INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

RISCO SÍSMICO EM SISTEMAS URBANOS

Mónica Maria Lopes de Sequeira Amaral Ferreira

Orientador:	Doutor Carlos Alberto Ferreira de Sousa Oliveira
Co-orientador:	Doutor Jorge Miguel Silveira Filipe Mascarenhas Proença
Co-orientador:	Doutor João Carlos Carreiro Nunes

Tese aprovada em provas públicas para a obtenção do Grau de Doutor em

Engenharia do Território

Qualificação atribuída pelo Júri: Aprovada com Muito Bom

Júri

Presidente:	Presidente do Conselho Científico do IST
Vogais:	Doutor Manuel Leal da Costa Lobo
	Doutor Carlos Alberto Ferreira de Sousa Oliveira
	Doutora Martha Liliana Carreño Tibaduiza
	Doutor Paulo Vasconcelos Dias Correia
	Doutor Jorge Miguel Silveira Filipe Mascarenhas Proença
	Doutor Romeu da Silva Vicente
	Doutor João Carlos Carreiro Nunes

INSTITUIÇÃO FINANCIADORA – Fundação para a Ciência e a Tecnologia

2012

RESUMO

As decisões políticas no que toca a gestão e ordenamento do território e as regras de reabilitação o edificado ignoram, ou desvalorizam, a probabilidade de ocorrência de um sismo. Razão pela qual continuamos a assistir à construção de edifícios, equipamentos e infra-estruturas, ou seja, todos os bens que asseguram o crescimento social e económico de um país, em zonas sísmicas sem as adequadas técnicas construtivas para a redução dos riscos.

Fenómenos acidentais e intencionais, como ataques terroristas ou catástrofes naturais como sismos, tsunamis, incêndios florestais ou tempestades, podem afectar drasticamente o bem-estar sócio-económico de um país e as consequências podem levar a uma complexa propagação de efeitos, afectando vários sectores, e num contexto mais sério, a nossa capacidade de sobrevivência básica. Estes eventos têm demonstrado claramente que a preparação e gestão de desastres é um processo dinâmico que exige uma análise holística de interdependências entre infra-estruturas e sistemas, a fim de mitigar o seu impacto em eventos futuros e melhorar a capacidade de resiliência da sociedade.

Neste contexto de complexidade, dúvida e incerteza, este trabalho visa contribuir para o avanço do conhecimento entre o ordenamento do território e o risco sísmico. Os principais factores analisados foram a perigosidade, a vulnerabilidade e a exposição. Foi também focada a importância da melhoria da cartografia municipal de risco sísmico, de forma a poder criar medidas de prevenção adequadas.

Evidenciam-se os sistemas mais vulneráveis no território, suas interdependências e apresentam-se métodos para medir os diferentes impactos, de forma a permitir prevenir melhor os impactos destrutivos de risco sísmico.

Palavras-chave:

Urbanização e risco sísmico

Ordenamento do Território

Propagação de efeitos

Níveis de impacto

Educação

Comunicação do risco

Políticas de mitigação

ABSTRACT

Policy decisions regarding management and land-use planning principles as well as rehabilitation requirements, ignore or minimize the occurrence of earthquakes. It is common to see the construction of buildings, equipments and infrastructures (all the valuable assets which ensure the social and economic growth of a country) in areas of seismic hazard without the adequate construction techniques to mitigate risk.

Accidental and intentional phenomena, like terrorist attacks or natural disasters such as earthquakes, tsunamis, forest fires or storms have a strong effect on the socio-economic well-being of countries; the consequences can lead to a complex cascade of related incidents, expanding across sectors and borders, and in a more serious context, our basic survivability. These events have clearly demonstrated that preparedness and disaster management is a dynamic process that requires a holistic analysis of critical interdependencies among core infrastructures in order to mitigate the impact of extreme events and improve survivability of our society.

In this context of complexity, uncertainty and doubt, this work aims to improve understanding of earthquake hazards and their impacts, increasing the consideration of urban planning considering the seismic risk. The main items under analysis were the hazard, vulnerability and exposition.

Several guiding principles and methods were developed to serve as the basis to measure the different impacts in order to mitigate earthquake risk.

Key-words:

Urbanization and seismic risk

Basis for urban develpoment plans

Cascade effects

Impact levels

Education and public awareness

Disaster risk reduction

AGRADECIMENTOS

Os próximos parágrafos são indispensáveis como prova da minha enorme gratidão e admiração por todos aqueles que possibilitaram que este trabalho tomasse corpo.

Agradeço em primeiro lugar ao meu orientador científico do doutoramento, Professor Carlos Sousa Oliveira, pelos seus preciosos conhecimentos, dedicação, estímulo e liberdade de acção. Pela constante procura por fazer a ponte entre a "sua" engenharia e a "minha" engenharia e, pela amizade que sempre manifestou ao longo destes anos. Todos os projectos em que me envolveu e as visitas que possibilitou a regiões atingidas por sismos, foram sem dúvida das experiências mais enriquecedoras que tive ao nível de aquisição de novos conhecimentos e ao nível humano.

Ao Professor Jorge Miguel Proença agradeço a forma estruturada como conduziu sua co-orientação, pelos ensinamentos e tranquilidade que me transmitiu, pela compreensão, incentivo e amizade que levaram à concretização deste trabalho.

Ao Professor João Carlos Nunes pela amizade e disponibilidade que sempre demonstrou na sua co-orientação, pelo acompanhamento e ajuda nos trabalhos de campo nos Açores e por todos os ensinamentos.

Um agradecimento especial ao meu amigo Francisco Mota de Sá que muito contribuiu para este trabalho. Pelas longas horas de partilha de ideias, pela ajuda na resolução de vários problemas e pelos seus ensinamentos.

À Fundação para a Ciência e a Tecnologia e ao Instituto Superior Técnico pela concessão das bolsas de investigação e sem as quais este trabalho não teria passado de uma ideia.

A todos os técnicos da DREALG e das Câmaras Municipais do Algarve que colaboraram na caracterização das escolas da Região do Algarve. Agradeço também o apoio da Associação Faialense dos Bombeiros Voluntários, na pessoa do seu Comandante, Sr. António Fraga, no levantamento das instalações escolares e do parque edificado do Faial realizado em 2007.

A todos os meus amigos, por serem isso mesmo. À Susana e à Júlia a minha gratidão pelo apoio e disponibilidade que sempre demonstraram.

Ao Hugo pela paciência, amparo e por tudo o resto.

Ao meu irmão por estar sempre por perto mesmo quando eu estava longe.

Por fim, e em especial aos meus pais pelo carinho e apoio incondicional e sem os quais todo este percurso nunca teria sido possível.

Uma palavra especial às mulheres e homens que mais me marcaram ao longo deste percurso, nas missões pós-sismo que acompanhei nomeadamente ao Faial (Açores), China, Itália, Haiti e Espanha, pela coragem em partilhar suas experiências e pela possibilidade de acesso a um conjunto de informações indispensáveis, que me ajudaram a repensar os argumentos e escolher determinados caminhos para o desenvolvimento desta dissertação.

ÍNDICE

PARTE I – ENQUADRAMENTO DO RISCO SÍSMICO EM SISTEMAS URBANOS 3

1| ÂMBITO E MOTIVAÇÃO 3

2| DESASTRES NATURAIS 5

2.1. ENQUADRAMENTO AOS DESASTRES NATURAIS 5

2.2. RISCO SÍSMICO EM PORTUGAL 11

2.2.1. Tectónica em Portugal 11

2.2.2. Sismicidade histórica e instrumental em Portugal 13

2.2.3. Riscos colaterais 21

2.2.3.1. Deslizamentos de terra e queda de blocos 21

2.2.3.2. Susceptibilidade de liquefacção do solo 22

2.2.3.3. Rupturas de falha 23

2.2.3.4. Tsunamis e inundações 24

2.2.3.5. Incêndios 27

2.3. EVOLUÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DE SEGURANÇA SÍSMICA DAS CONSTRUÇÕES 28

2.3.1. Regulamento de segurança das construções contra os sismos (RSCCS) 31

2.3.2. Regulamento de solicitações em edifícios e pontes (RSEP) 32

2.3.3. Regulamento de estruturas de betão armado (REBA) 32

2.3.4. Regulamento de segurança e acções para estruturas de edifícios e pontes (RSAEEP) 32

2.3.5. Regulamento de estruturas de betão armado e pré-esforçado (REBAP) 33

2.3.6. EN 1998 - Eurocódigo 8 33

2.3.6.1. Definição da acção sísmica 34

3| ENQUADRAMENTO JURÍDICO-POLÍTICO PARA O RISCO SÍSMICO DO TERRITÓRIO 39

3.1. INSTRUMENTOS DE INTERVENÇÃO DISPONÍVEIS NOS DOMÍNIOS DA INTEGRAÇÃO DOS RISCOS E DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO 40

3.1.1. Lei de bases da política de ordenamento do território e do urbanismo (LBPOTU) 40

3.1.2. Regime jurídico dos instrumentos de gestão territorial (RJIGT) 40

3.1.2.1. Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável (ENDS 2015) 40

3.1.2.2. Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT) 42

3.1.2.3. Planos Regionais de Ordenamento do Território (PROT) 44

3.1.2.4. Reserva Ecológica Nacional (REN) 46

3.1.2.5. Planos Municipais de Ordenamento do Território (PMOT) 46

3.1.3. Lei de bases da protecção civil 50

3.1.4. Resolução da Assembleia da República nº 102/2010 51

3.1.5. Síntese e diagnóstico 52

4| OS SISMOS E SEUS IMPACTOS NO MEIO URBANO 55
4.1. NÍVEIS DE IMPACTO DE UM SISMO. DANOS DIRECTOS, INDIRECTOS OU CONSEQUENCIAIS 55
4.1.1. Danos Directos 55
4.1.1.1. Danos estruturais 55
4.1.1.2. Danos não estruturais 56
4.1.2. Danos indirectos ou consequenciais 57
4.2. MAULE, 27 DE FEVEREIRO 2010 60
4.3. PORT-AU-PRINCE, 12 DE JANEIRO 2010 64
4.4. L'AQUILA, 6 DE ABRIL 2009 71
4.5. SICHUAN, 12 DE MAIO 2008 76
4.6. PISCO, 15 DE AGOSTO 2007 80
4.7. KASHMIR, 8 DE OUTUBRO 2005 84
4.8. SUMATRA, 26 DE DEZEMBRO 2004 86
4.9. BAM, 26 DE DEZEMBRO 2003 91
4.10. BINGÖL, 1 DE MAIO 2003 94
4.11. BOUMERDÈS, 21 DE MAIO 2003 97
4.12. MOLISE, 31 DE OUTUBRO 2002 99
4.13. GUJARAT, 26 DE JANEIRO 2001 100
4.14. SÍNTESE E DIAGNÓSTICO 103

PARTE II – AVALIAÇÃO DO RISCO INDIVIDUAL DE ELEMENTOS URBANOS .. 107

5| ANÁLISE DA VULNERABILIDADE INDIVIDUAL (NÃO SISTÉMICA) 109
5.1. BREVE DESCRIÇÃO DAS METODOLOGIAS MAIS RELEVANTES PARA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SÍSMICA DO EDIFICADO E DE ELEMENTOS URBANOS 109
5.1.1. Métodos empíricos baseados na observação de danos 110
5.1.1.1. Matriz probabilidade de dano (MPD) 110
5.1.1.2. Método do índice de vulnerabilidade 112
5.1.2. Métodos analíticos 115
5.1.3. Métodos híbridos 117

6| AVALIAÇÃO DO RISCO SÍSMICO DOS EQUIPAMENTOS DE ENSINO DO ALGARVE 121
6.1. UNIVERSO DOS EQUIPAMENTOS DE ENSINO ESTUDADOS 123
6.1.1. Breve enquadramento 123
6.1.2. Recolha e análise dos dados do portal escolariscos 124
6.1.2.1. Inquérito online 124
6.1.2.2. Definição do universo de estudo 125
6.2. FASES DE TRABALHO E PROBLEMAS ENCONTRADOS NO PREENCHIMENTO DO PORTAL 128
6.3. CARACTERIZAÇÃO E DIAGNÓSTICO DA BASE DE DADOS – PORTAL ESCOLARISCOS 131
6.3.1. Ficha de caracterização geral do campus escolar 131
6.3.1.1. Número de alunos por nível de ensino e concelho 133

6.3.1.2. Número de edifícios por nível de ensino 135
6.3.1.3. Tipo de projecto de arquitectura 136
6.3.1.4. Existência de risco exterior 139
6.3.2. Ficha de caracterização do edifício 142
6.3.2.1. Número de pisos e data de construção 142
6.3.2.2. Tipo de estrutura e estado de conservação 143
6.3.2.3. Outros elementos para avaliação sísmica 144
6.3.3. Ficha de caracterização geral dos ginásios/pavilhões desportivos 146
6.3.3.1. Outros elementos para avaliação sísmica 147
6.4. SIMULADORES SÍSMICOS. RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE DANOS 148
6.4.1. Descrição geral do método macrosísmico utilizado nesta dissertação 149
6.4.2. Resultados da avaliação de danos 153
6.4.3. Algumas medidas de implementação fácil na redução do risco em escolas 159

7| INSTRUMENTOS PARA MINIMIZAR E PREVENIR O RISCO SÍSMICO NO PROCESSO DE PLANEAMENTO 161
7.1. O PROBLEMA DA CLASSIFICAÇÃO DO SOLO. CARTA GEOLÓGICA E CORRELAÇÃO COM O EC8 161
7.2. DÉFICE DE RESISTÊNCIA DAS CONSTRUÇÕES 165
7.3. SIRIUS, INDICADOR DE RISCO SÍSMICO URBANO 169
7.3.1. Aplicação do SIRIUS no concelho de Portimão 174
7.4. SÍNTESE 176

PARTE III – RISCO E AVALIAÇÃO DE IMPACTO EM MEIO URBANO. ANÁLISE SISTÉMICA 179

8| OS SISTEMAS VULNERÁVEIS NO TERRITÓRIO. IMPACTOS DOS SISMOS 181
8.1. EFEITOS NO SISTEMA URBANO. UMA VISÃO INTEGRADA DO PROBLEMA 182
8.2. PRINCIPAIS VARIÁVEIS E INDICADORES DE VULNERABILIDADE E DE RISCO DESENVOLVIDOS. ESTADO DA ARTE 185
8.2.1. Método GEMITIS: estratégia integrada de risco sísmico 186
8.2.2. Disaster risk index (DRI) 189
8.2.3. Indicadores de risco de desastre e de gestão de riscos 191
8.2.3.1. Índice de Defice por Desastre (IDD) 191
8.2.3.2. Índice de Desastres Locais (IDL) 191
8.2.3.3. Índice de Vulnerabilidade Prevalecente (IVP) 191
8.2.3.4. Índice de Gestão de Risco (IGR) 192
8.2.4. Interdependências nas infra-estruturas críticas 193
8.3. SÍNTESE E DISCUSSÃO 195
8.3.1. Significado dos pesos 196

9| DISRUPTION INDEX: CONCEITO DE DISFUNÇÃO NOS SISTEMAS URBANOS 199

9.1. METODOLOGIA PARA CONSTRUÇÃO DO DI 203
9.2. CRITÉRIOS E DESCRITORES DE IMPACTO: FUNÇÕES URBANAS 210
9.2.1. Ambiente 211
9.2.1.1. Infra-estruturas de alto risco 214
9.2.2. Habitação 214
9.2.2.1. Edificado 217
9.2.3. Alimentação 217
9.2.4. Saúde 218
9.2.4.1. Equipamentos de saúde 220
9.2.5. Educação 221
9.2.5.1. Equipamentos de ensino 222
9.2.6. Emprego 223
9.3. CRITÉRIOS E DESCRITORES DE IMPACTO: SERVIÇOS, COMPONENTES E ELEMENTOS FÍSICOS 225
9.3.1. Sistema de energia eléctrica 225
9.3.1.1. Equipamentos do sistema de energia eléctrica 225
9.3.2. Sistema de água 226
9.3.2.1. Equipamentos do sistema de água 227
9.3.3. Sistema de saneamento 227
9.3.3.1. Equipamentos do sistema de saneamento 228
9.3.4. Sistema de telecomunicações 228
9.3.4.1. Equipamentos do sistema de telecomunicações 230
9.3.5. Mobilidade 230
9.3.6. Sistema de transportes 231
9.3.6.1. Infra-estruturas de transportes 232
9.3.7. Escombros 232
9.3.8. Segurança 232
9.3.8.1. Equipamentos de segurança 234
9.4. DISRUPTION INDEX 235
9.5. APLICAÇÃO AOS SISTEMAS URBANOS 240
9.5.1. Ilha do Faial, Açores 241
9.5.2. Molise, Itália 244
9.5.3. Port-au-Prince, Haiti 246
9.5.4. Outras aplicações: Cagayan de Oro, Filipinas. Tufão Washi 248
9.6. SÍNTESE E SUGESTÕES PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS 252

10| CONCLUSÕES 257
10.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES 257
10.2. COMO IMPLEMENTAR POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO DO RISCO SÍSMICO EM PORTUGAL 259
10.2.1. Ordenamento do território e risco sísmico 259
10.2.2. Educação como plataforma para aumentar a resiliência das comunidades 260
10.2.3. Envolvimento da comunidade (“Community engagement”) 261

10.2.4. Envolvimento e responsabilização dos vários actores 264
10.2.5. Certificado de qualidade sísmica das construções..... 264
10.2.6. Política de reabilitação urbana..... 265
10.2.7. Ficha para avaliação de danos e formação de inspectores 266
10.2.8. Para reflexão. O contexto actual..... 266

11| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 269
11.1. LEGISLAÇÃO CONSULTADA 285

GLOSSÁRIO 287

ANEXOS 291

A.1 MANUAL DE PREENCHIMENTO DO PORTAL ESCOLARISCOS 293

A. 2 INDICADORES DE RISCO DE DESASTRE E DE GESTÃO DE RISCOS..... 307

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Vítimas em desastres naturais na 1ª década do Século XXI 6

Figura 2.2 – Sismos da 1ª década do Século XXI que causaram grande número de vítimas (até 300000 vítimas) 7

Figura 2.3 – Sismos da 1ª década do Século XXI que causaram até 600 vítimas 7

Figura 2.4 – Concentração populacional (exposição) e perigosidade sísmica 11

Figura 2.5 – Modelo geodinâmico interpretativo para a colisão das Placas Euro-Asiática e Africana 12

Figura 2.6 – Sismicidade registada no continente e regiões adjacentes de 63 a.C. a 2007 13

Figura 2.7 – Principais zonas sismogénicas na margem SW da Península Ibérica. GBF – Banco Gorringe; PAF – Falha Principes de Avis; MPF – Falha Marquês de Pombal; HF – Falha da Ferradura; NGBF – Banco de Guadalquivir Norte; SGBF – Banco de Guadalquivir Sul; PSNF – Falha Normal Pereira de Sousa; LTVF – Falha Lisboa e Vale do Tejo 13

Figura 2.8 – Sismicidade na região dos Açores de 1850 a 1998 14

Figura 2.9 – Deslizamento de terra. Sismo em El Salvador, 2001 21

Figura 2.10 – Queda de blocos. Cidade de Beichuan, Sismo de Sichuan, China 2008 22

Figura 2.11 – Efeitos de liquefacção aquando o sismo de Niigata, Japão 1964 23

Figura 2.12 – Ruptura de falha (esquerda. Sismo na Turquia, 1999) e falha com movimento na ordem dos 3 metros (direita. Sismo na Nova Zelândia, 2011) 23

Figura 2.13 – Ruptura da superfície da via. Sismo no Chile, 2010 24

Figura 2.14 – Regiões tsunamigénicas em Portugal 26

Figura 2.15 – Tsunami. Chile, 2010 (esquerda) e Japão 2011 (direita) 26

Figura 2.16 – Tsunami no Japão, 2011. Aeroporto de Sendai (esquerda), Ishinomaki (direita) 26

Figura 2.17 – Tsunami no Japão, 2011. Cidade de Natori (esquerda), Porto de Kesennuma (direita) 27

Figura 2.18 – Área afectada pelo incêndio 27

Figura 2.19 – Incêndio na refinaria de Ichihara (esquerda) e zona habitacional (direita). Sismo no Japão 2011 28

Figura 2.20 – Corte esquemático de edifício Pombalino 29

Figura 2.21 – Plano de reconstrução da Baixa de Lisboa 30

Figura 2.22 – Zonamento sísmico de Portugal Continental de acordo com o RSCCS 31

Figura 2.23 – Zonamento sísmico de Portugal Continental de acordo com o RSAEEP 33

Figura 2.24 – Zonamento sísmico em Portugal Continental considerado no Eurocódigo 8 (NP EN 1998-1) e o Anexo Nacional (2009) 35

Figura 2.25 – Zonamento sísmico no arquipélago da Madeira considerado no Eurocódigo 8 (NP EN 1998-1) e o Anexo Nacional (2009) 35

Figura 2.26 – Zonamento sísmico no arquipélago dos Açores considerado no Eurocódigo 8 (NP EN 1998-1) e o Anexo Nacional (2009) 35

Figura 3.1 – Riscos em Portugal Continental 43

Figura 3.2 – Classificação de solos de acordo com a classificação de Penelis (1997) feita a partir da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:200.000 45

Figura 3.3 – Carta de isossistas máximas observadas até à actualidade 49

Figura 4.1 – Cadeias de impacto de um sismo 55

Figura 4.2 – Grau de dano 4 (EMS-98 após o sismo do Faial, 1998) 56

Figura 4.3 – Terramoto e tsunami que atingiram a região centro-sul do Chile 60

Figura 4.4 – Edifício Rio Alto, Concepcíon, 15 pisos, 113 apartamentos 61

Figura 4.5 – Edifício em Maipú, Santiago. Antes e depois do sismo, colapso parcial 62

Figura 4.6 – Edifício Esmerald, Santiago, 20 pisos 62

Figura 4.7 – Pilares no estacionamento do edifício Sol Oriente, Santiago, 18 pisos, 300 apartamentos 62

Figura 4.8 – Danos no Colégio dos Salesianos Alameda, Santiago 63

Figura 4.9 – As famosas casas “gingerbread” 65

Figura 4.10 – Falhas geológicas da Ilha Hispaniola sobre carta altimétrica: Haiti a oeste e República Dominicana a este 66

Figura 4.11 – Intensidades máximas estimadas 67

Figura 4.12 – Colapso da escola privada Saint Pierre em Port-au-Prince 68

Figura 4.13 – Colapso da escola de enfermagem em Port-au-Prince e de escola em Leogane 68

Figura 4.14 – Colapso tipo *pancake* da Universidade de Saint Gerard onde morreram 200 pessoas 69

Figura 4.15 – Movimento da população de Port-au-Prince para as áreas rurais 69

Figura 4.16 - Fronteira entre Haiti e República Dominicana. Haiti é a parte esquerda sem qualquer vegetação e a República Dominicana a parte verde à direita 70

Figura 4.17 – Exemplos de danos no património arquitectónico: Igrejas Anime Sante em L’Aquila e San Pietro em Onna 72

Figura 4.18 – Vista geral da entrada para as urgências com danos estruturais na entrada. Hospital San Salvatore di Coppito 73

Figura 4.19 – Danos não estruturais no exterior e interior do edifício que inviabilizam sua utilização. Hospital San Salvatore di Coppito 74

Figura 4.20 – Projecto C.A.S.E. (Complessi Antisismici Sostenibili Ecocompatibili) 75

Figura 4.21 – Geração do sismo 76

Figura 4.22 – Cidade de Beichuan após o sismo e deslizamentos provocados pelas fortes chuvas de 24 de Setembro de 2008 77

Figura 4.23 – Escola de Bailu com ruptura superficial da falha: antes (esquerda) e depois (direita) 78

Figura 4.24 – Escolas de Beichuan, Bailu e Yingxiu 79

Figura 4.25 – Mapa com a localização do epicentro, principais áreas afectadas e altura do *runup (R)* 80

Figura 4.26 – Depósitos de escombros em Pisco 81

Figura 4.27 – Exemplos de danos em estruturas de betão e alvenaria 82

Figura 4.28 – Igreja de San Clemente de Pisco antes e depois do sismo 82

Figura 4.29 – Igreja del Señor de Luren 82

Figura 4.30 – Hospital San Juan de Dios, Pisco. Esquerda: pavilhões antigos, Direita: novo pavilhão projectado segundo os novos requisitos sísmicos de 2003 83

Figura 4.31 – Escola em Pisco sem danos construída de acordo com o Regulamento de 2003 83

Figura 4.32 – Tectónica do noroeste do Paquistão, localização e extensão da ruptura da falha 84

Figura 4.33 – Ponte Balakot sobre o rio Khunar, deslocamento de tabuleiro 85

Figura 4.34 – Colapso de ponte suspensa a norte de Muzaffarabad devido ao deslizamento 85

Figura 4.35 – Ruptura da falha e localização das placas da Índia e micro-placa da Birmânia (ou Burma). 87

Figura 4.36 – Imagens de satélite mostram a costa de Banda Aceh antes (esquerda) e depois do tsunami (direita) 88

Figura 4.37 – Distribuição das vítimas por país (dados de 23 de Fevereiro de 2005) 89

Figura 4.38 – Direcções e alturas do tsunami na planície de Banda Aceh baseado em trabalhos de campo de Takahashi (2007) 89

Figura 4.39 – Destruição do tsunami em Lho'nga 90

Figura 4.40 – Localização do epicentro (esquerda) e intensidades máximas registadas (direita) 91

Figura 4.41 – Parte de Arg-e-Bam antes e depois do sismo 92

Figura 4.42 – Esquema do sistema de canais Qanat 93

Figura 4.43 – Fenómeno de subsidência com formação de *sinkholes* devido ao colapso do canal de irrigação Qanat a oeste de Baravat 93

Figura 4.44 – Tectónica da região (esquerda) e localização do epicentro (direita) 94

Figura 4.45 – *Himis*, construção tradicional na Turquia 95

Figura 4.46 – Colapso do dormitório em Çeltiksuyu 96

Figura 4.47 – Ligeiro deslocamento do transformador 96

Figura 4.48 – Localização de liquefacção (01) e deslizamentos (02) 98

Figura 4.49 – Efeito de *soft-storey* num edifício residencial com comércio no piso térreo 98

Figura 4.50 – Mapa da área e intensidades registadas na escala MCS 99

Figura 4.51 – Escola Primária Francesco Jovine 100

Figura 4.52 – Localização do epicentro e intensidades MSK. Áreas de liquefacção (amarelo) e possível ruptura de falha (vermelho) 101

Figura 4.53 – Danos causados por colapso do piso vazado no R/C (*soft-storey*) 102

Figura 4.54 – Escola de construção pré-fabricada em Gandhidham 103

Figura 4.55 – Desastres naturais com maior impacto económico desde 1965 105

Figura 5.1 – Componentes na avaliação do risco sísmico e escolha do método para avaliação da vulnerabilidade; o traço a cheio representa um método de avaliação tradicional 109

Figura 5.2 – Exemplo de uma ficha *rapid screening procedure* para zona de elevada sismicidade 112

Figura 5.3 – Dano em função da aceleração (PGA) e do índice de vulnerabilidade 113

Figura 5.4 – Exemplo do modelo de danos para uma vulnerabilidade da classe C 114

Figura 5.5 – Definição da curva de capacidade da estrutura 116

Figura 5.6 – Espectro de capacidade e ponto de desempenho 116

Figura 5.7 – Exemplo de curvas de fragilidade e estados de dano 117

Figura 6.1 – Colapso total de edifício escolar em Alaköy. Sismo 23 de Outubro de 2011, Turquia (M7,2) 123

Figura 6.2 – Ficha de caracterização do campus escolar 132

Figura 6.3 – Localização dos equipamentos de ensino analisados 133

Figura 6.4 – Distribuição da população estudantil existente na base de dados (portal *ESCOLaRISCOS*) por concelho 134

Figura 6.5 – População estudantil existente na base de dados vs população residente em 2008 134

Figura 6.6 – Localização da EB1 de Carvoeiro 140

Figura 6.7 – Equipamentos de ensino que se localizam até 200 m das falhas 141

Figura 6.8 – Localização dos equipamentos de ensino e área de inundação do tsunami de 1755 141

Figura 6.9 – Ficha de caracterização do edifício 142

Figura 6.10 – Número de pisos por época construtiva 143

Figura 6.11 – Exemplo de escolas do projecto Plano dos Centenários (anos 40 a 60) 143

Figura 6.12 – Estrutura predominante e estado de conservação 144

Figura 6.13 – Alguns factores de agravamento sísmico 145

Figura 6.14 – EB1/JI Cavalinha – soft-storey; EB1 de Quarteira – pisos recuados; Universidade do Algarve (Faculdade de Engenharia de Recursos Naturais e Faculdade de Economia) – planta assimétrica 145

Figura 6.15 – Danos existentes 146

Figura 6.16 – Ficha de caracterização geral dos ginásios/pavilhões desportivos 146

Figura 6.17 – Exemplo de ginásios/pavilhões desportivos 147

Figura 6.18 – Alguns factores de agravamento identificados considerados para o caso dos ginásios/pavilhões desportivos 147

Figura 6.19 – Índice de vulnerabilidade para as classes de vulnerabilidade EMS-98 149

Figura 6.20 – Esquema de fissuras em alvenarias (AeDES. Baggio et al., 2007) 153

Figura 6.21 – Carta de intensidades EMS-98 154

Figura 6.22 – Relatório sumário do simulador sísmico do Algarve 155

Figura 6.23 – Comportamento do edificado (habitação) 156

Figura 6.24 – Pormenor dos danos no edificado no concelho de Portimão e envolvente 156

Figura 6.25 – Utilização para ensino pós-sismo 157

Figura 6.26 – Utilização dos equipamentos de ensino para gestão da emergência pós-sismo 157

Figura 6.27 – Sobreposição da avaliação de danos no edificado e nos equipamentos de ensino 158

Figura 7.1 – Carta Geológica de Portugal 163

Figura 7.2 – Carta Geológica de Portimão 164

Figura 7.3 – Carta de solos para Portimão (classificação EC8) 165

Figura 7.4 – Classificação tipológica baseada no Censos 2001 para Portimão 167

Figura 7.5 – Défice de resilstência, RDR 170

Figura 7.6 – Calibração da escala 172

Figura 7.7 – Representação do SIRIUS em função do Défice de Resistência (RDR) e da Densidade Populacional (RPH) 173

Figura 7.8 – SIRIUS – indicador de risco sísmico urbano para o concelho de Portimão 175

Figura 7.9 – Indicador de risco sísmico para o concelho de Portimão (pormenor) – População presente 175

Figura 7.10 – Indicador de risco sísmico para o concelho de Portimão (pormenor) – População de Verão 176

Figura 7.11 – Hierarquia dos estudos para avaliação do risco sísmico 177

Figura 8.1 – Curvas de recuperação das redes de infra-estruturas após o sismo de Kobe 184

Figura 8.2 – Caracterização do sistema urbano. Relações entre elementos em risco e componentes 187

Figura 8.3 – Definição de limites para cada classe 188

Figura 8.4 – Elementos críticos em risco no sistema urbano de Nice 189

Figura 8.5 – Distribuição geográfica das classes do DRI (0-sem risco de mortalidade; a 7-elevado risco de mortalidade) 190

Figura 8.6 – Função de valor para o número de vítimas 192

Figura 8.7 – Células, canais, distribuidores e agregadores 194

Figura 8.8 – Modelo de uma célula 194

Figura 8.9 – Condições de funcionamento com interdependências, sistema de água e edifícios 195

Figura 8.10 – Impactos nos critérios 196

Figura 8.11 – Impactos nos critérios 196

Figura 9.1 – Exemplos de obstrução de vias e acesso interrompido. Sismo de L'Aquila 2009 201

Figura 9.2 – Impacto global do sismo resultante das interdependências..... 201

Figura 9.3 – Relações entre sistemas e componentes (esquemático)..... 202

Figura 9.4 – Estrutura do problema 204

Figura 9.5 – Paralelismo entre as dimensões ou objectivos propostos por vários autores e os seleccionados neste estudo..... 204

Figura 9.6 – Esquematização das funções urbanas vitais e suas dependências e incidências..... 206

Figura 9.7 – Matriz de dependências..... 207

Figura 9.8 – Representação gráfica em árvore..... 209

Figura 9.9 – Serviços, componentes e elementos físicos dos quais o Ambiente depende..... 212

Figura 9.10 – Serviços, componentes e elementos físicos dos quais a Habitação depende..... 215

Figura 9.11 – Serviços, componentes e elementos físicos dos quais a Alimentação depende 218

Figura 9.12 – Serviços, componentes e elementos físicos dos quais o sistema de Saúde depende 219

Figura 9.13 – Serviços, componentes e elementos físicos dos quais o sistema de Ensino depende..... 221

Figura 9.14 – Serviços, componentes e elementos físicos dos quais o Emprego depende 223

Figura 9.15 – Exemplos de danos nos equipamentos das subestações (travessias de transformadores e seccionadores)..... 226

Figura 9.16 – Medidas de mitigação aplicadas em cabos de fibra óptica..... 229

Figura 9.17 – Serviços, componentes e elementos físicos dos quais a Segurança depende..... 233

Figura 9.18 – Efeito cascata 239

Figura 9.19 – Mapa de isossistas (EMS-98) obtidas da classificação dos danos no edificado. Elipse representa possível localização do epicentro. 241

Figura 9.20 – Ponte danificada (esquerda) e escombros (direita) causados pelas inundações trazidas pela tempestade tropical Washi na cidade de Iligan, ilha de Mindanao, Filipinas 248

Figura 9.21 – Exemplos de informação retirada de simulações utilizando o @RISK 253

Figura 9.22 – Exemplo de informação contida na página do PAGER para o sismo de 27 de Fevereiro de 2010,Chile (M8,8). Versão 1 254

Figura 9.23 – Exemplo de ShakeMap e população exposta (sismo de 27 de Fevereiro de 2010,Chile (M8,8)) 255

Figura 9.24 – Exemplo de informação contida na página do GDACS para o sismo de 27 de 2010,Chile (M8,8) 256

Figura 9.25 – Informação contida na página GDACS sobre resiliência e vulnerabilidade da população.. 256

Figura 10.1 – Exemplo de construção com LEGO inserido no programa "Shakes&Quakes"..... 261

Figura 10.2 – Ligação da arte urbana à consciencialização da população..... 263

Figura 10.3 – Envolvimento da comunidade..... 263

Figura 10.4 – Empresa de inspecção de imóveis “Property check” (Nova Zelândia) 265

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Classificação dos desastres naturais quanto à origem 5

Quadro 2.2 – Principais acontecimentos naturais ocorridos em Portugal no período 1950-2010 9

Quadro 2.3 – Sismicidade histórica em Portugal 16

Quadro 2.4 – Valor de referência da aceleração máxima à superfície a_{gR} (m/s^2) de um terreno do tipo A, nas diferentes zonas sísmicas 36

Quadro 2.5 - Coeficiente de importância a adoptar, Y_I, para o Continente e Açores 36

Quadro 2.6 – Tipos de solo/terreno 37

Quadro 2.7 – Valores do parâmetro S_{max} 38

Quadro 4.1 – Principais sismos do século XXI e seus efeitos mais relevantes 59

Quadro 4.2 – Custo total do projecto C.A.S.E. [Calvi, 2010] 75

Quadro 4.3 – Dados do sismo de Sichuan (informação de Agosto 2008) 77

Quadro 4.4 – Perdas dos equipamentos de ensino com o sismo de Kashmir 86

Quadro 5.1 – Formato geral de uma matriz de probabilidade de dano (Whitman et al., 1973) 110

Quadro 5.2 – Forma geral da MPD proposta pelo ATC-13. Estrutura 89 – edifício alto, de betão armado, sem considerações especiais anti-sísmicas 111

Quadro 5.3 – Atribuição de classes de vulnerabilidade a diferentes tipologias construtivas segundo a EMS-98 [adaptado de Grünthal, 1998] 114

Quadro 6.1 – Densidade média de ocupação segundo uso e horários 121

Quadro 6.2 – Número de estabelecimentos de educação e ensino - ano lectivo 2006/2007 126

Quadro 6.3 – Número de alunos – ano lectivo 2006/2007 127

Quadro 6.4 – Caracterização dos equipamentos de ensino privados efectuados pelo ICIST/DREALG 128

Quadro 6.5 – Número de equipamentos de ensino analisados por nível de ensino 133

Quadro 6.6 – Distribuição da população estudantil por nível de ensino e concelho 135

Quadro 6.7 – Tipologias escolares predominantes 137

Quadro 6.8 – Tipologias escolares predominantes (continuação) 138

Quadro 6.9 – Tipologias escolares predominantes (continuação) 139

Quadro 6.10 – Valores do índice de vulnerabilidade para diferentes classes de vulnerabilidade 149

