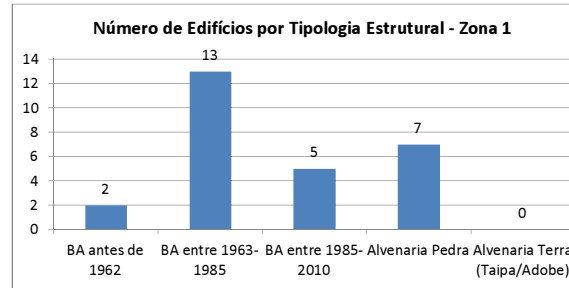
Bom	Baixo (< 3)		Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0	-0,02	0	0	0,04	0	0	0,02	0,02
Bom	Baixo (< 3)		Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0	-0,02	0	0	0	0	0	-0,02	-0,02
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,08
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,04
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,10
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,14
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,10
Bom	Médio (4 a 7)		Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Bom	Médio (4 a 7)	Massa	Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0	0	0,01	0	0	0	0	0,01	0,01
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,06
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,06
Razoável	Baixo (< 3)		Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0,01	-0,02	0	0	0	0	0	-0,01	-0,01
Razoável	Baixo (< 3)		Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0,01	-0,02	0	0	0	0	0	-0,01	-0,01
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,06
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,02
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,10
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Bom	Médio (4 a 7)	Geometria	Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,14
Razoável	Médio (4 a 7)		Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0,01	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,04
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,10
Bom	Baixo (< 3)		Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0	-0,02	0	0	0	0	0	-0,02	-0,02
Bom	Baixo (< 3)		Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0	-0,02	0	0	0	0	0	-0,02	-0,02
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,02
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,08
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,02
Razoável	Baixo (< 3)	Massa	Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0,01	-0,02	0	0,02	0	0	0	0,01	0,01
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,02
Bom	Baixo (< 3)	Massa	Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0	-0,02	0	0,02	0	0	0	0,00	0,00
				0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,24
Razoável	Médio (4 a 7)		Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0,01	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01
Razoável	Baixo (< 3)		Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0,02	-0,02	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Razoável	Médio (4 a 7)		Juntas Sísmicas Insuficientes ou Inexistentes	0,01	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01



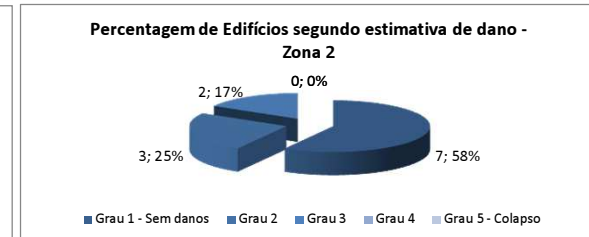
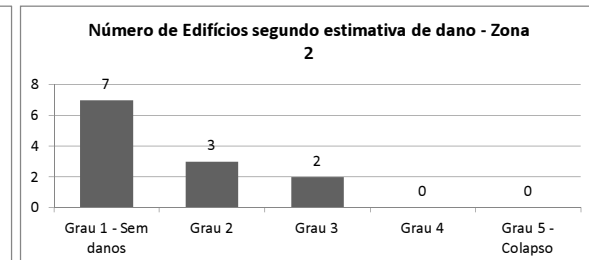
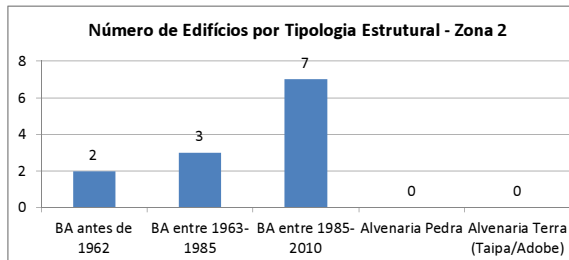




Zona 1		Nº Edifícios	
Betão Armado	BA1	BA antes de 1962	2
	BA2	BA entre 1963-1985	13
	BA3	BA entre 1985-2010	5
Alvenaria	A1	Alvenaria Pedra	7
	A2	Alvenaria Terra (Taipa/Adobe)	0
Total			27
Dados obtidos	V0 médio ponderado		0,50
	V <sub>total</sub> médio		0,49
	μ <sub>0</sub> médio		3
	Desvio padrão		1
Estimativa de dano	EMS-98		Nº Edifícios Afectados
	Grau 1 - Sem danos		5
	Grau 2		13
	Grau 3		2
	Grau 4		1
Grau 5 - Colapso		6	
22% Edifícios colapsados			

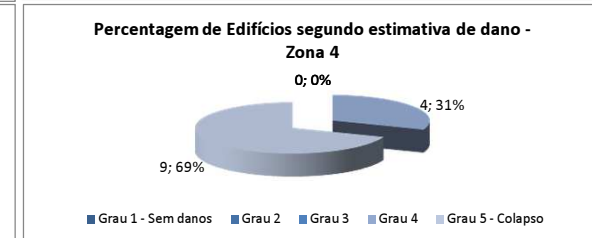
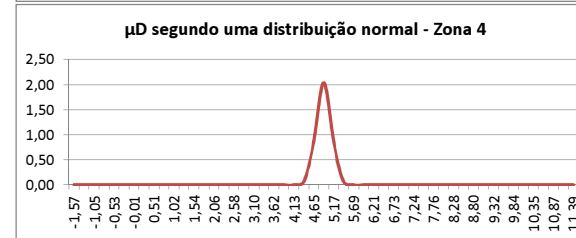
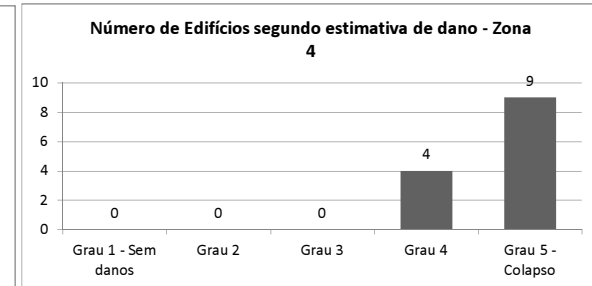
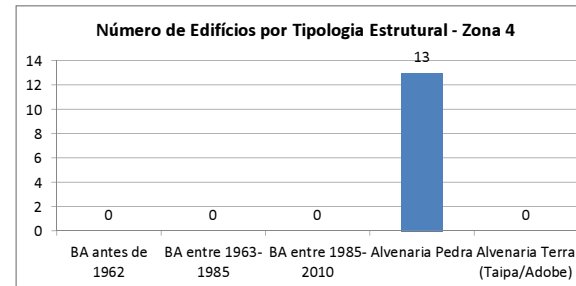
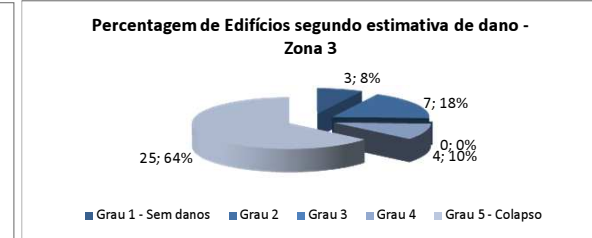
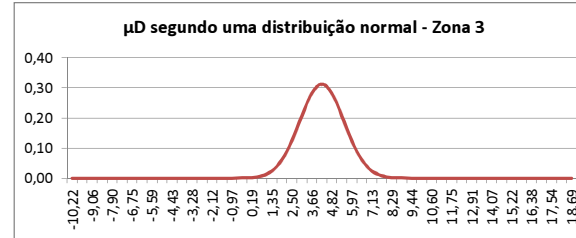
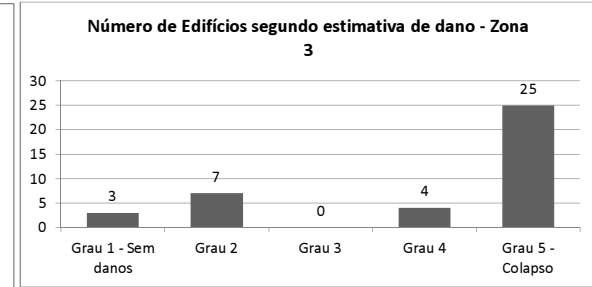
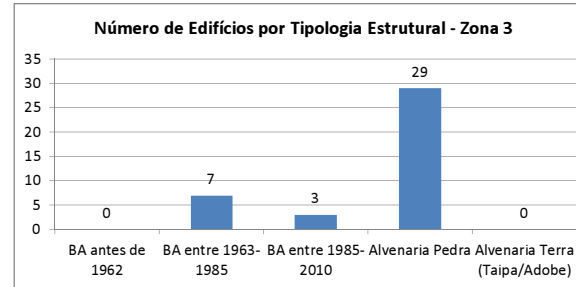


Zona 2		Nº Edifícios	
Betão Armado	BA1	BA antes de 1962	2
	BA2	BA entre 1963-1985	3
	BA3	BA entre 1985-2010	7
Alvenaria	A1	Alvenaria Pedra	0
	A2	Alvenaria Terra (Taipa/Adobe)	0
Total			12
Dados obtidos	V0 médio ponderado		0,42
	V <sub>total</sub> médio		0,43
	μ <sub>0</sub> médio		2
	Desvio padrão		1
Estimativa de dano	EMS-98		Nº Edifícios Afectados
	Grau 1 - Sem danos		7
	Grau 2		3
	Grau 3		2
	Grau 4		0
Grau 5 - Colapso		0	
0% Edifícios colapsados			