Quadro 6.11 – Atribuição de tipologia construtiva 150

Quadro 6.12 – Atribuição de índices de vulnerabilidade segundo a tipologia construtiva 150

Quadro 6.13 – Atribuição dos índices de vulnerabilidade quando apenas se conhece a época construtiva 150

Quadro 6.14 – Factores modificadores e consequente atribuição de pontos 151

Quadro 6.15 – Classificação de danos em edifícios de alvenaria 152

Quadro 6.16 – Classificação de danos em edifícios de betão 153

Quadro 7.1 – Classificação geotécnica de solos do arquipélago dos Açores e correlação com a classificação do EC8 164

Quadro 7.2 – Valores aproximados do índice de vulnerabilidade actual (Vu_{actual}) para cada tipologia construtiva 167

Quadro 7.3 – Aceleração máxima de referência a_{gR} (m/s^2) nas zonas sísmicas 1.3 e 2.3 168

Quadro 7.4 – Aceleração espectral do solo tipo com base na classe de importância 168

Quadro 7.5 – Aptidão das tipologias construtivas segundo as suas funções (classe de importância) e solos de implantação 169

Quadro 7.6 – Classes do défice de resistência 171

Quadro 7.7 – Classes de densidade populacional 171

Quadro 8.1 – Funções de valor 197

Quadro 8.2 – Cenários 197

Quadro 8.3 – Cenário Lisboa 198

Quadro 8.4 – Cenário Port-au-Prince 198

Quadro 9.1 – Exemplo esquemático 209

Quadro 9.2 – Descrição das funções urbanas incluídas no modelo 210

Quadro 9.3 – Descritor de impacto do Ambiente e dependências 213

Quadro 9.4 – Descritor de impacto das infra-estruturas de alto risco 214

Quadro 9.5 – Descritor de impacto da Habitação e dependências 216

Quadro 9.6 – Descritor de impacto do edificado 217

Quadro 9.7 – Descritor de impacto da Alimentação e dependências 218

Quadro 9.8 – Descritor de impacto da Saúde e dependências 220

Quadro 9.9 – Descritor de impacto dos equipamentos de Saúde 220

Quadro 9.10 – Descritor de impacto da Educação e dependências 222

Quadro 9.11 – Descritor de impacto dos equipamentos de Ensino 222

Quadro 9.12 – Descritor de impacto do Emprego e dependências 224

Quadro 9.13 – Descritor de impacto do sistema de energia eléctrica e dependências 225

Quadro 9.14 – Descritor de impacto dos equipamentos do sistema de energia eléctrica 226

Quadro 9.15 – Descritor de impacto do sistema de água e dependências 227

Quadro 9.16 – Descritor de impacto dos equipamentos do sistema de água 227

Quadro 9.17 – Descritor de impacto do sistema de saneamento e dependências 228

Quadro 9.18 – Descritor de impacto dos equipamentos do sistema de saneamento 228
Quadro 9.19 – Descritor de impacto do sistema de telecomunicações e dependências 229
Quadro 9.20 – Descritor de impacto dos equipamentos de telecomunicações 230
Quadro 9.21 – Descritor de impacto da mobilidade e dependências 231
Quadro 9.22 – Descritor de impacto do sistema de transportes e dependências 231
Quadro 9.23 – Descritor de impacto das infra-estruturas de transportes 232
Quadro 9.24 – Descritor de impacto da acumulação de escombros e dependências 232
Quadro 9.25 – Descritor de impacto da Segurança e dependências 234
Quadro 9.26 – Descritor de impacto dos equipamentos de segurança 234
Quadro 9.27 – Descritores de impacto do DI e dependências 236
Quadro 9.28 – Nível de impacto em cada elemento físico 237
Quadro 9.29 – Nível de impacto dos serviços e componentes 237
Quadro 9.30 – Princípios fundamentais do sistema urbano e níveis de impacto 238
Quadro 9.31 – Disruption índex 238
Quadro 9.32 – Correlação entre cada nível de impacto do Disruption Index (DI) e a escala de intensidade 240
Quadro 9.33 – Nível de impacto de cada elemento 242
Quadro 9.34 – Nível de disfunção dos serviços e funções com descritores de impacto associados 242
Quadro 9.35 – Impacto global (Disruption index) 243
Quadro 9.36 – Níveis de impacto de cada elemento 244
Quadro 9.37 – Descritores de impacto das várias etapas 245
Quadro 9.38 – Níveis de impacto dos elementos físicos e respectivos descritores 246
Quadro 9.39 – Níveis de impacto dos serviços/componentes e das funções urbanas 247
Quadro 9.40 – Disruption Index 248
Quadro 9.41 – Danos e subsequentes níveis de impacto de cada elemento físico 249
Quadro 9.42 – Indicador de impacto para os serviços e componentes 250
Quadro 9.43 – Descrição dos impactos para os pontos de vista fundamentais e respectivo DI 251

SIMBOLOGIA

ALFABETO GREGO:

γ_I – coeficiente de importância

μ_d – grau médio de dano esperado entre 0 e 5

ALFABETO LATINO:

a_g – aceleração do terreno

a_{gR} – aceleração máxima de referência

D – grau médio de dano

E_0 – índice de desempenho sísmico de referência

I– intensidade entre I e XII

I_S – índice de desempenho sísmico

I_{SO} – índice de solicitação sísmica para a estrutura

S_D – sub-índice de irregularidade estrutural

t – tempo

T – sub-índice de deterioração temporal

T_R – período de retorno

V_I^* – vulnerabilidade esperada para edifícios de tipologia i

SIGLAS E ABREVIATURAS:

ANPC – Autoridade Nacional de Protecção Civil

DI – *disruption índex* – índice de interrupção

DREALG – Direcção Regional de Educação do Algarve

EB – escola básica

EC8 – Eurocódigo 8

EMS-98 – Escala Macrossísmica Europeia

ERSTA – Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve

GEPE – Gabinete de Estatística e Planeamento da Educação, Ministério da Educação

ICIST – Instituto de Engenharia de Estruturas, Território e Construção

IDD – índice de défice por desastre

IDL – índice de desastres locais

IGR – índice de gestão de risco

IMM – Intensidade Modificada Mercalli

IVP - índice de vulnerabilidade prevalecente

JI – jardim-de-infância

PFBA – pré-fabricado de betão armado

PDM - Plano Director Municipal

PGA – *peak ground acceleration* – aceleração de pico do terreno

PIB – Produto Interno Bruto

PP – Plano de Pormenor

PRRSIE/EP – Programa de redução do risco sísmico das instalações escolares / Estudo Piloto.

PU – Plano de Urbanização

SIRIUS – *seismic risk indicator in urban spaces* – indicador de risco sísmico urbano

USuET – Urban system under earthquake threat

VRSA – Vila Real de Santo António

PARTE I – ENQUADRAMENTO DO RISCO SÍSMICO EM SISTEMAS URBANOS

1| ÂMBITO E MOTIVAÇÃO

Os sismos são considerados como o desastre natural que maiores destruições causam, produzindo diferentes tipos de perdas: físicas, sociais, económicas, ambientais e culturais. As perdas físicas, como sejam vidas humanas, edifícios e infra-estruturas, para além de causarem um impacto violento no indivíduo, atingem seriamente a sociedade, trazendo graves problemas à economia e à estabilidade social. Um simples evento pode ter impactos severos nos vários estágios de desenvolvimento do país, tendo sérios reflexos no Produto Interno Bruto (PIB), tal como aconteceu recentemente no Haiti (sismo de 12 de Janeiro de 2010), em que segundo o Fundo Monetário Internacional as perdas do desastre são o equivalente a 120 por cento do PIB – o que representa um retrocesso significativo para a economia do país (Reis, 2010).

Para vivermos de uma forma mais segura – condição básica humana – é então necessário dar maior ênfase à prevenção e à mitigação dos sismos. O princípio mais significativo neste sentido é o da aquisição de conhecimentos na área do risco sísmico e das suas consequências e, posteriormente divulgá-los à sociedade, desenvolver programas, simulacros e treinos que envolvam a comunidade. Para não falar obviamente das técnicas construtivas que devem ser realizadas de acordo com o risco que está associado a cada local. Outro aspecto a realçar é a importância da memória das catástrofes pelas comunidades, que não pode ser esquecida - há que preservar as memórias do passado através da escola, de documentários ou pela internet, não esquecendo a sabedoria dos mais velhos que passaram por estes eventos.

Este trabalho surge na sequência de vários estudos desenvolvidos para os equipamentos de ensino de várias regiões, em que se dava especial realce à componente estrutural e, consequentemente a partir de um grau médio de dano, estipulava-se se o equipamento poderia ou não dar continuidade às suas funções. Porém, com o aprofundar dos conhecimentos observou-se que não é suficiente estudar um equipamento ou uma estrutura isoladamente, pois as funções a que se predispõe são produto de um sistema, de um conjunto de estruturas, actores e funções.

Assim, surgiu a necessidade de estudar o impacto dos sismos não apenas ao nível dos danos no edificado ou do número de vítimas, como é vulgarmente apresentado em vários estudos até agora, mas a de conhecer também o seu impacto no suporte físico do território e no seu funcionamento, tal como seja no emprego, na habitação ou mesmo na continuidade do ensino. Esta abordagem tenta descrever, por exemplo qual o impacto da ruptura da rede de águas numa parte da cidade. Será possível habitar essa zona? Quanto tempo é possível habitá-la ou a partir de quando? É possível utilizar as escolas dessa área? Qual o transtorno dos escombros na circulação das pessoas e dos veículos? A partir de que valor se pode circular e viver com as condições mínimas?

Tentou-se assim dar uma visão holística do problema e não apenas das suas partes, podendo a partir daí tirar ensinamentos para prevenir e mitigar o risco, tendo em atenção os equipamentos escolares, pois estes, tal como os equipamentos desportivos, geralmente

servem de abrigo após uma catástrofe, representando a sua perda um agravamento na resiliência de determinada zona afectada. Por outro lado, o uso das escolas no pós-sismo como função de abrigo gera um outro problema: não pode ser demasiado prolongada por ter associada uma interrupção indeterminada do ensino, causando um maior impacto nas crianças e comunidade.

Estas e outras questões surgem imediatamente a seguir a uma catástrofe e através da observação, lições e contributos retirados de vários sismos no mundo, tentou-se medir o impacto dos sismos através de critérios.

Medir o impacto de um sismo, numa sociedade, mediante a utilização de critérios é um grande desafio, tanto do ponto de vista conceptual como técnico-científico, pois estamos perante uma infinidade de factores, muitos deles interdependentes, de difícil descrição ou mensurabilidade. O sistema urbano apresenta níveis elevados de complexidade e de reactividade, ou seja, as suas componentes são fortemente interdependentes, e qualquer modificação no desempenho de uma das componentes dá origem a modificações rápidas dos comportamentos dos agentes que antes a utilizavam.

No entanto, acha-se que esta abordagem é possível e pretende-se propor e testar uma alternativa metodológica para a avaliação dos impactos num determinado território, a fim de poder haver boas decisões de planeamento territorial.

Os principais desafios deste trabalho foram a busca da coerência na visão do que se pretende e no conjunto de instrumentos que se propõe, da forma de articulação e a apresentação das análises e das propostas em múltiplos domínios, tendo em vista a captação pelos cidadãos e pelos decisores políticos, da absoluta necessidade dessa coerência e dos principais vectores de intervenção preconizados para que não haja uma aplicação desarticulada dos mesmos.

Este documento está organizado em três Partes. Na Parte I, para além do âmbito e motivação descritos no primeiro capítulo, explicita-se o risco sísmico em sistemas urbanos em três capítulos. No segundo capítulo faz-se um enquadramento aos desastres naturais e caracteriza-se o risco sísmico em Portugal. No terceiro capítulo é feito o enquadramento jurídico-político sobre esta temática no território português. No quarto capítulo são descritos os efeitos dos sismos no sistema urbano.

Na Parte II são descritas as metodologias mais relevantes para a avaliação da vulnerabilidade e risco sísmico do edificado e é feita uma aplicação aos equipamentos de ensino da Região do Algarve. Esta Parte comporta ainda uma nota final com a qual se procura desenvolver uma metodologia simplificada de avaliação do risco sísmico em meio urbano, de uso em planeamento do território (SIRIUS).

Na Parte III generaliza-se a análise urbana a sistemas com interdependências, propondo-se o conceito do *Disruption index* baseado em funções e actividades que compõem o sistema urbano. São desenvolvidas aplicações em territórios distintos (Açores e Itália), sendo finalmente preconizadas políticas de mitigação, que se traduzem em prioridades estratégicas.

2| DESASTRES NATURAIS

2.1. Enquadramento aos desastres naturais

Actualmente não se pode falar de desastre sem evocar a relação específica entre natureza e os factores sociais e políticos. Vive-se uma forma de pensar os desastres naturais em que o Homem é sem dúvida um dos intervenientes. A onda de 15-20m que destruiu Sendai (M_w 9.0, 11 de Março de 2011) excedeu sem dúvida o previsto e imaginável para a sociedade Japonesa. Os subsequentes cenários apocalípticos de destruição, incêndios em complexos industriais e acidente nuclear mostram a parte de responsabilidade do ser humano no desastre, reforçando a ruptura com a noção de "desastre natural".

O presente capítulo propõe-se reportar os principais desastres por tipo de fenómeno no mundo e em Portugal. Existem dois grupos de desastres: naturais e tecnológicos. Os desastres naturais segundo o Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) podem ser divididos em grupos: geofísicos, meteorológicos, hidrológicos, climatológicos e biológicos como esquematizado no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Classificação dos desastres naturais quanto à origem

Desastre	Tipos
Geofísicos	Sismos Vulcões Movimentos de massa em vertentes
Meteorológicos	Tempestades
Hidrológicos	Inundações Movimentos de massa em vertentes
Climatológicos	Temperaturas extremas Seca Incêndios florestais
Biológicos	Epidemia Pragas

De todos os desastres naturais decorridos na primeira década do século XXI (Figura 2.1), os sismos são os que mais perdas humanas (67%), materiais e económicas implicaram, seguido dos ciclones (15%), das temperaturas extremas (8%) e das epidemias (5%). De todos os fenómenos naturais, os sismos são os menos previsíveis.

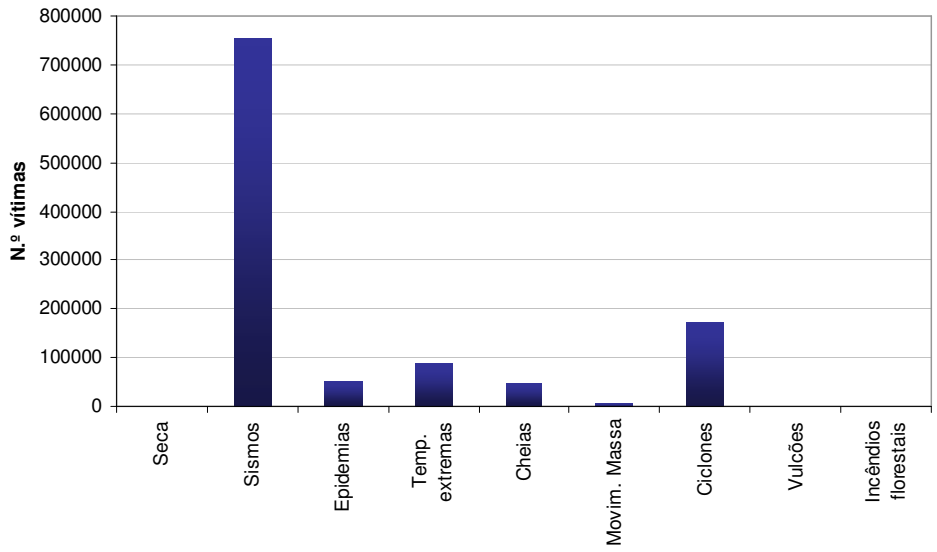


Figura 2.1 – Vítimas em desastres naturais na 1ª década do Século XXI
Fonte: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database

A primeira década do século XXI tem sido flagelada por vários desastres naturais e o número de vítimas continua a aumentar, sobretudo nas áreas densamente povoadas. Em 2008 esse número atingiu 235816 vítimas - três vezes maior que a média anual verificada nos últimos 8 anos (78000) de acordo com o United Nations International Strategy for Disaster Reduction (ISDR). As grandes perdas deveram-se sobretudo ao ciclone Nargis em Myanmar (2 de Maio de 2008), uma das regiões mais densamente povoadas do mundo, provocando 138366 vítimas e, ao sismo de Sichuan na China, onde foram relatadas 87476 fatalidades (12 de Maio de 2008). O sismo do Haiti, a 12 de Janeiro de 2010, foi o responsável pelo maior número de vítimas desse ano - um único evento causou mais de 300000 vítimas, ou seja, 1/5 das vítimas totais do século passado.

Segundo Lall e Deichmann (2009) hoje em dia, 370 milhões de pessoas vivem em áreas de risco sísmico e 310 milhões em cidades com elevada probabilidade de ocorrência de ciclones. Em 2050 este número é possível que duplique. As migrações em massa, por todo o mundo, da população do espaço rural para urbano têm resultado no crescimento de bairros de lata, muitos deles localizados em zonas de risco e construídos de forma inadequada. A marginalização destas situações tem contribuído para efeitos dramáticos em termos do aumento do risco social e da vulnerabilidade.

O futuro reserva mais sismos e ciclones – o lado positivo é que actualmente existe conhecimento suficiente para prevenir cataclismos desnecessários. Importa não descurar este conhecimento.

As seguintes Figuras (Figura 2.2 e Figura 2.3) revelam que na generalidade as sociedades mais pobres, com baixos padrões de desenvolvimento, onde a população é detentora de poucos conhecimentos, formação e educação e em que a construção sismo resistente não é implementada, são aquelas em que os sismos naturalmente causam maiores impactos em

termos de mortalidade. Estas mesmas sociedades, em que as condições económicas são vulneráveis, sofrem não só fortes perdas económicas, em termos de PIB, como têm particular baixa resiliência às perdas, ou seja, o impacto do desastre leva a um retrocesso no desenvolvimento económico, por não terem os bens segurados ou ajudas do Estado. Em termos de perdas económicas, os valores aumentam nas sociedades mais desenvolvidas e industrializadas, por existirem mais infra-estruturas e consequentemente, maior a perda de bens e serviços.

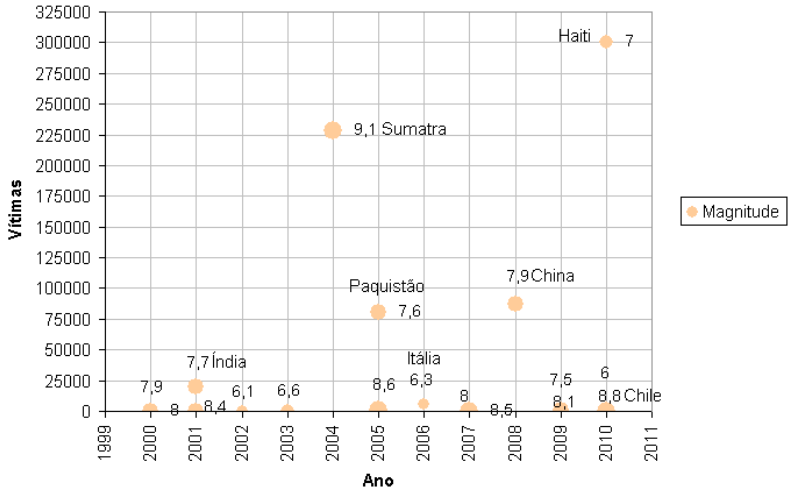


Figura 2.2 – Sismos da 1ª década do Século XXI que causaram grande número de vítimas (até 300000 vítimas)

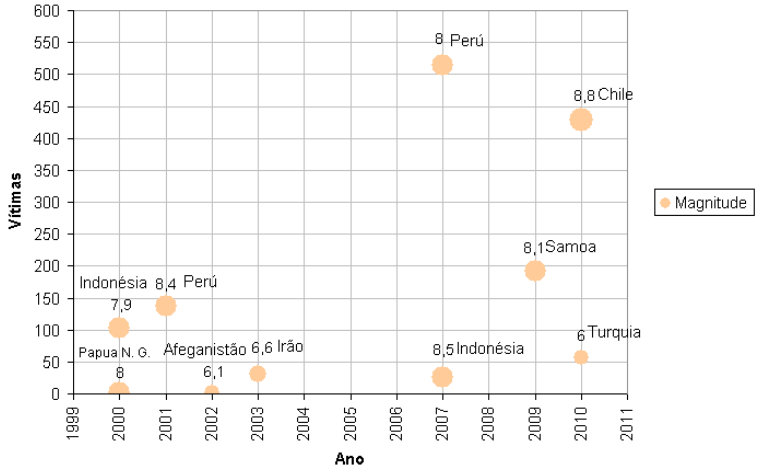


Figura 2.3 – Sismos da 1ª década do Século XXI que causaram até 600 vítimas

Portugal também tem sido palco de várias catástrofes ao longo do tempo. Em seguida será feita uma breve descrição daquelas que causaram maior impacto e, no Quadro 2.2 são apresentados os principais desastres naturais ocorridos em Portugal durante a segunda metade do século XX e primeira década do século XXI. De acordo com os dados disponíveis, os desastres naturais relacionados com o tempo e o clima, a actividade vulcânica e a actividade sísmica foram os mais frequentes.

Começando pela erupção dos Capelinhos, na ilha do Faial, que teve início a 27 de Setembro

de 1957 e terminou em Outubro de 1958, este foi um desastre com largo impacto na ilha, dada a destruição generalizada das habitações e campos do oeste do Faial que desencadeou um êxodo demográfico das ilhas com reflexos até aos dias de hoje.

A seguir, a crise sísmica que teve início a 15 de Fevereiro de 1964 na ilha de S. Jorge, danificou quase todas as habitações das Velas, obrigando à evacuação para a Terceira de aproximadamente 1030 pessoas (Fonseca, 2009).

Podemos também referir algumas das cheias rápidas mais devastadoras e que ocorreram sempre em Novembro: em 1967, na região de Lisboa-Loures, em 1983, na região de Lisboa-Cascais, e em 1997, no Alentejo e Algarve.

Na noite de 25 para 26 de Novembro de 1967 registou-se, na região de Lisboa uma precipitação excepcional, cujo período de retorno está estimado em 500 anos, que provocou a ocorrência de uma cheia repentina com duração inferior a 12 horas. Centenas de casas e infra-estruturas ficaram submergidas num rio de lamas e pedras. “Todavia, permanecem muitas dúvidas sobre a dimensão deste evento, designadamente no que se refere ao número de vítimas mortais, pois que o regime político da altura nunca permitiu apurar as verdadeiras consequências desta catástrofe. Algumas estimativas apontam para prejuízos da ordem dos três milhões de dólares a preços da época” (Dias, n.d.). Outro exemplo, o Inverno de 2000/2001, entre os meses de Dezembro e Março, foi marcado por cheias consecutivas em especial nos distritos de Vila Real, Porto, Santarém e Coimbra. No dia 3 de Março a ponte Hintze Ribeiro, em Entre-os-Rios, colapsou devido aos intensos caudais dos rios Douro e Tâmega, e à excessiva exploração de areia no leito do rio, ao longo de anos, que deixou descalço pelo menos um dos pilares da ponte. Ao cair, a ponte arrastou um autocarro de turismo e dois automóveis, tendo morrido cerca de 60 pessoas (Dias, n.d.).

A 23 de Dezembro de 2009 fortes rajadas de vento provocaram graves perturbações na rede de distribuição de energia da zona Oeste - um número extraordinário de interrupções por hora na rede MT da região Oeste (mais de 60 interrupções/hora - em situação normal é inferior a uma interrupção/hora). Segundo a EDP os impactos destas interrupções sentiram-se em 350 mil pessoas que ficaram sem luz, mais de 6300 avarias na rede de distribuição, mais de 700 postes de betão partidos, 20 postos de transformação danificados e 160 km de rede de distribuição danificada. No final do dia 24 de Dezembro cerca de 347 mil clientes tinham a energia eléctrica reposta e ao fim de cinco dias a totalidade (Tomás, 2010). Para além dos concelhos de Torres Vedras e Lourinhã, foram ainda afectados os de Alenquer, Amadora, Cadaval, Azambuja, Cascais e Oeiras. A auto-estrada A8 ficou condicionada em vários locais no sentido norte/sul, a maioria das vias de Torres Vedras ficaram intransitáveis e todos os acessos à Lourinhã obstruídos devido ao mau tempo. De acordo com as informações recolhidas pela Agência Lusa (8 Janeiro 2010), os prejuízos causados ao Estado e autarquias pelo mau tempo no final de Dezembro chegaram aos 80,1 milhões de euros, a que se juntam ainda os custos privados e os apoios à recuperação das zonas afectadas.

Mais recente tem-se o caso da ilha da Madeira onde, no dia 20 de Fevereiro de 2010, uma forte

chuva fez transbordar as ribeiras desta ilha, causando a morte a 48 pessoas e a destruição de grande parte do Funchal. O Primeiro-Ministro de então, José Sócrates, anunciou a 19 de Abril de 2010, que os prejuízos causados pelo temporal tinham sido avaliados em 1080 milhões de euros.

Por fim, em Dezembro de 2010 mais de uma centena de habitações foram atingidas por um tornado, na zona Centro, observando-se danos em explorações agrícolas, agro-pecuárias e florestais. Foram registados 39 feridos, 19 dos quais crianças de um jardim-escola de Tomar. Com a força do vento, equipamentos do sistema de energia eléctrica registaram falhas de energia, atingindo as subestações da Sertã e da Venda-Nova. Várias linhas de alta tensão caíram por terem sido atingidas pelas árvores arrancadas pelo vento (Noticiário do dia, 2010). "De acordo com a avaliação provisória feita em conjunto pelos governos civis de Santarém e Castelo Branco com as três câmaras municipais afectadas, em Tomar os prejuízos ascendem aos 9,4 milhões de euros, em Ferreira do Zêzere contabilizam-se 2,5 milhões de euros, e na Sertã entre 2,5 e 3 milhões de euros" (Lopes, 2010).

Quadro 2.2 – Principais acontecimentos naturais ocorridos em Portugal no período 1950-2010

Tipo de desastre	Data	Vítimas mortais	Pessoas afectadas	Perdas económicas (000 US$)
Erupção vulcânica (Açores, Faial)	27-09-1957	0	milhares	Sem informação
Sismo (Açores, S. Jorge)	15-02-1964	0	5000	30000000 ($)
Sismo (Açores, Pico e Faial)	11-11-1973	0	Sem informação	Sem informação
Temperaturas extremas (onda de calor)	30-07-2003 a 15-08-2003	2696	Sem informação	Sem informação
Temperaturas extremas (onda de calor)	01-07-2006	41	Sem informação	Sem informação
Cheias	26-11-1967	462	1100	3000
Cheias	01-01-1979	19	25000	30000
Cheias	29-12-1981	30	900	
Cheias	18-11-1983	19	2000	95000
Cheias	08-01-1996		1050	13000
Cheias	22-12-1996		2000	Sem informação
Cheias	06-11-1997	11	200	Sem informação
Cheias	2000/2001	70	Sem informação	Sem informação
Cheias	01-01-2003	Sem informação	150000	Sem informação
Cheias	22-10-2006	Sem informação	240	Sem informação
Cheias (Madeira)	20-02-2010	48	600	1867640

Tipo de desastre	Data	Vítimas mortais	Pessoas afectadas	Perdas económicas (000 US$)
Tempestades (Açores, S. Miguel)	31-10-1997	29	200	25000
Tempestades	23-12-2009	0	350000	80000
Tempestades (tornado)	07-12-2010	0	100 habitações	15000
Incêndios florestais	09-09-1985	0	Sem informação	95000
Incêndios florestais	15-06-1986	15	Sem informação	Sem informação
Incêndios florestais	01-01-2003	0	Sem informação	1730000
Incêndios florestais	15-05-2005	115	Sem informação	1650000
Seca	01-04-1983	0	Sem informação	95000
Seca	01-09-2004	0	Sem informação	1338136

Fonte: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database, www.emdat.be - Université catholique de Louvain - Brussels – Belgium. Dados recolhidos pela autora

O risco está assim longe de ser exógeno ao desenvolvimento. As componentes do risco resultam de uma complexa interacção entre processos de desenvolvimento que geram condições de exposição, vulnerabilidade aliada à perigosidade (*hazard*) natural (Figura 2.4).

As componentes do risco são assim:

Perigosidade sísmica (*hazard*) – Descreve a exposição de um determinado local a fenómenos naturais relacionados com a ocorrência de sismos tais como, acção sísmica, liquefacção, deslizamentos, tsunami. Quantificado em termos probabilísticos que descrevem a probabilidade de um determinado nível de um parâmetro sísmico (intensidade, aceleração ou velocidade) ser excedido de um determinado nível.

Exposição – a exposição é condição *sine qua non* para o risco existir, não está relacionada com a vulnerabilidade mas com os elementos físicos que estão localizados em áreas de perigosidade, como sejam população, urbanização e todos os recursos relacionados com o desenvolvimento económico.

Vulnerabilidade – característica (potencial, propensão ou susceptibilidade) que um elemento (estrutura ou outro) exposto ao risco tem para sofrer determinado impacto ou dano (por incapacidade de responder à acção imposta – devido a questões físicas, sociais, políticas, económicas, culturais e institucionais), por estar sujeito a um determinado nível ou grau de acção. Consequentemente pode ser traduzida por uma variável contínua com valores entre 0, para danos nulos e 1, destruição total.

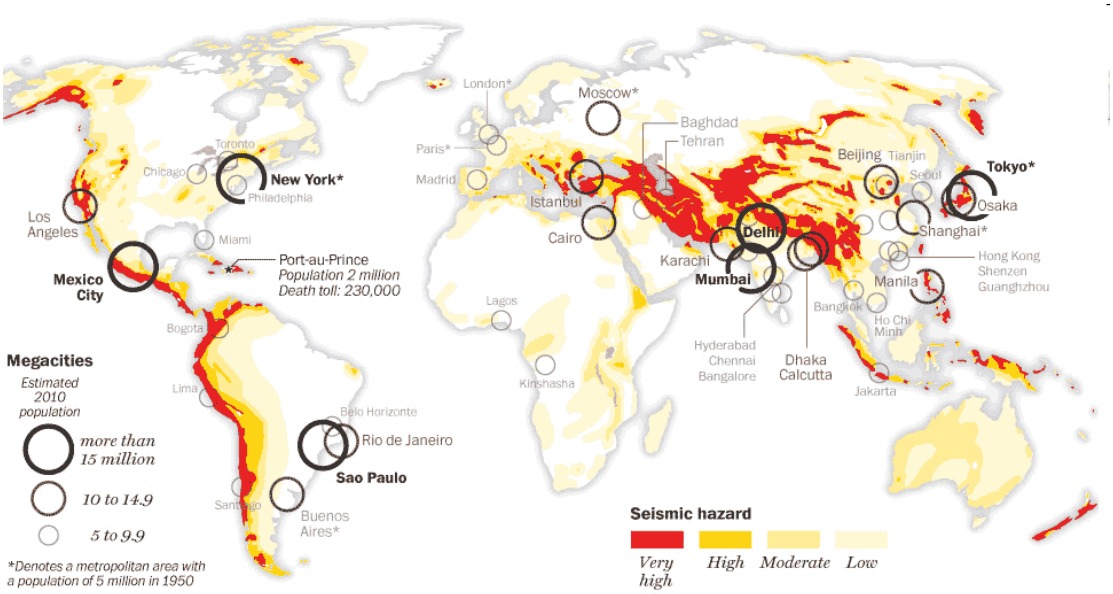


Figura 2.4 – Concentração populacional (exposição) e perigosidade sísmica
Fonte: Laris, 2010

Com base nesta definição de risco, a principal abordagem em matéria de avaliação de risco é a modelação destes três componentes, expressa pela sua convolução, tendo em conta as restrições ou condições impostas pela disponibilidade, qualidade e coerência da informação.

Risco sísmico = perigosidade x exposição x vulnerabilidade

2.2. Risco sísmico em Portugal

2.2.1. TECTÓNICA EM PORTUGAL

Devido à sua localização, junto à fronteira de placas Euro-Asiática e Africana (Núbia) designada por fractura Açores-Gibraltar, o território de Portugal Continental e Insular é caracterizado por uma zona de sismicidade assinalável. Na zona mais ocidental da fractura Açores-Gibraltar encontra-se a junção tripla dos Açores onde se junta a placa Americana (Figura 2.5), fazendo a Crista Média-Atlântica a separação desta com as placas Euro-Asiática e Africana. Nos Açores a sismicidade está ainda associada à actividade vulcânica e ao movimento da Microplaca dos Açores, onde se localizam todas as ilhas, à excepção das Flores e Corvo que se encontram na Placa Americana.

O limite entre as placas Euro-Asiática e Africana é complexo e apresenta características tectónicas distintas pelo que é subdividida em três troços com comprimentos e comportamentos tectónicos distintos:

- um troço mais oriental, designado Banco de Gorringe, que apresenta um movimento de compressão (cavalgamento) da placa Euro-Asiática sobre a placa Africana a uma velocidade

de 0,5 cm/ano;

- um troço central, designado falha GLORIA, onde se verifica uma velocidade de deslocamento relativo entre as duas placas, da ordem dos 3,39 cm/ano;

- um troço mais ocidental, o Rifte da Terceira, que apresenta uma velocidade de afastamento entre as placas da ordem dos 0,76 cm/ano.

O movimento de separação da placa Americana da placa Euro-Asiática, que se deu há mais de 150 milhões de anos, está assim na origem dos sismos que ocorrem de tempos a tempos na região.

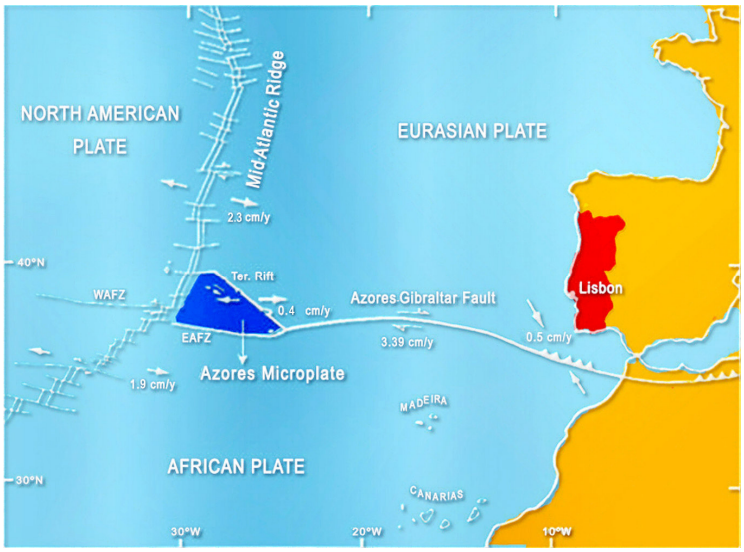


Figura 2.5 – Modelo geodinâmico interpretativo para a colisão das Placas Euro-Asiática e Africana
Fonte: Adaptado de Nunes, 1999

Analisando agora a localização dos epicentros na Figura 2.6, verifica-se que existem manchas bem definidas de maior concentração de epicentros, indiciando presença de zonas activas não só na fronteira de placas, como por todo o território de Portugal Continental. No entanto, importa referir que nas falhas no interior do continente (sismos intra-placas), não é possível acumularem-se as quantidades de energia necessárias para provocar sismos de magnitude daqueles que é possível gerar na zona de fronteira de placas (Oliveira, 2008). Embora estas falhas gerem sismos de menor magnitude que os gerados na fronteira de placas, como se situam mais perto dos aglomerados populacionais, as distâncias entre a falha e o aglomerado em análise são suficientemente pequenas para que as ondas não atenuem quase nada, provocando nessas zonas acelerações do solo mais altas que as provocadas por sismos de maior magnitude mas com epicentro mais afastado. Como os danos provocados nas construções são resultado essencialmente das acelerações do solo, os sismos intra-placas (ou no interior do continente) podem originar mais danos nas zonas próximas do seu epicentro do que sismos inter-placas.

2.2.2. SISMICIDADE HISTÓRICA E INSTRUMENTAL EM PORTUGAL

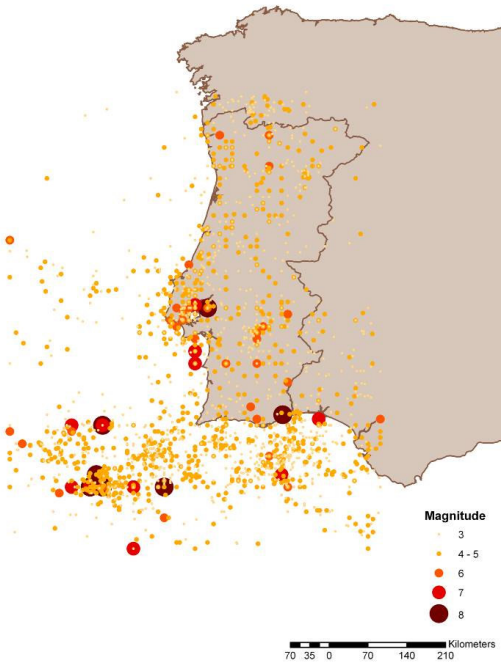


Figura 2.6 – Sismicidade registada no continente e regiões adjacentes de 63 a.C. a 2007
Fonte: Adaptado de Martins e Mendes-Victor, 1990

Na Figura 2.6 encontramos maiores concentrações de epicentros nas regiões do Vale do Tejo e de Évora, no sul Algarvio e a sudoeste do Cabo de São Vicente, numa faixa que vai desde a Planície da Ferradura até ao Banco de Gorringe (Figura 2.7).