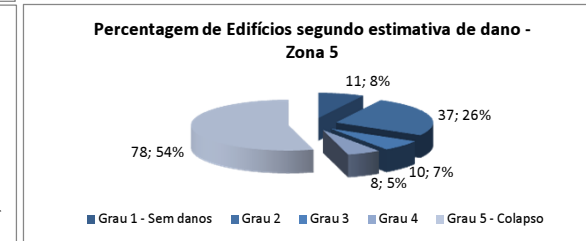
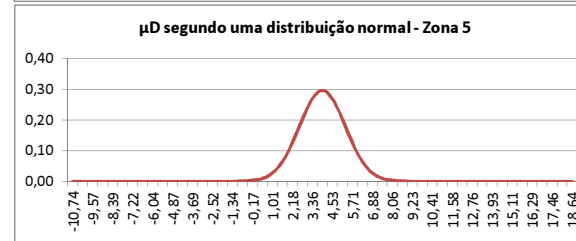
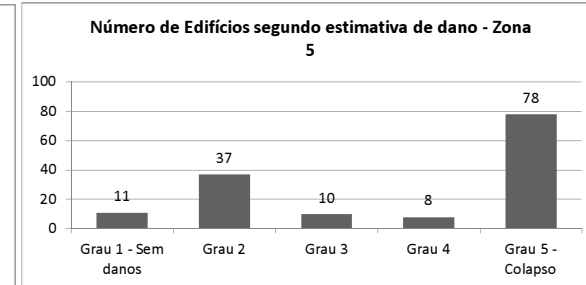
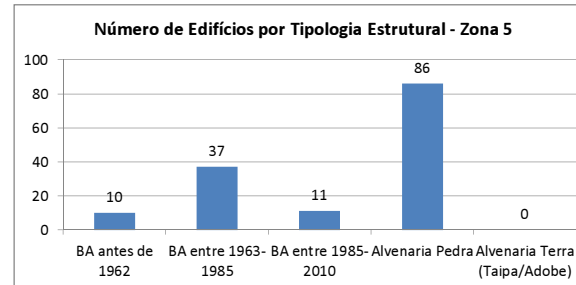


Zona 3		Nº Edifícios	
Betão Armado	BA1	BA antes de 1962	0
	BA2	BA entre 1963-1985	7
	BA3	BA entre 1985-2010	3
Alvenaria	A1	Alvenaria Pedra	29
	A2	Alvenaria Terra (Taipa/Adobe)	0
Total			39
Dados obtidos	V0 médio ponderado		0,57
	V <sub>total</sub> médio		0,56
	μ <sub>0</sub> médio		4
	Desvio padrão		1
Estimativa de dano	EMS-98		Nº Edifícios Afectados
	Grau 1 - Sem danos		3
	Grau 2		7
	Grau 3		0
	Grau 4		4
Grau 5 - Colapso		25	
64% Edifícios colapsados			

Zona 4		Nº Edifícios	
Betão Armado	BA1	BA antes de 1962	0
	BA2	BA entre 1963-1985	0
	BA3	BA entre 1985-2010	0
Alvenaria	A1	Alvenaria Pedra	13
	A2	Alvenaria Terra (Taipa/Adobe)	0
Total			13
Dados obtidos	V0 médio ponderado		0,62
	V <sub>total</sub> médio		0,52
	μ <sub>0</sub> médio		5
	Desvio padrão		0
Estimativa de dano	EMS-98		Nº Edifícios Afectados
	Grau 1 - Sem danos		0
	Grau 2		0
	Grau 3		0
	Grau 4		4
Grau 5 - Colapso		9	
69% Edifícios colapsados			



Zona 5		Nº Edifícios	
Betão Armado	BA1	BA antes de 1962	10
	BA2	BA entre 1963-1985	37
	BA3	BA entre 1985-2010	11
Alvenaria	A1	Alvenaria Pedra	86
	A2	Alvenaria Terra (Taipa/Adobe)	0
Total			144
Dados obtidos	V0 médio ponderado		0,56
	V <sub>total</sub> médio		0,53
	μ <sub>D</sub> médio		4
	Desvio padrão		1
Estimativa de dano	EMS-98		Nº Edifícios Afectados
	Grau 1 - Sem danos		11
	Grau 2		37
	Grau 3		10
	Grau 4		8
Grau 5 - Colapso		78	
54% Edifícios colapsados			



**Zona 1**

	Segundo dados CENSOS 2001	Segundo dados obtidos no levantamento
V <sub>total</sub> médio	#REF!	0,49
μ <sub>D</sub> médio	#REF!	3

**Zona 2**

	Segundo dados CENSOS 2001	Segundo dados obtidos no levantamento
V <sub>total</sub> médio	#REF!	0,43
μ <sub>D</sub> médio	#REF!	2

**Zona 3**

	Segundo dados CENSOS 2001	Segundo dados obtidos no levantamento
V <sub>total</sub> médio	#REF!	0,56
μ <sub>D</sub> médio	#REF!	4

**Zona 4**

	Segundo dados CENSOS 2001	Segundo dados obtidos no levantamento
V <sub>total</sub> médio	#REF!	0,52
μ <sub>D</sub> médio	#REF!	5

**Zona 5**

	Segundo dados CENSOS 2001	Segundo dados obtidos no levantamento
V <sub>total</sub> médio	#REF!	0,53
μ <sub>D</sub> médio	#REF!	4



Tabela A.8 - Tabela de cálculo com os dados estatísticos do CENSOS 2001 relativamente às secções constituintes da rede urbana criada.

ID	GROUP	COUNT	Área (ha)	Total de Edifícios	Total edifícios clássicos	Ano de Construção									
						A			BA						
						A2	A1	BA1	BA2		BA3				
area_SUM	tte_SUM	ttec_SUM	e1919_SU	e1945_SU	e1960_SU	e1970_SU	e1980_SU	e1985_SU	e1990_SU	e1995_SU	e2001_SU				
0	6	9	3,93	153	153	23	49	14	19	20	12	6	5	5	
1	7	5	1,77	63	62	15	6	6	8	15	4	2	2	4	
2	1002	1	1,55	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
3	1	15	8,97	87	86	48	28	2	1	2	1	2	0	2	
4	1005	1	2,78	13	13	0	7	0	6	0	0	0	0	0	
5	1006	1	4,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	53	6	7,99	131	130	0	8	48	25	19	17	8	2	3	
7	41	3	1,52	63	63	2	21	16	6	9	3	2	2	2	
8	35	7	4,60	33	33	0	0	0	0	12	15	5	1	0	
9	66	2	3,79	50	50	1	11	14	9	3	2	0	3	7	
10	1011	1	5,83	4	3	0	2	1	0	0	0	0	0	0	
11	67	5	3,69	142	141	4	14	66	45	1	6	1	3	1	
12	39	5	4,90	21	21	0	0	4	0	4	10	1	0	2	
13	51	3	3,62	63	63	0	3	16	23	4	1	8	8	0	
14	34	8	3,04	138	133	14	37	40	12	14	5	5	1	5	
15	1015	1	21,83	18	18	0	0	5	8	5	0	0	0	0	
16	1016	1	1,68	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
17	1019	1	2,74	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
18	1022	1	3,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	74	2	4,93	48	48	0	2	2	32	6	3	3	0	0	
20	52	3	4,81	33	32	0	0	10	1	2	0	2	17	0	
21	1025	1	3,72	12	12	0	5	3	0	0	0	0	0	4	
22	1026	1	2,46	33	33	0	5	6	7	7	1	1	1	5	
23	70	2	3,53	61	61	0	16	9	22	8	0	0	3	3	
24	40	9	3,77	129	128	19	28	42	13	13	2	3	3	5	
25	17	3	4,27	20	20	0	0	0	0	0	1	17	2	0	
26	49	7	3,43	110	110	5	34	16	31	11	5	0	3	5	
27	65	4	2,13	61	61	10	8	12	8	19	2	1	1	0	
28	1043	1	13,36	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	
29	50	3	2,63	80	80	0	1	21	41	13	3	0	0	1	
30	1046	1	2,11	59	59	0	24	19	10	3	0	0	2	1	
31	43	2	2,88	38	38	0	0	0	7	17	1	10	3	0	
32	24	10	4,11	74	74	34	18	4	5	4	2	2	0	5	
33	22	10	3,37	85	85	19	40	4	11	4	1	1	2	3	
34	23	7	4,28	154	154	29	67	21	9	10	3	4	9	2	
35	1049	1	2,00	25	25	0	0	11	13	1	0	0	0	0	
36	33	8	2,31	90	90	23	14	10	15	11	4	4	3	6	
37	14	10	4,61	120	120	8	22	19	32	19	11	0	0	9	
38	1050	1	1,49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
39	42	3	1,55	54	54	0	12	7	20	7	0	3	0	5	
40	44	3	4,31	61	61	0	21	17	7	11	3	0	1	1	
41	1060	1	0,96	14	14	0	2	1	3	1	0	1	2	4	
42	45	4	2,52	59	59	0	9	24	6	10	1	2	3	4	
43	58	6	4,60	64	63	0	1	2	0	0	0	1	43	16	
44	21	11	3,31	151	151	51	42	20	20	9	2	2	4	1	
45	26	8	3,10	80	80	11	21	13	25	5	1	1	0	3	
46	32	5	2,37	79	79	0	1	2	60	15	1	0	0	0	
47	73	2	2,29	40	40	0	17	1	8	12	0	1	0	1	
48	15	3	4,08	21	20	2	1	3	3	4	1	0	0	6	
49	62	2	7,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
50	19	12	3,51	64	64	0	9	14	26	10	0	3	1	1	
51	54	3	3,37	58	58	0	0	0	6	0	0	1	0	51	
52	57	7	3,06	69	69	0	0	46	0	13	2	2	4	2	
53	63	2	3,60	73	73	1	9	17	19	15	0	8	3	1	
54	31	5	1,69	71	71	16	3	9	17	5	6	7	3	5	
55	30	4	1,46	34	34	0	1	0	28	5	0	0	0	0	
56	1076	1	1,26	13	13	6	1	0	2	0	0	1	2	1	
57	25	9	2,13	52	52	2	1	6	38	5	0	0	0	0	
58	69	2	2,11	44	44	0	8	17	6	3	2	3	1	4	
59	55	6	5,54	53	53	0	0	0	0	0	0	7	28	18	
60	1086	1	1,86	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
61	13	5	2,43	67	67	1	10	29	6	5	4	3	7	2	
62	48	3	2,57	85	85	0	0	14	55	13	2	0	1	0	
63	8	5	2,94	49	49	13	10	8	9	5	0	0	2	2	
64	61	4	4,30	124	124	0	23	34	27	20	4	6	6	4	
65	1095	1	6,04	2	2	0	0	0	0	1	0	0	1	0	
66	10	7	3,34	17	17	0	7	1	1	1	1	2	1	3	
67	1098	1	4,27	29	29	0	4	2	2	8	1	2	4	6	
68	12	7	2,75	96	95	16	22	24	12	6	8	1	1	5	
69	56	6	4,04	47	47	1	0	22	0	0	3	17	2	2	
70	46	2	1,29	51	51	7	12	7	6	2	7	1	5	4	
71	1102	1	5,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
72	11	6	4,77	78	78	7	35	11	6	7	2	0	3	7	
73	60	3	6,44	51	51	0	4	2	2	19	4	4	9	7	
74	1111	1	1,97	18	18	0	0	2	1	2	0	1	12	0	
75	1130	1	3,48	44	44	0	0	29	5	0	0	2	1	7	
76	1135	1	3,19	17	17	0	0	9	2	4	1	0	1	0	
77	71	2	1,54	61	61	0	13	12	26	7	1	2	0	0	
78	1150	1	1,09	11	11	0	0	0	6	3	2	0	0	0	
79	1155	1	4,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
80	1157	1	5,30	35	35	0	0	6	2	6	3	7	6	5	
<b>TOTAL</b>		<b>321</b>	<b>4254</b>	<b>4239</b>	<b>388</b>	<b>772</b>	<b>853</b>	<b>882</b>	<b>495</b>	<b>177</b>	<b>179</b>	<b>233</b>	<b>260</b>		

(continuação Tabela A.8)

Nº pisos			Material estrutural					Total de indivíduos residentes	Total de indivíduos presentes
1 ou 2 pisos	3 ou 4	5 ou mais	betão armado	paredes alvenaria argamassada	paredes pedra taipa adobe	outros elementos resistentes			
pv2_SUM	pv4_SUM	pv5_SUM	ebar_SUM	earq_SUM	epat_SUM	leore_SUM	ttr_SUM	ttp_SUM	
112	25	16	40	82	31	0	472	483	
35	21	6	1	51	10	0	226	226	
0	1	0	1	0	0	0	0	22	
79	7	0	25	5	56	0	201	211	
13	0	0	5	8	0	0	18	124	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
36	37	57	33	70	27	0	1623	1611	
47	14	2	23	38	2	0	194	195	
12	0	21	21	12	0	0	1675	1741	
30	7	13	22	28	0	0	396	381	
3	0	0	0	3	0	0	1	580	
111	23	7	39	91	11	0	562	568	
0	3	18	17	4	0	0	718	679	
17	19	27	16	47	0	0	846	885	
113	18	2	22	51	60	0	387	391	
3	13	2	17	1	0	0	64	62	
1	0	0	0	1	0	0	52	172	
1	0	0	1	0	0	0	45	47	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	17	21	10	38	0	0	440	427	
0	22	10	32	0	0	0	612	582	
8	0	4	4	8	0	0	102	98	
11	9	13	27	5	1	0	487	472	
34	18	9	33	19	9	0	310	387	
108	13	7	27	42	59	0	569	552	
0	1	19	19	1	0	0	459	450	
60	33	17	4	104	2	0	539	527	
34	20	7	31	21	9	0	349	358	
2	0	0	0	2	0	0	10	9	
52	17	11	16	64	0	0	322	325	
50	7	2	52	1	6	0	178	167	
9	7	22	14	24	0	0	762	751	
60	11	3	13	29	32	0	241	237	
72	12	1	16	50	19	0	190	256	
130	21	3	39	81	33	1	364	375	
14	10	1	24	1	0	0	130	123	
62	16	12	23	60	7	0	325	363	
92	27	1	88	25	7	0	449	454	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
27	21	6	53	1	0	0	233	225	
50	4	7	60	1	0	0	412	389	
1	5	8	14	0	0	0	170	159	
22	28	9	51	8	0	0	564	521	
22	36	5	59	4	0	0	568	565	
149	2	0	28	123	0	0	308	300	
73	5	2	12	68	0	0	197	189	
61	12	6	30	49	0	0	213	217	
20	11	9	39	1	0	0	231	225	
12	2	6	14	4	2	0	201	202	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
57	2	5	40	24	0	0	278	288	
7	51	0	25	32	1	0	218	205	
34	22	13	37	32	0	0	513	520	
28	29	16	58	14	1	0	483	452	
40	17	14	7	64	0	0	268	278	
17	9	8	21	13	0	0	186	192	
9	0	4	4	9	0	0	365	348	
46	6	0	17	35	0	0	82	79	
20	14	10	44	0	0	0	270	267	
1	10	42	10	43	0	0	1358	1303	
2	0	0	1	1	0	0	1	26	
42	11	14	36	28	3	0	388	353	
36	43	6	24	61	0	0	307	311	
24	23	2	0	41	8	0	98	98	
83	34	7	65	58	0	1	590	561	
2	0	0	1	1	0	0	6	8	
9	6	2	1	14	2	0	152	173	
16	3	10	7	22	0	0	307	307	
63	23	9	14	66	15	0	214	257	
15	19	13	7	36	4	0	599	582	
36	10	5	2	49	0	0	187	173	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
58	12	8	19	55	4	0	218	352	
7	5	39	31	20	0	0	1419	1365	
2	3	13	11	7	0	0	506	483	
8	29	7	36	8	0	0	267	257	
11	5	1	1	14	2	0	114	112	
34	20	7	48	13	0	0	347	345	
7	2	2	4	7	0	0	236	238	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	17	13	29	6	0	0	630	577	
2577	1000	662	1715	2099	423	2	28022	28793	



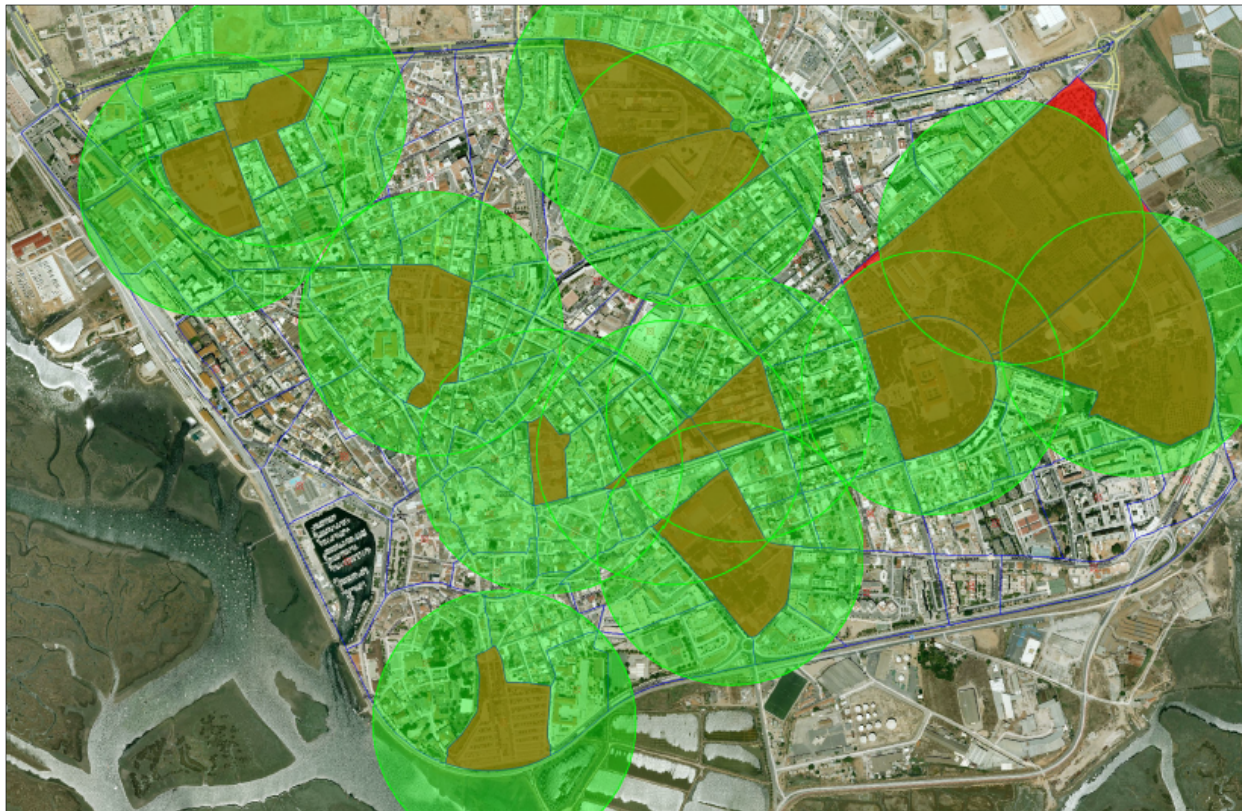


Figura A.1 - Mapa do núcleo urbano de Faro com indicação de raio de 300 metros mostrando a área abrangente em redor dos pontos de refúgio.

Tabela A.9 – O ficheiro 0\_AE\_data\_nodes.csv contém os dados de entrada no algoritmo de emergência referentes aos nós, nomeadamente, área, coordenadas planimétricas e altimétricas, população presente, grau de dano estimado e indicação de ponto de refúgio.