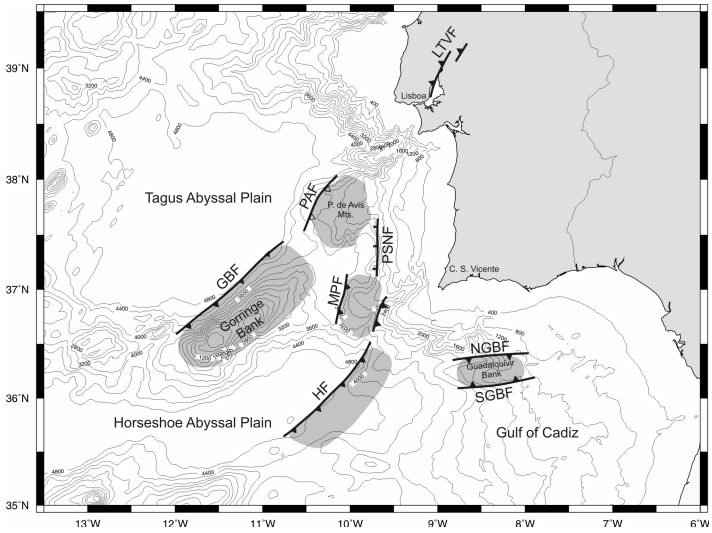


Figura 2.7 – Principais zonas sismogénicas na margem SW da Península Ibérica. GBF – Banco Gorringe; PAF – Falha Principes de Avis; MPF – Falha Marquês de Pombal; HF – Falha da Ferradura; NGBF – Banco de Guadalquivir Norte; SGBF – Banco de Guadalquivir Sul; PSNF – Falha Normal Pereira de Sousa; LTVF – Falha Lisboa e Vale do Tejo
Fonte: Adaptado de Zitellini et al. (2004)

O sul do país está mais exposto devido não só aos sismos inter-placas mas também à

presença de falhas activas que atravessam a região do Algarve, nomeadamente as falhas de Portimão, Quarteira e Faro-Loulé onde ocorreu o sismo de 1722. Relativamente às zonas próximas das falhas do Vale Inferior do Tejo são de elevada perigosidade e nelas se reconhecem os eventos de 1531 (M6,5 – M7) e o sismo de Benavente em 1909 (M_S6,3). Já todo o Alentejo é percorrido no sentido SW-NE pela falha de Messejana e com menor expressão aparecem fontes sismogénicas a norte de Évora, no prolongamento da falha da Nazaré e na zona de Moncorvo - a falha da Vilariça.

Dado o seu enquadramento geotectónico, a região dos Açores apresenta uma importante actividade vulcânica e uma notável sismicidade. A actividade sísmica de natureza tectónica, isto é, a associada às principais falhas activas existentes na Região dos Açores, manifesta-se usualmente sob a forma de um elevado número de microssismos (sismos de magnitude inferior a 3). Periodicamente, contudo, as ilhas dos Açores são abaladas por sismos moderados a fortes, os quais afectam uma ou mais ilhas do arquipélago e causam destruições e impactos económicos significativos. A Figura 2.8 apresenta a localização da zona epicentral dos sismos sentidos nos Açores no período entre 1850 e 1998. Para épocas anteriores à instalação dos sismógrafos (o primeiro em 1902 e, posteriormente só a partir de 1950), a sismicidade baseia-se em relatos e notícias escritas.

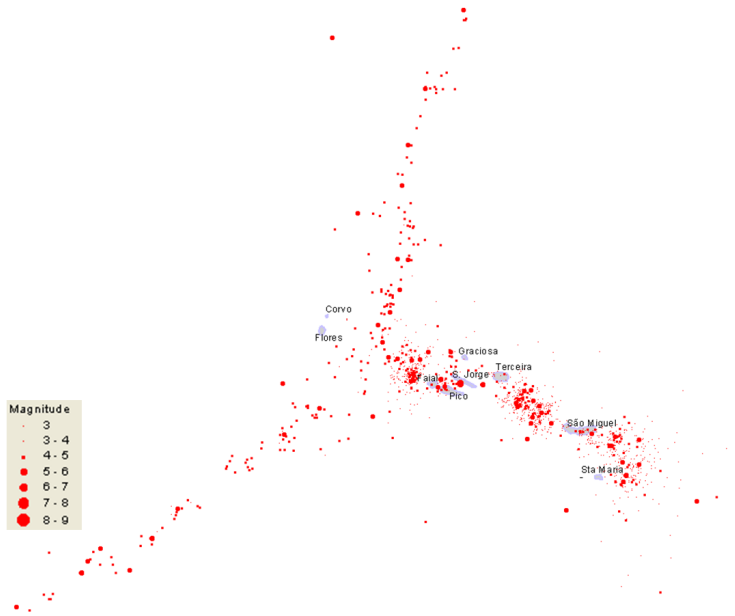


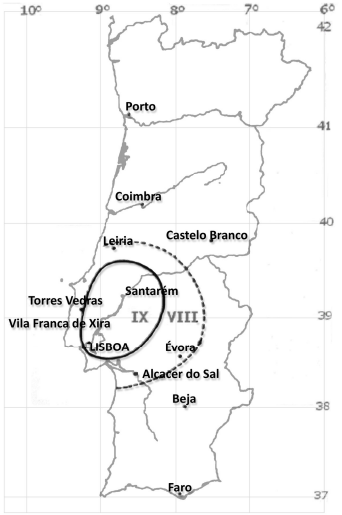
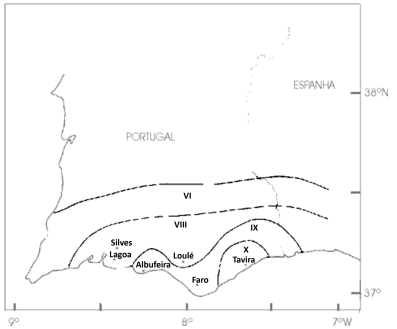
Figura 2.8 – Sismicidade na região dos Açores de 1850 a 1998
Fonte: CSRA – Catálogo Sísmico na Região dos Açores, Versão 1.0 (1850-1998) (Nunes et al., 2004)

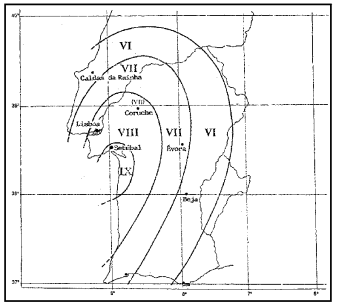
Relativamente à ilha da Madeira, que se encontra localizada na placa Africana, apresenta reduzida sismicidade, registando-se nos últimos 500 anos apenas um evento relevante e com potencial destrutivo moderado, no ano de 1748.

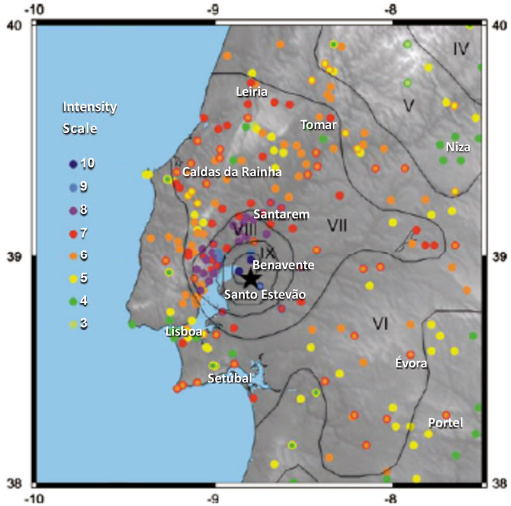
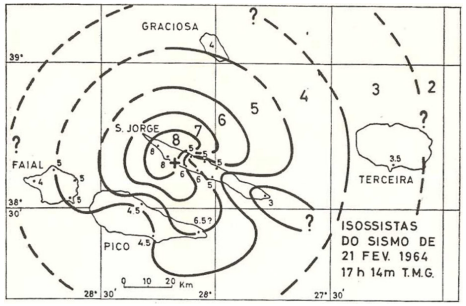
Portugal, devido ao seu enquadramento, tem sofrido as consequências de sismos de moderada a forte magnitude. O sismo mais antigo de que há notícia terá ocorrido em 63 a.C., foi seguido de um tsunami que afectou as costas portuguesa e galegas. De entre os

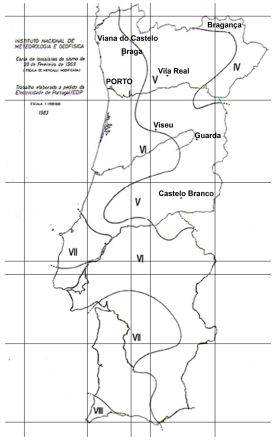
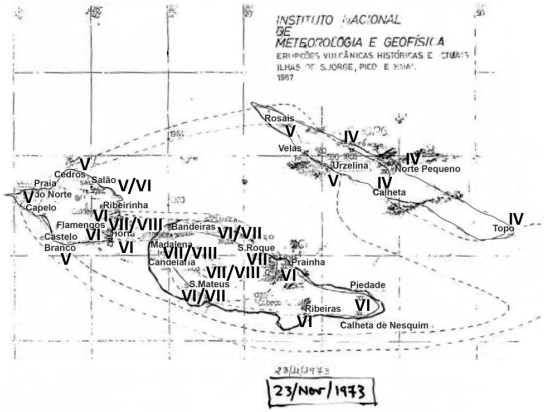
acontecimentos que marcaram a história da sismologia em Portugal, podemos destacar aqueles que provocaram danos mais importantes no território português (Quadro 2.3).

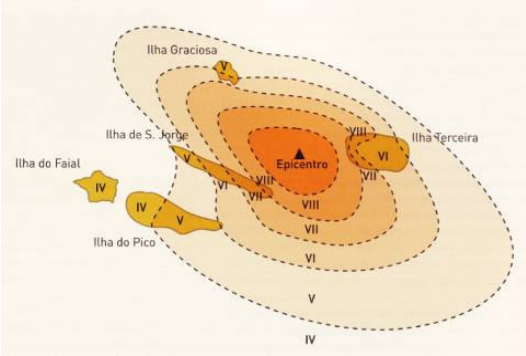
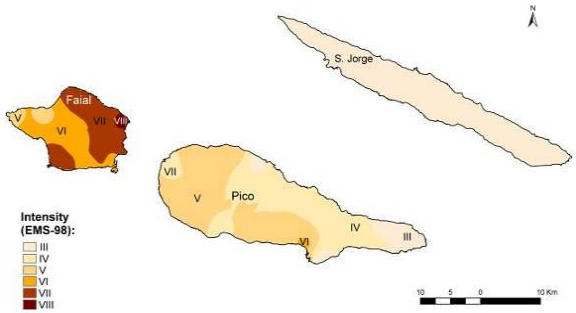
Quadro 2.3 – Sismicidade histórica em Portugal

Data	Observações	Isossistas
26-01-1531	Causou danos no centro de Portugal continental, particularmente na região de Lisboa. Teve epicentro provável na região de Benavente (falha do Vale Inferior do Tejo) de acordo com Senos et al. (1994). A partir da intensidade máxima IX, estimou-se a sua magnitude em 7 (Cabral, 1995). Estudos mais recentes (Vilanova, 2011) apontam para valores inferiores de magnitude cerca de 6,5. Foi sentida alguma agitação das águas do Tejo (Diogo Couto, 1778 *in* Moreira, 1991).	 Fonte: Adaptado de Moreira, 1991
27-12-1722	Causou grandes estragos humanos e materiais desde o cabo S. Vicente a Castro Marim, com incidência em Tavira, Faro e Loulé. Teve o seu epicentro no mar e gerou um tsunami local em Tavira.	 Fonte: Adaptado de SPES, Soc. Port. Eng. Sísmica

Data	Observações	Isossistas
01-11-1755	O maior dos sismos e tsunami de que há notícia histórica. Sentiu-se fortemente em Lisboa, Algarve, sul de Espanha e Marrocos. Embora sem causar danos, também foi sentido nos Açores (tendo causado danos no edificado de Ponta Delgada (São Miguel), Angra do Heroísmo e Praia da Vitória (Terceira), na Madeira e por quase toda a Europa. O megassismo de 1 de Novembro de 1755, com uma magnitude que se estima entre 8,7 e 9,0, atingiu intensidades máximas de X no Algarve (Pereira de Sousa, 1915). O número total de vítimas, é muito incerto com estimativas que variam entre 20000 e as 40000 pessoas. Só em Lisboa, pensa-se que dos 200000 habitantes da época, 20000 terão morrido. Das 20000 casas existentes, apenas 3000 podiam ser reocupadas a seguir ao sismo. Totalmente destruídos ou severamente danificados contam-se 32 igrejas, 60 capelas, 31 mosteiros, 15 conventos e 53 palácios. Os relatos da época são pouco concordantes, tornando-se difícil conhecer o número exacto de vítimas devidas ao sismo, ao tsunami e ao incêndio (Oliveira, 2005). A resposta à catástrofe foi rápida, contudo a reconstrução completa da cidade, prolongou-se no tempo por um período de 100 anos aproximadamente.	 Fonte: Adaptado de Moreira, 1991
11-11-1858	Com origem próxima do vale submarino do Sado, associa-se um dos grandes sismos que afectaram Portugal. Atingiu uma intensidade X (IMM) em Setúbal, provocando grande destruição em várias povoações.	 Fonte: SPES, Soc. Port. Eng. Sísmica

Data	Observações	Isossistas
23-04-1909	O epicentro que se localizou na zona de Benavente (falha do Vale Inferior do Tejo), teve duração de cerca de 20 s. Ocorreram várias réplicas no mesmo dia e nos meses seguintes, tendo sido sentidos 246 abalos no vale do Tejo entre 24 de Abril de 1909 e 10 de Setembro de 1910. A magnitude atribuída mais recentemente (Teves-Costa et al., 2005, 2010) aponta para M_w entre 6,0 e 6,2 e M_S perto de 6,3. A intensidade registada em Benavente foi IX (IMM) e em Lisboa VII (IMM), sendo a parte oriental desta cidade a mais danificada, registando queda de chaminés, fendilhação de fachadas e muros (Choffat e Bensaúde, 1912). Em Espanha a intensidade máxima chegou a V nas cidades de Cáceres e Ciudad Real.	 Fonte: Adaptado de Teves-Costa e Batlló, 2010
21-02-1964	Uma crise sísmica abalou a parte oeste da ilha de S. Jorge, pelas 17h14, com uma magnitude M_b de 5,5, registando intensidades máximas de VIII/IX nos Rosais e causando grande destruição nos Rosais e nas Velas. Ficaram danificadas mais de 900 casas e 400 destruídas. Espalhou-se o pânico na ilha, levando à evacuação de grande número de jorgenses para a Terceira e outras ilhas. Esta crise esteve associada a uma erupção submarina ao largo dos Rosais (Minerva, n.d.). No Pico atingiu intensidade VI na zona da Piedade e IV/V nas Lajes do Pico e S. Roque. No Faial registaram-se intensidades máximas de V na Horta, Ribeirinha e Cedros.	 Fonte: Machado e Forjaz, 1965

Data	Observações	Isossistas
28-02-1969	O sismo de magnitude M_S 8,0 com localização epicentral na planície abissal da Ferradura, foi sentido em todo o país, atingindo uma intensidade máxima de VIII (Mercalli) no Barlavento Algarvio, com danos importantes em alguma construção de alvenaria antiga. Em Lisboa, centenas de chaminés sofreram danos, incluindo colapsos. A sul de Lisboa registaram-se danos ligeiros a moderados em diversas igrejas e capelas.	 Fonte: Adaptado de IM, 1983
23-11-1973	Para os principais sismos desta crise, que ocorreram nos dias 23 de Novembro (IMM=VII/VIII em Bandeiras) e 11 de Dezembro (IMM=VI), calcularam-se valores de M_b de 5,8 e 5,6, respectivamente (Nunes, 1999). O sismo provocou graves danos, com muitas casas parcialmente destruídas, muros caídos e estradas obstruídas, nas freguesias de Bandeiras, Santa Luzia, Sto. António e S. Roque, na costa norte do Pico, na freguesia de S. Mateus, na costa sul do Pico, e ainda nas freguesias de Conceição, Matriz e Flamengos, na ilha do Faial.	 Fonte: Adaptado de IM, 1987

Data	Observações	Isossistas
01-01-1980	Este sismo que afectou as ilhas Terceira, S. Jorge e Graciosa (M_L 7,2) (Hirn et al., 1980), causou grandes estragos na cidade de Angra do Heroísmo, essencialmente em edifícios de um a dois pisos em alvenaria tradicional de pedra, danificando 15 000 habitações (50% do total existente) das quais 5000 atingiram o colapso (Guedes e Oliveira, 1992). Um pequeno tsunami foi gerado por este sismo (Baptista, 1998). O sismo causou 61 mortos muitos dos quais devido aos deslizamentos de encostas na ilha de S. Jorge. A reconstrução das zonas destruídas constituiu a operação de maior envergadura levada a cabo em Portugal nos últimos 100 anos.	 Fonte: Oliveira, 2008
09-07-1998	Crise sísmica que teve início a 9 de Julho de 1998, com epicentro a cerca de 15 km a NE da Horta e magnitude M_L 5,9, registou perto de 10600 réplicas e durou cerca de 4 meses. O abalo das 05h19 causou a grande parte dos danos verificados nas ilhas do Faial e Pico, apresentando a ilha de S. Jorge os danos mais ligeiros e em muito menor número, dada a sua localização mais distante da zona epicentral. O sismo causou 8 mortos, uma centena de feridos, 2500 desalojados, afectando (danos ligeiros a colapso total) cerca de 35% do edificado no Faial e 10% no Pico (Oliveira e Ferreira, 2008).	 Fonte: Ferreira, 2008

2.2.3. RISCOS COLATERAIS

Os riscos secundários que podem ocorrer após um sismo são as avalanches, os deslizamentos de terra e lama, a liquefacção do solo, as rupturas de falha, as torrentes derivadas da ruptura de barragens, os tsunamis e inundações e os incêndios. Qualquer cidade pode estar ameaçada por estes acontecimentos naturais, dependendo das condições sismogénicas em que cada região se insere.

2.2.3.1. Deslizamentos de terra e queda de blocos

Os deslizamentos de terra e queda de blocos podem provocar sérios danos nas estruturas que estão localizadas nas encostas (Figura 2.9 e Figura 2.10). Para além disso, a estação do ano é um factor secundário importante no potencial dos deslizamentos de terra, ou seja, um forte terramoto durante o Inverno, devido às chuvas, causa mais danos do que se ocorresse na época seca, do Verão. Para avaliar o risco de deslizamento é necessário haver caracterização da susceptibilidade de deslizamentos e das condições geológicas de uma dada região. A susceptibilidade é caracterizada pelo grupo geológico a que pertence e pelo ângulo de declive dos estratos. Conjuntamente com o nível da acção sísmica estas zonas podem sofrer deslizamentos de menor ou maior extensão.

Figura 2.9 – Deslizamento de terra. Sismo em El Salvador, 2001
Fonte: Edwin L. Harp/courtesy USGS

Figura 2.10 – Queda de blocos. Cidade de Beichuan, Sismo de Sichuan, China 2008

2.2.3.2. Susceptibilidade de liquefacção do solo

A liquefacção é um dos temas mais importantes, interessantes, complexos e controversos da engenharia sísmica (Kramer, 1996). Consiste na passagem de um solo em estado granular para um estado liquefeito, geralmente causado por um grande abalo sísmico. Durante o abalo, a areia tende a ser compactada e a água entre os poros não consegue sair instantaneamente, pelo menos nos grãos mais finos, para acomodar a compactação.

A liquefacção é geralmente manifestada sobre a forma de jactos de água, submersão ou inclinação ou abatimento dos edifícios (Figura 2.11), resultando em danos severos caracterizados por defeitos nas fundações, nas áreas mais declivosas e danos nas infra-estruturas, tais como, auto-estradas, caminhos-de-ferro, sistemas de distribuição de água e gás.

Existem vários critérios que servem para analisar a susceptibilidade de liquefacção, como critérios de composição do solo; as características composicionais (tamanho das partículas, formato e granulometria) associadas às alterações elevadas de volume tendem a estar associadas com a elevada susceptibilidade de liquefacção, e critérios geológicos. Os sedimentos que estão susceptíveis a liquefazerem-se encontram-se dentro de uma classe limitada de ambientes geológicos (Youd e Perkins, 1991).

Os ambientes hidrológicos e dos sedimentos bem como a sua idade são factores que contribuem para a susceptibilidade dos solos à liquefacção. Os processos geológicos que põem o solo com iguais granulometrias, os depósitos fluviais, aluvionares e aéreos quando saturados apresentam probabilidade de serem susceptíveis à liquefacção.

A liquefacção também tem sido observada em deltas fluviais, planícies aluvionares, praias, terraços e depósitos estuarinos. A susceptibilidade dos sedimentos antigos, geralmente muito consolidados é regra geral mais baixa que a dos sedimentos mais novos. Solos do período Holocénico são mais susceptíveis do que os do Plistocénico.

A liquefacção só ocorre em solos saturados, logo a profundidade do nível freático influencia a susceptibilidade de liquefacção. Os solos já modificados pelo Homem também merecem atenção. O estabelecimento de barragens e de protecções com estacas em que as partículas do solo se perdem

devido à presença de água, criam um novo modo de risco sísmico.

Associada à liquefacção surgem muitas vezes outros tipos de fenómenos como jactos de água ("sand boils"), afundamentos localizados (observados em diversos locais no sismo de Benavente), escorregamentos laterais ("lateral spreading") e assentamentos diferenciais.

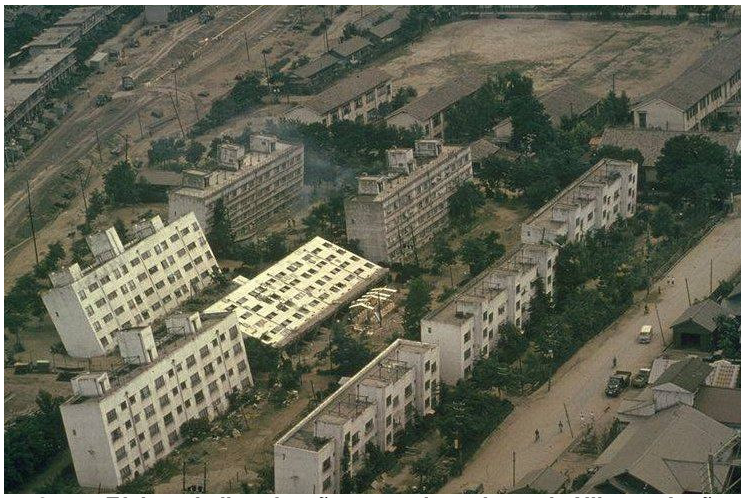


Figura 2.11 – Efeitos de liquefacção aquando o sismo de Niigata, Japão 1964
Fonte: Karl V. Steinbrugge Collection, n.d.

2.2.3.3. Rupturas de falha

As rupturas nas falhas podem causar danos significativos nas estruturas situadas imediatamente em zonas de falhas de complexos depósitos aluvionares. No caso mais simples, a estrutura é literalmente cortada ou seccionada, por uma parte da estrutura se mover numa direcção e a outra parte mover-se na direcção contrária. Num caso mais complexo, os materiais do solo deformam-se e alteram-se em determinada área e as estruturas que se encontram nessas zonas estão sujeitas a serem destruídas, como se pode ver nas Figura 2.12 e Figura 2.13.

Figura 2.12 – Ruptura de falha (esquerda. Sismo na Turquia, 1999) e falha com movimento na ordem dos 3 metros (direita. Sismo na Nova Zelândia, 2011)
Fonte: Deprem yol, n.d. e Wade, 2010

Figura 2.13 – Ruptura da superfície da via. Sismo no Chile, 2010
Fonte: Prats, 2010

2.2.3.4. Tsunamis e inundações

As inundações durante os terramotos podem resultar dos tsunamis, seiches, rompimento de barragens ou da proximidade a áreas inundáveis. Os tsunamis são sequências transitórias de ondas do mar de longo período, geradas impulsivamente por fenómenos de terramotos, vulcões ou deslizamentos de terra marinhos ou costeiros. As seiches são oscilações periódicas que se dão em espaços com água fechados ou semi-fechados, nomeadamente lagos, rios e estuários, devido a sismos ou deslizamentos de terra que destroem as margens de lagos e baías. Como se sabe o risco de tsunamis no nosso país é real, embora mais moderado do que o que existe no Índico, sendo as regiões do Algarve, da costa Alentejana e de Lisboa as que correm maiores riscos.

Com efeito, a faixa costeira portuguesa deve ser considerada como zona de alto risco dado a sua proximidade e posição livre de obstáculos em relação à zona de fractura Açores-Gibraltar, nomeadamente à planície abissal da Ferradura e Banco Submarino do Gorringe, onde a maior parte dos sismos que afectam Portugal são originados. Na documentação histórica encontram-se referências a destruições causadas por tsunamis na costa portuguesa. Por exemplo, encontram-se referências como o que em 60 a.C. atingiu a costa portuguesa, gerado por um sismo com epicentro provável na zona do Gorringe.

Entre os tsunamis mais destruidores que atingiram a região portuguesa podem referir-se o de 24 de Agosto de 1356, o de 26 de Janeiro de 1531, que inundou Lisboa e o Vale do Tejo e o de 1 de Novembro de 1755 (ondas que atingiram os 30 m de altura e estima-se que tenham morrido entre 20000 a 40000 pessoas). Todos estes tsunamis (à excepção do de 1531) foram gerados por sismos com epicentro provável na zona de Gorringe. Em 28 de Fevereiro de 1969, verificou-se outro sismo (magnitude 7,8 na escala de Richter) com epicentro na zona do Gorringe, que também foi indutor de um tsunami embora de amplitude reduzida, cerca de 0,5 m em Cascais.

O arquipélago dos Açores é uma zona a que estão associados tsunamis de fraca intensidade, como por exemplo o tsunami gerado pelo sismo de 1 de Janeiro de 1980. Isto explica-se por ser uma zona em que a maior parte dos sismos têm mecanismo focal predominante do tipo deslizamento (“strike-

slip"). Contudo os Açores serão atingidos certamente por tsunamis gerados em sismos da fractura Açores-Gibraltar. O mesmo sucede com a Madeira como já se verificou historicamente em 1755.

A região que abrange a Península Ibérica e os arquipélagos dos Açores e da Madeira foi designada por AT2 - "Atlantic", no catálogo Genesis and Impact of Tsunamis on the European Coasts (GITEC). A região Atlântica (AT2) estende-se dos Açores ao Estreito de Gibraltar (Baptista, 1998). As regiões tsunamigénicas ilustradas na Figura 2.14 são:

i) Sub-Região dos Açores – na extremidade da ZFAG (Zona de Fractura Açores-Gibraltar). Esta zona inclui a junção tripla das placas Americana, Europeia e Africana. Estão associados tsunamis de muito fraca intensidade, como por exemplo o pequeno tsunami gerado pelo sismo de 1 de Janeiro de 1980.

ii) Falha GLORIA - a secção central da zona de fractura Açores Gibraltar constitui a zona de fractura Falha GLORIA. Aqui já se observaram três sismos tsunamigénicos (1939, 25 de Novembro de 1941 e 26 de Maio de 1975).

iii) Banco de Gorringe – a região leste da ZFEG. Este banco situa-se entre a Planície Abissal do Tejo, a norte, e a Planície Abissal da Ferradura, a sul. Estão associados a esta zona, o sismo ocorrido no ano de 382, que gerou um tsunami observado ao largo do Cabo de S. Vicente e o sismo de 28 de Fevereiro de 1969 que gerou um tsunami registado nas estações maregráficas de Portugal Continental, Açores, Espanha, Ilhas Canárias e Marrocos.

iv) Margem Oeste Ibérica - estende-se desde o Cabo Finisterra, 43ºN até ao Cabo de S. Vicente, sendo geralmente dividida em três segmentos de norte para sul: o segmento do Banco da Galiza, a Planície Abissal da Ibéria e finalmente a Planície Abissal do Vale do Tejo. Ainda não há certezas de que seja uma zona sismogenética e eventualmente tsunamigénica.

v) Margem Sudoeste Ibérica (Sul do Algarve - Golfo de Cadiz-Gibraltar) - localiza-se a sul da zona de convergência da ZFAG (zona do Banco do Gorringe), estendendo-se para leste, ao longo da costa do Algarve até ao Estreito de Gibraltar. É zona de sismicidade frequente.

vi) Vale do Tejo - A actividade da falha inferior do Vale do Tejo, de orientação NE-SW, responsável pela ocorrência dos sismos de 23 de Abril de 1909 e pelo sismo de 26 de Janeiro de 1531, que gerou um tsunami que inundou a zona baixa da cidade de Lisboa.

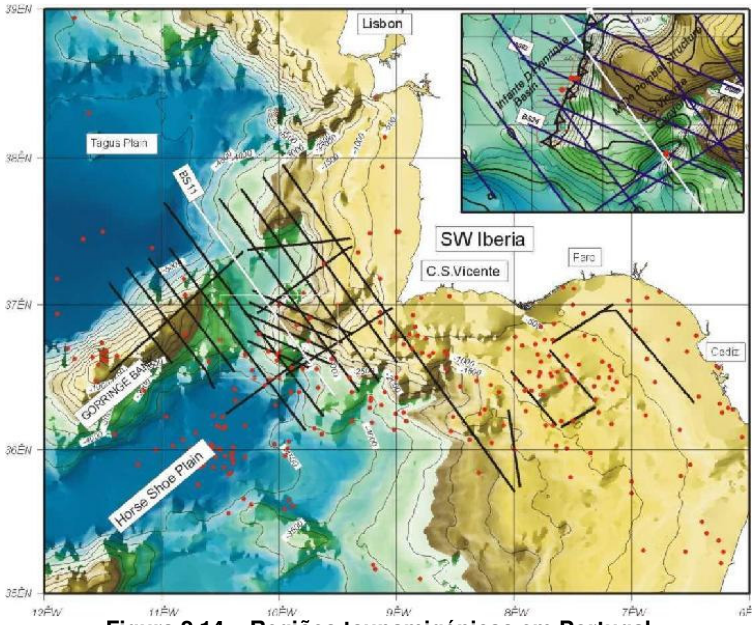


Figura 2.14 – Regiões tsunamigénicas em Portugal
Fonte: Baptista, 1998

As Figuras que se seguem mostram exemplos de inundações e destruições provocadas por dois tsunamis recentes; Chile e Japão.

Figura 2.15 – Tsunami. Chile, 2010 (esquerda) e Japão 2011 (direita)
Fonte: EFE, 2010 e Lopez, 2011

Figura 2.16 – Tsunami no Japão, 2011. Aeroporto de Sendai (esquerda), Ishinomaki (direita)
Fonte : BBC News, 2011

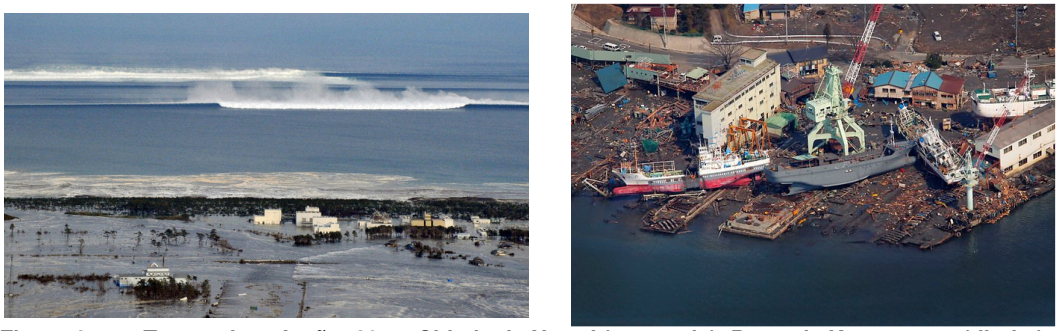


Figura 2.17 – Tsunami no Japão, 2011. Cidade de Natori (esquerda), Porto de Kesennuma (direita)
Fonte: BBC News, 2011

2.2.3.5. Incêndios

Os incêndios são um dos maiores perigos imediatamente após um sismo e se não forem controlados, podem levar a uma maior conflagração sob determinadas circunstâncias. Os parâmetros para avaliar possíveis conflagrações são: fontes de ignição (número de fogos iniciados, causados pela interrupção do normal funcionamento dos sistemas de gás e electricidade); comunicação do incêndio e tempo de resposta (são influenciados, respectivamente pelo tempo em que os cidadãos demoram a dar o alerta e pela densidade e extensão dos danos nos edifícios); expansão do fogo (influenciada pela densidade e materiais de construção e pelas condições climáticas); e supressão do fogo (influenciada pelo número e disponibilidade de equipamento e de pessoal para combater o incêndio).

Não esqueçamos que todos os testemunhos e relatos sobre o sismo de 1755 são unânimes em referir que os danos provocados pelo incêndio, que durou cerca de 6 dias, foram superiores ao próprio terramoto e maremoto (Figura 2.18) (Santos, 2008).

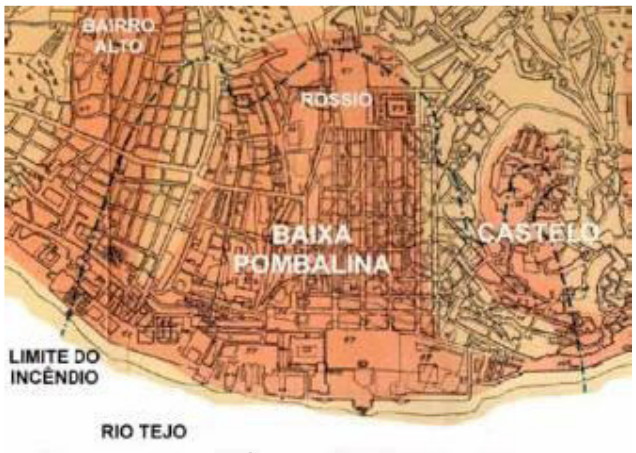


Figura 2.18 – Área afectada pelo incêndio
Fonte: Santos, 2008

A Figura 2.19 mostra algumas imagens de incêndios consequentes do sismo no Japão em 11 de Março de 2011.

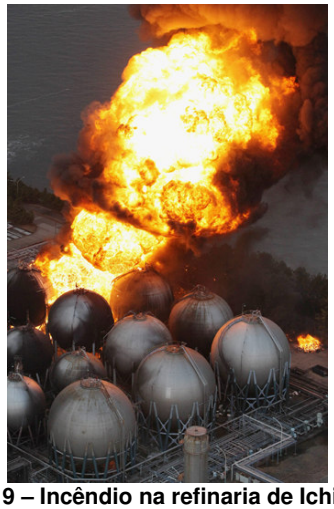


Figura 2.19 – Incêndio na refinaria de Ichihara (esquerda) e zona habitacional (direita). Sismo no Japão 2011
Fonte: BBC News, 2011

2.3. Evolução das exigências de segurança sísmica das construções

A percepção do risco sísmico obriga assim a que os projectos de estruturas tenham regulamentos e recomendações específicas, a fim de se limitar os danos materiais, proteger as vidas humanas e assegurar o funcionamento das instalações e equipamentos importantes.

O terramoto de 1755 veio mostrar a fragilidade da construção tradicional em alvenaria, com a sua reduzida capacidade de absorção e dissipação da energia libertada e, alertar para a necessidade de repensar as técnicas construtivas. No processo de reconstrução da Baixa de Lisboa, era fulcral construírem-se estruturas resistentes aos sismos. Os engenheiros militares da época estabeleceram assim uma analogia entre o comportamento das embarcações e o comportamento dos edifícios durante um sismo – ambas as estruturas estão sujeitas a forças de tracção e compressão. Assim, aproveitando os materiais de construção da época (pedra e a madeira) e aliando aos conhecimentos da engenharia naval, surgiram soluções construtivas originais, nomeadamente a estrutura em gaiola (Gaiola Pombalina) que consiste numa estrutura de madeira, constituída por peças verticais, horizontais e inclinadas (cruzes de Santo André), preenchida por paredes de alvenaria de pedra (Figura 2.20). Os edifícios Pombalinos representam desta forma um importante marco na engenharia sísmica, com as suas estruturas sólidas e estáveis. As principais caracteríscas deste tipo construtivo são a existência de um máximo de 3 pisos mais o piso térreo; águas furtadas; fundações através de estacas curtas; pavimentos de madeira; paredes interiores (frontais Pombalinos) com as cruzes de Santo André; abóbodas de alvenaria e arcos de pedra ao nível do rés do chão.