//		DADOS DOS NÓS				Actualizado a:		#####	
//									
//		Coord							
//	Nr SIG	Area	Coord X	Coord Y	Z	População	Dano	Refugios	
	0	39303	217935.8	5382.06	12	483	3.56	0	
	1	17676	217844.88	5506.36	14	226	3.21	0	
	2	15492	218509.65	5357.5	12	22	1.41	0	
	3	89704	217681.38	5299.5	10	211	4.67	0	
	4	27764	218025.89	5239.91	8	124	3.81	0	
	5	40828	217860.15	5165.74	7	0	0.00	10	
	6	79851	218662.38	6377.72	25	1611	2.79	0	
	7	15204	217564.42	6274.17	21	195	3.52	0	
	8	46011	218048.73	6324.32	24	1741	1.79	0	
	9	37921	217972.46	6567.4	25	381	3.11	0	
	10	58343	218164.1	6582.17	24	580	4.52	10	

11	36935	217829.13	6565.19	25	568	3.22	0
12	48988	217136.5	6564.58	19	679	2.07	0
13	36162	218692.13	6547.65	21	885	2.58	0
14	30425	217670	6577.89	24	391	3.63	0
15	218337	219008.98	6278.03	24	62	2.78	10
16	16815	216954.77	6552.36	14	172	2.42	0
17	27408	216886.82	6444.3	11	47	3.55	0
18	32088	217196.94	6387.68	18	0	0.00	10
19	49328	218278.26	6410.65	24	427	2.44	10
20	48125	218959.17	6530.7	19	582	2.24	0
21	37192	217879.17	6311.51	23	98	3.4	0
22	24634	217178.23	6297.99	16	472	2.73	0
23	35284	217406.43	6295.4	21	387	3.15	0
24	37652	217689.59	6403.85	23	552	3.65	0
25	42697	217072.14	6249.03	14	450	1.43	0
26	34264	218380.83	6297.77	25	527	3.36	0
27	21346	217732.41	6260.17	22	358	3.35	0
28	133630	219286.24	6024.98	23	9	5.00	10
29	26308	218521.79	6216.4	28	325	2.72	0
30	21102	218151.34	6126.02	24	167	3.79	0
31	28785	218071.24	6167.99	24	751	2.06	0
32	41058	217693.37	6070.7	19	237	4.17	10
33	33674	217392.45	6079.24	18	256	4.18	0
34	42814	217547.33	6073.69	18	375	4.07	0
35	19994	218566.57	6056.74	28	123	2.95	0
36	23136	217830.98	6047.53	20	363	3.42	0
37	46072	217268.06	6010.74	16	454	3.08	0
38	14874	218192.27	6054.54	24	0	0.00	0
39	15504	217991.19	6015.64	21	225	2.98	0
40	43133	218303.28	6023.98	24	389	3.55	0
41	9598	218104.08	5943.57	21	159	2.27	0
42	25174	218392.4	5875.57	23	521	3.11	10
43	45993	219096.37	5855.45	29	565	1.53	0
44	33118	217577.58	5842.9	15	300	4.1	0
45	31048	217781.73	5882.99	18	189	3.58	0
46	23668	217956.09	5892.39	19	217	2.47	0
47	22946	218169.37	5853.2	21	225	3.42	0
48	40812	217205.25	5969.54	14	202	2.63	0
49	70358	218831.3	5937.78	37	0	0.00	10
50	35075	217495.01	5770.28	14	288	2.96	0
51	33690	219403.96	5716.39	20	205	1.52	0
52	30642	218900.79	5747.38	25	520	3.1	0
53	36044	218628.75	5793.17	24	452	2.87	0
54	16898	218058.39	5766.25	19	278	2.96	0

55	14554	217960.47	5758.31	18	192	2.5	10
56	12594	218234.51	5778.51	20	348	3.49	10
57	21252	217840.68	5764.35	17	79	2.7	0
58	21053	218445.2	5739.02	21	267	3.1	0
59	55354	219207	5677.01	24	1303	1.42	0
60	18642	217394.66	5703.13	13	26	3.2	0
61	24286	218214.25	5686.47	18	353	3.11	0
62	25682	218429.9	6119.84	26	311	2.59	0
63	29405	217828.69	5639.54	15	98	3.73	0
64	43034	218691.17	5639.81	23	561	3.06	0
65	60433	218372.61	5550.3	16	8	1.91	10
66	33351	217677.02	5582.23	13	173	3.1	0
67	42702	219197.5	5516.96	22	307	2.38	0
68	27482	218022.79	5600.29	16	257	3.59	0
69	40425	218974.83	5618.45	23	582	2.55	0
70	12893	218500.71	5618.7	19	173	3.21	0
71	49997	217501.88	5530.61	11	0	0.00	0
72	47663	218161.95	5479.11	13	352	3.82	0
73	64418	218681.78	5460.55	17	1365	2.14	0
74	19669	218918.24	5474.93	19	483	1.85	0
75	34788	218581.88	5935.24	26	257	3.03	0
76	31871	217335.95	6547.47	23	112	2.93	10
77	15416	217344.79	6445.56	22	345	3.15	0
78	10904	217897.01	6158.63	22	238	2.24	0
79	47534	218246.12	5328.47	9	0	0.00	0
80	52984	217517.18	6519.89	24	577	2.04	0

Tabela A.10 - O ficheiro 0\_AE\_data\_edges.csv contém a informação relativa às arestas, nomeadamente, nós de origem e destino.

//	DADOS DAS ARESTAS			Actualizado a:	#####
	Nr				
//	Aresta	SIG (n)		SciLab (n+1)	
		Nó	Nó		
//	SciLab	Origem	Destino	Nó Origem	Nó Destino
	1	0	5	1	6
	2	4	0	5	1
	3	79	72	80	73
	4	2	65	3	66
	5	73	65	74	66
	6	74	73	75	74
	7	51	28	52	29
	8	51	59	52	60
	9	59	43	60	44

10	43	49	44	50
11	52	49	53	50
12	67	69	68	70
13	69	52	70	53
14	64	70	65	71
15	70	65	71	66
16	20	15	21	16
17	13	19	14	20
18	6	15	7	16
19	6	19	7	20
20	26	19	27	20
21	53	49	54	50
22	75	49	76	50
23	58	42	59	43
24	75	42	76	43
25	61	56	62	57
26	3	0	4	1
27	72	68	73	69
28	68	61	69	62
29	0	68	1	69
30	0	1	1	2
31	61	65	62	66
32	35	75	36	76
33	40	42	41	43
34	71	66	72	67
35	66	63	67	64
36	63	1	64	2
37	60	50	61	51
38	50	44	51	45
39	63	57	64	58
40	44	45	45	46
41	57	55	58	56
42	48	37	49	38
43	37	33	38	34
44	33	34	34	35
45	34	32	35	33
46	45	32	46	33
47	36	32	37	33
48	17	16	18	17
49	16	12	17	13
50	12	76	13	77
51	25	22	26	23
52	22	18	23	19
53	77	23	78	24

54	77	18	78	19
55	77	76	78	77
56	9	10	10	11
57	11	9	12	10
58	80	76	81	77
59	14	80	15	81
60	14	11	15	12
61	8	19	9	20
62	10	19	11	20
63	7	23	8	24
64	27	7	28	8
65	24	27	25	28
66	27	21	28	22
67	21	8	22	9
68	54	55	55	56
69	45	46	46	47
70	47	56	48	57
71	41	38	42	39
72	38	26	39	27
73	41	46	42	47
74	31	19	32	20
75	30	31	31	32
76	78	31	79	32
77	36	78	37	79
78	39	41	40	42
79	29	26	30	27
80	29	35	30	36
81	38	40	39	41
82	62	29	63	30
83	3	5	4	6
84	5	4	6	5
85	4	79	5	80
86	79	2	80	3
87	72	65	73	66
88	0	72	1	73
89	3	1	4	2
90	3	71	4	72
91	74	67	75	68
92	1	66	2	67
93	68	55	69	56
94	46	55	47	56
95	71	60	72	61
96	66	50	67	51
97	54	47	55	48



98	47	40	48	41
99	40	62	41	63
100	2	73	3	74
101	73	64	74	65
102	74	69	75	70
103	28	15	29	16
104	13	6	14	7
105	20	13	21	14
106	9	8	10	9
107	11	21	12	22
108	14	24	15	25
109	12	18	13	19
110	44	33	45	34
111	37	25	38	26
112	17	25	18	26
113	23	33	24	34
114	80	7	81	8
115	64	52	65	53
116	64	53	65	54
117	58	70	59	71
118	61	58	62	59
119	56	42	57	43
120	53	58	54	59
121	15	49	16	50
122	28	43	29	44
123	67	59	68	60
124	59	69	60	70
125	52	43	53	44
126	35	15	36	16
127	29	6	30	7
128	62	35	63	36
129	30	38	31	39
130	39	36	40	37
131	21	78	22	79
132	27	32	28	33
133	7	34	8	35
134	50	37	51	38
135	8	31	9	32
136	39	31	40	32
137	23	18	24	19
138	22	33	23	34
139	67	51	68	52
140	41	47	42	48
141	60	48	61	49

142	48	25	49	26
143	44	32	45	33
144	45	57	46	58
145	66	45	67	46
146	63	68	64	69
147	63	55	64	56
148	5	0	6	1
149	0	4	1	5
150	72	79	73	80
151	65	2	66	3
152	65	73	66	74
153	73	74	74	75
154	28	51	29	52
155	59	51	60	52
156	43	59	44	60
157	49	43	50	44
158	49	52	50	53
159	69	67	70	68
160	52	69	53	70
161	70	64	71	65
162	65	70	66	71
163	15	20	16	21
164	19	13	20	14
165	15	6	16	7
166	19	6	20	7
167	19	26	20	27
168	49	53	50	54
169	49	75	50	76
170	42	58	43	59
171	42	75	43	76
172	56	61	57	62
173	0	3	1	4
174	68	72	69	73
175	61	68	62	69
176	68	0	69	1
177	1	0	2	1
178	65	61	66	62
179	75	35	76	36
180	42	40	43	41
181	66	71	67	72
182	63	66	64	67
183	1	63	2	64
184	50	60	51	61
185	44	50	45	51

186	57	63	58	64
187	45	44	46	45
188	55	57	56	58
189	37	48	38	49
190	33	37	34	38
191	34	33	35	34
192	32	34	33	35
193	32	45	33	46
194	32	36	33	37
195	16	17	17	18
196	12	16	13	17
197	76	12	77	13
198	22	25	23	26
199	18	22	19	23
200	23	77	24	78
201	18	77	19	78
202	76	77	77	78
203	10	9	11	10
204	9	11	10	12
205	76	80	77	81
206	80	14	81	15
207	11	14	12	15
208	19	8	20	9
209	19	10	20	11
210	23	7	24	8
211	7	27	8	28
212	27	24	28	25
213	21	27	22	28
214	8	21	9	22
215	55	54	56	55
216	46	45	47	46
217	56	47	57	48
218	38	41	39	42
219	26	38	27	39
220	46	41	47	42
221	19	31	20	32
222	31	30	32	31
223	31	78	32	79
224	78	36	79	37
225	41	39	42	40
226	26	29	27	30
227	35	29	36	30
228	40	38	41	39
229	29	62	30	63

230	5	3	6	4
231	4	5	5	6
232	79	4	80	5
233	2	79	3	80
234	65	72	66	73
235	72	0	73	1
236	1	3	2	4
237	71	3	72	4
238	67	74	68	75
239	66	1	67	2
240	55	68	56	69
241	55	46	56	47
242	60	71	61	72
243	50	66	51	67
244	47	54	48	55
245	40	47	41	48
246	62	40	63	41
247	73	2	74	3
248	64	73	65	74
249	69	74	70	75
250	15	28	16	29
251	6	13	7	14
252	13	20	14	21
253	8	9	9	10
254	21	11	22	12
255	24	14	25	15
256	18	12	19	13
257	33	44	34	45
258	25	37	26	38
259	25	17	26	18
260	33	23	34	24
261	7	80	8	81
262	52	64	53	65
263	53	64	54	65
264	70	58	71	59
265	58	61	59	62
266	42	56	43	57
267	58	53	59	54
268	49	15	50	16
269	43	28	44	29
270	59	67	60	68
271	69	59	70	60
272	43	52	44	53
273	15	35	16	36

274	6	29	7	30
275	35	62	36	63
276	38	30	39	31
277	36	39	37	40
278	78	21	79	22
279	32	27	33	28
280	34	7	35	8
281	37	50	38	51
282	31	8	32	9
283	31	39	32	40
284	18	23	19	24
285	33	22	34	23
286	51	67	52	68
287	47	41	48	42
288	48	60	49	61
289	25	48	26	49
290	32	44	33	45
291	57	45	58	46
292	45	66	46	67
293	68	63	69	64
294	55	63	56	64

Tabela A.11 - Algoritmo de emergência desenvolvido em SCILAB – Criação da rede.

```
// ##### ALGORITMO 2 - AQUISIÇÃO DOS DADOS E CRIAÇÃO DA REDE ##### 14-02-2012 [v1.0]
disp(" |-----|");
disp(" | ALGORITMO DE EMERGENCIA PARA DETERMINAÇÃO DE ROTAS DE EVACUAÇÃO *RGA*2012
v1.0 |");
disp(" |-----|");
disp("##### Criação da rede urbana #####");
disp("... a adquirir dados de entrada...");
// 1. Leitura dos ficheiros que contêm os dados de entrada (nós e arestas)
NODES=evstr(read_csv("0_AE_data_nodes.csv",sep=";"));
EDGES=evstr(read_csv("0_AE_data_edges.csv",sep=";"));

// 2. Criação dos vectores de Origens e Destinos
O=EDGES(:,4); // vector nós de origem
D=EDGES(:,5); // vector nós de destino
```

```

// 3. Criação da Rede Base
disp("... a criar a rede...");
gA=make_graph("Rede",1,size(NODES,'r'),O,D);

// 4. Afectação dos dados aos nós da rede
disp("... a afectar os nós e arestas da rede...");
// Coordenadas militares x,y
x=NODES(:,3)';
y=NODES(:,4)';
gA.nodes.graphics.x = x;
gA.nodes.graphics.y = y;
// Cotas altimétricas z
z=NODES(:,5);
gA=add_node_data(gA,'cota',z);
// Area
area=NODES(:,2);
gA=add_node_data(gA,'area',area);
// População
pop=NODES(:,6);
gA=add_node_data(gA,'populacao',pop);
// Grau de dano
dano=NODES(:,7);
gA=add_node_data(gA,'dano',dano);

// 5. Afectação dos dados às arestas da rede
// Cálculo de Distancias entre nós = Comprimentos das arestas
for i=1:size(EDGES,'r')
    dist(i)=sqrt((x(D(i))-x(O(i)))^2+(y(D(i))-y(O(i)))^2+(z(D(i))-z(O(i)))^2);
end
gA=add_edge_data(gA,'distancias',dist);

// 6. Identificação dos pontos de refúgio

```

```

disp("... a identificar os pontos de refugio da rede...");
refugio=find(NODES(:,8)==10);
gA.nodes.graphics.defaults.diam=20;
gA.nodes.graphics.diam(refugio)=40;
gA.nodes.graphics.colors(1,refugio(:,:))=color('red');
gA.nodes.graphics.border(refugio)=2;

disp("Rede urbana criada com sucesso.");
save_graph(gA,'AE_rede.graph');

```

Tabela A.12 - Algoritmo de emergência desenvolvido em SCILAB – Implementação do algoritmo, 1ª fase.

```

// ##### ALGORITMO 3 - IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO DE EMERGENCIA - 1ª FASE ##### 15-02-2012
[v 1.0]
disp("##### Implementação do algoritmo de emergência #####");
// 1. Admissão dos parâmetros do problema: tempo de chegada em minutos (t1) e altura da onda em metros (h1)
disp("... a admitir parâmetros do problema...");
h1=input("Qual a altura da onda maritima (metros) >7?");
t1=input("Qual o tempo de chegada da onda (minutos)?");

// 2. Se altura da onda (h1) maior que a cota mínima dos nós
if h1 >= min(gA.nodes.data.cota) & h1 < max(gA.nodes.data.cota) then
// 2.1 Determinar os nós afectados
disp("... a determinar os nós afectados...");
for i=1:node_number(gA)
if gA.nodes.data.cota(i)<h1
gA.nodes.graphics.colors(1,i)=color('blue');
gA.nodes.graphics.border(i)=2;
nos_blue(1,i)=i;
end
end
nos_blue=nos_blue(find(nos_blue(:,:)<>0));

```

```

// 2.2 Determinar as arestas afectadas
disp("... a determinar as arestas afectadas...");
for i=1:edge_number(gA)
    if gA.nodes.data.cota(gA.edges.head(i))<h1 & gA.nodes.data.cota(gA.edges.tail(i))<h1
        gA.edges.graphics.foreground(i)=color('blue');
        gA.edges.graphics.width(i)=2;
    end
end
arestas_blue=find(gA.edges.graphics.foreground(:)==color('blue'));

// 2.3 Cálculo da população e area afectadas
disp("... a calcular população e área afectada...");
pop_af=sum(gA.nodes.data.populacao(nos_blue));
area_af=sum(gA.nodes.data.area(nos_blue));
perc_area_af=(area_af/sum(gA.nodes.data.area))*100;

// Gravar grafo
ficheiro1 = sprintf("AE_rede1_%dmetros_%dmin.graph",h1,t1);
save_graph(gA,ficheiro1);

// 2.4 Determinação da zona de segurança
disp("... a determinar zona de segurança...");
// Considerando velocidade igual a 1 m/s, obtem-se a distancia máxima aos refugios
d1=t1*60*1;

// 2.5 Identificação dos pontos de refugio
disp("... a identificar pontos de refugio...");
for i=1:node_number(gA)
    if gA.nodes.graphics.colors(1,i)==color('blue')
        refugio=refugio(find(refugio(1,:)<>i));
        gA.nodes.graphics.diam(i)=20;
    end
end

```



```

end
refugio=gsort(refugio,'c','i');

// 2.6 Determinação do caminho mais curto entre os nós afectados e os pontos de refúgio
disp("... a calcular o caminho mais curto entre os nós afectados e pontos de refúgio...");
for i=1:size(nos_blue,'c')
    for j=1:size(refugio,'c')
        [c,M(i,j)]=shortest_path(nos_blue(1,i),refugio(1,j),gA,'distancias');
    end
end
if size(refugio)==0 then
    disp("Não existem refugios seguros para continuar com o cálculo das rotas de evacuação...");
    M=d1+1;
end

// 2.7 Se a distancia a percorrer for inferior à distancia da zona segurança entao:
if size(find(M<d1))<>0 then
    disp("#### Implementação do algoritmo de emergência para nós dentro da zona de segurança
####");
    // 2.7.1 Identificação dos nós afectados dentro da zona de segurança
    disp("... a identificar os nós afectados dentro da zona de segurança...");
    for i=1:size(M,'r')
        for j=1:size(M,'c')
            if M(i,j) < d1 & M(i,j) <> 0 then
                gA.nodes.graphics.colors(1,nos_blue(i))=color('green');
                gA.nodes.graphics.border(nos_blue(i))=2;
                gA.nodes.graphics.diam(nos_blue(i))=30;
                nos_green(i,1)=nos_blue(i);
            end
        end
    end
    nos_green=nos_green(find(nos_green(:,1)<>0));
    nos_green=nos_green';

```

```

pop_green=sum(gA.nodes.data.populacao(nos_green));

// 2.7.2 Determinação da população máxima admissível em cada nó (+500 nós normais + 1000 para
nós refugio)
disp("... a determinar população máxima admissível em cada nó...");
pop_max=zeros(node_number(gA),1);
for i=1:node_number(gA)
    pop_max(i,1)=gA.nodes.data.populacao(i)+500;
    if i==refugio(find(refugio(1,:)==i))
        pop_max(i,1)=gA.nodes.data.populacao(i)+1000;
    end
end
gA=add_node_data(gA,'pop_max',pop_max);

// 2.7.3 Determinação das distâncias até aos pontos de refúgio
disp("... a determinar distâncias até aos pontos de refúgio...");
for i=1:size(nos_green,'c')
    for j=1:size(refugio,'c')
        [c,Ms(i,j)]=shortest_path(nos_green(1,i),refugio(1,j),gA,'distancias');
    end
end

// 2.7.4 Estimar envio de população para os refúgios por ordem crescente de distâncias
disp("... a estimar envio de população para os refúgios por ordem crescente de distâncias...");
Ms_ord=gsort(Ms(:,:),"r","i");
for j=1:size(refugio,'c')
    for i=1:size(nos_green,'c')
        aux1(i,j)=find(Ms_ord(:,j)==Ms(i,j),j);
        if Ms(i,j)>d1
            aux1(i,j)=0;
        end
    end
end
end