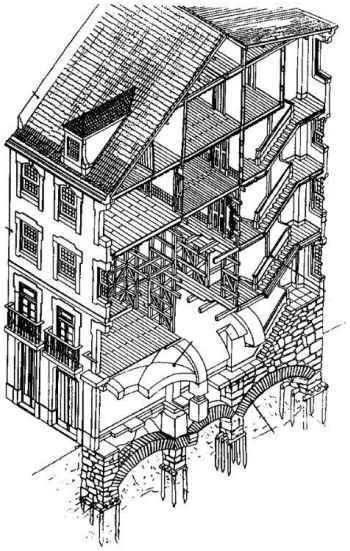


Figura 2.20 – Corte esquemático de edifício Pombalino
Fonte: Mascarenhas, 2004

A reconstrução de Lisboa, para além dos sismos, foi pensada para uma melhor resistência aos fogos urbanos. A inovação passa pelo uso de paredes "corta-fogo" em que se subia as empenas de alvenaria entre edifícios, um a dois metros, para que se tornasse mais difícil a propagação do fogo entre edifícios contíguos. A reconstrução foi ainda um marco importante no desenho urbano, apresentando um projecto[1] totalmente novo, de largas vias lineares a ligar o interior da cidade com a Praça do Comércio e abrir os becos sem saída, libertando a cidade do estigma das ruas escuras e estreitas, abrindo-a ao rio (Figura 2.21).

[1] Plano de reconstrução da Baixa da autoria do Arq. Eugénio dos Santos, do Eng. Mor Manuel da Maia e do Arq. Carlos Mardel em 1758.

A limitação da altura dos edifícios[2] à largura das ruas, a colocação das chaminés do lado dos logradouros e a eliminação de pormenores decorativos nas fachadas, são exemplos de boas práticas ao nível da segurança. Pela primeira vez, a concepção arquitectónica da malha urbana e dos edifícios de uma cidade foi condicionada por preocupações com o comportamento sísmico, concepções e preocupações que infelizmente se foram perdendo ao longo dos séculos.

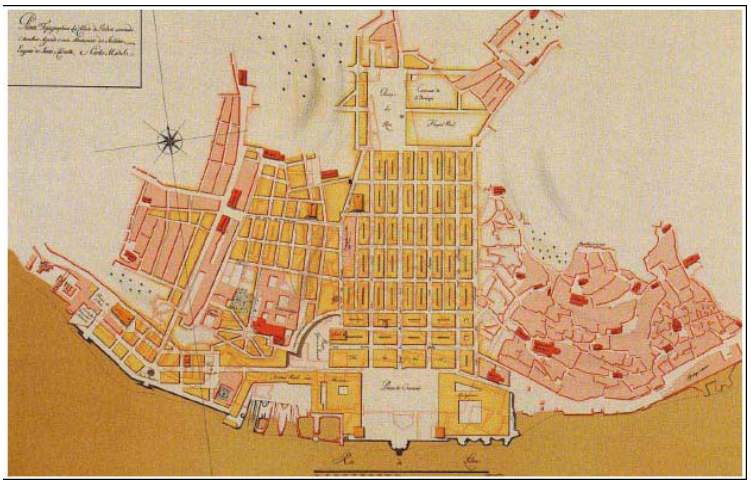


Figura 2.21 – Plano de reconstrução da Baixa de Lisboa
Fonte: Appleton, 2008

Foram ainda introduzidas instalações técnicas para o abastecimento e drenagem de águas, desenvolvendo-se um sistema de colectores dos prédios. A reconstrução teve também efeitos no desenvolvimento da industrialização da construção, utilizando-se componentes pré-fabricados em alguns componentes de fachadas assim como de interiores. Do ponto de vista sísmico pode dizer-se que os métodos anti-sísmicos utilizados constituíram o 1º Regulamento a nível mundial. Soluções semelhantes à da Gaiola Pombalina foram ensaiadas noutros locais, nomeadamente em Itália com a chamada "Casa Baraccata" (Tobriner, 1997) e na Turquia com o sistema "Himis" (Gülkan e Langenbach, 2004).

Com o passar do tempo e a inexistência de sismos tão destrutivos como o de 1755, assistiu-se a um progressivo abandono das preocupações com as técnicas construtivas anti-sísmicas, retirando-se mesmo elementos estruturais importantes e perdendo-se o rigor construtivo ao passar-se para os edifícios Gaioleiros, que surgem em Lisboa entre meados do século XIX e o princípio do segundo quartel do século XX, altura em que foi introduzido definitivamente o betão armado na construção, sendo o período de transição caracterizado pelas estruturas mistas de alvenaria e betão ou metálicas. Até à década de 50 do século XX não tinha sido criada nenhuma regulamentação sobre os efeitos dos sismos (apenas algumas considerações camarárias) e a sua consideração no dimensionamento

[2] O número máximo de pisos será de 3 com águas furtadas, o primeiro com janelas de sacada, o segundo e terceiro e ainda águas furtadas com janelas de peito. Excepção a esta regra será apenas a Praça do Rossio que alterna janelas de sacada com janelas de peito no primeiro andar (Pereira de Sousa, 1923).

das estruturas.

Com a celebração dos 200 anos do terramoto de 1755 dão-se os primeiros passos na Engenharia Sísmica em Portugal, surgindo então a primeira regulamentação anti-sísmica dos tempos modernos. Aqui se expõe uma síntese e apresentação cronológica desses regulamentos.

2.3.1. REGULAMENTO DE SEGURANÇA DAS CONSTRUÇÕES CONTRA OS SISMOS (RSCCS)

Em 1958 surge o primeiro regulamento de estruturas que obrigava ao cálculo dos efeitos dos sismos nas construções. Marca o início de um período de construção que, embora de qualidade muito variável pela falta de fiscalização efectiva de projectos e obras, representa em média uma melhoria significativa da segurança no que concerne à resistência sísmica das construções.

Este regulamento assume-se com os seguintes desígnios:

- estabelecimento do zonamento sísmico em três zonas (Figura 2.22), feito com base na análise da carta de isossistas de eventos registados no passado (Intensidades de Mercalli máximas observadas);

- obrigatoriedade quanto à realização de uma verificação específica da segurança estrutural para as forças laterais aplicadas de forma estática, determinadas através do produto do coeficiente sísmico pelos pesos interessados;

- estabelecimento de condições qualitativas para a introdução de elementos de confinamento, cintagem, melhoria da ligação das paredes aos pavimentos, introdução de alguns montantes de betão armado, em edifícios de pequeno porte.

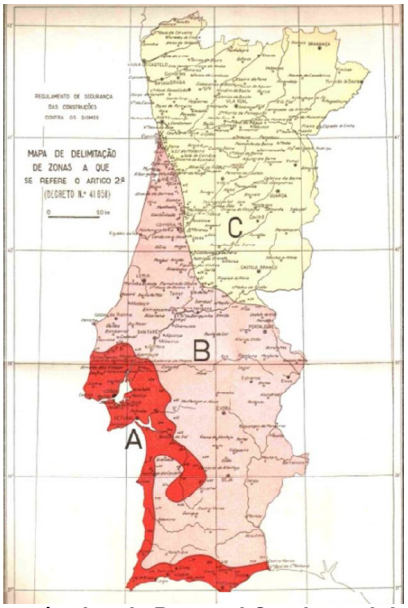


Figura 2.22 – Zonamento sísmico de Portugal Continental de acordo com o RSCCS
Fonte: RSCCS, 1958

2.3.2. REGULAMENTO DE SOLICITAÇÕES EM EDIFÍCIOS E PONTES (RSEP)

Em 1961 publicou-se o regulamento que passou a definir as acções a considerar no dimensionamento estrutural, que tinham como objectivo a prevenção do colapso das estruturas. Manteve-se o zonamento do RSCCS.

2.3.3. REGULAMENTO DE ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO (REBA)

Em 1966 surge o REBA aplicável às construções de edifícios de médio e grande porte (10-15 andares) em betão armado.

2.3.4. REGULAMENTO DE SEGURANÇA E ACÇÕES PARA ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS E PONTES (RSAEEP)

A par com as principais normas europeias, surge em 1983 o Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA, 1983) que classifica e quantifica os diferentes tipos de acções e combinações destas que interessam ao dimensionamento de estruturas (edifícios e pontes).

Este regulamento é o que actualmente vigora em Portugal. A acção sísmica considerada é determinada por métodos de análise dinâmica, admitindo também uma análise por um sistema de forças estáticas horizontais para casos de geometria bem definidos. Relativamente ao dimensionamento, este é feito considerando o comportamento não linear das estruturas, seguindo para este efeito a seguinte metodologia:

- efectuar uma análise elástica linear da estrutura;

- dividir os esforços obtidos na análise elástica pelo coeficiente de comportamento, adequado ao tipo de estrutura, considerando assim o comportamento não linear dessa estrutura;

- verificar a segurança da estrutura para os esforços obtidos.

O RSAEEP considera o território português dividido em quatro zonas sísmicas: A, B, C e D (Figura 2.23), por ordem decrescente de perigosidade sísmica quantificada pelo coeficiente de sismicidade α igual a 1; 0,7; 0,5 e 0,3, respectivamente. Considera ainda dois tipos de acção sísmica: acção Tipo 1 para sismos de moderada magnitude e a pequena distância focal (cenário de geração intraplacas) e Tipo 2, respeitante aos sismos de maior magnitude e a maior distância focal (cenário de geração interplacas). Finalmente, o presente regulamento tem em conta três tipos de terreno:

Tipo I: rochas e solos coerentes rijos,

Tipo II: solos coerentes muito duros, duros e de consistência média; solos incoerentes compactos e,

Tipo III: solos coerentes moles e muito moles; solos incoerentes soltos.

O valor da acção sísmica e o zonamento do território foram definidos através de estudos de perigosidade (Oliveira, 1977) e, para facilitar as aplicações, fez-se coincidir os limites das zonas com

os limites dos concelhos. Comparativamente com o que mais tarde se foi conhecendo, a influência dos tipos de solo na acção sísmica definidos neste regulamento era demasiado ligeira, quando comparada com regulamentos mais recentes.

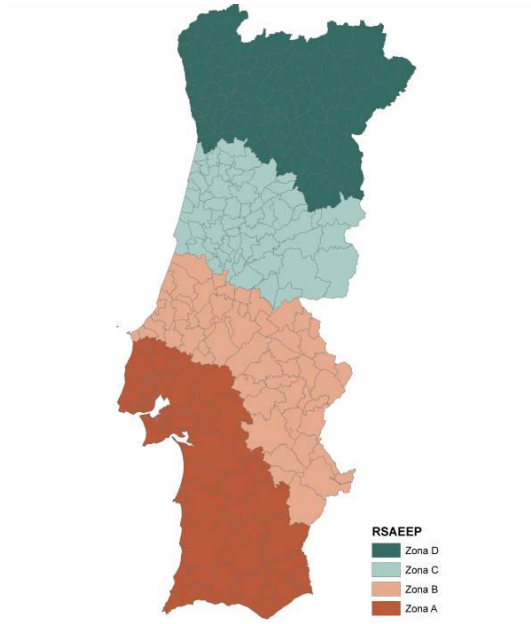


Figura 2.23 – Zonamento sísmico de Portugal Continental de acordo com o RSAEEP
Fonte: RSA, 1983

O artigo 28º do presente Regulamento estabelece que as ilhas do arquipélago dos Açores são incluídas na zona A, com excepção das ilhas das Flores e do Corvo que, conjuntamente com as do arquipélago da Madeira, são incluídas na zona D.

2.3.5. REGULAMENTO DE ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO E PRÉ-ESFORÇADO (REBAP)

Surge igualmente em 1983 (REBAP, 1983) e tal como o REBA contempla as disposições de segurança e construtivas das estruturas de betão armado, adicionando-se as estruturas em betão pré-esforçado. Desta forma, vai de encontro às disposições preconizadas em 1978 pelo Comité Euro-Internacional du Béton (CEB, 1978), CEB-FIT Model Code 1978 no qual cedia informação sobre propriedades dos materiais e estabelecimento de algumas relações para o betão.

2.3.6. EN 1998 - EUROCÓDIGO 8

A actual regulamentação portuguesa de estruturas (RSAEEP) em breve será substituída por normas europeias, que visam unificar os critérios e normativas de cálculo e dimensionamento de estruturas, os Eurocódigos (EN 1998-1:2004). Existem 10 Eurocódigos que cobrem os aspectos relacionados com a segurança, definição das acções em estruturas, questões geotécnicas, dimensionamento e pormenorização de estruturas de acordo com os materiais utilizados (betão, aço, mistas aço-betão, madeira, alvenaria e alumínio).

Cada Eurocódigo é acompanhado de um Anexo Nacional que contém os Parâmetros de

Determinação Nacional (NDPs – *Nationally Determined Parameters*, no original em inglês) (Lopes, 2008), permitindo às Autoridades Nacionais adaptar os documentos à realidade nacional.

2.3.6.1. Definição da acção sísmica

Dependendo do tipo de obra de engenharia civil, determina-se a vida útil da estrutura e a probabilidade de excedência, com as quais se vai determinar os mapas de igual aceleração que definem a perigosidade sísmica à escala regional. É importante destacar que durante a vida útil da construção podem ocorrer acelerações maiores que as especificadas no projecto.

De acordo com a regulamentação definida pelo EC8 (NP EN 1998-1) e para as construções correntes, a acção sísmica para a qual as estruturas não deverão colapsar (exigência de não colapso) deve ser verificada para uma vida útil da estrutura de 50 anos (*t=50)* e uma probabilidade de excedência de 10% (*p=0,1*) nesse período, ao que estão associados um período médio de retorno (T_R) de 475 anos. O período de retorno é calculado através da seguinte fórmula:

$$T_R \approx \frac{1}{1-(1-p)^{\frac{1}{t}}}$$

Já a acção sísmica a considerar no "requisito de limitação de danos", corresponde a uma vida útil da estrutura de 10 anos com uma probabilidade de excedência de 10%. O período de retorno deste evento é de 95 anos[3]. "A estrutura deve ser projectada e construída de forma a resistir a uma acção sísmica cuja probabilidade de ocorrência seja maior do que a da acção sísmica de cálculo, sem a ocorrência de danos e de limitações de utilização, cujos custos sejam desproporcionadamente elevados em comparação com os da própria estrutura (NP EN 1998-1)".

Os diversos estudos de perigosidade que se têm registado ao longo dos anos permitiram assim criar um novo zonamento sísmico do território nacional (zonas onde a acção sísmica se sente de forma diferenciada) que é estabelecido por concelho. Este zonamento permite, em projecto, caracterizar de forma simples os tipos de sismos para os quais as construções devem ser preparadas para resistir. Como referido anteriormente, Portugal tem dois tipos de sismos, os que ocorrem a grandes distâncias (interplacas) e os que têm origem próxima (intraplacas). A acção sísmica Tipo 1 diz respeito ao "sismo afastado", ou seja, um sismo de maior magnitude a uma maior distância focal (cenário de geração interplacas), enquanto a acção sísmica Tipo 2 representa o "sismo próximo" – sismo de magnitude moderada e pequena distância focal (cenário de geração intraplacas).

No arquipélago da Madeira apenas é necessário considerar a acção sísmica Tipo 1 e no arquipélago dos Açores considera-se a acção sísmica Tipo 2. A cada tipo de acção está associada o zonamento sísmico tal como se apresenta na Figura 2.24, Figura 2.25 e Figura 2.26.

[3] Considerando 50 anos (t=50) como a vida útil de uma estrutura, e o período de retorno de 95 anos, obtém-se uma probabilidade de excedência de 41%.

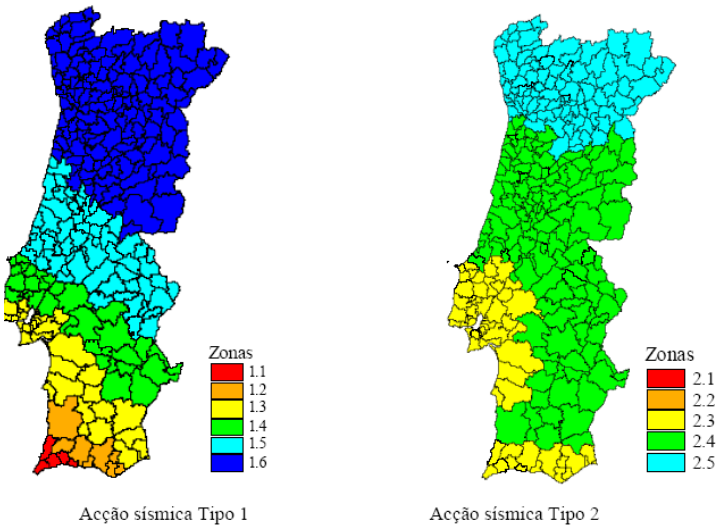


Figura 2.24 – Zonamento sísmico em Portugal Continental considerado no Eurocódigo 8 (NP EN 1998-1) e o Anexo Nacional (2009)

Figura 2.25 – Zonamento sísmico no arquipélago da Madeira considerado no Eurocódigo 8 (NP EN 1998-1) e o Anexo Nacional (2009)

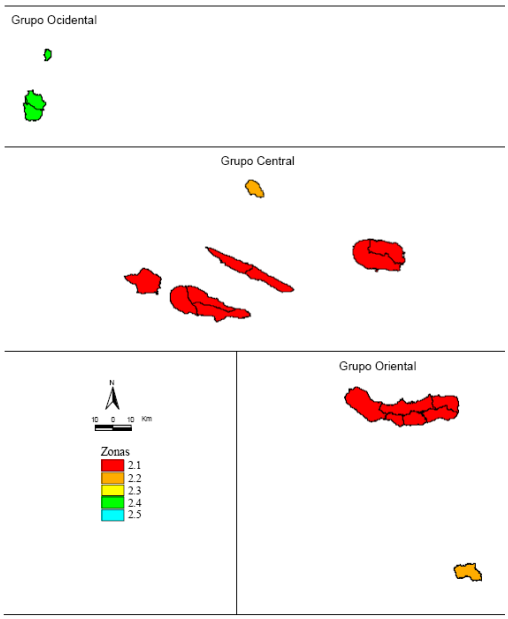


Figura 2.26 – Zonamento sísmico no arquipélago dos Açores considerado no Eurocódigo 8 (NP EN 1998-1) e o Anexo Nacional (2009)

Assim e com recurso ao Eurocódigo 8 conhece-se qual a aceleração máxima de referência (a_{gR}) que o regulamento impõe para cada zona (Quadro 2.4) e para um período de retorno de referência.

Quadro 2.4 – Valor de referência da aceleração máxima à superfície a_{gR} (m/s^2) de um terreno do tipo A, nas diferentes zonas sísmicas

Acção sísmica Tipo 1		Acção sísmica Tipo 2	
Zona sísmica	$a_{gR}(m/s^2)$	Zona sísmica	$a_{gR}(m/s^2)$
1.1	2,50	2,1	2,50
1.2	2,00	2,2	2,00
1.3	1,50	2,3	1,70
1.4	1,00	2,4	1,10
1.5	0,60	2,5	0,80
1.6	0,35	---	---

Para distinguir entre estruturas de importância diferente dos edifícios correntes (edifícios de habitação e escritórios), introduz-se nos regulamentos o conceito de classes de importância, em que se diferenciam os níveis de risco que se consideram aceitáveis em função da importância da estrutura/função/operacionalidade. A cada classe de importância é atribuído um valor (coeficiente de importância, Quadro 2.5) o qual se multiplica pela acção sísmica (Quadro 2.5), obtendo-se assim a aceleração à superfície de um terreno do tipo A (rocha), a_g.

$$a_g = a_{gR} \times \gamma_I$$

Quadro 2.5 - Coeficiente de importância a adoptar, Y_I, para o Continente e Açores

Classe de importância	Edifícios segundo as suas funções	Acção sísmica Tipo 1	Acção sísmica Tipo 2 - Continente	Acção sísmica Tipo 2 - Açores
I	Edifícios de menor importância, por exemplo, edificações destinadas à actividade agrícola.	0,65	0,75	0,80
II	Construções correntes: habitação, serviços.	1,00	1,00	1,00
III	Edifícios que devem apresentar resistência sísmica de forma a evitar o colapso, por exemplo, escolas, edifícios públicos, museus, teatros.	1,45	1,25	1,15
IV	Edifícios cuja integridade durante o sismo é importante para a protecção civil, por exemplo hospitais, quarteis de bombeiros, unidades industriais, barragens.	1,95	1,50	1,35

O local da obra e a natureza do terreno devem ser caracterizados e identificados, para se ter em conta a influência das condições locais dos terrenos na acção sísmica (Quadro 2.6). Desta forma ao valor de a_g obtido anteriormente para um terreno tipo A, deve-se multiplicar pelo coeficiente de solo S (factor que tem em conta a amplificação conferida pelo terreno de fundação), quando trabalhamos com outros tipos de solos (B, C, D, E, S_1 ou S_2), cujos valores recomendados se encontram no Quadro 2.7.

Quadro 2.6 – Tipos de solo/terreno

Tipo de terreno	Descrição	Parâmetros	
		$V_{S,30}$ (m/s)	N_{SPT} (pancadas/30 cm)
A	Rocha ou formação geológica caracterizada por uma velocidade de ondas de corte superior a 800 m/s, que inclua, no máximo, 5 m de material mais fraco à superfície.	>800 m/s	---
B	Depósitos rijos de areia, gravilha ou argila sobre consolidada com uma espessura de, pelo menos, várias dezenas de metros.	360 - 800	>50
C	Depósitos profundos de areia de densidade média, de gravilha, ou de argila de consistência média, com espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros.	180 - 360	15 – 50
D	Depósitos soltos de solos não coesivos, com ou sem ocorrência de algumas camada coesivas brandas; Depósitos com solos predominantemente coesivos de fraca a média consistência.	<180 m/s	<15
E	Perfil de solo com um extracto aluvionar superficial com espessura variando entre 5 e 20 m, situada sobre um extracto mais rígido (com V_s > 800 m/s).		
S_1	Depósitos de (ou contendo um extracto com pelo menos 10m) argilas ou siltes brandos com elevado índice de plasticidade (IP > 40) e elevado teor de água.	<100	---
S_2	Depósitos de solos com potencial de liquefacção, argilas sensíveis ou outros perfis não incluídos nos tipos anteriores.		

Em Portugal, para a definição dos espectros de resposta elásticos o valor do parâmetro S deve ser determinado através de:

para $a_g < 1$ m/s^2 $\quad S = S_{max}$

para 1 m/s^2 < a_g < 4 m/s^2 $\quad S = S_{max} - \frac{S_{max} - 1}{3}(a_g - 1)$

para $a_g \geq 4$ m/s2 $\quad S = 1,0$

Quadro 2.7 – Valores do parâmetro S_{max}

Tipo de terreno	Acção sísmica Tipo 1 e Tipo 2
A	1,00
B	1,35
C	1,60
D	2,00
E	1,80

Para os terrenos dos tipos S1 e S2, os valores correspondentes de S deverão ser obtidos por estudos especiais (EN 1998-1:2004).

Do produto entre as variáveis a_g e S, obtém-se a aceleração do solo (aceleração espectral para período nulo). Doravante sempre que se referir a definição da acção sísmica, estes serão os cálculos e factores a ter presentes.

3| ENQUADRAMENTO JURÍDICO-POLÍTICO PARA O RISCO SÍSMICO DO TERRITÓRIO

"Nas últimas décadas, fortaleceu-se a consciência de que existem riscos que ameaçam as populações e os territórios, merecendo particular atenção os que decorrem da actividade sísmica, dos movimentos de massa, da erosão do litoral, das cheias e inundações, dos incêndios, das secas e da desertificação, da contaminação de aquíferos e solos, da poluição do ar e de explosões. As medidas para enfrentar estes riscos têm-se polarizado mais na vertente reactiva, considerada nomeadamente nos dispositivos e Planos de Emergência. O direito à segurança e à qualidade do ambiente é uma justa expectativa das populações, pelo que, nas áreas de risco, é necessário conhecer em profundidade os fenómenos e actividades perigosos, avaliar as suas consequências potenciais e criar dispositivos de prevenção e de minimização dos respectivos efeitos, através quer da informação, educação e sensibilização, para que os cidadãos saibam adoptar as medidas de auto-protecção adequadas, quer da intervenção eficaz das entidades públicas. Para compreender e prever os factores e circunstâncias determinantes das ameaças e riscos mencionados e assegurar as medidas preventivas e reactivas adequadas será indispensável o contributo activo da comunidade científica e de algumas das componentes mais avançadas do Sistema Científico e Tecnológico Nacional (SCTN), porque o conhecimento necessário neste domínio, além de altamente interdisciplinar, encontra-se ainda em fase de franco progresso." (PNPOT).

Conforme exposto em 2007 no Plano Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT), é necessário fazer um planeamento integrado do território. Como se sabe os instrumentos de planeamento do território localizam actividades (algumas particularmente potenciadoras de riscos) no espaço, e como tal será fundamental a inclusão do estudo das ameaças e riscos a que os espaços estão sujeitos. Não é possível obter boas decisões de planeamento se se desconhecer ou desconsiderar os riscos a que um território está exposto, tornando-se pois esta temática da previsão, avaliação e prevenção dos riscos como "uma prioridade da política de ordenamento, com a obrigatoriedade da sua consideração nos instrumentos de gestão territorial" (Oliveira, 2010).

Embora haja algum suporte na legislação, a realidade do planeamento do território em Portugal ainda não conseguiu pô-la eficazmente em prática. O esforço em implementá-la é frustrado pelos conteúdos deslocados, pelos procedimentos e falta de clareza no objecto e de metodologias apropriadas e sobretudo pela falta de percepção do risco por parte das autoridades gestoras do território, sendo este um dos principais factores que impossibilitam um planeamento de risco adequado. Em face do afirmado, considerou-se relevante analisar as políticas públicas, nomeadamente em termos legislativos e de planos e programas de prevenção e gestão do risco, às escalas nacional, regional e local, que têm sido aplicadas em Portugal (com especial destaque para a questão do risco sísmico).

3.1. Instrumentos de intervenção disponíveis nos domínios da integração dos riscos e do ordenamento do território

Embora as considerações dos riscos nos procedimentos do planeamento sejam parcas, em termos genéricos existe uma ligação entre a política de ordenamento do território, vulnerabilidade, riscos e protecção civil que se exprime em termos jurídicos da seguinte forma:

3.1.1. LEI DE BASES DA POLÍTICA DE ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E DO URBANISMO (LBPOTU)

Aprovado pela Lei n.º 48/98 de 11 de Agosto e alterada pela Lei n.º 54/2007, de 31 de Agosto, este documento faz uma previsão genérica a esta problemática quando determina ser um dos fins da política de ordenamento do território e de urbanismo "Acautelar a protecção civil da população, prevenindo os efeitos decorrentes de catástrofes naturais ou da acção humana" (artigo 3º, alínea h). Referências indirectas também surgem no artigo 5º (princípios gerais de ordenamento do território e urbanismo), na alínea c) que determina a necessidade de articular e compatibilizar o ordenamento com políticas sectoriais com incidência na organização do território e na alínea g) do mesmo normativo, que pede responsabilização, garantindo a prévia ponderação das intervenções com impacto relevante no território.

3.1.2. REGIME JURÍDICO DOS INSTRUMENTOS DE GESTÃO TERRITORIAL (RJIGT)

Aprovado pelo Decreto-Lei nº. 380/99, de 22 de Setembro, alterado pelo Decreto-Lei nº. 53/2000, de 7 de Abril, pelo Decreto-Lei nº. 310/2003, de 10 de Dezembro, pela Lei nº. 56/2007, de 31 de Agosto, pelo Decreto-Lei nº. 316/2007, de 19 de Setembro e pelo Decreto-Lei nº. 46/2009, de 20 de Fevereiro. É um instrumento de ponderação de interesses (identificação dos interesses envolvidos e de hierarquização e harmonização entre eles) em que desperta a atenção para a integração da protecção civil e a consideração dos riscos no processo de planeamento, nos diferentes instrumentos de gestão territorial. Nesta ponderação de interesses o legislador dá preferência aos "interesses respeitantes à defesa nacional, à segurança, à saúde pública e à protecção civil, cuja prossecução tem prioridade sobre os demais interesses públicos" (artigo 9º, n.º 2).

O RJIGT assenta o sistema de gestão territorial num quadro de interacção coordenada a três níveis: a) o âmbito nacional; b) o âmbito regional e c) o âmbito municipal, cada um com os seus instrumentos de gestão, uns de cariz mais directivo e orientador e outros mais reguladores da ocupação do território. Cada nível deve, por força da regulamentação legal, considerar os riscos da forma como é exposta a seguir.

3.1.2.1. Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável (ENDS 2015)

Através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 109/2007, de 20 de Agosto, é aprovada a Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável (ENDS) e o respectivo Plano de Implementação

(PIENDS). Este instrumento de orientação estratégica nacional, para o horizonte de 2015, foi concebido como uma arquitectura de integração dos diversos instrumentos de planeamento estratégico do Governo, em particular do Programa Nacional de Acção de Crescimento e Emprego (PNACE), do Plano Tecnológico (PT), do Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT) e das estratégias e medidas sectoriais que os integram, fazendo ainda apelo à iniciativa dos cidadãos e dos diversos agentes económicos e sociais.

São sete os objectivos consignados na ENDS 2015:

1º Objectivo - Sociedade do Conhecimento;

2º Objectivo - Crescimento, Competitividade e Eficiência Energética;

3º Objectivo - Ambiente e Património Natural;

4º Objectivo - Equidade e Coesão Social;

5º Objectivo - Valorização do Território e Conectividade Internacional;

6º Objectivo - Participação Activa na Cooperação Internacional;

7º Objectivo - Administração Pública Eficiente.

No terceiro objectivo, no vector "Melhoria da Capacidade de Monitorização e Prevenção dos Riscos Sísmicos e Gestão dos seus Efeitos Designadamente sobre o Edificado" inclui-se:

i) Investimento na actualização do conhecimento e cartografia dos riscos sísmico e resultante dos impactos das alterações climáticas.

ii) Instalação de uma rede de monitorização sísmica nacional bem como de uma rede de detecção e alerta de tsunamis, ambas inseridas em redes europeias.

iii) Lançamento de programas de investigação destinados ao desenvolvimento de novos conceitos tecnológicos e urbanísticos que permitam prevenir melhor os impactos destrutivos de riscos sísmico e de inundação.

iv) Criação de sistemas de incentivos à requalificação e reconstrução urbana – edifícios e organização do espaço – nas zonas urbanas com maiores riscos sísmico e de inundação, com a adopção de soluções arquitectónicas inovadoras, sendo a Área Metropolitana de Lisboa e o Algarve as regiões de actuação prioritária.

O quarto objectivo da ENDS, no vector "Racionalização e Segurança da Rede Hospitalar" inclui o "Encerramento ou redução de funções dos Hospitais localizados em regiões de elevado risco sísmico e sua substituição por novos pólos hospitalares de alta qualidade em zonas mais protegidas desse risco, servindo os mesmos aglomerados urbanos."

No caso particular da Região Autónoma dos Açores, o legislador considera como uma das Prioridades para a Sustentabilidade "a minimização dos riscos geológicos e tectónicos". "Os Açores encontram-se numa zona de elevado perigo sísmico, mas não é inevitável que os impactos

decorrentes da sua ocorrência sejam catastróficos, afectando a segurança de pessoas e bens. O aspecto fulcral é, reconhecidamente, a redução da vulnerabilidade e o aumento da capacidade de resposta em termos de eficácia dos meios de alerta e protecção civil. Para o primeiro factor, em especial nos riscos sísmicos, concorre a necessidade de uma fiscalização técnica sistemática, que garanta o uso de materiais adequados e a aplicação de boas práticas de construção" (Resolução do Conselho de Ministros, 2007).

Objectivos gerais para este item são:

i) Reforço da prevenção e promoção da construção anti-sísmica em edificações e infra-estruturas básicas.

ii) Garantia da disponibilidade de recursos de contingência e meios de emergência em caso de acidentes.

iii) Condicionamento do planeamento e ordenamento do território pela prevenção de riscos geológicos e outros riscos naturais, no sentido da minimização de eventuais danos ambientais, económicos e sociais.

De facto a ENDS dá uma visão integrada e coerente de todos os aspectos que estão em jogo para a prevenção, mitigação e protecção quando se aborda o tema do risco sísmico. Resta saber se até 2015 serão cumpridos estes objectivos e em que moldes. Quais as medidas que restringem ou interditam as edificações em zonas de risco? Os pontos assinalados para o caso particular dos Açores, relativamente à redução de vulnerabilidade, deveriam também ser alargados ao Continente, nomeadamente para a Área Metropolitana de Lisboa e Algarve.

3.1.2.2. Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT)

Igualmente a nível nacional surge o PNPOT – Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território, aprovado pela Lei nº 58/2007, de 4 de Setembro (e posteriormente rectificada pelas Declarações n.º 80-A/2007, de 2007-09-07, e n.º 103-A/2007, de 2007-11-02), que estabelece as directrizes para os instrumentos de gestão territorial (IGT). Trata-se de um documento que define um conjunto de objectivos estratégicos e um plano de acção para o território nacional, identificando um conjunto de condicionantes e oportunidades de várias unidades geográficas. O PNPOT identifica (Figura 3.1) e elege a prevenção dos riscos como um dos quatro vectores do modelo territorial[4] a seguir, reconhecendo uma "insuficiente consideração dos riscos nas acções de ocupação e transformação do território, com particular ênfase para os sismos, os incêndios florestais, as cheias e a erosão das zonas costeiras" (Capítulo 2, Quadro dos 24 problemas que Portugal enfrenta no domínio do ordenamento do território). Por isso, no seu Programa de Acção Territorial e "a que

[4] O modelo territorial estabelecido pelo PNPOT estrutura-se em quatro grandes vectores de identificação e organização dos recursos territoriais: i) Riscos; ii) Recursos naturais e ordenamento agrícola e florestal; iii) Sistema urbano; iv) Acessibilidade e conectividade internacional.

Portugal deverá dar resposta nos próximos 20 anos, ou seja, no horizonte temporal do PNPOT", aparece como primeiro Objectivo Estratégico "conservar e valorizar a biodiversidade, os recursos e o património natural, paisagístico e cultural, utilizar de modo sustentável os recursos energéticos e geológicos, e monitorizar, prevenir e minimizar os riscos".

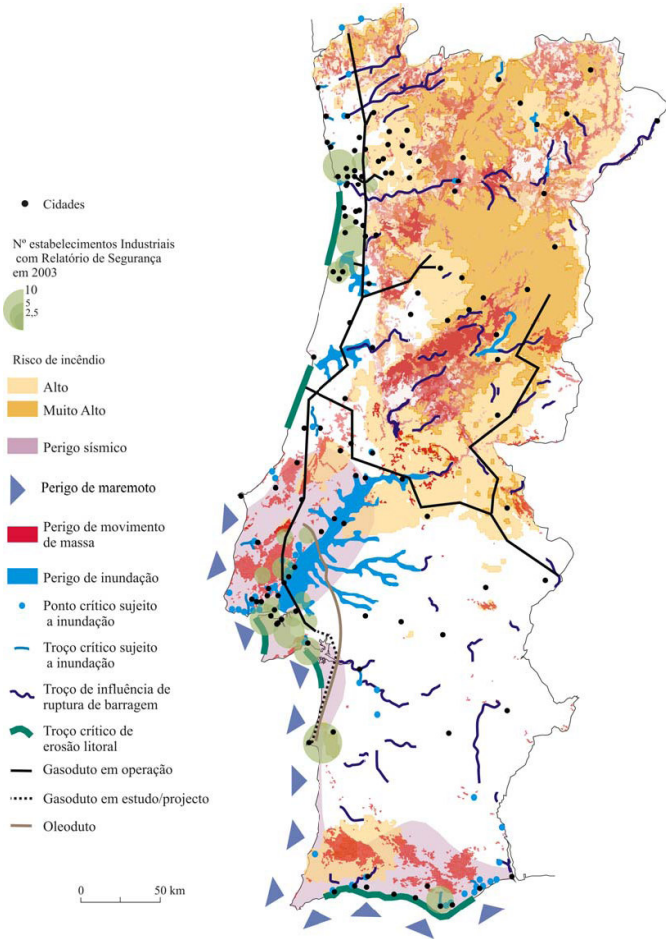


Figura 3.1 – Riscos em Portugal Continental
Fonte: PNPOT, 2007

Para cada Objectivo Estratégico são definidos Objectivos Específicos de natureza distinta como, implementação de programas, definição e execução de políticas e estratégias, produção legislativa, organização administrativa, entre outros. Para este primeiro Objectivo Estratégico, um dos Objectivos Específicos é o de "Avaliar e prevenir os factores e as situações de risco, e desenvolver dispositivos e medidas de minimização dos respectivos efeitos".

Como Medidas Prioritárias para atingir os Objectivos Específicos foram estabelecidas:

i) Definir uma Estratégia Nacional Integrada para a Prevenção e Redução de Riscos (2006-2007).

ii) Definir para os diferentes tipos de riscos naturais, ambientais e tecnológicos, em sede de Planos Regionais de Ordenamento do Território, de Planos Municipais de Ordenamento do Território e de

Planos Especiais de Ordenamento do Território e consoante os objectivos e critérios de cada tipo de plano, as áreas de perigosidade, os usos compatíveis nessas áreas, e as medidas de prevenção e mitigação dos riscos identificados (2007-2013).

iii) Elaborar cartas de risco geológico que identifiquem as zonas de vulnerabilidade significativa, incluindo cartas geológico-geotectónicas das principais áreas urbanas, tendo em vista a tomada de decisões que permitam a minimização dos efeitos resultantes dos factores meteorológicos e de natureza geológica (2007-2013).

iv) Criar medidas preventivas e correctivas para as diversas situações de risco geológico, nomeadamente através de legislação com a sua identificação e localização que estabeleça uma condicionante legal ao uso do solo, a verter nos Instrumentos de Gestão Territorial (2007-2013).

v) Reforçar a capacidade de fiscalização e de investigação dos órgãos de Polícia e o acompanhamento sistemático, através do SEPNA/GNR e das entidades regionais correspondentes, das acções de prevenção, protecção e socorro, e garantir a unidade de planeamento e de comando destas operações através da institucionalização do Sistema Integrado das Redes de Emergência e Segurança de Portugal (SIRESP) e de Operações de Protecção e Socorro (SIOPS), da autonomização dos Centros de Operação e Socorro e da definição do sistema de comando operacional (2007-2008).

vi) Desenvolver e aperfeiçoar os Planos de Emergência de base territorial, em articulação com os instrumentos de planeamento municipal, reforçando a capacidade de intervenção de protecção e socorro perante situações de emergência, designadamente nas ocorrências de incêndios florestais ou de matérias perigosas e de catástrofes e acidentes graves, através da criação do Grupo de Intervenção de Protecção e Socorro (GIPS/GNR) e de entidades equivalentes nas Regiões Autónomas, garantindo a preservação de acessibilidades quer para acesso dos meios de socorro quer para evacuação das populações (2007-2013).

Este documento aponta, ainda, para a necessidade de “criar mecanismos de informação, educação e sensibilização para que os cidadãos saibam adoptar as medidas de auto-protecção adequadas”. Surgindo assim, neste instrumento de gestão territorial, uma mudança de paradigma: da cultura de reacção (“resposta à catástrofe”) para uma cultura de prevenção (Oliveira, 2010).

O Programa Nacional de Política de Ordenamento do Território (PNPOT) juntamente com a Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável (ENDS) deverá constituir o quadro de referência estratégico para as diversas intervenções com impacto territorial relevante.

3.1.2.3. Planos Regionais de Ordenamento do Território (PROT)

O artigo 53º, alínea e) do RJGIT expõe que os planos regionais devem articular as políticas estabelecidas no PNPOT com as contidas nos planos intermunicipais e municipais, designadamente as directrizes relativas a zonas de risco, o que pressupõe a elaboração de estudos, levantamentos e fornecimento de indicações aos planos de ordem hierárquica inferior.

Os planos regionais de ordenamento do território (PROT) elaborados ao abrigo do RJIGT têm estado a dar cumprimento a esta exigência, na medida que identificam o problema e apontam directrizes, que é o que lhes compete como planos de natureza estratégica. A título de exemplo, refira-se o Plano Regional do Território do Algarve (PROT-Algarve) (CCDRALG, 2007), aprovado no Conselho de Ministros, de 24 de Maio de 2007, que inclui orientações como descritas a seguir.

Em matéria de risco sísmico o PROT-Algarve apresenta uma classificação do solo, com base nas cartas geológicas 1:200000 para o Algarve, construída de acordo com a classificação de Penelis (1997) e adaptada para a classificação de solos do Eurocódigo. Esta classificação dos solos, que será abordada adiante, é indispensável para se dar início a um correcto zonamento de risco e localização dos principais equipamentos e construções no território (usos compatíveis). Todos os Planos de hierarquia inferior deveriam conter esta informação para preverem, de acordo com o tipo de terreno e de construção, quais as zonas dos municípios que merecem maior atenção em matéria de risco sísmico.

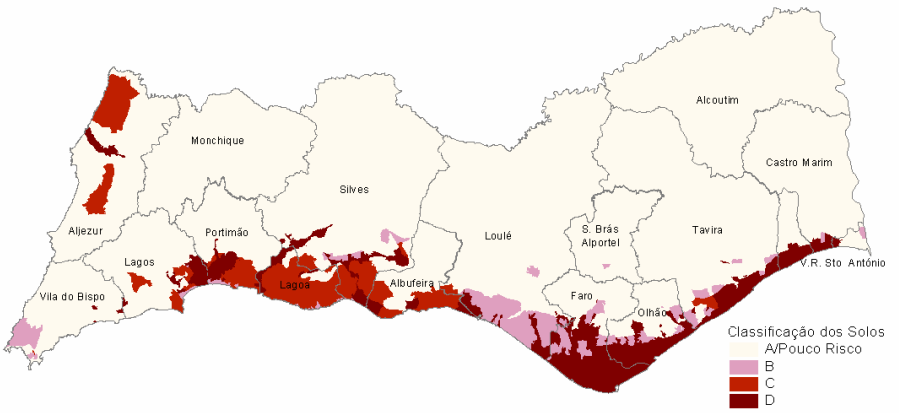


Figura 3.2 – Classificação de solos de acordo com a classificação de Penelis (1997) feita a partir da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:200.000
Fonte: CCDRALG, 2007. PROT-Algarve, Anexo J

Com efeito, o PROT-Algarve considera também algumas orientações e soluções que devem ser realizadas e implementadas nos planos municipais de ordenamento do território (PMOT), a fim de salvaguardar a vida humana, bens e ambiente:

i) Definição mais detalhada da acção sísmica a considerar no projecto e estabelecimento da segurança estrutural dos parques construídos e a construir; as construções deverão obedecer a critérios de dimensionamento actualizados a partir do RSA (1983) (e mais recente o EC8).

ii) Junto do traço das principais falhas activas deverá estabelecer-se uma zona de 200 a 400 m, interditando a implantação de estruturas vitais.

iii) Em zonas de potencial de liquefacção deverão ser restringidos os tipos construtivos a permitir.

iv) Em zonas de potencial de deslizamento, quer nas zonas inferiores quer superiores, deverá ser estabelecido um espaço de proibição.

v) Em zonas susceptíveis de efeitos de tsunami também deverão ser proibidas as construções.

Não sendo os PROT vinculativos aos particulares, a operacionalização e concretização de todas estas directivas dependem da sua incorporação nos planos municipais de ordenamento do território, pois são estes os instrumentos que fixam as regras de ocupação e uso do espaço.

3.1.2.4. Reserva Ecológica Nacional (REN)

Importa ainda fazer uma referência à Reserva Ecológica Nacional (REN), que se articula com o quadro estratégico e normativo estabelecido no PNPOT, e que é definida no seu regime jurídico (Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de Agosto) como "uma estrutura biofísica que integra o conjunto das áreas que, pelo valor e sensibilidade ecológicos ou pela exposição e susceptibilidade perante riscos naturais, são objecto de protecção especial (n.º 1, artigo 2.º do RJREN)". O regime atribuído às áreas incluídas na REN é o da proibição de qualquer acção de iniciativa pública ou privada que se traduza em operações de loteamento, obras de urbanização, construção, ampliação, vias de comunicação, escavações, aterros e destruição do revestimento vegetal (n.º 1 do artigo 20.º, do RJREN).

Os objectivos dispostos na REN como i) protecção dos recursos naturais água e solo e ii) prevenção e redução dos efeitos dos diversos riscos (degradação de aquíferos, inundação marítima, cheias, erosão hídrica do solo e movimentos de massa de vertentes); são prosseguidos mediante a "integração na REN de áreas de protecção do litoral, de áreas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre e de áreas de prevenção de riscos naturais" (artigo 4º, n.º 1), ou seja o risco sísmico está implícito, uma vez que um dos seus efeitos secundários é precisamente o de movimentos de massa em vertentes.

Como a delimitação da REN é feita em articulação com a elaboração ou revisão dos planos municipais de ordenamento do território, nomeadamente do PDM, resulta evidente a relação que deve existir entre a sua delimitação e o zonamento de risco municipal.

3.1.2.5. Planos Municipais de Ordenamento do Território (PMOT)

Os instrumentos de planeamento territorial (PMOT, PDM, PU e PP), de natureza regulamentar, são quem estabelece o regime do uso do solo, definindo modelos de evolução previsível da ocupação humana e da organização das redes e sistemas urbanos, bem como os parâmetros de aproveitamento do solo e de garantia da qualidade ambiental, no âmbito municipal. Os PMOT são assim instrumentos da política de ordenamento do território que variam não só segundo a área de intervenção, mas sobretudo segundo a escala de intervenção, sendo eles: Plano Director Municipal (PDM), Planos de Urbanização (PU) e Planos de Pormenor (PP). A localização de actividades, equipamentos e infra-estruturas, bem como a definição dos parâmetros de ocupação e utilização do solo é efectuada nos planos municipais de ordenamento do território. De entre todos os restantes instrumentos de gestão territorial, estes traduzem as orientações expostas nos instrumentos de gestão territorial de âmbito nacional (PNPOT), regional (PROT) e intermunicipal para o âmbito municipal, assumindo um papel de gestão privilegiado e de referência, dada a eficácia directa e

imediata que podem ter quer em relação a entidades públicas quer a particulares.

Surge assim a necessidade de desenvolver uma metodologia de avaliação do risco, capaz de definir os usos compatíveis com as áreas perigosas e de fixar as medidas de prevenção e mitigação adequadas. Nesse sentido, veio identificada no Programa Simplex 2009 a seguinte medida:

"Harmonizar a informação geo-referenciada de base municipal sobre riscos para efeitos de elaboração dos Planos Municipais de Emergência e dos Planos Directores Municipais e criar as bases para a sua exploração através de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) no âmbito do planeamento e da gestão de riscos, para apoio à decisão em matérias de protecção civil e de ordenamento do território.

Desenvolver o guião metodológico para as seguintes temáticas:

(i) Identificação e selecção dos tipos de risco naturais e tecnológicos que servirão de base à produção de cartografia de risco de âmbito municipal.

(ii) Definição de normas técnicas para a produção de cartas de risco temáticas de âmbito municipal, incluindo a harmonização dos conceitos, tipologias, designações e formas de representação gráfica.

(iii) Definição de orientações técnicas para a construção dos SIG de base municipal para apoio à decisão na área do levantamento, previsão, monitorização e prevenção dos riscos naturais e tecnológicos, permitindo o planeamento de soluções de emergência."

Por Despacho dos Secretários de Estado da Protecção Civil e do Ordenamento do Território (Despacho n.º 27660/2008, de 29 de Outubro), foi criado um grupo de trabalho "que tem por missão a elaboração de um guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal, para apoio ao processo de decisão na área da gestão dos riscos, abrangendo os vários tipos de riscos naturais e tecnológicos." O grupo de trabalho é então constituído pelo Instituto Geográfico Português, a Direcção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano e a Autoridade Nacional de Protecção Civil. "Para o desenvolvimento das actividades, o grupo de trabalho deve recorrer à colaboração de especialistas de reconhecido mérito nas áreas dos riscos naturais e riscos tecnológicos."

Surge assim o "Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal", que será brevemente apresentado e analisado, cuja cartografia municipal de risco tinha então duas aplicações importantes: introduzi-la no processo de revisão dos planos directores municipais, que actualmente decorre, e criar condições de prevenção e gestão de riscos em estreita articulação com os planos municipais de emergência.

Este Guia pretende, com os trabalhos de identificação, avaliação, geo-referenciação e gestão de riscos, contribuir para a clarificação e harmonização de procedimentos técnicos para a elaboração de cartas de risco temáticas a incluir nos PDM's, tendo em consideração a identificação dos diferentes graus de susceptibilidade para determinados perigos que afectem o território de um município. Nesse documento encontram-se os conceitos essenciais para a avaliação de diversos riscos e descrevem-

se as metodologias que permitem a criação de cartografia de risco de âmbito municipal. Esta inclui a sobreposição de três peças cartográficas:

i) Cartas de susceptibilidade para cada um dos perigos identificados no território municipal.

ii) Carta municipal de elementos expostos.

iii) Cartas de localização de risco para cada um dos perigos identificados no território municipal.

A avaliação de **susceptibilidade** consiste na identificação e classificação (em quatro classes, de susceptibilidade "elevada" a "nula ou não aplicável") das áreas com propensão para serem afectadas por um determinado perigo, em tempo indeterminado, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência. É efectuada para cada um dos perigos identificados em cada município e é realizada de forma qualitativa, através dos factores de predisposição para a ocorrência do perigo.

A **Carta municipal de elementos expostos** é uma agregação geo-referenciada da seguinte informação:

i) Elementos estratégicos vitais e/ou sensíveis, constantes do Anexo II do Guia e que contemplam os edifícios de Administração pública, infra-estruturas urbanas, equipamentos de utilização colectiva, infra-estruturas rodo-ferroviárias, áreas industriais, entre outros.

ii) Elementos indiferenciados que são edificações e vias de comunicação não abrangidas no ponto anterior e, áreas classificadas como solo urbanizável nos planos municipais de ordenamento do território em vigor.

iii) Elementos humanos, destacando-se a informação estatística disponível como seja população residente total e por grupos etários e o número de edifícios e alojamentos por tipologia, função e ocupação.

Por fim, as **Cartas de localização do risco** resultam da sobreposição simples da Carta dos elementos expostos com cada uma das cartas de susceptibilidade.

Para a situação da susceptibilidade sísmica, o Guia refere que esta deve ser estabelecida de acordo com o enquadramento macrossísmico definido pela carta de isossistas de intensidades sísmicas máximas (Fonte: Instituto de Meteorologia) e/ou pela distribuição dos valores máximos de aceleração do solo. Os efeitos de sitio são também mencionados da seguinte forma: "os efeitos de sítio produzem a amplificação da susceptibilidade sísmica e devem considerar: i) zonas potenciais de instabilidade de vertentes, nomeadamente as das arribas costeiras; ii) solos brandos, incluindo aluviões e aterros, capazes de alterar as características de propagação das ondas sísmicas, como acontece nas áreas de sapal e zonas ribeirinhas do plano aluvial; iii) zonas adjacentes às falhas activas, com potencial para a ocorrência de deformações permanentes; iv) zonas susceptíveis à ocorrência de liquefacção dos solos."

Os efeitos de sítio são de especial relevância no processo de zonamento sísmico, nesse sentido é

necessário conhecer o solo e suas propriedades geológicas e geotécnicas, pois são as características locais do sítio que amplificam ou atenuam o movimento do solo, causando os efeitos de sítio. Neste Guia não se destaca o uso das Cartas geológicas e geotécnicas essenciais neste processo.

Quanto aos outros elementos a ter em consideração, de pouco serve sobrepor cartas com a localização de falhas ou mapa de isossistas (Figura 3.3), se não relacionarmos essa informação com as vulnerabilidades das construções (do parque edificado para ser mais simples, não entrando com as estruturas enterradas) e, ulterior comportamento destas por se localizarem junto a falhas, ou em determinada zona de intensidades ou acelerações dos solos. Para cada tipologia construtiva (época e material de construção) está associada uma probabilidade de grau de dano que é calculada dada uma intensidade sísmica. O Guia não contempla a introdução de tipologias construtivas (época e material de construção).

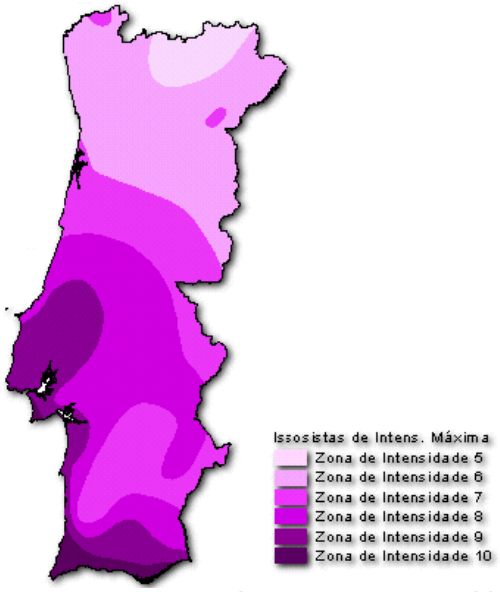


Figura 3.3 – Carta de isossistas máximas observadas até à actualidade
Fonte: Instituto de Meteorologia / Atlas do Ambiente

Ao utilizar-se o mapa das isossistas de máxima intensidade, como proposto no Guia, verificamos no caso do litoral Algarvio, por exemplo, que se situa na zona de intensidade X. Este valor pouco significado tem se não conhecermos a descrição de cada grau de intensidade por um lado e por outro, qual o comportamento das estruturas (da alvenaria ao betão ou aço) quando sujeitas a estas intensidades. A descrição da escala de intensidades Mercalli-Wood-Neuman (desenvolvida a partir da escala de Mercalli-Sieberg, da qual pouco difere), utilizada na construção desta Carta (Serviço Meteorológico Nacional, 1962), caracteriza um sismo de intensidade X como "*Destruidor*. A maioria das alvenarias e das estruturas são destruídas com as suas fundações. Algumas boas estruturas de madeira foram destruídas desde os alicerces; o solo ficou muito fendido. Carris torcidos. Consideráveis deslocamentos de terra nas margens dos rios e em encostas escarpadas. Ejecção de areia e lama. Água lodosa foi atirada para as margens."

A metodologia exposta no Guia sobrepõe algumas cartas, mas não dá uma visão correcta do grau de risco. Existem determinados princípios gerais que não vão de encontro ao objectivo do Guia, existe um vazio entre a teoria e a prática. Não existem muitos trabalhos sobre este tema em departamentos municipais ou noutras entidades responsáveis por estes exercícios. Constata-se que a maior parte dos técnicos que tentam introduzir este tema, na actual revisão dos PDM da grande maioria dos concelhos portugueses, sentem-se completamente perdidos, não preparados e não sabem como tratar a informação, por desconhecerem a ligação dos factos e as consequências de ligar esses mesmos factos.

A identificação e a delimitação de zonas de risco devem ser sustentadas em métodos adequados. Adicionalmente, a estimativa de danos potenciais é recomendável por ser relevante não só para os profissionais, como também para o público em geral, que fica conhecedor do risco que corre, podendo questionar-se e exigir medidas preventivas.

Reforça-se a ideia de que os planos municipais devem dar a máxima atenção às questões dos riscos e da protecção civil. No entanto, os planos de nada servem sem técnicos que tenham conhecimentos sobre os variados problemas que afectam o município bem como os seus efeitos na população, na actividade económica e no ambiente; para tal é importante que haja uma colaboração intensa entre os técnicos de planeamento e os peritos de outras áreas (geografia, geologia, engenharia, biologia, entre outras). A falta de uma visão integrada conduz a que a questão da gestão dos riscos seja equacionada superficialmente. É raro que as propostas de ordenamento dos PDM integrem orientações, normativas e uma visão integrada dos impactos relativa às zonas de risco sísmico. É fundamental que os autarcas, os técnicos municipais e decisores do território tenham consciência que uma avaliação de risco criteriosa e a implementação de medidas mitigadoras é essencial para o cabal funcionamento do sistema urbano, garantindo a segurança de pessoas e bens.

Ao longo desta dissertação, serão propostas metodologias de identificação e avaliação de risco a fim de colmatar as lacunas e assegurar a coerência entre os objectivos dos instrumentos legais e a prática.

3.1.3. LEI DE BASES DA PROTECÇÃO CIVIL

De acordo com a Lei n.º 27/2006, de 3 de Julho, são objectivos fundamentais da protecção civil:

i) Prevenir os riscos colectivos e a ocorrência de acidente grave ou de catástrofe deles resultante.

ii) Atenuar os riscos colectivos e limitar os seus efeitos no caso das ocorrências descritas na alínea anterior.

iii) Socorrer e assistir as pessoas e outros seres vivos em perigo, proteger bens e valores culturais, ambientais e de elevado interesse público.

iv) Apoiar a reposição da normalidade da vida das pessoas em áreas afectadas por acidente grave ou catástrofe.

No artigo 26º da Lei de Bases aparece uma articulação com os planos municipais de ordenamento do território quando no ponto 1) determina a suspensão de planos municipais de ordenamento do território e/ou planos especiais de ordenamento do território, em partes delimitadas da área abrangida pela declaração da situação de calamidade e, no ponto 6) do mesmo normativo, que pede que os instrumentos de gestão territorial estabeleçam os comportamentos susceptíveis de imposição aos utilizadores do solo, tendo em conta os riscos para o interesse público relativo à protecção civil, designadamente nos domínios da construção de infra-estruturas, da realização de medidas de ordenamento e da sujeição a programas de fiscalização.

Embora haja vontade de uma articulação entre a Protecção Civil e o Ordenamento do Território, esta é apenas conseguida na sequência de uma calamidade, sendo pois esta uma medida reactiva e não preventiva como é desejável para a prevenção de pessoas e bens.

Por outro lado, a prevenção é uma preocupação expressa nos domínios sobre os quais deverá ser exercida a protecção civil, tal como exposto no artigo 4º do presente diploma alíneas a), b) e f) (levantamento, previsão, avaliação e prevenção dos riscos colectivos; análise permanente das vulnerabilidades perante situações de risco; estudo e divulgação de formas adequadas de protecção dos edifícios em geral, de monumentos e de outros bens culturais, de infra-estruturas, do património arquivístico, de instalações de serviços essenciais, bem como do ambiente e dos recursos naturais). Com efeito sabe-se que essas actividades preventivas não são, na maior parte dos riscos, efectuadas da forma mais correcta, na medida em que quando identificam e delimitam zonas de susceptibilidade, não produzem nem apresentam os respectivos efeitos resultantes da perigosidade, vulnerabilidade e dos elementos expostos, condicionando o resultado dos planos.

3.1.4. RESOLUÇÃO DA ASSEMBLEIA DA REPÚBLICA Nº 102/2010

Mais recentemente foi aprovado pelo Parlamento o diploma (Resolução da Assembleia da República nº 102/2010) que recomenda ao Governo a adopção de medidas para reduzir os riscos sísmicos.

Reforçando os elementos jurídicos expostos anteriormente este documento aconselha a elaboração de cartas de risco sísmico que identifiquem as zonas mais vulneráveis, as tipologias do edificado que mais contribuem para esse risco e a sua localização, as quais devem reflectir-se nos planos de ordenamento municipal de "modo a orientar os usos do solo e as acções de urbanização e edificação". As recomendações contemplam ainda o levantamento da vulnerabilidade do edificado público, das infra-estruturas industriais, hospitalares, escolares, governamentais, de transportes, de energia, telecomunicações, gás, de água e saneamento, e de outros pontos críticos como do património e zonas históricas, com identificação e hierarquização das situações de risco e da urgência de intervenção sobre cada uma delas. A construção nova é igualmente abrangida, na medida em que se pretende ver reforçados os meios de controlo da qualidade dos edifícios novos, assegurando a concordância do projecto com a legislação em vigor, bem como com a sua execução em obra, nomeadamente no que toca aos mecanismos de redução da vulnerabilidade sísmica da construção. Nos programas de reabilitação urbana existente ou a criar deve, por outro lado, ser

garantida a obrigatoriedade de segurança estrutural anti-sísmica.

Para além de todos os instrumentos jurídicos apresentados anteriormente, existe ainda um conjunto de outras ferramentas internacionais, quer a nível do Banco Mundial quer da Comunidade Europeia, relacionadas com políticas de apoio após a ocorrência de catástrofes (cadastro para localização e relocalização de novas habitações, Fundo de Coesão de Solidariedade, entre outros). Apesar da relevância deste tema, este assunto não será aprofundado no corpo desta dissertação. Iremos apenas fazer uma chamada de atenção para a mais recente publicação da Comissão Europeia (EC, 2010) de um documento de trabalho onde expõe as orientações que os Estados-Membros devem considerar para uma avaliação de riscos e seu mapeamento. Este documento, denominado "Risk Assessment and Mapping Guidelines for Disaster Management", visa melhorar a coerência entre as avaliações de risco realizadas nos Estados-Membros da UE, a nível nacional nas fases de prevenção, preparação e planeamento e, tornar essas avaliações de risco comparáveis entre Estados-Membros. Isto permitirá uma maior transparência e facilitará a cooperação nos esforços para prevenir e mitigar os riscos em comum, bem como os riscos transfronteiriços. Por exemplo, um acidente numa linha férrea pode afectar a ligação entre dois ou mais países, ou um acidente na central nuclear de Almaraz (Espanha) poderá causar grande impacto também em Portugal.

3.1.5. SÍNTESE E DIAGNÓSTICO

Após apresentação dos principais instrumentos jurídicos em face do risco sísmico, pode afirmar-se que o Estado Português é sensível a este tema e a tal "estado da arte" sobre o tema do risco sísmico, resta-nos saber o que falta fazer para implementá-lo.

Existe a responsabilidade do Estado pelos danos causados aos indivíduos, ao património e ao ambiente, no entanto verificamos uma certa omissão estatal em implementar políticas públicas que atendam de modo suficiente à tutela do ordenamento do território. Esta situação ocorre sempre que o ente estatal não fiscaliza e não proíbe a localização de determinadas infra-estruturas, reprimindo civil, administrativa e criminalmente tais condutas de modo eficiente e satisfatório. Outro exemplo de conduta omissa por parte do Estado ocorre quando este não actua no sentido de estabelecer um regulamento adequado, que imponha limitações ao uso dos solos e à sua mudança/transformação, a fim de evitar o aumento de vulnerabilidade já existente e de adequar as actividades e os locais sob a óptica dos princípios da prevenção e da precaução.

É necessário reforçar o actual quadro legal, constituindo um decreto-lei, à semelhança do DL n.º 115/2010, de 22 de Outubro, que define por exemplo no artigo 5º, os elementos necessários para a avaliação do risco de inundação, em cada região hidrográfica ou unidade de gestão a ser definida, obriga à avaliação das potenciais consequências prejudiciais para a saúde humana, o ambiente, o património, as infra-estruturas e as actividades económicas e impõem medidas para a sua mitigação (inclui sistemas de previsão e de alerta precoce, promoção de práticas de utilização sustentável do solo, etc.). Assim, o diploma a desenvolver com o objectivo de reduzir os efeitos prejudiciais dos sismos deve conter os procedimentos para a elaboração de cartas de risco sísmico, que não se

cinjam apenas a delimitar as zonas de perigosidade, mas que insiram os riscos e seus impactos nas diferentes regiões, indo não só ao encontro dos objectivos dispostos no documento de trabalho supracitado da Comissão Europeia, mas também dos instrumentos jurídicos portugueses e da necessidade em introduzir metodologias de análise e avaliação que auxiliem os trabalhos de revisão dos planos municipais de ordenamento do território que se encontram em elaboração.

4| OS SISMOS E SEUS IMPACTOS NO MEIO URBANO

O presente capítulo descreve os impactos dos principais sismos, da primeira década do século XXI, em diferentes sociedades, para melhor compreendermos a conjugação de múltiplos factores que estão na origem dos impactos, de que forma o sismo e as perdas associadas são apreendidas ao nível local, nacional e global e, finalmente para dar enfoque à necessidade de uma avaliação global do risco sísmico. As missões pós-sismo realizadas ao longo de vários anos nomeadamente à China, Itália, Haiti e Espanha e o trabalho desenvolvido pelo 10º aniversário do sismo do Faial (Açores), foram fundamentais para constatar e apontar uma selecção de problemas que se considerou da maior importância para o desenvolvimento desta dissertação e do modelo que se descreve no capítulo 9.

4.1. Níveis de impacto de um sismo. Danos directos, indirectos ou consequenciais

Antes de mais convém esclarecer a diferença entre os diferentes tipos de danos e sua hierarquização no funcionamento do sistema urbano. Quando se fala ou calcula o dano devido a um evento sísmico ou outro desastre natural, este divide-se em danos directos e indirectos. A Figura 4.1 dá uma aproximação do que pode ser a cadeia de impactos de um sismo, provocada pelos diferentes tipos de danos que se registam.

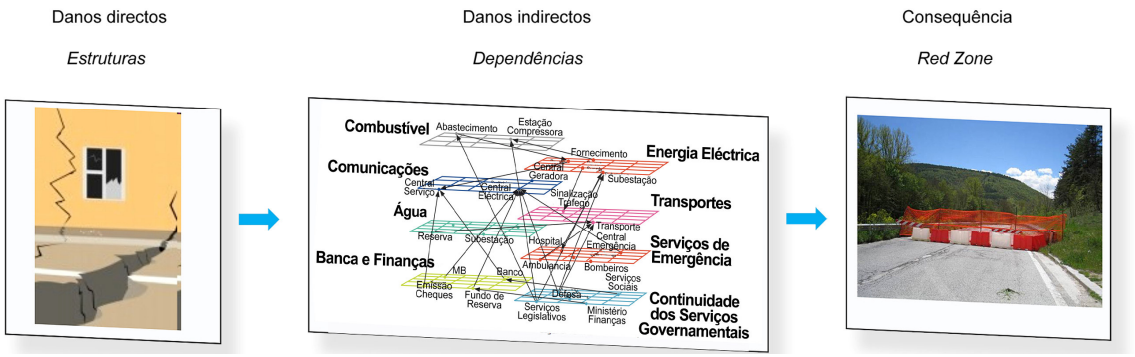


Figura 4.1 – Cadeias de impacto de um sismo
Fonte : Adaptado e traduzido de Wimbish e Sterling, 2003 (Dependências)

4.1.1. DANOS DIRECTOS

Os danos directos são os obtidos nas estruturas edificadas, no parque imobiliário e infra-estruturas, que podem ser categorizados em estruturais ou não estruturais como se explica de seguida.

4.1.1.1. Danos estruturais

São danos que ocorrem na estrutura principal, impossibilitando-a de exercer as suas funções e causando impactos humanos e socioeconómicos pelo seu colapso ou ruptura.

A Engenharia estrutural é a principal responsável pela segurança das estruturas sujeitas às acções sísmicas e que são definidas nos regulamentos como já referido no Capítulo 2. Um dano estrutural num edifício é visto através da fissuração dos pilares, vigas, ruptura de fundações, colapso de coberturas, etc.

A classificação de danos de acordo com a EMS-98, pretende reportar o grau de dano global da construção, de acordo com a extensão dos danos e o modo como estes afectam a capacidade das estruturas, e podem comprometer ou não a segurança de seus ocupantes. No caso das estruturas de alvenaria, os danos do tipo D3, D4 e D5 (detalhado no Capítulo 6) entram na categoria dos danos estruturais. No caso de D3 (danos severos) e, de acordo com a descrição da Escala Macrossísmica Europeia, significa que uma estrutura pode apresentar fendilhação superior a 1 cm, deslocamentos significativos entre paredes e pavimentos ou entre paredes e escadas ou só mesmo entre paredes, queda de telhas, fractura ao nível da chaminé, colapso de rebocos e desnivelamento de paredes. Ou seja são danos moderados a nível estrutural que alteram a capacidade da estrutura, não levando ao colapso dos elementos estruturais, mas a nível não estrutural os danos que ocorrem são severos. Este grau de dano implica a inutilização temporária e parcial das habitações ou construções. Nos casos de D4 (Figura 4.2) as construções podem apresentar graves fendas diagonais e horizontais bem como deslocamentos das paredes superiores a 10 cm ou colapso parcial dos elementos estruturais e danos que alteram significativamente a capacidade da estrutura, tornando-o inutilizável. Os casos de D5, dizem respeito ao colapso total e obviamente o edifício é igualmente inutilizável.

Figura 4.2 – Grau de dano 4 (EMS-98 após o sismo do Faial, 1998)
Fonte : Ferreira, 2008

Os graus de dano supra-citados são aqueles que no caso de um edifício ou de uma rede de infra-estruturas, danificam e/ou param o funcionamento do sistema urbano, como será analisado ao longo desta dissertação.

4.1.1.2. Danos não estruturais

Se nos países em vias de desenvolvimento nos deparamos com situações de não adopção ou inexistência dos regulamentos sismo-resistentes, conduzindo a que o risco de colapso das estruturas se mantenha elevado, nas sociedades mais desenvolvidas ou áreas geográficas onde se cumpre o

exposto na lei, o risco de colapso das estruturas é diminuto, esperando-se que as construções resistam a acções sísmicas sem danos estruturais. Nestes casos, a preocupação já não é tanto relacionada com o dano estrutural mas com os danos dos elementos não estruturais que põem em causa não só a segurança das pessoas e equipamentos como podem causar avultadas perdas económicas.

Ainda não existem muitas bases de dados ou trabalhos que quantifiquem e correlacionem os danos não estruturais com perdas humanas ou económicas, no entanto o ATC-69 (ATC, 2008) sumariza o actual estado de conhecimento e práticas desenvolvidas no que respeita ao comportamento dos elementos não estruturais dos edifícios face à acção sísmica.

Embora se admitam danos após um sismo, os custos relativos à sua reparação e à limitação do uso da construção não devem ser muito elevados (custos desproporcionalmente elevados face ao custo da estrutura).

Os seguintes elementos não estruturais e equipamentos têm sido repetidamente assinalados como danificados após um sismo:

i) Componentes arquitectónicos: paredes divisórias, tectos falsos, fachadas envidraçadas, vidros, revestimentos exteriores, platibandas, chaminés, cercas/muros e elementos ornamentais.

ii) Componentes mecânicos, eléctricos e tubagens: redes de sprinklers, tubagens de água, gás, ligação/juntas das tubagens aos equipamentos, iluminação suspensa, telhados, aquecimentos, elevadores, tanques verticais, AVAC's e caldeiras.

iii) Conteúdos: estantes altas, armários, arquivos, garrafeiras, computadores, televisores, monitores, equipamento de escritório (scanners, impressoras), equipamento médico-hospitalar (fichas médicas, aparelhos, ventiladores, candeeiros de observação, remédios, etc.), matérias perigosas (químicos, industrial), colecções dos museus, entre outros elementos.

É expectável que esta lista aumente no futuro, à medida que novos elementos não estruturais e conteúdos são introduzidos de acordo com as novas tendências tecnológicas e necessidades humanas, aumentando assim o risco nas escolas, casas, hospitais ou escritórios. Cada vez mais encontramos tectos falsos em quase todos os edifícios, ar condicionado, televisores suspensos e edifícios altos que quando expostos a uma acção sísmica facilmente potenciam a queda de vidros e de elementos ornamentais, para não falar do volume de escombros que são um problema para a circulação e gestão da emergência e a posteriori um problema por não se saber onde irão ser depositados.

4.1.2. DANOS INDIRECTOS OU CONSEQUENCIAIS

São danos que resultam da privação de utilizar as estruturas por estas não cumprirem a sua principal função, o que envolve a estagnação económica e perda de oportunidade de um determinado território afectado por um evento adverso. A destruição de indústrias, a paragem de produção ou o bloqueio da

rede logística torna as empresas incapazes de produzir ou de transportar os seus produtos não só no país de produção, como nos países que importam estes produtos.

A não utilização de um edifício habitacional implica o desalojamento temporário dos seus habitantes, causando perturbações socioeconómicas, de saúde pública e traumas responsáveis pela redução da resiliência humana a estes impactos. No caso de uma escola, por exemplo, consideramos que o dano consequencial ou indirecto é o resultante das famílias serem obrigadas a procurar outras escolas, ficando separados pais e filhos, tendo impacto nas famílias e no pessoal docente devido à descontinuidade do ensino.

Após esta breve introdução aos danos e suas consequências, serão relatados os impactos de vários sismos em diferentes sociedades ao longo da primeira década do século XXI. No Quadro 4.1 estão expostos dados relativos ao número total de vítimas, desalojados e perdas económicas, e também informação (sempre que disponível) relacionada com a actividade do ensino.