```

```

aux1_ord=gsort(aux1(:,:),"r","i");
for j=1:size(refugio,'c')
    aux2(j)=max(aux1_ord(:,j));
end
aux2=aux2';
refugios=refugio(find(aux2(:,:)));
Ms_ord_n=gsort(Ms(:),'g','i');
i=1;j=1;
for k=1:size(find(Ms_ord_n<d1),'c')
    [l1(i),c1(j)]=find(Ms==Ms_ord_n(k));
    i=i+1;j=j+1;
end
nos_green=nos_green';
refugio=refugio';
C=[nos_green(l1),refugio(c1)]; // Matriz que relaciona os nós de origem e destino de evacuação,
escritos por ordem crescente de distancias.
clear nos_green;

// Gravar grafo
ficheiro2 = sprintf("AE_rede2_%dmetros_%dmin.graph",h1,t1);
save_graph(gA,ficheiro2);

// COLORAÇÃO DAS ARESTAS DE ACORDO COM DISTANCIAS/TEMPO
c1=0;c2=0;c3=0;
for i=1:size(C,'r')
    [c,Mc(i)]=shortest_path(C(i,1),C(i,2),gA,'distancias');
    if Mc(i)<=(d1*1/3)
        for j=1:size(c,'c')
            c1(i,j)=c(1,j);
        end
    else if Mc(i)<=(d1*2/3) & Mc(i)>(d1*1/3)
        for j=1:size(c,'c')
            c2(i,j)=c(1,j);
        end
    end
end

```

```

    end
    else if Mc(i)>(d1*2/3)
        for j=1:size(c,'c')
            c3(i,j)=c(1,j);
        end
    end
end
end
end
end

c1=c1(find(c1<>0));
gA.edges.graphics.foreground(c1)=color('cyan');
gA.edges.graphics.width(c1)=4;

for i=1:size(c1,'r')
    c2(find(c2==c1(i)));
    if c2(find(c2==c1(i)))>0 then
        c2(find(c2==c1(i)))=0;
    end
end
c2=c2(find(c2<>0));
gA.edges.graphics.foreground(c2)=color('green');
gA.edges.graphics.width(c2)=3;

for i=1:size(c1,'r')
    c3(find(c3==c1(i)));
    if c3(find(c3==c1(i)))>0 then
        c3(find(c3==c1(i)))=0;
    end
end
for i=1:size(c2,'r')
    c3(find(c3==c2(i)));
    if c3(find(c3==c2(i)))>0 then

```

```

    c3(find(c3==c2(i)))=0;
    end
end
c3=c3(find(c3<>0));
gA.edges.graphics.foreground(c3)=color('red');
gA.edges.graphics.width(c3)=2;

// 2.7.5 Simular os movimentos de evacuação da população
disp("... a simular os movimentos de evacuação da população...");
clear k;
k=7;
MOVIMENTOS1(1,:)=("RESUMO DE SIMULACAO MOVIMENTOS - 1a Fase");
MOVIMENTOS1(2,:)=("");
MOVIMENTOS1(3,:)=("--- Dados de Entrada ---");
MOVIMENTOS1(4,:)=("Altura da onda: " + string(h1) + " metros");
MOVIMENTOS1(5,:)=("Tempo de evacuacao/chegada da onda: " + string(t1) + " minutos");
pop_mov=0;
D=zeros(size(C,'r'),2);
for i=1:size(C,'r')
    if
gA.nodes.data.populacao(C(i,1))+gA.nodes.data.populacao(C(i,2))<=gA.nodes.data.pop_max(C(i,2)) &
gA.nodes.data.populacao(C(i,1))>0

gA.nodes.data.populacao(C(i,2))=gA.nodes.data.populacao(C(i,2))+gA.nodes.data.populacao(C(i,1));
    pop_mov=pop_mov+gA.nodes.data.populacao(C(i,1));
    MOVIMENTOS1(k,:)=(string(gA.nodes.data.populacao(C(i,1))) + " pessoas encaminhadas do NO "+
string(C(i,1))+ " para o nó de refugio "+string(C(i,2)) + ".");
    k=k+1;
    gA.nodes.data.populacao(C(i,1))=0;
    gA.nodes.graphics.colors(1,C(i,1))=color("cyan");
    else if gA.nodes.data.populacao(C(i,2))==gA.nodes.data.pop_max(C(i,2))
        gA.nodes.graphics.colors(1,C(i,1))=color("brown");
        MOVIMENTOS1(k,:)=("Restam " + string(gA.nodes.data.populacao(C(i,1))) + " pessoas por salvar

```

```

no NO "+ string(C(i,1)) + ". Refugio " +string(C(i,2)) +" cheio.");
    k=k+1;
else
    if
gA.nodes.data.populacao(C(i,1))+gA.nodes.data.populacao(C(i,2))>gA.nodes.data.pop_max(C(i,2)) &
gA.nodes.data.populacao(C(i,1))>0
        pop_mov=pop_mov+(gA.nodes.data.pop_max(C(i,2))-gA.nodes.data.populacao(C(i,2)));
        gA.nodes.data.populacao(C(i,1))=gA.nodes.data.populacao(C(i,1))-
(gA.nodes.data.pop_max(C(i,2))-gA.nodes.data.populacao(C(i,2)));
        MOVIMENTOS1(k,:)=(string(gA.nodes.data.pop_max(C(i,2))-gA.nodes.data.populacao(C(i,2))) + "
pessoas encaminhadas do NO "+ string(C(i,1))+" para o nó de refugio "+string(C(i,2)) +" Restam " +
string(gA.nodes.data.populacao(C(i,1))) + " pessoas por salvar no NO "+ string(C(i,1)) + ". Refugio "
+string(C(i,2)) +" cheio.");
        k=k+1;
        gA.nodes.graphics.colors(1,C(i,1))=color("brown");
        gA.nodes.data.populacao(C(i,2))=gA.nodes.data.pop_max(C(i,2));
    else if gA.nodes.data.populacao(C(i,1))==0
        MOVIMENTOS1(k,:)=("NO " + string(C(i,1)) +" ja evacuado. Toda a populacao deste NO se
encontra a salvo.");
        k=k+1;
        gA.nodes.graphics.colors(1,C(i,1))=4;
    end
end
end
end
end

// NOS CYAN (evacuados)
nos_cyan=find(gA.nodes.graphics.colors(1,:)==4);
pop_cyan=sum(gA.nodes.data.populacao(nos_cyan));

// NOS BROWN (nao evacuados na totalidade)
nos_brown=find(gA.nodes.graphics.colors(1,:)==color("brown")); // Nós onde ainda restam salvar
pessoas

```

```

gA.nodes.graphics.diam(nos_brown)=30;
pop_brown=sum(gA.nodes.data.populacao(nos_brown));

// NOS BLUE (afectados)
nos_blue=find(gA.nodes.graphics.colors(1,:)==color("blue")); // Nós fora do raio de segurança / Nós
Azuis
pop_blue=sum(gA.nodes.data.populacao(nos_blue)); // População fora do raio de acção, Nós azuis

// População a movimentar (para os refugios)
disp("População movimentada para os refugios: " + string(pop_mov)+" pessoas.")
k=k+1;
MOVIMENTOS1(k,:)=("Populacao movimentada para os refugios: " + string(pop_mov)+" pessoas.");
k=k+1;
if pop_brown>0
    MOVIMENTOS1(k,:)=("Não existe lugar para alocar " + string(pop_brown)+" pessoas.");
else
    MOVIMENTOS1(k,:)=("Existem lugares suficientes nos refugios para alojar toda a populacao em
risco.");
end

// Gravar grafo
ficheiro3 = sprintf("AE_rede3_%dmetros_%dmin.graph",h1,t1);
save_graph(gA,ficheiro3);

// 2.7.6 Apresentação dos resultados estatísticos
disp("... a gerar relatórios de simulação...");
RESULT(1,:)=("RESUMO DA SIMULACAO");
RESULT(2,:)=("");
RESULT(3,:)=("--- Dados de Entrada ---");
RESULT(4,:)=("Altura da onda: " + string(h1) + " metros");
RESULT(5,:)=("Tempo de evacuacao/chegada da onda: " + string(t1) + " minutos");
RESULT(7,:)=("----- Resultados -----");
RESULT(8,:)=("Populacao afectada pela altura da onda: " + string(pop_af)+" pessoas.");