Quadro 4.1 – Principais sismos do século XXI e seus efeitos mais relevantes

Local	Data	Vítimas	Vítimas (estudantes)	População privada do ensino	Desalojados	Perdas económicas*
Maule, Chile	27-02-2010	452	Sem informação	7000 (em Santiago)	800000	30000 M USD
Port-au-Prince, Haiti	12-01-2010	316000	30000	2000000	1,5 M	14000 M USD
L'Aquila, Itália	06-04-2009	306	69	77000	60000	5000 M EUR
Sichuan, R. P. China	12-05-2008	87587	19000	5000000	5 M	146000 M USD
Pisco, Perú	15-08-2007	519		220000	70000	450 M USD
Kashmir, Paquistão	08-10-2005	87350	18095	300000	2,8 M	5200 M USD
Sumatra, Indonésia	26-12-2004	350000	Sem informação	150000	1,9 M	14000 M USD
Bam, Irão	26-12-2003	31383	10000	32843	65000	6000 M USD
Bingol, Turquia	01-05-2003	174	84	Sem informação	> 15000	Sem informação
Boumerdes, Argélia	21-05-2003	2266	Sem informação	Sem informação	120000	5000 M USD
Molise, Itália	31-10-2002	30	27	Sem informação	Sem informação	Sem informação
Gujarat, Índia	26-01-2001	20005	Sem informação	3000000	600000	14000 M USD

* à data do sismo.

Fonte: Adaptado de EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database www.em-dat.net - Université Catholique de Louvain - Brussels – Belgium; Note on "Safe World"; Risk Reduction of Critical Infrastructure - Schools and Hospitals - for a Safer World - RoCI (http://gfdrr.org/docs/Risk_Reduction_of_Critical_Infrastructure.pdf); e dados recolhidos pela autora

4.2. Maule, 27 de Fevereiro 2010

Fixou-se em 452 o número de vítimas mortais do terramoto de magnitude M_W 8,8 (Figura 4.3) que na madrugada de Sábado 27, às 3h34, abalou seis regiões do Chile, onde habita 80% da população: Valparaíso, Região Metropolitana, O´Higgins, Maule, Biobío e Araucanía, os desalojados foram cerca de 2 milhões. O sismo também desencadeou um tsunami no Pacífico cujos efeitos foram mais sentidos na costa Chilena e por sinal foi o causador da maior parte das vítimas, do que podemos constatar que o Chile estava melhor preparado para o sismo mas não para um eventual tsunami.

O sismo, que se localizou na região de Maule, na zona sul do Chile que forma parte do Anel do Fogo, a 115 km NNE de Concepción, teve uma profundidade de 35 km e apresentou em Santiago (a cerca de 330 km do epicentro) uma aceleração máxima de 0.56 g e uma intensidade máxima de VII.

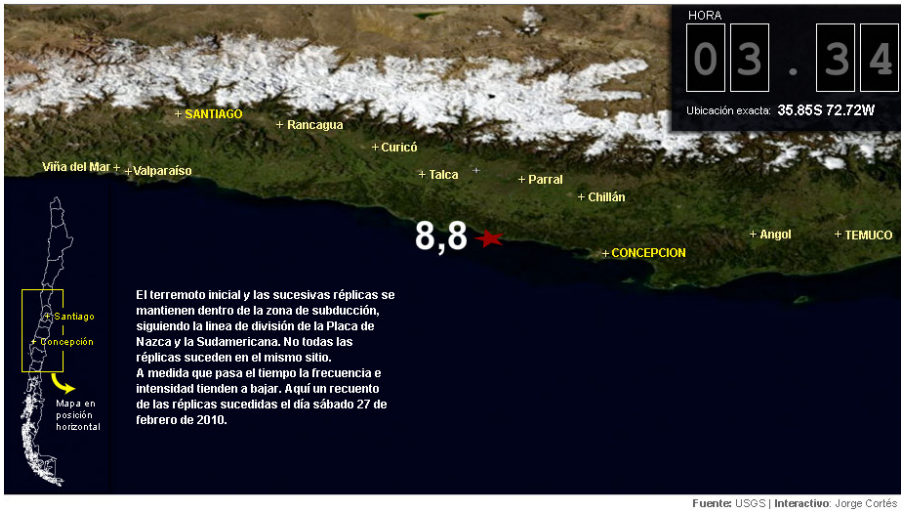


Figura 4.3 – Terramoto e tsunami que atingiram a região centro-sul do Chile
Fonte: Latercera online, 2010

Inúmeras casas colapsaram sobretudo as de adobe, em cidades como Talca, Curicó, Temuco, no sul, e no centro histórico de Santiago e Valparaíso. Em Chillán, 400 km ao sul de Santiago, o sismo provocou a destruição em mais de 800 casas e a cidade ficou 72 horas privada de água potável e electricidade. Os danos causados em cerca de 30000 casas da Região Metropolitana produziram um volume de 3 milhões de metros cúbicos de escombros; três semanas após o sismo ainda não se sabia onde iriam ser depositados (Latercera online, 2010a).

O aeroporto internacional de Santiago do Chile permaneceu encerrado 72 horas devido a danos nas infra-estruturas do terminal aéreo e nas vias que conduzem ao aeroporto a partir da cidade. Em todo o país, verificaram-se interrupções esporádicas do serviço de abastecimento de água, electricidade e telefones. A falta de telecomunicações, nas primeiras horas, tornou a situação ainda mais caótica, ninguém no comando das operações, como as Forças Armadas ou a Polícia, tinha informação sobre o que se passava no resto do país.

A rede viária sofreu múltiplas falhas, o único eixo que une o país de norte a sul apresentou sérios

danos, que correspondem a colapsos dos tabuleiros de pontes e viadutos, possivelmente devido a uma insuficiência de apoio nos pilares. Verificou-se também o colapso de passagens de peões e um número indeterminado de danos nos pavimentos e taludes.

A situação no sector da saúde também reporta danos em alguns hospitais das localidades de Talca, Parral, Hualañe e Nicanten que obrigaram à evacuação dos doentes para outros centros. Desde a região de Valparaíso até Araucanía, composta por 76 unidades hospitalares, verificou-se que oito hospitais ficaram inutilizados devido a colapso e 10 sofreram graves danos. Na zona metropolitana de Santiago os hospitais mantiveram-se a funcionar quase sem problemas, embora se tenham registado alguns danos não estruturais, como queda de tectos falsos e de revestimentos, que obrigaram a que certas unidades tivessem de encaminhar os doentes internados para outros centros, como medida preventiva, e também para facilitar os trabalhos de limpeza e a recepção de pacientes de outras áreas do país (Martí, 2010). Registaram-se também alguns problemas na rede de águas potável o que impossibilitou as diálises e em algumas salas de cirurgias surgiram problemas de esterilização devido ao pó, obrigando ao fecho destas unidades.

Grande impacto, tendo ficado como o símbolo do sismo, teve a queda do edifício Alto Rio, localizado no centro de Concepcíón (Figura 4.4). Tratava-se de um edifício de 15 pisos, inaugurado há 3 meses que colapsou e provocou pelo menos 7 mortos, 79 evacuados e seis desaparecidos entre os escombros. No momento do sismo o imóvel tinha uma taxa de ocupação de 55%.

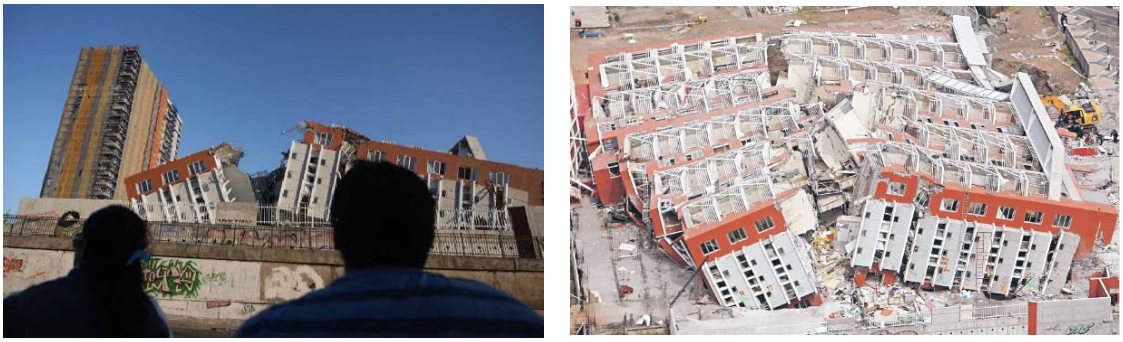


Figura 4.4 – Edifício Rio Alto, Concepcíon, 15 pisos, 113 apartamentos
Fonte: ElComercio.pe, 2010

Em Santiago não se registou colapso de edifícios, salvo o caso do condomínio em Maipú (Figura 4.5) o que segundo os técnicos, indica que a regulamentação vigente se cumpriu, visto terem sido salvaguardadas as vidas humanas perante um sismo desta magnitude (Universidad de Chile, 2010). No entanto, não podemos deixar de referir a evidência de algumas debilidades em certas construções, como é o caso do edifício “Esmerald”, em Ñuñoa (Santiago), com 20 pisos, construído há menos de um ano e que oferece graves danos estruturais (Figura 4.6).

Figura 4.5 – Edifício em Maipú, Santiago. Antes e depois do sismo, colapso parcial
Fonte : Urquieta, 2010

À medida que os dias iam passando a lista das construções novas com danos severos aumentava, em especial na capital Santiago (Figura 4.7) e, consequentemente deram-se início às investigações com as construtoras a fim de apurar responsabilidades civis e criminais.

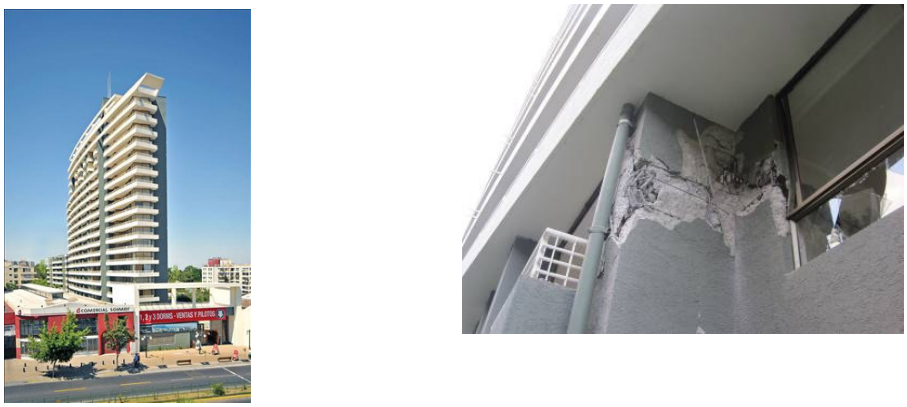


Figura 4.6 – Edifício Esmerald, Santiago, 20 pisos
Fonte: EERI Special Earthquake Report, 2010

Figura 4.7 – Pilares no estacionamento do edifício Sol Oriente, Santiago, 18 pisos, 300 apartamentos
Fonte: EERI Special Earthquake Report, 2010

Talcahuano, um dos principais portos do país foi o mais afectado pelas três ondas do tsunami que

chegaram minutos após o sismo, as perdas (da base naval – infra-estruturas, instalações e equipamento) estimam-se entre os 110-150 milhões de dólares.

Seis dias após o sismo foi restabelecido o acesso a água potável a 10 milhões e 600 mil pessoas das regiões afectadas de Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins, Maule, Biobío e Araucanía, ficando ainda algumas zonas mais uma semana sem água. Note-se que o conceito de reposição do abastecimento não implica necessariamente a sua chegada ao interior das casas, mas sim o abastecimento às redes de distribuição.

Relativamente aos danos em elementos não estruturais, que apesar de não porem a estrutura em risco causam sérios danos nas pessoas incluindo a sua morte, foram correntes, especialmente os relacionados com a queda de tectos falsos. A regulamentação mais uma vez foi cumprida - não se verificou o colapso da estrutura - porém estes danos são causadores de mortes, milhares de desalojados e atraso na retoma das actividades, o que nos leva a reflectir um pouco sobre para que nível devemos exigir a regulamentação.

As escolas também foram severamente atingidas pelo sismo e tsunami, são exemplos os liceus e escolas municipais da cidade de Los Angeles que sofreram danos nas suas estruturas. Para minorar o tempo de interrupção do ensino, estabeleceu-se que as instituições com problemas menores e com horário completo, passariam a meia jornada para receber os alunos de estabelecimentos danificados. O início das aulas foi assim adiado por uma semana na Região Metropolitana e as outras áreas mais afectadas contam com uma interrupção que varia entre duas a três semanas, porém a região de BioBío teve de atrasar ainda mais o início do ano escolar.

A Figura 4.8 ilustra alguns exemplos de danos nas escolas em Santiago.

Figura 4.8 – Danos no Colégio dos Salesianos Alameda, Santiago
Fonte: www.salesianosalameda.cl

A Universidade do Chile, em Santiago, embora tenha sofrido muitos danos, foram na sua maior parte não estruturais, como destacamento de estuques, queda de tectos falsos, quebra de vidros e fissuras

não pondo em perigo a estabilidade dos edifícios dos vários campi, nem das pessoas, permitindo o regresso às aulas em quinze dias. Os estragos maiores ocorreram na Faculdade de Ciências, nos laboratórios de Biologia e Química, cujos equipamentos, incubadoras e refrigeradores foram afectados severamente. Segundo relatos de professores dos diversos campi da Universidade do Chile, o sismo de Valparaíso de 3 de Março de 1985 (M_W 7,8), foi fundamental para reforçar alguns dos edifícios mais antigos e tomar medidas preventivas a fim de evitar danos maiores em equipamentos e o risco de derrames de materiais perigosos em alguns laboratórios.

Já a Universidade de Concepcíon sofreu sérias perdas, não tanto a nível estrutural, mas a nível não estrutural como:

- perda do Departamento de Química, devido a incêndio pós-sismo;

- perda do Departamento de Biologia Marinha, devido ao tsunami e a pilhagens pós-sismo;

- danos nos laboratórios de Engenharia Civil;

- danos severos nos laboratórios de Microbiologia que provocaram a perda dos trabalhos desenvolvidos nos últimos quatro anos (demorará dois anos a recuperar) e, consequentemente o trabalho de oito alunos que estavam a desenvolver as suas teses de doutoramento. Houve também perda de equipamento no valor de 500000 dólares (em entrevista PEER, 2010). A reconstrução do sismo estima-se em 30 mil milhões de dólares (Latercera online, 2010b).

4.3. Port-au-Prince, 12 de Janeiro 2010

Certamente o pior desastre natural dos tempos modernos. O sismo de magnitude M_W 7,0 que atingiu a fragilizada sociedade haitiana, contribuiu para que a catástrofe se tornasse ainda mais trágica, dado o contexto político e social em que se encontra há vários anos. A disparidade do impacto deste sismo no povo haitiano, em comparação com o do Chile, pode claramente ser explicada pelas diferenças abissais na prevenção e na qualidade das construções, infra-estruturas e serviços dos dois países.

Pelo menos três milhões de pessoas foram afectadas pelo sismo e 250 mil edifícios de 13 pisos ficaram destruídos ou severamente danificados, causando o desalojamento de 1,5 milhão de pessoas e a morte a 316 mil (quase 10% da população da área metropolitana). Houve uma destruição massiva de todas as infra-estruturas, 80% da capital Port-au-Prince ficou reduzida a escombros (105000 casas completamente destruídas e mais de 208000 danificadas (Taucer e Cobane, 2010)), incluindo 180 edifícios públicos, entre eles 13 Ministérios dos 15 que existiam, colapsaram. As infra-estruturas de transporte ficaram de igual modo severamente afectadas, incluindo danos graves no aeroporto (torre de controlo) e no porto, ficando este último sem funcionar durante dez dias, dificultando a atracagem de navios militares que chegavam com ajuda alimentar. Impôs-se como prioritário reparações rápidas nesta infra-estrutura. Após a operacionalidade do porto, rapidamente ficou sobrecarregado de medicamentos e bens alimentares que não podiam ser distribuídos por falta de transportes.

As poucas casas que tinham energia eléctrica, na cidade, estiveram três semanas sem luz e nas áreas rurais a recuperação demorou três meses.

Todas estas perdas, associadas à corrupção, inexistência de sistemas e à instabilidade política que já se vivia anteriormente, tornam a resiliência deste país quase inexistente, dependendo em tudo da ajuda internacional. Note-se que antes do sismo mais de metade dos haitianos não tinha acesso a água potável. Assiste-se acima de tudo a uma grande catástrofe social onde impera o desemprego e a fome. Embora não resiliente em termos físicos e económicos, os haitianos apresentam uma capacidade adaptativa pessoal ímpar, uma resiliência psicológica à perda e ao trauma, que se para nós parece uma excepção, segundo Bonanno (2004) essa resiliência é bem mais comum que o esperado, havendo múltiplos e inexplicáveis caminhos que promovem esta resiliência individual.

O parque monumental, oriundo dos tempos da colonização francesa foi igualmente atingido, tendo sido destruídas igrejas em alvenaria de pedra. As construções históricas em madeira e alvenaria, denominadas "gingerbread" (Figura 4.9) conseguiram resistir parcialmente, segundo os investigadores estima-se que apenas 5% destas construções de inegável interesse histórico colapsaram parcial ou totalmente, o que demonstra serem um exemplo de boa concepção sismo-resistente.

Figura 4.9 – As famosas casas "gingerbread"
Fonte: Hammer, 2011 (esquerda); autora (direita)

A arquitectura no Haiti apresenta fortes influências da colonização francesa que foi sofrendo adulterações ao longo do tempo. Nos anos 50 iniciou-se uma prática construtiva desenraizada do passado, feita com materiais e tecnologias muito simples, recorrendo a blocos de cimento e placas de betão armado, que tornavam as casas mais resistentes à passagem dos frequentes furacões. Contudo, a falta de conhecimento de comportamento sísmico não foi tida em consideração no desenvolvimento desta técnica, altamente desadaptada no caso sísmico.

Dois meses após o sismo, cerca de 400 mil pessoas ainda não tinham qualquer tipo de alojamento, nem mesmo tendas. Três milhões e meio de Haitianos, ou seja, 1/3 da população eram sustentados pelo programa alimentar da ONU. O Inter-American Development Bank estimou, em Fevereiro de 2010, a reconstrução do Haiti em 14 biliões de dólares.

Seis meses após o sismo, e após visita ao local, depara-se com um cenário idêntico como se o sismo tivesse ocorrido no dia anterior; o Governo permanece completamente à margem, o abandono é total. A população improvisa tendas com restos de paus, lençóis, telhas e sobrevive sob condições de saúde e higiene desumanas. Apenas 28000 do total de 1,5 milhão de desalojados foram realojados em novas casas. A norte da capital, em Corail-Cesselesse, cerca de 7000 vivem num campo para desalojados localizado em leito de cheias onde em Julho uma tempestade arrasou 344 tendas e fez novos desalojados – 1700 pessoas. Muitas das cidades-tenda eleitas para os desalojados foram localizadas em zonas de leito de cheias ou de risco de deslizamentos, estando a população sempre sujeita a novos desastres. A reconstrução do país peca por falta de um plano, de uma estratégia de desenvolvimento e uma liderança.

A emergência (socorro) que em situações normais costuma demorar entre três a sete dias, no Haiti ultrapassou os 6 meses, como se teve oportunidade de constatar após visita ao local e segundo declarações do Governo Haitiano e da ONU.

O sismo resultou da ruptura, de cerca de 50-60 km da Falha de Enriquillo-Plantain Garden que se desenvolve ao longo de 500 km de comprimento (Figura 4.10). O seu epicentro 18.457°N, 72.533°W localiza-se a cerca de 25 km W-SW de Port-au-Prince e a uma pequena profundidade epicentral de 13 km (USGS/EERI, 2010). O evento principal foi seguido por duas réplicas de magnitudes 6 e 5,7, respectivamente. As intensidades máximas na capital e nas cidades de Carrefour e Delmas atingiram valores entre VIII e IX (Figura 4.11).

Toda a região do Caribe é de elevada actividade sísmica, sendo regularmente devastada por grandes terramotos ou vulcões; por exemplo a capital da Jamaica, Kingston, foi destruída duas vezes em três séculos e a própria capital do Haiti tinha sofrido dois grandes abalos há cerca de 250 anos (1751 e 1770). É precisamente esta distância temporal e consequente desconhecimento sobre a existência de sismos, que possibilitaram um número tão elevado de danos, se compararmos com o atrás referido sismo do Chile, muito maior mas com uma resposta e preparação muito melhores devido à frequência com que este tipo de sismos ocorre.

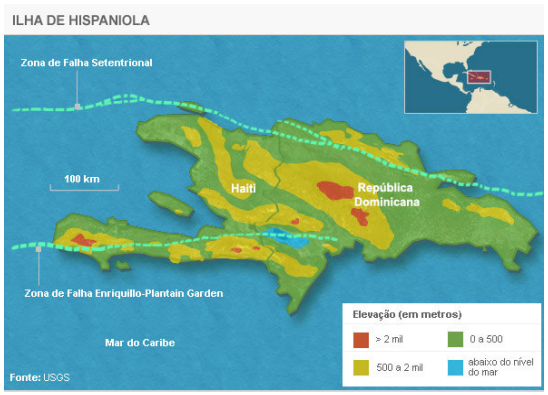


Figura 4.10 – Falhas geológicas da Ilha Hispaniola sobre carta altimétrica: Haiti a oeste e República Dominicana a este
Fonte: USGS

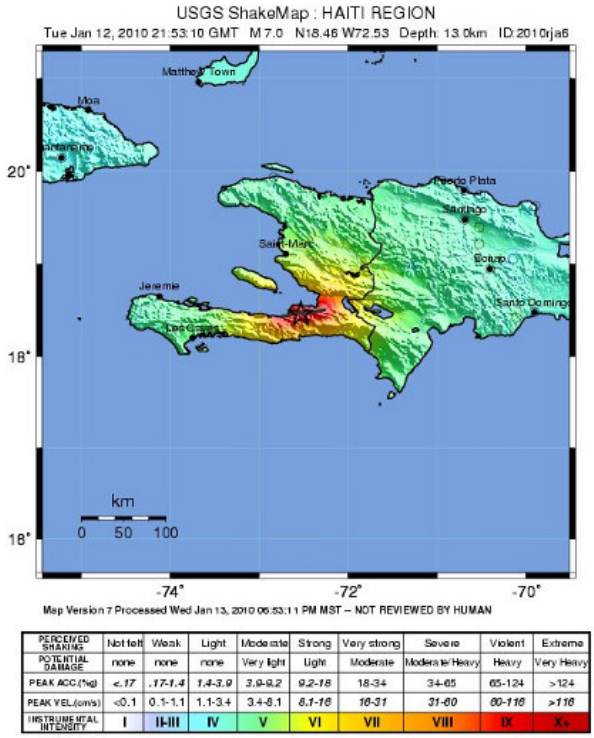


Figura 4.11 – Intensidades máximas estimadas
Fonte: USGS

A liquefacção dos solos, os deslizamentos bem como a queda de blocos contribuíram para o agravamento e vasta extensão de danos que se verificaram em Port-au-Prince e outras localidades. Os danos registados nas habitações bem como nos edifícios governamentais e comerciais deveram-se sobretudo a práticas construtivas inadequadas. As casas são construídas pela própria população, que é desconhecedora do risco e dos requisitos básicos para uma estrutura resistir à acção sísmica. Por sua vez, dado o elevado índice de pobreza, os materiais construtivos a que recorrem são de exígua qualidade. A falta de um zonamento de risco, de um regulamento sísmico apropriado e de conhecimento sobre as práticas construtivas estão obviamente na origem dos impactos causados.

Quase metade da população do Haiti (cerca de 9 milhões de pessoas) é constituída por crianças com idades até aos 14 anos, ou seja um grupo etário de maior vulnerabilidade social, decorrente não só da sua fragilidade física, como da maior dependência em relação a outrem, da incapacidade em antecipar, lidar, resistir e recuperar do impacto. O sismo deixou-os numa vulnerabilidade acrescida dado o abandono, perda dos pais e o tráfico de crianças.

Para dar uma panorâmica do frágil estado da educação no Haiti, convém relembrar que a educação nunca foi uma prioridade para os governos do passado: o país carece de escolas, de material didáctico e professores qualificados; sete em cada dez pessoas são analfabetas. Já antes do sismo 25% das áreas rurais não tinham estabelecimentos de ensino e estima-se que perto de 500000 crianças em idade escolar não frequentava a escola, em grande parte porque os pais precisavam delas para trabalhar ou simplesmente não podiam pagar as propinas: cerca de 90% das escolas do

Haiti são privadas (dirigidas por ordens religiosas), o que demonstra a falta de interesse dos governos em investir na educação do seu povo.

Perto de 97% dos estabelecimentos de ensino ficaram inutilizados nas zonas afectadas; 1300 escolas encontram-se destruídas e 2500 danificadas (Figura 4.12 a Figura 4.14), o que corresponde a cerca de 80% das escolas Haitianas, afectando severamente parte do investimento de futuro do país e, por tempo indeterminado (MCEER, 2010). O ensino universitário foi igualmente afectado; por exemplo as principais escolas de medicina e de enfermagem do país ruíram (Oliveira e Ferreira, 2010). Cerca de 30000 crianças e estudantes morreram neste sismo bem como 1300 professores (UNISDR, 2010). Poucas foram as escolas que conseguiram abrir um mês após a tragédia, a reabertura das aulas estava prevista para 1 de Abril[5], após a instalação de 1400 tendas de 72 m^2 que acolheriam 200 mil crianças.

Figura 4.12 – Colapso da escola privada Saint Pierre em Port-au-Prince
Fonte: Galeria EERI Haiti social impacts team's, 2010

Figura 4.13 – Colapso da escola de enfermagem em Port-au-Prince e de escola em Leogane

[5] Informação obtida em Março de 2010.

Fonte: Autora (esquerda) ; Galeria EERI Haiti social impacts team's, 2010 (direita)

Figura 4.14 – Colapso tipo *pancake* da Universidade de Saint Gerard onde morreram 200 pessoas
Fonte: Latimes, 2010

Em Outubro de 2010 o país foi atingido por uma epidemia de cólera. O êxodo pós-terramoto da população para a região norte do Haiti, provocou um sobrepovoamento sobre as margens do rio Artibonite (Figura 4.15), onde a população toma banho, bebe a água e utiliza-a para a sua higiene, causando um ambiente propício ao desenvolvimento desta doença que estava erradicada do país há mais de cem anos.

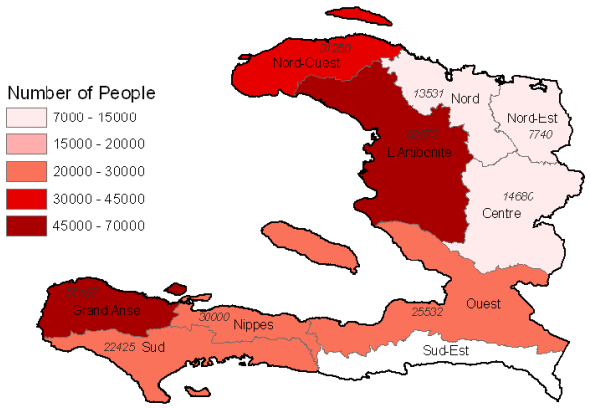


Figura 4.15 – Movimento da população de Port-au-Prince para as áreas rurais
Fonte: OCHA, United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (dados de 29/01/2010)

Para além dos problemas de saúde pública bem visíveis na falta de equipamento básico de saneamento, falta de serviços sociais e de força policial/segurança, os direitos básicos humanos não são atendidos. Aliás, já não o eram antes; mais de metade dos haitianos não tinha acesso a água potável e 70% a serviços higiénico-sanitários.

Um ano depois, apenas 5% dos escombros foram removidos, e estes foram depositados ao longo das estradas. Menos de 10% dos 5,3 biliões de $US previstos para a reconstrução foram disponibilizados. Passados quase dois anos ainda não existe um Plano de Reconstrução minimamente organizado. As iniciativas existentes passam pela vontade individual ou de pequenos grupos, não havendo um conjunto mínimo de indicações de como reconstruir de forma segura.

De forma abreviada poderemos ainda abordar a rápida mobilização mundial para responder a uma nação. Se por um lado é louvável todo o empenho e esforço praticados pelas Nações Unidas e organizações internacionais em mobilizar e activar os mecanismos de resposta à emergência, por outro enumeram-se alguns factores que contribuíram para atrasar essa mesma resposta, deixando algumas áreas sem cobertura (Grünewald et al., 2010):

- grande influxo de organizações não governamentais (ONG) mas falta de uma entidade que fizesse a liderança e coordenação humanitária entre as ONG e os militares, e entre elas próprias;

- dificuldades do sector humanitário na preparação e na resposta de um desastre a uma escala urbana;

- fraca avaliação da situação humanitária e das necessidades;

- falta de consulta e envolvimento da população sobre as soluções que tomavam, sentindo-se esta excluída de todo o processo de gestão e implementação da resposta, surgindo conflitos sérios. Por exemplo, a distribuição das rações alimentares, da qual todos fomos espectadores, em que as ONG não comunicavam nem estavam coordenadas com as comunidades e suas necessidades, deixando os mais novos e idosos, por exemplo, horas e horas à espera de algo que nem sabiam o que seria.

Haiti e a República Dominicana partilham a mesma ilha - Hispaniola. Ambos estão à mesma latitude e têm as mesmas condições climáticas, no entanto, a República Dominicana tem um vasto e denso coberto vegetal enquanto o Haiti assemelha-se a um deserto (Figura 4.16). Menos de 100000 acres perfazem o total de floresta no Haiti, um país que há 500 anos atrás tinha 3/4 do território coberto por árvores. A nação mais pobre do hemisfério ocidental, perdeu 98% do seu coberto vegetal, um dos piores casos de desflorestação no mundo. Esta, causa as cheias, as secas, o aumento de CO_2 e a destruição do habitat de muitas espécies. Assim, deslizamentos, inundações e ciclones são também uma constante preocupação para este povo.

Figura 4.16 - Fronteira entre Haiti e República Dominicana. Haiti é a parte esquerda sem qualquer vegetação e a República Dominicana a parte verde à direita

4.4. L'Aquila, 6 de Abril 2009

A 6 de Abril de 2009 a região montanhosa de Abruzzo, no centro de Itália, sofreu um sismo de magnitude M_W 6,3 pelas 3h32, causando destruição em 49 "comuni" (localidades). Entre as áreas afectadas destaca-se Onna que registou 40 mortos e intensidade máxima IX-X e, o centro histórico de L'Aquila que registou intensidade máxima (EMS-98) de IX e valores elevados de PGA (0,67g) perto do centro de L'Aquila. O evento principal foi precedido por uma longa crise sísmica (M_L<4,0) iniciada em Dezembro e culminada com um evento de M_L=4,1 a 30 de Março de 2009. Dois abalos perto da meia-noite de 5 de Abril (M_L=3,9 e M_L=3,5) fizeram com que muita gente fosse dormir para fora das suas casas, ao ar livre, consequentemente o evento das 3h32 terá provavelmente causado menos vítimas do que aquelas que a gravidade dos danos poderiam provocar (Ferreira et al., 2011).

A zona sismogénica (ZS 923) onde o evento teve origem pertence a uma das quatro áreas da península italiana (inclui Apenino Centro-setentrional, Apenino Central, arco Calabro e Sicília oriental) em que seria mais provável verificar-se um sismo destrutivo (Boschi et al., 2009); estava identificada como de alta sismicidade por já terem ocorrido eventos muito fortes no passado, como em 1315, 1349, 1461 e 1703. No século XX o mais significativo foi o terramoto de Avezzano em 1915 (M=7). Apesar do conhecimento do risco, a consciência e a prevenção não foram devidamente tomadas a sério.

A população desalojada ultrapassou as 60000, os feridos rondam os 1500 e as vítimas 306 (Ferreira, 2009). A cidade medieval de L'Aquila foi gravemente atingida, perdendo a sua função de centro económico e universitário.

Segundo os dados dos Censos italianos recolhidos em 2001 (Ricci et al., 2010) referem que na área Aquilana 24% dos edifícios são de betão armado (indicando que 55% foi construído depois de 1945), 68% em alvernaria e 8% outras estruturas. Os principais danos ocorreram nas estruturas antigas de alvenaria e nos edifícios de betão armado. Nestes últimos, os danos são principalmente a nível dos elementos não estruturais, tais como painéis de preenchimento. Danos estruturais em pilares, paredes e na ligação pilar-viga são os mais frequentes e causados por procedimentos de projecto, que estavam em consonância com as prescrições do código em vigor para a idade de construção (Ricci et al., 2010).

Dos 72000 edifícios inspeccionados na área Aquilana, mais de 50000 apresentaram danos, entre estes 28000 com danos a nível estrutural ou danos maior ou igual a 2 (numa escala de 0, edifício sem danos, a 5, edifício colapsado) (Dolce et al., 2009) e cerca de 17000 com danos maiores ou iguais a 3. O conjunto de edifícios classificados como inutilizáveis (classes D - edifício temporariamente inutilizável, a rever com mais cuidado, E – edifico inutilizável e F - edifico inutilizável devido a risco externo) ascendeu os 32%; estes valores são tendencialmente similares aos encontrados em outros sismos italianos, no entanto, desta vez houve uma maior percentagem de edifícios inutilizáveis.

Em Setembro de 2009 os proprietários das casas de classe “A, utilizáveis” (fora das zonas mais afectadas) voltaram às suas habitações, após pequenas reparações, enquanto os proprietários das casas classificadas com “E” juntamente com todos os residentes no centro histórico tiveram de ser realojados. Dezassete meses depois, 8000 pessoas ainda se encontravam em albergues ao longo da Costa Adriática e 15000 receberam alojamento nas polémicas casas anti-sísmicas do projecto C.A.S.E. (Complessi Antisismici Sostenibili Ecocompatibili), cujo preço por metro quadrado ronda os 2500 EUR (inclui infra-estruturas), ou nos MAP (Moduli Abitativi Provvisori) ou ainda em apartamentos alugados. Apenas um terço da actividade comercial, artesanal e profissional de L’Aquila conseguiu retomar as suas actividades, 2000 são as actividades fechadas (Miss Kappa, 2010).

O património cultural e artístico da região e sobretudo de L’Aquila registou também sérias perdas, sem precedentes (Figura 4.17).

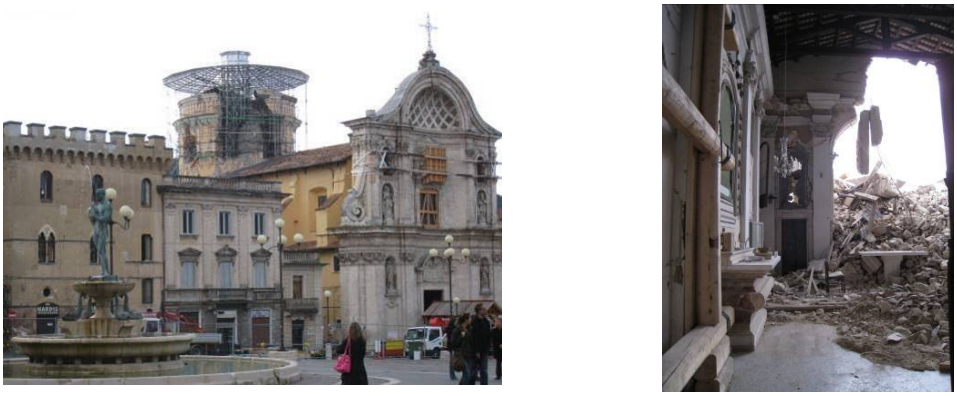


Figura 4.17 – Exemplos de danos no património arquitectónico: Igrejas Anime Sante em L’Aquila e San Pietro em Onna

Relativamente às estruturas escolares, na área atingida pelo sismo, observa-se que 66% dessas estruturas são em betão armado e 21% em alvenaria. Analisados os danos pós-sismo, conclui-se que 31% das estruturas em betão armado não sofreram danos, ficando utilizáveis. Perto de 50% das escolas perderam a sua função por apresentarem danos estruturais (17%) ou danos não estruturais significativos que inviabilizam o funcionamento das instalações (aproximadamente 30%) ou por estarem localizadas em locais de difícil acesso dada a destruição envolvente (2%) (Protezione Civile Italiana, 2009). A residência universitária Casa dello Studente colapsou causando a morte a 11 estudantes. Num total, o sismo vitimou 55 estudantes.

Como consequência, cerca de 77000 estudantes (50000 crianças e 27000 universitários – 13000 provenientes de outras cidades) são obrigados a interromper os seus estudos nas primeiras semanas, retomando-os mais tarde, em escolas-tenda para os mais novos, nos acampamentos ou noutras localidades junto à Costa do Adriático – o que causou nalguns casos a separação entre pais e filhos. Os alunos universitários retomaram algumas aulas em edifícios públicos de localidades vizinhas, ou através de e-learning, dirigindo-se a L’Aquila para a realização de exames em tendas (Ferreira, 2009).

Em Outubro de 2009, com a reabertura do ano lectivo surgem os MUSP (Moduli ad Uso Scolastico Provvisori), estruturas pré-fabricadas concebidas para substituir temporariamente as escolas danificadas ou destruídas pelo sismo. Foram construídos 31 módulos para 6569 alunos. Segundo dados oficiais foram 12530 os menores atingidos pelo sismo e que na sua totalidade conseguiram regressar às aulas, espalhados por 72 escolas operacionais, no início do ano lectivo (Save the Children, 2010) no entanto, a comunidade ficou desagregada.

A Universidade de L'Aquila, retoma progressivamente as suas actividades, conseguindo no ano lectivo 2009-2010, 23000 inscritos, contra os 27000 antes do sismo. Ofertas de bolsas e transportes grátis (urbanos e fora urbano para os alunos que estão deslocados) foram sem dúvida um grande incentivo. Porém, com o avançar do tempo, em 2011, a falta de recursos que inviabiliza a reconstrução do centro histórico – onde viviam 13000 estudantes deslocados - o corte no apoio aos transportes, a redução do número de bolsas, a falta de serviços mínimos como cantina e bibliotecas nalgumas faculdades, falta de locais de reunião/encontro dos alunos dentro da universidade, e a dificuldade em encontrar alojamento a um preço acessível, obrigando os alunos a perderem horas nos movimentos pendulares, penalizam a Universidade e, consequentemente a cidade. Cada ano que passa o número de alunos que pede transferência para outras instituições vai aumentando.

No que respeita aos equipamentos de saúde, a resposta sísmica do complexo hospitalar San Salvatore di Coppito foi igualmente grave. O centro nevrálgico do sistema hospitalar da zona de L'Aquila teve de ser completamente evacuado, nos dias da emergência, devido aos danos, essencialmente não estruturais e a alguns aspectos ligados à sua construção (Figura 4.18). Dos quinze edifícios que compõem o complexo hospitalar, três apresentaram danos estruturais, um dos quais albergava as emergências que deixaram de poder ser efectuadas naquela unidade. Os danos não estruturais mais comuns e de relevo também do ponto de vista da segurança são os do revestimento externo do edifício, em "tijolo" dotado de um número insuficiente, ou ausente, de elementos de ligação com a estrutura (Figura 4.19) e, consequentemente crítico do ponto de vista do seu destacamento e queda que põe em risco a passagem dos peões. Um outro dano não estrutural potencialmente perigoso foi o destacamento das fachadas ao nível do piso térreo. Em todos os edifícios é comum assistir-se a problemas nas juntas e a fenómenos de "martelamento" local entre corpos, favorecendo a concentração de danos.

Figura 4.18 – Vista geral da entrada para as urgências com danos estruturais na entrada. Hospital San Salvatore di Coppito

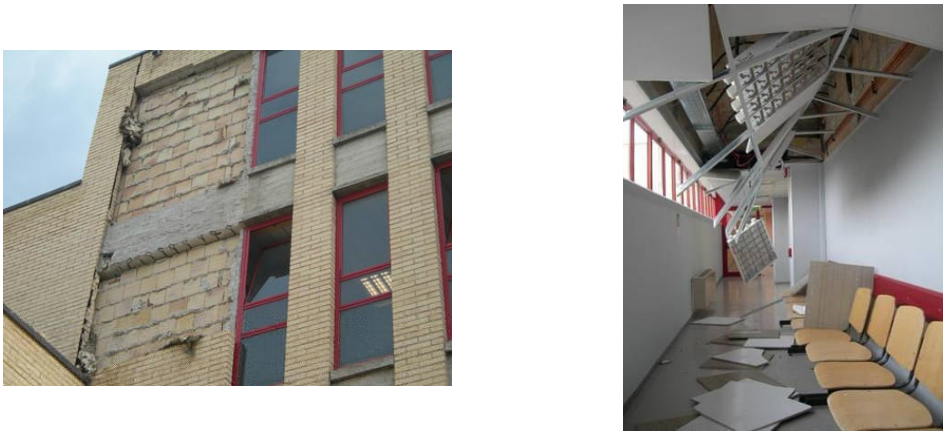


Figura 4.19 – Danos não estruturais no exterior e interior do edifício que inviabilizam sua utilização. Hospital San Salvatore di Coppito
Fonte: http://www.radiocittaperta.it/

Os centros de saúde por sua vez tiveram um melhor comportamento e conseguiram absorver parte da emergência, reduzindo os trabalhos no hospital de campanha instalado nas redondezas do hospital de San Salvatore di Coppito.

A reconstrução do centro histórico não se sabe quando terá início, vive-se um clima de incerteza, uma situação difícil que não encontra respostas para a população. O projecto C.A.S.E.[6], que em 8 meses construiu 4500 apartamentos e custou 665 milhões de Euros (Calvi, 2010) (Figura 4.20 e Quadro 4.2), embora tivesse aparecido como uma solução provisória para o realojamento da população que tinha casas classificadas como E e F e que depois de reconstruídas as casas atingidas pelo sismos passassem a acolher estudantes universitários ou turistas, verifica-se que se tornou numa solução permanente, por tempo definitivo, retirando assim a necessidade imediata de intervir no centro histórico, tardando no encontrar de soluções de reabilitação e, causando certamente a morte de L'Aquila, a fragmentação definitiva.

[6] C.A.S.E. (Complessi Antisismici Sostenibili Ecocompatibili): quarteirões com edifícios-tipo de 25-30 apartamentos, desenvolvidos em três pisos com base 12x48, agrupados em 3, 10 ou 20 edifícios e espalhados pelas fracções de Bazzano, Cese di Preturo, Sant'Antonio, Paganica, Sant'Elia, Tempera, Sassa, Camarda, Civita di Bagno, San Giacomo, Collebrincioni e outras. Nesta operação foram expropriados pelo menos 160 ha do território. (http://www.abitare.it/it/featured/laquila-progetto-case/).

Figura 4.20 – Projecto C.A.S.E. (Complessi Antisismici Sostenibili Ecocompatibili)

Quadro 4.2 – Custo total do projecto C.A.S.E. [Calvi, 2010]

	Total cost (million)	Average cost per building (164,29)	Average cost per house (4084)	Average cost per m² of living area	Weight percentage
Buildings					
Excavations and foundations	€ 122	€ 742.589	€ 29.873	€ 413	18,63%
Seismic isolation	€ 10	€ 60.868	€ 2.449	€ 34	1,53%
Apartments	€ 359	€ 2.185.160	€ 87.904	€ 1.214	54,81%
Total buildings	**€ 491**	**€ 2.988.618**	**€ 120.225**	**€ 1.660**	
Infrastructure and complementary works					
Infrastructure and external works (sustaining walls, drainage, roads, sewage, water adduction, gas and electric energy, etc.)	€ 73	€ 444.336	€ 17.875	€ 247	11,15%
Green and urban landscape	€ 13	€ 79.128	€ 3.183	€ 44	1,98%
Elevators and ramps	€ 12	€ 73.042	€ 2.938	€ 41	1,83%
Furniture, apparels and cleaning	€ 46	€ 279.993	€ 11.263	€ 156	7,02%
General and technical costs	€ 20	€ 121.736	€ 4.897	€ 68	3,05%
Total	**€ 655**	**€ 3.986.853**	**€ 160.382**	**€ 2.215**	**100,00%**

Parametric costs of the whole intervention, based on 164,29 equivalent buildings, v.a.t. not included.

Após um sismo há necessidade de construir novas casas enquanto não se reconstrói o que foi destruído ou quando se decide não reconstruir e mudar de localidade. Essas novas habitações deverão ter sempre em conta os critérios de máxima segurança anti-sísmica, eficiência energética, e enquadramento com o território. O projecto C.A.S.E. propagandeia essa ideia da segurança e da eco-sustentabilidade; efectivamente tem as suas habitações sobre pilares anti-sísmicos e, no que toca à eficiência energética são casas de classe A, bem isoladas e dotadas de painéis solares, com uma qualidade acima da média à dos antigos alojamentos de L'Aquila, porém o 3º critério parece ter sido esquecido; estas novas habitações trouxeram à região um impacto paisagístico, ambiental e social, com total descaracterização do território. Urbanizar com prédios de 3 pisos (+ 1 com os pilares anti-sísmicos) realidades rurais, passar localidades de 400 habitantes para 2000, inevitavelmente põe fim

às tradições e costumes das comunidades, transforma-as de forma irreversível, originando problemas de habitabilidade e até viabilidade. Neste ou noutro qualquer sismo futuro a solução não passa apenas por construir novo e esquecer o antigo, não se pode excluir o tecido social das escolhas como aconteceu em L'Aquila. É preciso que a engenharia e a ciência da construção encontre soluções mais baratas para efectuar a reconstrução com requisitos sísmicos mínimos.

4.5. Sichuan, 12 de Maio 2008

O forte sismo de magnitude 7,9 que teve lugar pelas 14h28 horas locais (06:28:01 UTC) na região de Sichuan, desalojou 5 milhões de pessoas e vitimou mais de 80000. Com uma duração de 105 segundos (Zhao et al., 2010) e intensidade máxima na escala de Mercalli-Sieberg de XI, o epicentro localizou-se na zona sudoeste da China, no condado de Wenchuan, a 92 km da capital de província Chengdu, a uma profundidade focal de 14 km. Foi sentido ao longo dos 230 km da falha em variadas regiões da China e países vizinhos (Hong Kong, Macau, Taiwan, Vietname, Tailândia, Mongólia, Bangladesh, Nepal, Índia, Paquistão e Rússia). A extensão dos danos observados, abrange uma área total equivalente a 61% do território português.

O sismo ocorreu como o resultado do movimento para noroeste da placa tectónica Indiana contra a placa Euro-Asiática cujo movimento se dá a uma velocidade de 50 mm/ano. Esta convergência, ao longo de milhares de anos, deu origem à formação da cordilheira dos Himalaias e montanhas na província de Sichuan (zona B na Figura 4.21), do planalto Tibetano (zona A) e da planície da província de Sichuan (Zona C).

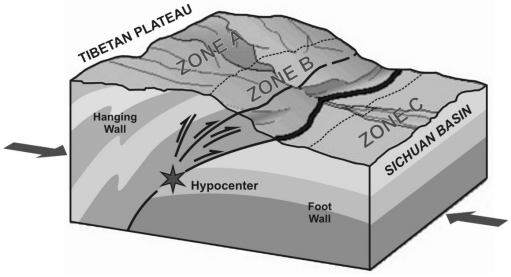


Figura 4.21 – Geração do sismo
Fonte: Costa et al., 2010

Os dados mais relevantes do sismo e suas consequências encontram-se no Quadro 4.3. A informação foi recolhida maioritariamente logo após o evento, sendo de difícil actualização dada a barreira linguística e algumas falhas de informação do próprio governo chinês, como no que se refere ao número total de vítimas.

Quadro 4.3 – Dados do sismo de Sichuan (informação de Agosto 2008)

Variável	Valores
Hora	06:28:01 (UTC)
Duração	90 segundos
Magnitude (M_w)	7,9
Intensidade máxima	XI
Comprimento de ruptura	230 km
Área afectada	440000 km^2 (417 distritos e cidades)
População afectada	45,97 milhões
Mortos	69195 e 18392 pessoas dadas como desaparecidas
Feridos	374177
Desalojados	± 5.000.000
Crianças órfãs	± 5 000
Perdas económicas	USD 146 mil milhões (4% do PIB da China de 2008)
Custo da reconstrução (para as áreas mais afectadas – 51 distritos e cidades)	USD 150 mil milhões
Tempo de reconstrução estimado	3 anos
Cidades mais afastadas que sentiram o sismo (até 2000 km)	Pequim, Hong Kong, Shanghai, Bangkok, Taipé

Outros desastres geológicos foram desencadeados pela acção sísmica, como deslizamentos de terra e rochas, deslizamentos de lamas aquando das primeiras chuvas quatro meses depois do sismo (Figura 4.22), formação de dezenas de lagos; uma série de acidentes que privaram a chegada imediata dos socorros, contribuindo para o avultado número de mortos e feridos verificados. Outro factor que contribuiu para este elevado número de vítimas relaciona-se com o sismo ter ocorrido numa segunda-feira, pouco depois da hora de almoço, quando a população se encontrava nas escolas ou a trabalhar, ocupando edifícios públicos ou de escritórios.

Figura 4.22 – Cidade de Beichuan após o sismo e deslizamentos provocados pelas fortes chuvas de 24 de Setembro de 2008

Fazendo um enquadramento quanto à perigosidade da região, pode-se adiantar que a zona afectada pelo sismo estava classificada, no regulamento de dimensionamento sísmico, como zona de moderada sismicidade, onde se esperaria uma intensidade máxima de VII. De acordo com este grau de sismicidade, os níveis de comportamento que os edifícios estariam preparados, tendo em conta o dimensionamento sísmico, seriam o de "Não colapsar" para uma aceleração base máxima de 0,22 g. No entanto, a intensidade variou entre VIII e X, chegando mesmo a atingir a intensidade XI em Beichuan (acelerações máximas verificadas entre 0,7 e 1 g). Em inúmeras localidades foi possível observar desníveis notáveis ao longo da falha, atingindo movimentos verticais da ordem dos 2 metros em Bailu (Figura 4.23) ou mesmo de 10 metros como sucedeu a NE de Beichuan (Liu-Zeng, 2009).

Figura 4.23 – Escola de Bailu com ruptura superficial da falha: antes (esquerda) e depois (direita)

Este evento superou qualquer estimativa estabelecida no zonamento sísmico chinês, deixando antever os avultados danos na zona afectada. Para além disso, embora bastante montanhosa, a zona afectada pelo sismo apresenta elevada densidade populacional, aumentando assim o risco na área. Quanto aos danos nas construções verificou-se que o comportamento das estruturas em betão armado foi de uma maneira geral mais satisfatório que as estruturas de alvenaria. Porém, observou-se um elevado número de colapsos entre edifícios em betão devido à presença de irregularidade da estrutura em planta e em altura, a erros de concepção (como pilar forte – viga fraca, onde a viga deve ter uma capacidade resistente inferior à do pilar que a suporta) ou, muito frequente, a existência de piso térreo elevado "soft-storey" (Costa et al., 2010), criando fragilidades estruturais acrescidas.

Os equipamentos e infra-estruturas críticas, que por definição devem manter-se operacionais para o socorro, tiveram igualmente comportamentos desajustados. Curiosamente foram precisamente os edifícios públicos que mais colapsaram como escolas, hospitais, lojas ou edifícios de escritórios. As causas que levaram ao colapso de mais de 7000 escolas e à morte de 19000 crianças ficaram a dever-se sobretudo à incorrecta aplicação dos regulamentos sismo-resistentes, à ausência de reforço e má qualidade dos materiais, à construção demasiado rápida, ao suborno, corrupção, incorrecto zonamento sísmico das áreas que ofereciam maior risco sísmico e inadequado coeficiente de importância atribuído aos equipamentos escolares. Na China, a classe de importância dos equipamentos escolares é a 3 (de 1 a 4, sendo 1 a mais importante), estando muito próxima das construções correntes, correspondendo-lhe apenas a acção sísmica de referência (Xiao, 2008).

Na cidade de Beichuan, por exemplo, mais de 1000 alunos morreram após o colapso de dois edifícios de 6-7 pisos da Beichuan High School (Figura 4.24, esquerda).

Figura 4.24 – Escolas de Beichuan, Bailu e Yingxiu
Fonte: Sunliang, Google Earth (esquerda) ; autora (direita)

As zonas que sofreram relativamente poucos danos dentro da província de Sichuan esforçaram-se por receber os alunos cujas escolas tinham sido destruídas ou danificadas. A cidade de Neijiang, da província de Sichuan, permitiu até 28 de Maio de 2008, a entrada de mais de 300 alunos do ensino primário e secundário das regiões afectadas, enquanto outros estudantes foram transferidos para Chengdu, capital da província. Até 26 de Maio, os institutos de ensino superior de Sichuan receberam um total de 28761 estudantes das áreas mais atingidas. Outras províncias e municípios também ofereceram políticas favoráveis aos alunos afectados, como sejam a simplificação do processo de inscrição, a isenção de propinas e apoio financeiro. O município de Chongqing recebeu mais de 1500 alunos até 25 de Maio de 2008 (Costa et al., 2010). Embora tenham sido feitos todos os esforços para não haver uma perturbação muito prolongada no ensino, surgem problemas associados ao voltar "à normalidade" do sistema de ensino e que se prende com a deslocalização e consequente separação das famílias, tendo estes afastamentos consequências muito graves tanto a nível psicológico como no rendimento escolar.

Segundo informações da imprensa chinesa, que nem sempre correspondem à realidade, grande parte do processo de reconstrução foi finalizado em Setembro de 2010, tendo sido no total realizados 108 projectos de reconstrução de larga escala. Já tinham sido construídas 234600 casas, 91% do necessário para o processo de reconstrução. Um dos aspectos importantes a frisar, no processo de reconstrução relaciona-se com a "fuga de dinheiros", a desorganização na distribuição de materiais e projectos e a centralização da grande reconstrução apenas em algumas cidades (como Beichuan, Wenchuan e Dujianguyan), criando cidades muito actuais e avançadas, deixando outras pequenas cidades com os rastos de destruição e sem apoio à população (como Hanwang ou Deyang), em condições mais precárias do que antes do sismo. Dois anos após o evento, grande parte do processo de reconstrução estará quase concluído. A incógnita continua contudo em saber se foi realizado da melhor forma e a abranger toda a população.

4.6. Pisco, 15 de Agosto 2007

Mais de 2/3 dos sismos com elevada magnitude ocorrem na costa oeste da América do Sul. O Peru, que se encontra na fronteira de duas placas tectónicas (Nazca e Sul-Americana) apresenta uma frequente actividade sísmica.

A cidade de Pisco, localizada na região centro-sul do Peru, foi atingida pelo sismo de M_w 8,0 às 18h40 (hora local), causando 519 vítimas, 1366 feridos e a destruição de mais de 60000 casas (Alarcón et al., 2008). O Governo estimou as perdas em 450 milhões de dólares. O epicentro do evento, com uma profundidade focal de 40 km, localizou-se 60 km a oeste da cidade de Pisco e a cerca de 140 km SE da capital do Peru, Lima (Figura 4.25). O evento surge como resultado do processo de subducção da placa de Nazca sob a placa Sul-Americana, provocando uma ruptura de falha de 170 km ao longo da costa. A intensidade máxima foi registada na cidade de Pisco e corresponde a VIII na Escala Modificada de Mercalli (Alarcón et al., 2008). Segundo o relatório do EERI (EERI, 2007) o sismo teve a duração de aproximadamente 100 segundos, sendo seguido de um tsunami.

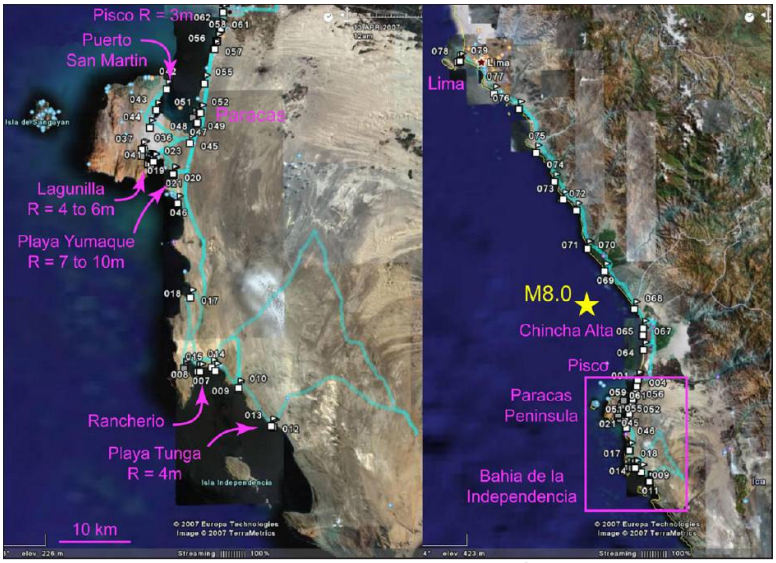


Figura 4.25 – Mapa com a localização do epicentro, principais áreas afectadas e altura do *runup*[7] *(R)*
Fonte: EERI Special Earthquake Report, 2007

Em Lima, a 140 km do epicentro, o sismo foi sentido; em várias zonas da cidade a electricidade faltou por algumas horas. Registaram-se também mais de 100 incêndios na capital. Os riscos colaterais associados a este evento foram a vários níveis:

[7] Altura máxima alcançada pela onda quando alcança a costa.

- registou-se um número considerável de casos de liquefacção que causaram diversos danos nas áreas urbanas, através de rupturas nas redes de águas e saneamento e nas infra-estruturas de transporte rodoviário e portuário (nas localidades de El Callao e San Martín);

- foram observados vários deslizamentos, um dos quais responsável pelo fecho da auto-estrada 24A durante 3 dias e por fim,

- um tsunami na Península de Paracas que afectou várias localidades costeiras como ilustra a Figura 4.25, causando perdas importantes nas infra-estruturas hoteleira, pesqueira e urbana.

Apesar do alerta de tsunami dado à Guarda Costeira que conseguiu, nos 10-20 minutos entre o sismo e o tsunami, evacuar grande parte das vilas piscatórias, na zona de Lagunilla os alertas não chegaram, destruindo esta localidade. Embora os habitantes tivessem sentido o sismo, como desconheciam o risco de tsunami, não estavam preparados para uma auto-evacuação (EERI, 2007). Nesta localidade alguns lobos-marinhos foram transportados pela maré até 1,5 km terra adentro. La Catedrál e La Bóveda, estruturas naturais construídas pela erosão eólica e que faziam parte da Reserva Natural de Paracas, foram igualmente destruídas.

Também os impactos ambientais são de realçar neste evento, encontraram-se resíduos hospitalares em aterros a céu aberto, resultando na contaminação de solos, águas e ar. No hospital de Pisco, que foi severamente danificado, encontravam-se resíduos hospitalares misturados com resíduos normais. Nas áreas afectadas, a gestão dos resíduos era já um problema crónico, o sismo veio agravá-los; na maioria das localidades os resíduos e os escombros foram depositados em estradas, praias e áreas de protecção (Figura 4.26) (UNEP/PCHA, 2007).

Figura 4.26 – Depósitos de escombros em Pisco
Fonte : UNEP/OCHA, 2007

No que se refere aos danos do parque habitacional, registaram-se as maiores perdas nas construções em alvenaria de adobe – prática construtiva corrente no Peru, por ser mais acessível financeiramente. As técnicas construtivas pobres e a duração do evento contribuíram para o elevado número de colapsos nestas construções (Figura 4.27).

Figura 4.27 – Exemplos de danos em estruturas de betão e alvenaria
Fonte: Portocarrero, n.d.

As autoridades reportaram que 80% da cidade de Pisco ficou destruída, incluindo a igreja de San Clemente (Figura 4.28), na qual uma missa estava a ser celebrada na altura do sismo, tendo-se contabilizado 127 mortes.

Figura 4.28 – Igreja de San Clemente de Pisco antes e depois do sismo
Fonte:Castillo, 2009

Na cidade de Ica, a igreja del Señor de Luren foi parcialmente destruída, ocasionando vítimas mortais que se encontravam na celebração eclesiástica (Figura 4.29).

Figura 4.29 – Igreja del Señor de Luren
Fonte: Perú: Patrimonio y Sitios, 2008

Em comparação com o número de casas colapsadas e população afectada (200000) o número de mortos foi relativamente baixo; isto deveu-se à conjugação de três factores:

- a longa duração do evento que permitiu à população escapar dos locais onde se encontravam (recorde-se que a população está habituada a reagir quando sente um sismo, correndo para fora das casas (EERI, 2007));

- a maior parte das casas são de adobe com um piso e materiais leves na cobertura e;

- a hora do evento (18h40), altura do dia em que as pessoas estão fora de casa, à excepção dos que participavam em actos religiosos.

Dois meses após o evento a Protecção Civil Peruana revela os números dos levantamentos de danos efectuados na região. Contam-se com 60519 casas destruídas, 780 escolas danificadas de entre as quais 50 parcialmente colapsadas - provocando a interrupção do ensino a mais de 220000 crianças - e 103 hospitais afectados pelo sismo. Dois anos após o evento das 780 escolas afectadas, apenas 14% foram reconstruídas e mais de 3000 estudantes de Pisco continuam a estudar em módulos pré-fabricados, instalados junto às escolas danificadas, o que causa algum receio quanto à segurança das crianças nesses locais (Happy Hearts Fund, n.d.).

Sendo o Peru uma zona de elevada actividade sísmica, as normas construtivas têm sofrido constantes actualizações desde a primeira publicada em 1971. Em 1997, o regulamento nacional sismo-resistente foi alterado e mais tarde, em 2003, saiu a última versão intitulada "National Technical Standard NTE. E30. Earthquake Resistant Design". As recomendações de projecto, existentes no regulamento de 1997, parece terem tido bastante sucesso, no que respeita à resposta dos edifícios construídos seguindo os novos padrões, possibilitando uma boa resposta às vibrações - com danos ligeiros ou sem danos - para as zonas afectadas pelos sismos de 2001 e 2007 (Figura 4.30, direita e Figura 4.31).

Figura 4.30 – Hospital San Juan de Dios, Pisco. Esquerda: pavilhões antigos, Direita: novo pavilhão projectado segundo os novos requisitos sísmicos de 2003
Fonte: Esquerda: Portocarrero, n.d.; Direita: Pique e Salinas, 2008

Figura 4.31 – Escola em Pisco sem danos construída de acordo com o Regulamento de 2003
Fonte: Pique e Salinas, 2008

Na resposta à emergência, verificou-se que a maior parte da atenção estava focada para as grandes cidades (Ica, Pisco e Chincha Alta), enquanto áreas rurais e remotas, especialmente as localizadas ao longo dos vales da Cordilheira dos Andes, foram confrontadas com atrasos na chegada do socorro. Verificou-se também que como o processo de reconstrução, liderado por instituições governamentais, não tinha início imediato, parte da população afectada das áreas rurais, devido ao alto nível de pobreza em que vivem, começaram a sua reconstrução, sem a assistência técnica, reutilizando os tijolos de adobe que tinham caído. Tem-se assim uma reconstrução assente em técnicas tradicionais, restabelecendo-se o mesmo nível de risco elevado que existia antes do evento (Alarcón et al., 2008).

4.7. Kashmir, 8 de Outubro 2005

Às 8h50 (hora local) um sismo de magnitude M_W 7,6 e profundidade focal de 26 km causou grande destruição na região de Kashmir entre a Índia e o Paquistão. A falha Balakot-Bagh rompeu 90 km (Figura 4.32), causando 87350 mortos, 200000 feridos e 2,8 milhões de desalojados. As intensidades máximas registaram-se nas cidades de Muzaffarabad (IX-X na escala de Mercalli) e de Balakot (intensidade máxima de X). Trata-se de uma região de elevada sismicidade, pela placa Euro-Asiática colidir com a Indiana, sendo esta instabilidade responsável por grandes sismos no passado.

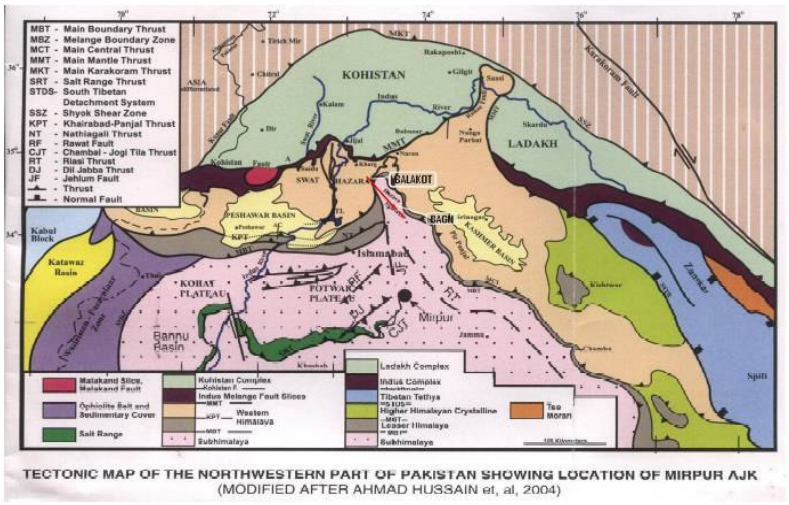


Figura 4.32 – Tectónica do noroeste do Paquistão, localização e extensão da ruptura da falha
Fonte: EERI Special Earthquake Report, 2006

Os custos directos, não contabilizando a interrupção das actividades económicas, como o emprego e a perda de trocas comercias com o Paquistão, foram estimados em 5 biliões de dólares (ADB-WB, 2005).

Cerca de 60% do edificado da área afectada ficou completamente destruído ou severamente danificado; questões relacionadas com má qualidade construtiva, falta de detalhe e de capacidade sismo-resistente estão na origem dos danos observados. Note-se que os materiais predominantes para a construção, principalmente nas áreas rurais, são fundamentalmente a pedra irregular e o barro

ou os blocos de alvenaria com pavimento de betão, ambos de fraca resistência. Também nas cidades os danos foram extensos. Em Muzaffarabad cidade localizada em vale aluvionar, por exemplo, o mau comportamento das estruturas está relacionado com violações dos princípios básicos de projecto, como falta de continuidade estrutural, betão de fraca qualidade e existência de "soft-storeys", originando os habituais colapsos ao nível dos pisos térreos.

Estradas e pontes foram igualmente afectadas, principalmente em zonas montanhosas devido aos extensos deslizamentos que ocorreram ao longo da ruptura da falha. Os danos em pontes corresponderam essencialmente ao movimento dos apoios dos tabuleiros (Figura 4.33), a problemas nas juntas de dilatação e ao colapso de uma ponte suspensa devido ao deslizamento de terras registado (Figura 4.34). Três meses após o sismo eram muitas as estradas que se encontravam encerradas, afectando não só as povoações atingidas pelo sismo mas também outras que sofreram indirectamente.

Figura 4.33 – Ponte Balakot sobre o rio Khunar, deslocamento de tabuleiro
Fonte: MAE Center, 2005

Figura 4.34 – Colapso de ponte suspensa a norte de Muzaffarabad devido ao deslizamento
Fonte: MAE Center, 2005

Relativamente aos equipamentos públicos necessários na resposta à emergência, a maior parte dos hospitais e centros de saúde, localizados perto do epicentro, foram também destruídos ou severamente danificados (574 no total). Registaram-se igualmente problemas na rede eléctrica, água (30%-40% de danos) e nas telecomunicações (40%) durante meses (ADB- WB, 2005).

Aproximadamente 7500 edifícios escolares, do nível primário ao superior, sofreram danos graves ou colapso, totalizando 65% das escolas da região. Pelo menos 18095 estudantes e 853 professores e auxiliares perderam a vida, outros 50000 ficaram feridos e perto de 300000 estudantes foram obrigados a interromper os estudos durante algum tempo (EERI, 2006) - a maior parte dos estudantes e professores foram deslocados para outras escolas, longe da região, por exemplo para Islamadab a mais de 100 km. A morte dos professores não representa apenas perda no corpo docente, mas também uma perda do investimento público, através da formação de professores.

Note-se que a maior parte dos edifícios escolares que apresentaram problemas tinham sido construídos pelo Estado e revelaram má qualidade construtiva e/ou falta de regulamentação anti-sísmica. Os danos nos equipamentos de ensino estimaram-se em 335 milhões de dólares (ADB-WB, 2005). O Quadro 4.4 mostra o número de escolas destruídas na área afectada, resultado do estudo efectuado por um militar paquistanês (Wisner, 2006).

Quadro 4.4 – Perdas dos equipamentos de ensino com o sismo de Kashmir

Nível de ensino	N.º escolas antes do sismo	N.º escolas destruídas após o sismo
Escolas primárias	7314	4599 (63%)
Escolas 2º ciclo	1250	826 (66%)
Escolas 3º ciclo	618	537 (87%)
Colégios universitários	99	98 (99%)
Universidades	1	1 (100%)

Os danos na saúde pública foram estimados pelo Banco Mundial em 120 milhões de dólares. O impacto do sismo incluiu graves danos às infra-estruturas do sistema de saúde, com 574 unidades de saúde, total ou parcialmente danificadas. Quase 75% das instalações de cuidados de primeiro nível, ficaram totalmente danificadas ou sofreram danos parciais. Os cinco hospitais distritais foram completamente destruídos. Para além dos equipamentos de saúde, o mobiliário, equipamento técnico, medicamentos e laboratórios foram totalmente destruídos, registando-se uma interrupção total na provisão de serviços básicos e complementares de saúde. A reconstrução e recuperação ficaram estimadas em 303 milhões de dólares (MAE Center, 2005). Segundo estudo do Banco Mundial, os custos ligados à recuperação, apoio às vítimas e reconstrução poderão ascender a 5,2 biliões de dólares (ADB-WB, 2005). A maior parte deste montante será distribuído para a reconstrução de propriedades privadas, sector de transportes e para a educação.

4.8. Sumatra, 26 de Dezembro 2004

Na manhã de Domingo de 26 de Dezembro de 2004, um sismo de magnitude M_W 9,3 - o segundo maior sismo de que há registo instrumental, a seguir ao sismo do Chile em 1960 de M_W 9,5 - com epicentro na costa norte de Sumatra, do arquipélago da Indonésia, resultou num tsunami que devastou a província de Aceh.

O sismo ocorreu na fronteira das placas da Índia e da Birmânia (zona de subducção), gerando uma

ruptura, jamais observada, ao longo da falha com valores na ordem dos 1200 – 1300 km, desde Sumatra até às ilhas Andaman (Figura 4.35), e com uma duração de 10 minutos. Da elevada magnitude do sismo é provável que o deslizamento médio no plano de falha tenha sido da ordem dos 15 m.

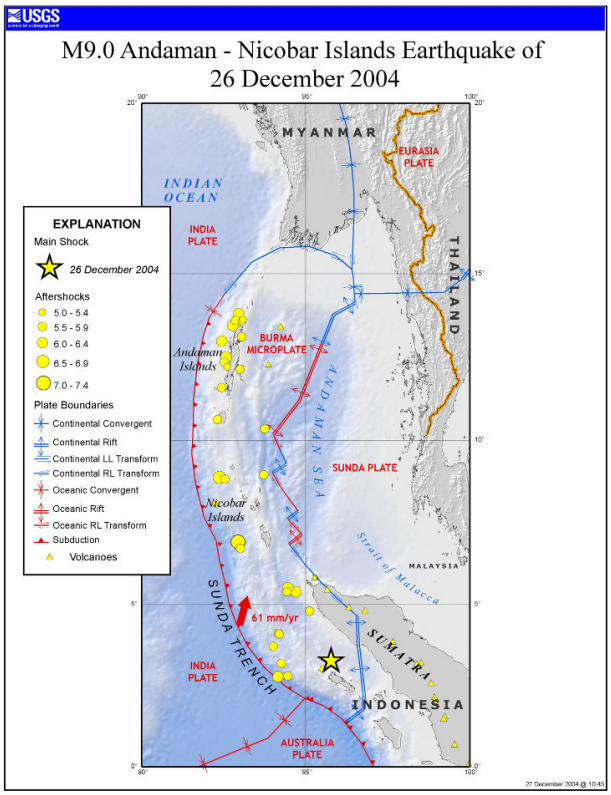


Figura 4.35 – Ruptura da falha e localização das placas da Índia e micro-placa da Birmânia (ou Burma)
Fonte: USGS

O abalo ocorreu pelas 8h da manhã, momento em que terminava uma prova de maratona em Banda Aceh com 10000 participantes, às 8h15 a primeira onda do tsunami atinge a costa de Banda Aceh, às 8h42 uma segunda onda, mais violenta, varreu a zona costeira, causando destruição e apanhando as pessoas que tentavam fugir para zonas elevadas (Figura 4.36). Poucas horas depois o tsunami devastou a costa este da Tailândia, bem como o Sri Lanka, Índia e a costa oeste das Maldivas (EERI, 2005).

Figura 4.36 – Imagens de satélite mostram a costa de Banda Aceh antes (esquerda) e depois do tsunami (direita)
Fonte : UNEP, 2004

Pelo menos 654 aldeias foram destruídas ou muito danificadas e 1,9 milhões de pessoas desalojadas. O número de vítimas ultrapassou as 300000, distribuídas conforme ilustra a Figura 4.37. Aparte o número de vítimas, este tsunami, marca o novo milénio de forma surpreendente; primeiro por ter tido verdadeiramente um impacto global a nível de perdas de vidas, destruição de bens e interrupção do quotidiano numa dezena de países (principalmente na Indonésia, Sri Lanka e Índia) de dois continentes distintos; segundo como fenómeno geológico que foi e por último, por se terem gerado vários movimentos de solidariedade, apoio, logística e ajuda internacional a todos os países afectados – de dimensão até então incomparável.