```

```

RESULT(9,:)=("Area afectada pela altura da onda: " + string(area_af/10000)+" hectares.");
RESULT(10,:)=("Percentagem de area afectada: " + string(perc_area_af)+" %.");
RESULT(12,:)=("Populacao dentro do raio de segurança e com lugar nos refugios (NOS Ciano): " +
string(pop_green)+" pessoas."); // POPULACAO RESIDENTE NESTAS AREAS DE REFUGIO,    NAO
PRECISAM DE SE MOVIMENTAR
RESULT(13,:)=("Populacao a movimentar para os refugios (1a FASE): " + string(pop_mov)+"
pessoas."); // POPULACAO QUE NECESSITA DE SE MOVIMENTAR PARA OS NÓS DE REFUGIO
RESULT(14,:)=("Populacao dentro do raio de segurança sem lugar nos refugios (NOS Castanhos): " +
string(pop_brown)+" pessoas."); // POPULACAO QUE NAO TEM LUGAR NOS REFUGIOS, EXCEDEM A
POP_MAX DOS REFUGIOS DE QUE ESTAO PERTO
RESULT(15,:)=("Populacao fora do raio de segurança (NOS Azuis): " + string(pop_blue)+" pessoas.");
// POPULACAO QUE TERÁ DE SEGUIR POR UMA SOLUCAO ALTERNATIVA DENTRO DA DISTANCIA QUE
PODE PERCORRER
if pop_blue==0 & pop_brown==0 then
    RESULT(17,:)=("Nao é necessario correr a 2a Fase do programa, pois não existe população a salvar
nos nós afectados.");
    disp("Nao é necessario correr a 2a Fase do programa, pois não existe população a salvar nos nós
afectados.")
    ficheiro4 = sprintf("AE_resumo_%dmetros_%dmin.csv",h1,t1);
    write_csv(RESULT,ficheiro4);
    disp("-----");
    disp("Fim da execução do algoritmo do emergência.");
    disp("-----");
    disp("Escreva RESULT para ver o relatório final de simulação.");
    disp("Escreva MOVIMENTOS1 para ver as rotas de emergencia da 1a Fase.");
    disp("-----");
    // Apresentação de resultados gráficos e estatísticos
    disp("Apresentação de grafos");
    disp("Grafo 1 - Rede urbana c/ identificação dos refúgios");
    disp("Grafo 2 - Rede urbana c/ área afectada pela altura da onda");
    disp("Grafo 3 - Rede urbana c/ nós dentro da zona de segurança");
    disp("Grafo 4 - Rede urbana c/ após simulação de movimentos da 1a FASE");
    disp("");

```



```

clear resp;
resp=9;
while resp>=1 & resp<=4 | resp==9
    resp=input("Selecione o grafo a visualizar (1-4). Prima 0 para sair. ");
    select resp
    case 1
        gA=load_graph("AE_rede.graph");
        edit_graph(gA,0.35);
    case 2
        gA=load_graph(ficheiro1);
        edit_graph(gA,0.35);
    case 3
        gA=load_graph(ficheiro2);
        edit_graph(gA,0.35);
    case 4
        gA=load_graph(ficheiro3);
        edit_graph(gA,0.35);
    end
end

else
    RESULT(17,:)=("É necessario correr a 2a Fase do programa pois existem " +
string(pop_blue+pop_brown)+" pessoas na zona afectada para movimentar para locais mais seguros.");
    disp("É necessario correr a 2a Fase do programa pois existem " + string(pop_blue+pop_brown)+"
pessoas na zona afectada para movimentar para locais mais seguros.")
    ficheiro4 = sprintf("AE_resumo_%dmetros_%dmin.csv",h1,t1);
    write_csv(RESULT,ficheiro4);
    exec("3_AE_algoritmo.sce");
end

// Escrever resultados nos ficheiros csv
ficheiro5 = sprintf("AE_movimentos1_%dmetros_%dmin.csv",h1,t1);
write_csv(MOVIMENTOS1,ficheiro5);
else

```

```

disp("O tempo de chegada da onda é demasiado curto e não existem refugios definidos nas
proximidades dos nós afectados...");
// Apresentação de resultados gráficos e estatísticos
disp("Grafo 2 - Rede urbana c/ área afectada pela altura da onda");
gA=load_graph(ficheiro1);
edit_graph(gA,0.35);
end
else if h1 >= max(gA.nodes.data.cota)
disp("PERIGO: Todos os nós se encontram afectados pela altura da onda, não existem refúgios
seguros para evacuar a população.");
else
disp("SEGURO: Todos os nós se encontram acima da altura da onda. A altura da onda é inferior à cota
minima dos nós.");
end
end
end

```

Tabela A.13 - Algoritmo de emergência desenvolvido em SCILAB – Implementação do algoritmo, 2ª fase.

```

// ##### ALGORITMO 4 - IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO DE EMERGENCIA - 2ª FASE ##### 23-02-2012
[v 1.0]
disp("##### Implementação do algoritmo de emergência para nós fora da zona de segurança #####");
// 1. Actualizar informação gráfica remanescente
disp("... a actualizar informação gráfica remanescente...");
gA.edges.graphics.width(:)=1;
gA.edges.graphics.foreground(:)=color('black');
gA.edges.graphics.width(arestas_blue)=2;
gA.edges.graphics.foreground(arestas_blue)=color('blue');
gA.nodes.graphics.diam(refugio)=20;
gA.nodes.graphics.colors(1,refugio(:,:))=color('black');
gA.nodes.graphics.border(refugio)=1;
gA.nodes.graphics.colors(1,:)=color('black');

```

```

gA.nodes.graphics.diam(nos_cyan)=40;
gA.nodes.graphics.colors(1,nos_cyan)=color('red');

// 2. Estimar parâmetros iniciais
// 2.1 Determinação de população nos nós a evacuar
disp("... a determinar população dos nós a evacuar...");
nos_calc=[nos_blue,nos_brown];
gA.nodes.graphics.diam(nos_calc)=20;
gA.nodes.graphics.colors(1,nos_calc)=color('blue');
pop_calc=sum(gA.nodes.data.populacao(nos_calc));

// 2.2 Determinação de inclinação média do terreno por metro
disp("... a determinar inclinação média do terreno por metro...");
no_cota_max=find(gA.nodes.data.cota==max(gA.nodes.data.cota(:)));
no_cota_min=find(gA.nodes.data.cota==min(gA.nodes.data.cota(:)));
dist_max=sqrt((gA.nodes.graphics.x(no_cota_max)-
gA.nodes.graphics.x(no_cota_min))^2+(gA.nodes.graphics.y(no_cota_max)-
gA.nodes.graphics.y(no_cota_min))^2+(gA.nodes.data.cota(no_cota_max)-
gA.nodes.data.cota(no_cota_min))^2);
mm=dist_max/(max(gA.nodes.data.cota(:))-min(gA.nodes.data.cota(:)));
mm=mean(mm);

// Gravar grafo
ficheiro6 = sprintf("AE_rede5_%dmetros_%dmin.graph",h1,t1);
save_graph(gA,ficheiro6);

// 3. Determinação de Matrizes de Custos/Pesos
disp("... a determinar matrizes de custos...");
c1=0;c2=0;c3=0;c0=0;
for i=1:size(nos_calc,'c')
    for j=1:size(nos_cyan,'c')
        if nos_calc(i)==nos_cyan(j) then
            N(i,j)=0;

```

```

else
    [c,N(i,j)]=shortest_path(nos_calc(i),nos_cyan(j),gA,'distancias');
    if N(i,j)<=(d1*1/3)
        for k=1:size(c,'c')
            c1(i,k)=c(1,k);
        end
    else if N(i,j)<=(d1*2/3) & N(i,j)>(d1*1/3)
        for k=1:size(c,'c')
            c2(i,k)=c(1,k);
        end
    else if N(i,j)>(d1*2/3) & N(i,j)<=d1
        for k=1:size(c,'c')
            c3(i,k)=c(1,k);
        end
    else if N(i,j)>d1
        for k=1:size(c,'c')
            c0(i,k)=c(1,k);
            N(i,j)=0;
        end
    end
end
end
end
end
end
if N(i,j)==0
    N1(i,j)=0;
else
    N1(i,j)=1/4*(N(i,j)/mm/max(N))+1/4*(gA.nodes.data.dano(nos_cyan(j))/max(N))+1/2*(1/(gA.nodes.data
    .cota(nos_cyan(j)))/max(N));
end
end
end
end

```

```
// COLORAÇÃO DAS ARESTAS DE ACORDO COM DISTANCIAS/TEMPO
```

```
c1=c1(find(c1<>0));
```

```
gA.edges.graphics.foreground(c1)=color('cyan');
```

```
gA.edges.graphics.width(c1)=4;
```

```
for i=1:size(c1,'r')
```

```
    c2(find(c2==c1(i)));
```

```
    if c2(find(c2==c1(i)))>0 then
```

```
        c2(find(c2==c1(i)))=0;
```

```
    end
```

```
end
```

```
c2=c2(find(c2<>0));
```

```
gA.edges.graphics.foreground(c2)=color('green');
```

```
gA.edges.graphics.width(c2)=3;
```

```
for i=1:size(c1,'r')
```

```
    c3(find(c3==c1(i)));
```

```
    if c3(find(c3==c1(i)))>0 then
```

```
        c3(find(c3==c1(i)))=0;
```

```
    end
```

```
end
```

```
for i=1:size(c2,'r')
```

```
    c3(find(c3==c2(i)));
```

```
    if c3(find(c3==c2(i)))>0 then
```

```
        c3(find(c3==c2(i)))=0;
```

```
    end
```

```
end
```

```
c3=c3(find(c3<>0));
```

```
gA.edges.graphics.foreground(c3)=color('red');
```

```
gA.edges.graphics.width(c3)=2;
```

```
// 4. Aplicação do Método do Custo Mínimo na determinação das rotas de emergência
```

```

disp("... a aplicar o método do custo mínimo na determinação das rotas de emergencia...");
NC=gA.nodes.data.populacao(nos_calc); // Vector COLUNA de população que resta por salvar
NL=gA.nodes.data.pop_max(nos_cyan)-gA.nodes.data.populacao(nos_cyan); // Vector LINHA de
capacidade populacional dos nós de refugio
exec('f_custo_minimo.sci');
[z_opt1,N1r,NL1,NC1,MOVIMENTOS2]=custo_minimo(N1,NL,NC,1);

gA.nodes.data.populacao(nos_cyan)=gA.nodes.data.populacao(nos_cyan)+(NL-NL1);
gA.nodes.data.populacao(nos_calc)=NC1';
for i=1:size(NC1,'r')
    if NC1(i)==0 & NC(i)>0
        gA.nodes.graphics.colors(1,nos_calc(i))=color('cyan');
        gA.nodes.graphics.diam(nos_calc(i))=30;
    else if NC(i)-NC1(i)>0
        gA.nodes.graphics.colors(1,nos_calc(i))=color('brown');
        gA.nodes.graphics.diam(nos_calc(i))=30;
    else
        gA.nodes.graphics.colors(1,nos_calc(i))=color('blue');
    end
end
end

// Gravar grafo
ficheiro7 = sprintf("AE_rede6_%dmetros_%dmin.graph",h1,t1);
save_graph(gA,ficheiro7);

disp("-----");
disp("Fim da execução do algoritmo do emergência.");
disp("-----");
disp("Escreva RESULT para ver o relatório final de simulação.");
disp("Escreva MOVIMENTOS1 para ver as rotas de emergencia da 1a Fase.");
disp("Escreva MOVIMENTOS2 para ver as rotas de emergencia da 2a Fase.");
disp("-----");

```

```

// Apresentação de resultados gráficos e estatísticos
disp("Apresentação de grafos");
disp("Grafo 1 - Rede urbana c/ identificação dos refúgios");
disp("Grafo 2 - Rede urbana c/ área afectada pela altura da onda");
disp("Grafo 3 - Rede urbana c/ nós dentro da zona de segurança");
disp("Grafo 4 - Rede urbana c/ após simulação de movimentos da 1a FASE");
disp("Grafo 5 - Rede urbana c/ nós fora da zona de segurança");
disp("Grafo 6 - Rede urbana c/ após simulação de movimentos da 2a FASE");
disp("");
clear resp;
resp=9;
while resp>=1 & resp<=7 | resp==9
    resp=input("Seleccione o grafo a visualizar (1-6). Prima 0 para sair. Prima 7 para ver todos. ");
    select resp
    case 1
        gA=load_graph("AE_rede.graph");
        edit_graph(gA,0.35);
    case 2
        gA=load_graph(ficheiro1);
        edit_graph(gA,0.35);
    case 3
        gA=load_graph(ficheiro2);
        edit_graph(gA,0.35);
    case 4
        gA=load_graph(ficheiro3);
        edit_graph(gA,0.35);
    case 5
        gA=load_graph(ficheiro6);
        edit_graph(gA,0.35);
    case 6
        gA=load_graph(ficheiro7);
        edit_graph(gA,0.35);

```

```

case 7
gA=load_graph("AE_rede.graph");
edit_graph(gA,0.35);
gA=load_graph(ficheiro1);
edit_graph(gA,0.35);
gA=load_graph(ficheiro2);
edit_graph(gA,0.35);
gA=load_graph(ficheiro3);
edit_graph(gA,0.35);
gA=load_graph(ficheiro6);
edit_graph(gA,0.35);
gA=load_graph(ficheiro7);
edit_graph(gA,0.35);
resp=0;
end
end

```

Tabela A.14 – Algoritmo de emergência desenvolvido em SCILAB – Função para resolução do método do custo mínimo.

```

// FUNÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO OPTIMA PARA PROBLEMAS DE TRANSPORTES
SEGUNDO O MÉTODO DO CUSTO MÍNIMO (RGA 15-07-2011 v1.0a)
// ##### LIMITAÇÕES DESTE ALGORITMO: OS PESOS NAO PODEM TER VALORES IGUAIS!!! (
SUPERIORES A ZERO!!! ) #####

function [z_opt,N2,NL2,NC2,MOVIMENTOS2]=custo_minimo(N,NL,NC,tipo_custo)
N2=zeros(size(N,'r'),size(N,'c'));
NL2=NL;NC2=NC;
k=7;
pop_mov1=0;
MOVIMENTOS2(1,:)=("RESUMO DE SIMULAÇÃO MOVIMENTOS - 2a Fase");
MOVIMENTOS2(2,:)=("");
MOVIMENTOS2(3,:)=("--- Dados de Entrada ---");

```



```

MOVIMENTOS2(4,:)=("Altura da onda: " + string(h1) + " metros");
MOVIMENTOS2(5,:)=("Tempo de evacuacao/chegada da onda: " + string(t1) + " minutos");

// 1. Aplicação do método do custo mínimo aplicado à movimentação de população
while find(N>0)<>[] then
    v_min=min(N(find(N>0)));
    [l2,c2]=find(N==v_min);
    if NC2(l2)==0 | NL2(c2)==0 then
        N(l2,c2)=0;
    else
        N(l2,c2)=-N(l2,c2);
        if NC2(l2)>NL2(c2) & NL2(c2)>0 then // se o numero de pessoas a salvar for superior à capacidade
do destino
            N2(l2,c2)=NL2(c2);
            NL2(c2)=0;
            NC2(l2)=NC2(l2)-N2(l2,c2);
            MOVIMENTOS2(k,:)=(string(N2(l2,c2)) + " pessoas encaminhadas do NO " + string(nos_calc(l2)) + "
para o nó de refugio " + string(nos_cyan(c2)) + ". Restam " + string(NC2(l2)) + " pessoas por salvar no nó
" + string(nos_calc(l2)) + ". Refugio " + string(nos_cyan(c2)) + " cheio.");
            k=k+1;
            pop_mov1=pop_mov1+N2(l2,c2);
            gA.nodes.graphics.colors(1,nos_calc(l2))=color('brown');
        else if NC2(l2)<=NL2(c2) then // se o numero de pessoas a salvar for inferior à capacidade do
destino
            N2(l2,c2)=NC2(l2);
            NC2(l2)=0;
            NL2(c2)=NL2(c2)-N2(l2,c2);
            MOVIMENTOS2(k,:)=(string(N2(l2,c2)) + " pessoas encaminhadas do NO " + string(nos_calc(l2)) + "
para o nó de refugio " + string(nos_cyan(c2)) + ".");
            k=k+1;
            pop_mov1=pop_mov1+N2(l2,c2);
            gA.nodes.graphics.colors(1,nos_calc(l2))=4;
        end
end

```

```

    end
end
end

N=abs(N);

// 2. Apresentação dos resultados de evacuação e solução óptima
k=k+1;
disp("Populacao movimentada para os refugios: " + string(pop_mov1) + " pessoas.");
MOVIMENTOS2(k,:)=("Populacao movimentada para os refugios: " + string(pop_mov1) + " pessoas.");
if sum(NC)-sum(NL)>0 then
    disp("Não existe lugar para alocar " + string(sum(NC)-sum(NL))+ " pessoas.")
    k=k+1;
    MOVIMENTOS2(k,:)=("Não existe lugar para alocar " + string(sum(NC)-sum(NL))+ " pessoas.");
else
    disp("Existem lugares suficientes nos refugios para alojar a populacao em risco nesta fase.")
    k=k+1;
    MOVIMENTOS2(k,:)=("Existem lugares suficientes nos refugios para alojar a populacao em risco nesta
fase.");
end

ficheiro3 = sprintf("AE_movimentos2_%dmetros_%dmin.csv",h1,t1);
write_csv(MOVIMENTOS2,ficheiro3);

N,NL,NC;
N2,NL2,NC2;

z_opt=sum(N.*N2); // Multiplicação elemento a elemento
endfunction

```

Tabela A.15 – Ficheiro de resultados para ondas de 15 metros e 8 minutos de tempo de evacuação – resumo de simulação.

#### RESUMO DA SIMULACAO

--- Dados de Entrada ---

Altura da onda: 15 metros

Tempo de evacuacao/chegada da onda: 8 minutos

----- Resultados -----

Populacao afectada pela altura da onda: 2776 pessoas.

Area afectada pela altura da onda: 59.0761 hectares.

Percentagem de area afectada: 19.37359 %.

Populacao dentro do raio de segurança e com lugar nos refugios (NOS Ciano): 2213 pessoas.

Populacao a movimentar para os refugios (1a FASE): 2213 pessoas.

Populacao dentro do raio de segurança sem lugar nos refugios (NOS Castanhos): 0 pessoas.

Populacao fora do raio de segurança (NOS Azuis): 563 pessoas.

É necessario correr a 2a Fase do programa pois existem 563 pessoas na zona afectada para movimentar para locais mais seguros.

Tabela A.16 – Ficheiro de resultados para ondas de 15 metros e 8 minutos de tempo de evacuação – resumo de movimentos da 1ª fase.

#### RESUMO DE SIMULACAO MOVIMENTOS - 1a Fase

--- Dados de Entrada ---

Altura da onda: 15 metros

Tempo de evacuacao/chegada da onda: 8 minutos

450 pessoas encaminhadas do NO 26 para o nó de refugio 19.

352 pessoas encaminhadas do NO 73 para o nó de refugio 66.

22 pessoas encaminhadas do NO 3 para o nó de refugio 66.

226 pessoas encaminhadas do NO 2 para o nó de refugio 56.

173 pessoas encaminhadas do NO 67 para o nó de refugio 56.

NO 73 ja evacuado. Toda a populacao deste NO se encontra a salvo.

288 pessoas encaminhadas do NO 51 para o nó de refugio 33.

172 pessoas encaminhadas do NO 17 para o nó de refugio 19.

NO 17 ja evacuado. Toda a populacao deste NO se encontra a salvo.

NO 80 ja evacuado. Toda a populacao deste NO se encontra a salvo.

483 pessoas encaminhadas do NO 1 para o nó de refugio 56.

NO 1 ja evacuado. Toda a populacao deste NO se encontra a salvo.

NO 26 ja evacuado. Toda a populacao deste NO se encontra a salvo.

47 pessoas encaminhadas do NO 18 para o nó de refugio 19.

Populacao movimentada para os refugios: 2213 pessoas.  
Existem lugares suficientes nos refugios para alojar toda a populacao em risco.

Tabela A.17 – Ficheiro de resultados para ondas de 15 metros e 8 minutos de tempo de evacuação – resumo de movimentos da 2ª fase.

#### RESUMO DE SIMULAÇÃO MOVIMENTOS - 2a Fase

--- Dados de Entrada ---

Altura da onda: 15 metros

Tempo de evacuacao/chegada da onda: 8 minutos

26 pessoas encaminhadas do NO 61 para o nó de refugio 51.

124 pessoas encaminhadas do NO 5 para o nó de refugio 80.

202 pessoas encaminhadas do NO 49 para o nó de refugio 26.

211 pessoas encaminhadas do NO 4 para o nó de refugio 67.

Populacao movimentada para os refugios: 563 pessoas.  
Existem lugares suficientes nos refugios para alojar toda a populacao em risco.