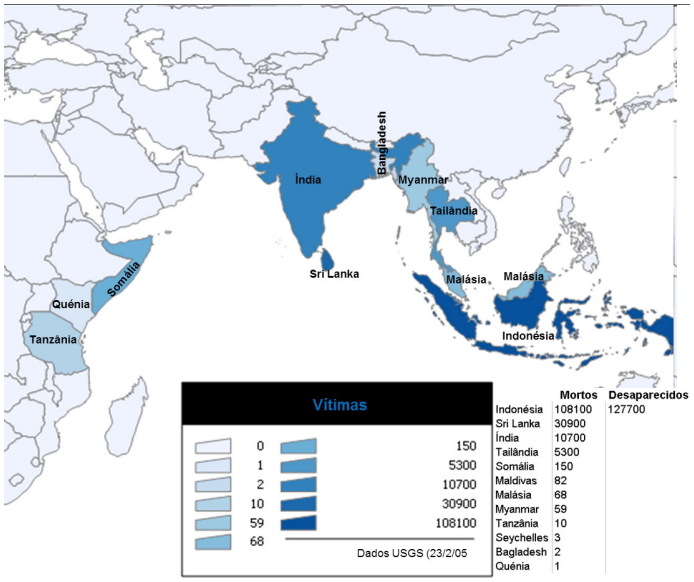


Figura 4.37 – Distribuição das vítimas por país (dados de 23 de Fevereiro de 2005)
Fonte: Adaptado de EERI, n.d.

De acordo com o estudo desenvolvido pela equipa de Takahashi (Takahashi et al., 2007) baseado nas marcas das ondas sobre as estruturas remanescentes, há evidências de quatro características específicas das ondas de tsunami (Figura 4.38). A primeira característica prende-se com os fluxos de *runup* que causaram mais danos do que o próprio recuo das águas, que deixaram pouca evidência. A segunda é baseada no *runup* principal do Estreito de Benggala, no qual um tsunami de nove metros avançou pelo estuário do rio Lhobi atingindo a área de Ulee Lheue, e causando uma inundação numa extensão de 2-3 km, deixando vestígios até aos 4-5 km. A terceira característica prende-se com a facilidade com que o tsunami avançou longas distâncias, numa extensão que vai até 8 km, no rio Aceh e a quarta característica refere a colisão de água existente na parte ocidental da planície de Aceh com outro tsunami, atingindo a costa oeste da Lho'nga (Figura 4.39).

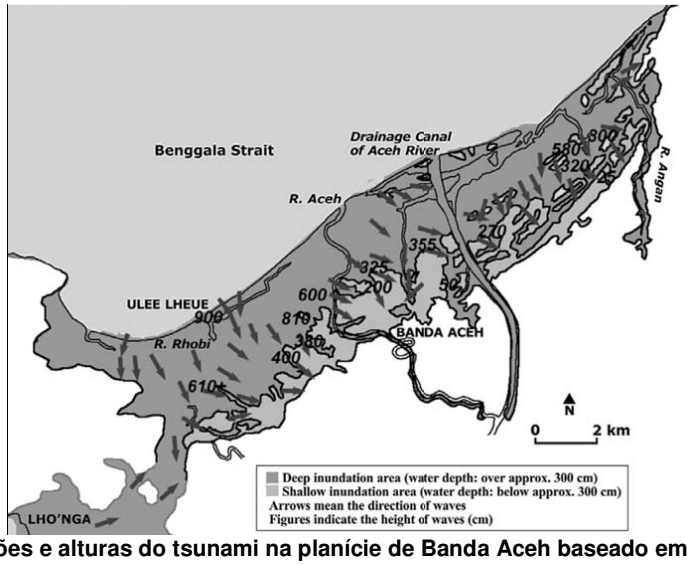


Figura 4.38 – Direcções e alturas do tsunami na planície de Banda Aceh baseado em trabalhos de campo de Takahashi (2007)

Figura 4.39 – Destruição do tsunami em Lho'nga
Fonte: Earth Observatory

Embora a violência, altura e propagação do tsunami, tenha sido obra da natureza, não há dúvida de que o grande número de perdas de vidas humanas foi em parte resultado do progresso; da cruel destruição das defesas naturais, como florestas de corais e mangais, da construção de hotéis e vilas à beira-mar, violando claramente a legislação sobre conservação costeira e da inexistência de estruturas resistentes aos sismos e tsunamis.

Os vários relatórios produzidos por diversos investigadores e entidades apontam os principais problemas (Spence e Pomonis, 2005 e EERI, 2006):

- os edifícios em betão armado com dois ou mais pisos tiveram melhor comportamento que os edifícios em alvenaria; o embate das ondas nos painéis de fachada foi destrutivo para as construções em alvenaria, e menos destrutivo para a maior parte das estruturas em betão armado. As causas de colapso destas últimas estão associadas à qualidade construtiva mais pobre, corrosão dos materiais ou a falta de detalhe sismo-resistente;

- as estruturas em madeira ficaram gravemente danificadas, devido à falta de fundações resistentes e poucas ligações.

Tendo sido este, um desastre que atingiu vários países não foi possível recolher todos os dados dispersos e relatar com pormenor o que se passou nos vários locais. Relativamente aos equipamentos escolares, sabe-se que pelo menos 750 escolas ficaram destruídas e 2135 danificadas, privando o ensino a 150000 crianças em Sumatra. No Sri Lanka 51 escolas colapsaram, 44 nas Maldivas e 30 na Tailândia (Global Education, 2009a).

Um inquérito desenvolvido em Banda Aceh e áreas envolventes pela *Japan National Team of Tsunami and Earthquake Researchers* obteve, como esperado, uma conclusão pertinente "o número

de vítimas do tsunami poderia ter sido reduzido se a população tivesse fugido logo após o sismo" (Iemura et al., 2005); o que vem reforçar que a magnitude destas perdas está associada não só à altura do tsunami mas à falta de informação e educação, à falta de noção a que " a seguir a um sismo, é provável que ocorra um tsunami" em zonas costeiras. Uma cultura de risco bem como a existência de estruturas verticais de evacuação e sistemas de alerta, ou de estruturas resistentes aos sismos e tsunamis são factores importantes para proteger as pessoas dos próximos sismos e tsunamis.

4.9. Bam, 26 de Dezembro 2003

Na madrugada de 26 de Dezembro de 2003 (5h26 hora local) o sismo de magnitude M_W 6,5 com duração de 8 segundos, destruiu num raio de 20-30 km as cidades de Bam e Barvat no Irão, registando-se intensidades máximas de X (Eshghi e Zare, 2003). Em termos tectónicos, este sismo foi resultado das tensões entre as placas Arábica, Euro-Asiática e da Índia. Na realidade a placa Arábica está a afundar-se na Euro-Asiática a uma velocidade de 3 cm/ano, criando uma deformação na crosta terrestre que atinge uma extensão de 1000 km e, consequentemente responsável pela actividade sísmica da região. O epicentro com uma profundidade focal de 10 km localizou-se a 185 km SE de Kerman (USGS, 2003) (Figura 4.40).

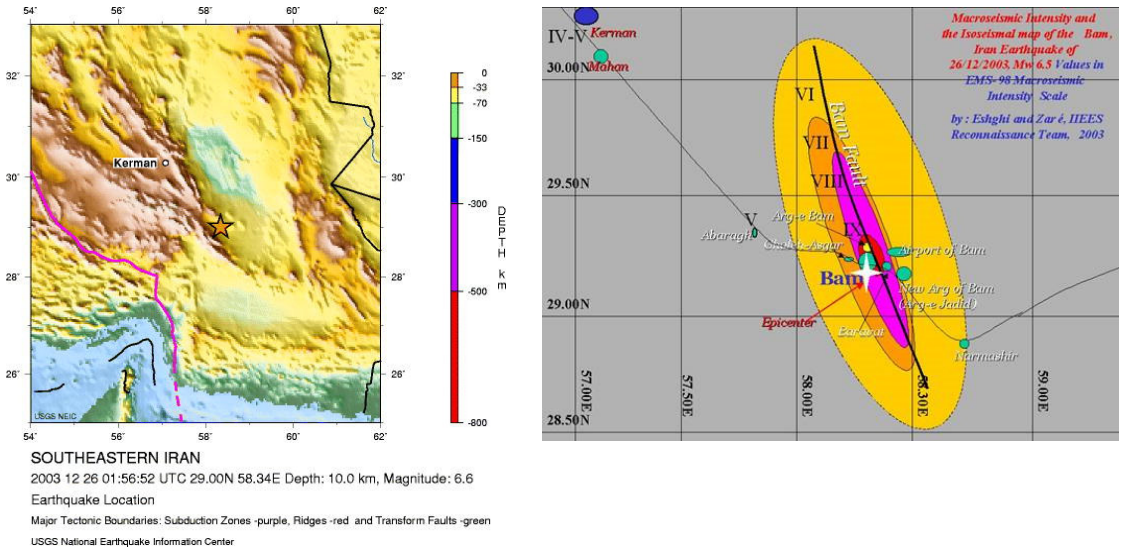


Figura 4.40 – Localização do epicentro (esquerda) e intensidades máximas registadas (direita)
Fonte: USGS e International Institute of Earthquake Engineering and Seismology

O evento principal foi precedido por outro 53 minutos antes, suficientemente forte para que algumas pessoas se assustassem e tivessem tempo de fugir para fora de casa (Manafpour, 2008).

A cidade de Bam antes do sismo era constituída por 62364 imóveis, dos quais 34531 tinham função habitacional. A maior parte destas construções eram de adobe (53,2%), 40,6% de betão armado, a alvenaria e madeira representavam 1,9% e construções só em tijolo eram 3,5%. Cerca de 84% dos

edifícios foram construídos antes da aplicação dos códigos sismo-resistentes no Irão (1991). Assim, a maior parte dos edifícios antigos desabaram durante o abalo, bem como algumas das estruturas novas construídas após a implementação do código, devido à falta de aplicação eficaz do mesmo (Ghafory-Ashtiany e Hosseini, 2007). Estimou-se que 80% dos edifícios foram totalmente destruídos e 17% apresentaram danos severos, provocando o desalojamento a 65000 pessoas. O número de vítimas rondou as 31000 (entre estas 10000 crianças e 1000 professores que se encontravam dentro de casa) e os feridos 20000.

Arg-e-Bam localizada em Bam, província de Kerman, era a maior e mais antiga cidade do mundo construída em adobe, classificada Património Mundial pela UNESCO. Esta enorme Cidadela com mais de 2000 anos e desabitada há 180, era a principal atracção turística do SE Iraniano. Na manhã do sismo, Arg-e-Bam sofreu uma quase completa devastação (Figura 4.41). Danos graves foram também observados fora da Cidadela, nas zonas de expansão da cidade de Bam (a SE), que por sua vez correspondiam à parte mais densamente povoada da mesma.

Figura 4.41 – Parte de Arg-e-Bam antes e depois do sismo
Fonte: Arg-e-bam, n.d.

Os impactos na vivência urbana foram consideráveis como sejam danos em estradas, pontes, caminhos-de-ferro e no aeroporto. Embora o aeroporto tenha ficado inoperacional, algumas horas devido a danos na torre de controlo, teve um papel importante no resgate e operações de socorro. A maioria das ruas ficou bloqueada com os destroços dos edifícios danificados, atrasando e dificultando as operações de busca e salvamento. Em termos de telecomunicações, redes de electricidade e de sistema de distribuição de água os danos também interferiram com o quotidiano da população. Relativamente aos equipamentos de ensino 67 das 131 escolas existentes colapsaram e as restantes sofreram graves danos afectando o ensino a 32000 crianças (Ghafory-Ashtiany e Hosseini, 2007). A reconstrução das novas escolas ronda os 4 biliões de dólares e teve o seu terminus no final de 2010.

O sismo potenciou também fenómenos geotécnicos como deslizamentos, liquefacção e subsidência. O fenómeno de subsidência com maior expressão verificou-se ao longo do sistema de irrigação tradicional Qanat (Figura 4.42) cujas paredes interiores colapsaram, induzindo à formação de

sumidouros (*sinkholes*) (Figura 4.43), que causaram sérios problemas nas estruturas e infra-estruturas que se localizavam perto deste canal.

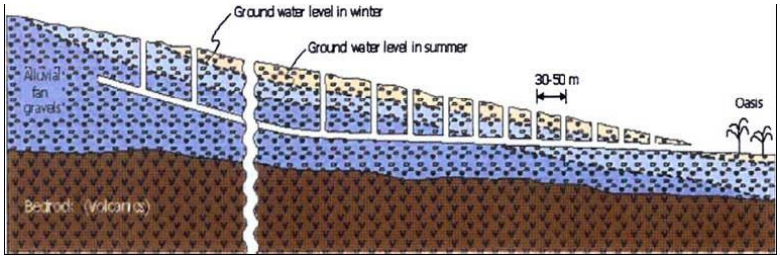


Figura 4.42 – Esquema do sistema de canais Qanat
Fonte: Rayhani e El Naggar, 2006

Figura 4.43 – Fenómeno de subsidência com formação de *sinkholes* devido ao colapso do canal de irrigação Qanat a oeste de Baravat
Fonte: IIEES, 2004

A experiência do sismo de Bam destaca as causas e os problemas ocorridos na preparação para o desastre e nas práticas construtivas existentes, em tudo semelhante ao que se assiste em outros sismos, noutras partes do globo. Os principais problemas que se apontam para o futuro são aqui resumidos (Manafpour, 2008):

- edifícios tradicionais em alvenaria de tijolo: a maioria destes edifícios ficou completamente destruída e um número considerável de edifícios com estas características existem por toda a região, particularmente nas aldeias, e não irão resistir a um futuro sismo de magnitude similar. Um programa de redução dos riscos é urgente para estas tipologias;

- os edifícios em alvenaria ou uma combinação de alvenaria-betão armado, foram construídos sem quaisquer considerações específicas anti-sísmicas: por todo o país encontram-se edifícios desta tipologia - altamente vulneráveis aos fenómenos sísmicos. Um activo programa de reforço e estratégia de renovação deve ser formulado;

- apesar de existirem regulamentos para a construção em zonas sísmicas desde 1967, a sua implementação é uma questão importante a repensar e, nesse sentido exige um conhecimento eficaz dos profissionais da construção, é também essencial o fornecimento de orientações adicionais para a

aplicação do regulamento e um controle efectivo nas obras;

- falta de mão-de-obra qualificada na construção: a maioria das pessoas que trabalham na indústria da construção é não licenciada e não qualificada. Isso resulta na produção de materiais e construção que não cumprem o exigível. Um processo deve ser implementado para treinar e licenciar os profissionais da construção.

4.10. Bingöl, 1 de Maio 2003

A província de Bingöl (localizada a sul da cadeia montanhosa da Anatólia, na parte este da Turquia) na madrugada de 1 de Maio de 2003 (03h27 hora local) foi atingida por um sismo de moderada magnitude, M_W 6,4, que ocorreu a uma profundidade de 10 km com uma ruptura da falha que se estimou em 20 km (KOERI, 2003a). A tectónica da região é controlada pela colisão das placas Arábica com a Euro-Asiática, estando a Turquia localizada na Microplaca da Anatólia que se encontra "comprimida" para oeste. A norte desta Microplaca, estende-se a Falha Norte da Anatólia (sigla em inglês, NAF) ao longo de 1500 km e na parte leste, a Falha Este da Anatólia (sigla em inglês, EAF) numa extensão de 550 km (Figura 4.44). O sismo ocorreu quase no fim da EAF, na parte leste. A análise dos registos das réplicas permitiu indicar que a ruptura não se deu ao longo da EAF, mas na direcção NW-SE (EEFIT, 2003).

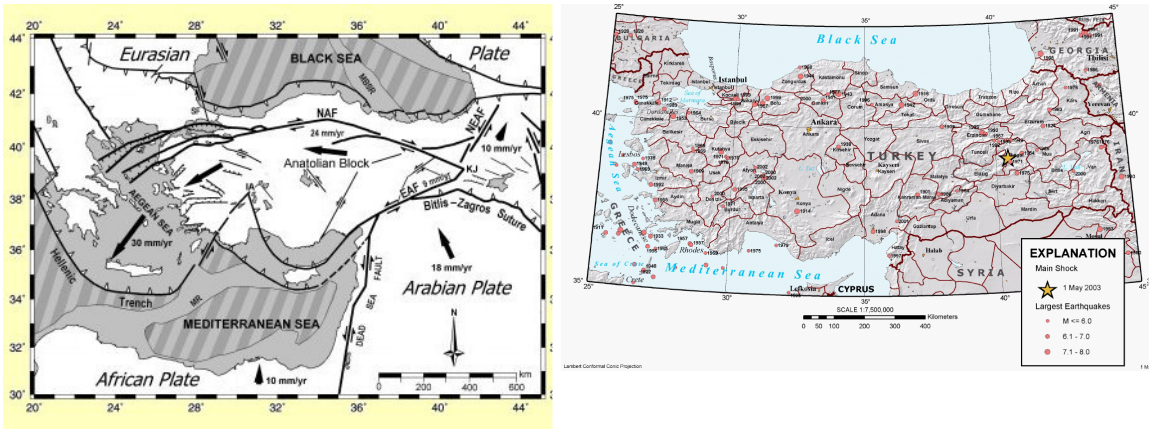


Figura 4.44 – Tectónica da região (esquerda) e localização do epicentro (direita)
Fonte: KOERI, 2003a e USGS, 2003

No total foram reportadas 177 vítimas e 530 feridos. No entanto, o evento será para sempre recordado pela trágica ocorrência em Çeltiksuyu, onde o colapso de um dormitório matou 84 crianças.

A província de Bingöl é uma das menos povoadas e mais pobres da Turquia, predominando a actividade agrícola. A capital da província, Bingöl é uma pequena cidade mais desenvolvida e industrializada que o resto da província. Na parte antiga da cidade (SW) predominam os edifícios de alvenaria com 1-2 pisos, onde se incluem as *himis*, uma tipologia tradicional composta por edifícios com estrutura de madeira e paredes em adobe (Figura 4.45). A maioria das construções *himis* tiveram sérios danos, tendo algumas sofrido colapso total. A razão encontra-se no frágil comportamento que

a estrutura apresenta e na falta de ligações suficientemente fortes dos panos de alvenaria à estrutura confinante, tornando impossível resistir a forças laterais e causando o colapso. Foram assim observados colapsos fora-do-plano neste tipo de alvenaria.

Figura 4.45 – *Himis*, construção tradicional na Turquia
Fonte: Gülkan e Langenbach, 2004

Na parte norte da cidade, que começou a crescer após o sismo de 1971, concentram-se as construções em betão armado. A concentração de danos é visível em ambas as partes da cidade, sendo as zona mais afectadas as áreas de Saray, Inönü, Yen, e Yenişehir (onde se encontravam as construções em betão armado). Edifícios e estruturas construídas em depósitos aluvionares ficaram gravemente danificadas ou colapsaram e as que se encontravam em terrenos firmes ou rocha praticamente não sofreram danos. Um dos pontos a enfatizar neste sismo foi o mau comportamento apresentado pela maior parte dos edifícios públicos de betão armado (escolas, dormitórios, edifícios governamentais e da polícia), o qual inclui o já mencionado dormitório escolar em Çeltiksuyu (Figura 4.46). A maior parte dos edifícios escolares construídos depois de 1998 (data da introdução do novo regulamento sismo-resistente) colapsou ou sofreu sérios danos, devido ao incumprimento da legislação (Kaplan, 2004), efeitos de sítio e má qualidade dos materiais de construção.

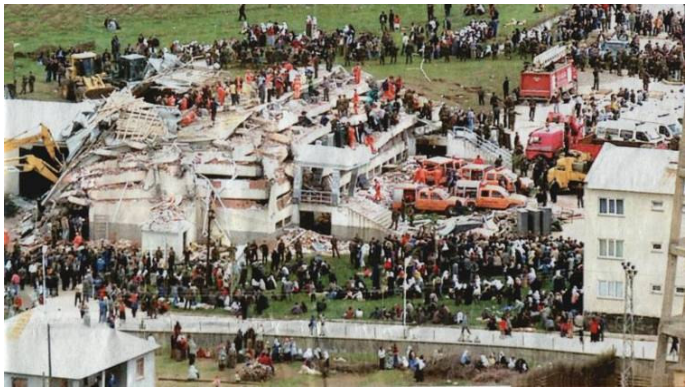


Figura 4.46 – Colapso do dormitório em Çeltiksuyu
Fonte: KOERI, 2003b

Entre os edifícios de betão armado danificados observou-se que os problemas mais frequentes prendem-se com falhas na pormenorização de alguns elementos estruturais, com quantidades insuficientes de armadura transversal junto aos pilares, vigas e na união pilar-viga e falta de reforço. A fraca qualidade do betão também está na origem dos danos (Erdik et al., 2003).

Relativamente ao comportamento das infra-estruturas rodoviárias, em geral assistiu-se a uma boa resposta ao nível das pontes, com excepção de alguns casos de danos ligeiros em pontes de viadutos perto de Bingöl. As barragens existentes na região não sofreram danos importantes (facilmente reparáveis), o que fez com que a região ficasse sem electricidade apenas por um curto período. Segundo o relatório da Japan Society of Civil Engineerings (Aydan et al., 2003), não houve danos significativos na rede eléctrica, a nível de estações ou sub-estações, apenas alguns deslocamentos dos transformadores (Figura 4.47). A electricidade foi sendo assim reposta gradualmente, a fim de prevenir incêndios e outros acidentes causados por curto-circuitos.

Figura 4.47 – Ligeiro deslocamento do transformador
Fonte: Aydan et al., 2003

No sistema de telecomunicações registaram-se danos ligeiros no edifício da TURK-TELECOM, devido à sua fraca qualidade construtiva, não afectando o sistema em si. Os telefones quase não tiveram interrupções, excepção para as áreas severamente afectadas, repondo-se rapidamente o seu funcionamento. Já as condutas de abastecimento público de água ficaram um pouco danificadas na

cidade, particularmente as de amianto/fibrocimento, sofreram danos nas zonas de junção, consequentemente as zonas mais frágeis. O sistema de esgotos em Bingöl também ficou pouco danificado, observando-se alguns problemas nalgumas condutas nas zonas onde ligam com os edifícios.

Para além dos danos estruturais, fenómenos de liquefacção, deslizamentos e queda de blocos foram reportados um pouco por toda a área afectada.

4.11. Boumerdès, 21 de Maio 2003

Historicamente a Argélia tem sofrido o impacto de grandes terramotos, como o de 1756 que causou 20000 mortos ou o sismo de El Asnam em 1980 que vitimou cerca de 2500 pessoas e destruiu 25000 casas (Ambraseys, 1981). Trata-se de uma região de elevada sismicidade dada a sua localização na zona de fronteira entre as placas Africana e Euro-Asiática e com grande risco sísmico, causado pelo rápido crescimento das cidades, que se verificou após a independência em 1962 principalmente em Argel. Assim, desde a década de 70 que se assiste a uma construção rápida, incontrolada, muitas vezes ilegal e não acompanhada por regulamentação e/ou fiscalização – está-se perante um problema comum das *megacities*. As estatísticas apontam que mais de 50% da construção nas cidades metropolitanas da Argélia não é licenciada.

Aqui, tal como nos outros países supracitados, os sismos do passado pouco contribuíram para a prevenção e mitigação. Em consequência, em 2003 o sismo de magnitude M_W 6,8 causa mais uma vez avultadas perdas humanas e económicas ao país. Sentido a 250 km do epicentro, com uma intensidade máxima de IX (escala MSK), o número de desalojados ascendeu a 150000, as vítimas 2266 e os feridos 10261 (Bendimerad, 2004). Cerca de 2,3 milhões de pessoas foram afectadas pelos danos causados pelo abalo que ocorreu às 17h44 (hora local) na província de Boumerdès, a 50 km a este da capital Argel.

O sismo gerou um pequeno tsunami, com ondas entre 1-3 m nas ilhas Baleares (Espanha) registando-se alguns danos em embarcações. A ondulação foi igualmente sentida em Génova (Itália) e Nice (França). Assentamentos induzidos devido à ocorrência de liquefacção foram observados ao longo da costa (Figura 4.48), causando danos importantes nas infra-estruturas rodoviárias e pontes (Laouami, 2003).

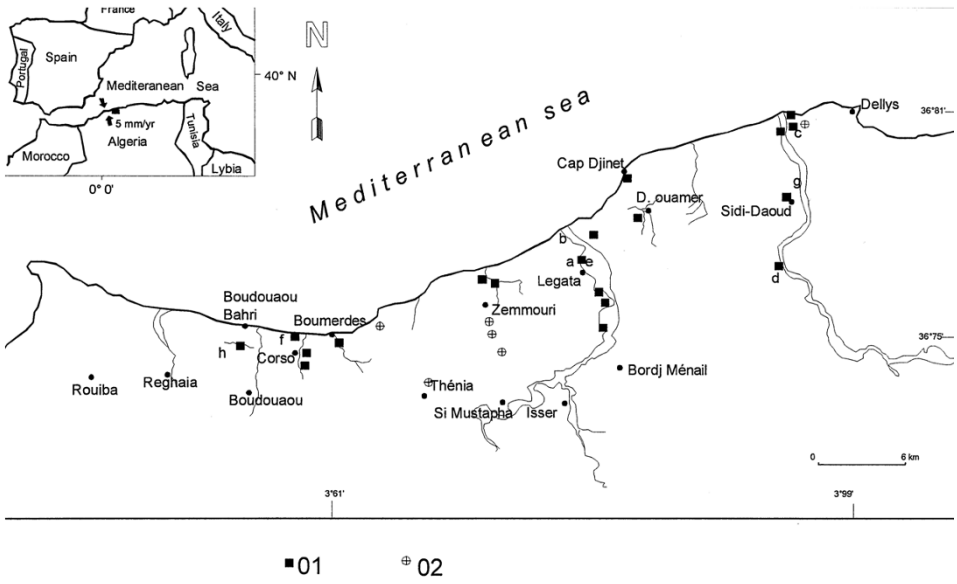


Figura 4.48 – Localização de liquefacção (01) e deslizamentos (02)
Fonte: Bouhadad et al., 2004

A maior parte das construções das áreas afectadas datam dos anos 70, no entanto também um elevado número de edifícios da época colonial (início do século XX) foi severamente atingido. Os danos ocorridos em Boumerdès decorreram sobretudo em edifícios públicos e edifícios residenciais. Por contraste, na zona este de Argel a maior parte dos danos ocorreram nos bairros mais pobres, de construções recentes e ilegais, pós-1990.

Alguns equipamentos industriais e infra-estruturas públicas tais como barragens, portos, aeroportos e depósitos de água sofreram danos severos, causando interrupção das actividades do dia-a-dia, para além das perdas económicas. O sistema de transportes teve um comportamento satisfatório em comparação com o parque habitacional.

Mais uma vez o sismo demonstrou a vulnerabilidade de infra-estruturas essenciais e críticas como escolas e hospitais, com a destruição de 103 equipamentos de ensino e danos severos em 753 (373 escolas primárias). A reconstrução e reabilitação destes equipamentos custarão cerca de 70 milhões de dólares. Perto de 50% das infra-estruturas de saúde colapsaram ou sofreram danos severos (EERI, 2003).

Figura 4.49 – Efeito de *soft-storey* num edifício residencial com comércio no piso térreo
Fonte: EERI, 2003

O sismo de Boumerdès permite concluir e reforçar a ideia de que o risco sísmico nesta área é extremamente elevado. Por um lado dado o ambiente sismo-tectónico que a caracteriza, e por outro devido à elevada vulnerabilidade das construções. A população exposta por sua vez agrava o risco; denota-se uma falta de preparação da sociedade civil e das próprias instituições, bem como uma falta de cultura de prevenção.

4.12. Molise, 31 de Outubro 2002

Nos dias 31 de Outubro (11h35) e 1 de Novembro de 2002, a área de Basso Molise (SE de Itália) foi atingida por dois sismos de moderada magnitude (M_L = 5,4 e 5,3), causando 30 mortos e 5500 desalojados. Os danos na região (principalmente nas "comune" de San Giuliano di Puglia (Colletorto, Ripabottoni, Santa Croce di Magliano e Castellino del Biferno) não apresentaram uma distribuição uniforme, atribuída esta dispersão à elevada vulnerabilidade do edificado e aos efeitos de sítio originados pelas características geológicas e geomorfológicas do local. Para sublinhar esta característica, observe-se a distribuição de intensidades dentro da cidade de San Giuliano di Puglia, que assinala mais 2 graus (máximas de VIII-IX) que as áreas envolventes (Figura 4.50) (Strollo et al., 2007). Devido aos factores mencionados, 3883 edifícios foram classificados como não utilizáveis e 2930 como parcialmente utilizáveis, até mesmo o centro histórico, situado numa zona rochosa, sofreu danos em estruturas notáveis, como sejam o Castelo Marchesale e a Igreja de San Giuliano (Indirli et al., 2004).

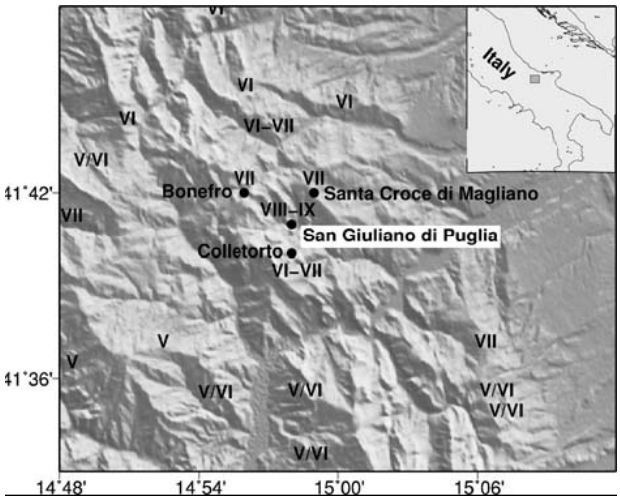


Figura 4.50 – Mapa da área e intensidades registadas na escala MCS
Fonte: Strollo et al., 2007

Desde 1456 que San Giuliano não era palco de intensidades VIII-IX, não aparecendo classificada como zona de risco sísmico no Zonamento Nacional Italiano. Depois do sucedido foi revista a sismicidade do território nacional, passando então esta região a estar incluída na Zona 2 (com aceleração máxima PGA de 0,25 g).

O trágico colapso da escola primária de San Giuliano di Puglia (Figura 4.51), teve como

consequência a morte de 27 crianças das 56 que ali se encontravam e 1 professora. Foram identificadas três causas para este acidente: a) inadequada classificação sísmica do local (San Giuliano não estava classificada como zona de risco sísmico); b) introdução de um segundo piso na estrutura relativamente ao projecto original e c) fraca qualidade construtiva: alvenaria "pobre" com cobertura em betão armado (Dolce, 2004).

Figura 4.51 – Escola Primária Francesco Jovine
Fonte: Crollo della scuola elementare Francesco Jovine di San Giuliano di Puglia, n.d.

Os danos mais importantes (com excepção de San Giuliano di Puglia) estão concentrados em centros urbanos, alguns dos quais são de interesse histórico e artístico. Muitas igrejas foram danificadas severamente na zona epicentral. Em geral, os efeitos sobre a construção em betão armado pareceram modestos, com excepção de sérios danos nos revestimentos de alguns edifícios em Santa Croce di Magliano, todos concentrados numa encosta, o que sugere que para além da falta de dimensionamento sísmico aparecem também os efeitos de sítio.

Muito melhor é o comportamento recente do betão nos municípios que estavam classificados (Biferno Castellino na Zona 1, Ururi, Rotello, Monterotaro Casalnuovo e Casalvecchio Castelnuovo Daunia na Zona 2 e Celenza Valfortore Carlisle na Zona 3). São poucos os casos em que alguns edifícios estão danificados, e quando estão não apresentam dano estrutural.

4.13. Gujarat, 26 de Janeiro 2001

Pelas 8h46 do dia 26 de Janeiro de 2001 (feriado nacional para Comemoração da República) um sismo de magnitude M_W 7,3, localizado a 80 km NE da cidade de Bhuj (na região de Kachchh), com um foco entre 17 e 22 km de profundidade, devastou o estado de Gujarat na Índia, onde perto de 20 milhões de pessoas vivem e trabalham. O número de vítimas ultrapassou as 20000, os feridos 167000 e 600000 desalojados. Só na cidade de Bhuj cerca de 3000 pessoas perderam a vida, perto de 90% dos edifícios ficaram destruídos e o hospital central colapsou. Numerosos edifícios de construção recente em betão armado colapsaram em locais distantes como Morbi (125 km este de Bhuj) ou Ahmedabad, 225 km a leste de Bhuj. O abalo foi sentido em quase todo o país, principalmente em Bombaim (a 570 km) nos edifícios mais altos e em Calcutá, a 1900 km de distância

(EERI, 2001) (Figura 4.52). Um evento similar ocorrera em 1819 dando origem à formação do Lago Sindri, uma depressão com 6 m, que no período das monções se enche de água.

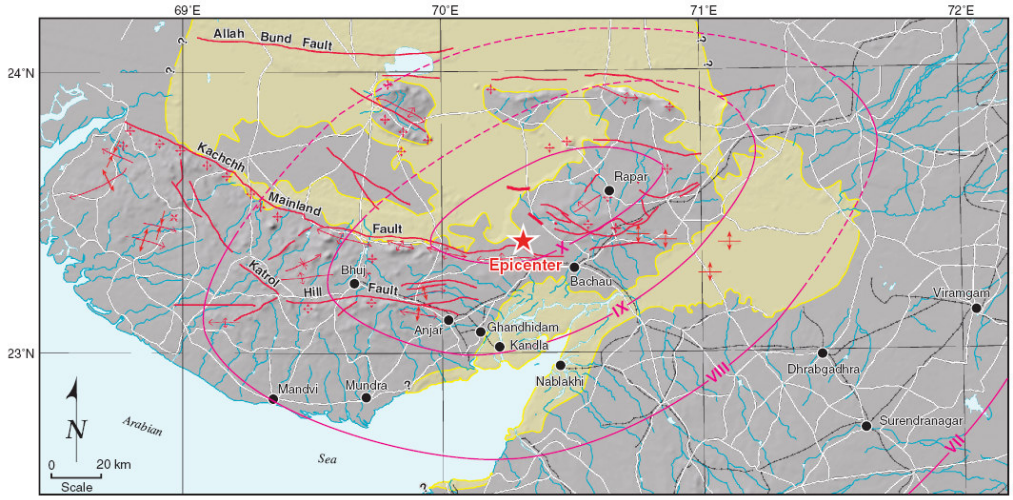


Figura 4.52 – Localização do epicentro e intensidades MSK. Áreas de liquefacção (amarelo) e possível ruptura de falha (vermelho)
Fonte : EERI, 2001

O sismo provocou liquefacção numa vasta área, como mostra a Figura 4.52, zonas aluvionares, estuarinas ou costeiras que tipicamente têm uma grande susceptibilidade à liquefacção. O abalo e a liquefacção foram responsáveis por danos moderados em sete barragens de terra. Felizmente, todas estas barragens tinham um nível muito baixo de água devido aos anos de seca que se registavam. Deslizamentos e queda de blocos foram igualmente verificados um pouco por toda a área afectada, causando bloqueio de estradas e danos em estruturas.

No total foram 21 os distritos afectados, aproximadamente um milhão de casas danificadas ou destruídas, assim como equipamentos de saúde, de ensino, redes de água, electricidade e infra-estruturas rodoviárias. Dois hospitais foram destruídos, mais de 1200 centros de saúde (a maior parte em áreas rurais) e 11600 escolas severamente danificados. O facto de o sismo ter ocorrido num dia feriado explica alguns aspectos relacionados com o número de vítimas. Por um lado, sendo feriado, as pessoas encontravam-se dentro de casa, aumentado assim o número de vítimas nos casos de colapso dos edifícios, especialmente nas áreas urbanas. Por outro, por ser feriado, o número de estudantes presentes nas escolas era praticamente nulo e, consequentemente, as vítimas associadas ao colapso de equipamentos de ensino é diminuta. Um aspecto a referir é que estando as famílias juntas, houve menos preocupação e confusão durante as operações de emergência (Shaw e Sinha, 2001).

Uma grande variedade de danos foi notada em diferentes tipologias construtivas. Nas áreas urbanas, os edifícios de betão armado sofreram danos severos, principalmente colapso ao nível do R/C, quando vazado criando a situação clássica de *soft-storey* (Figura 4.53), enquanto nas áreas rurais as construções em pedra, adobe ou alvenaria de tijolo muitas vezes com pisos de betão e telhados

muito pesados sofreram colapso total. O regulamento sismo-resistente existe, está ao nível do que se faz internacionalmente, prevendo diferentes soluções para as várias tipologias construtivas; no entanto, a maior parte dos edifícios, na região, não são construídos tendo em consideração estas normas, porque o uso do regulamento não é obrigatório na Índia (EERI, 2001).

Figura 4.53 – Danos causados por colapso do piso vazado no R/C (*soft-storey*)
Fonte: Shaw e Sinha, 2001

Apesar do número elevado de danos em edifícios privados, registaram-se igualmente avultados problemas nos edifícios públicos. O hospital central de Bhuj, assim como vários equipamentos de ensino, na cidade e em áreas rurais, foram destruídos pelo sismo. Os danos nas restantes infra-estruturas foram extensos, como em pontes rodo e ferroviárias. Embora sem colapso, sofreram danos ligeiros ou moderados e deslocamentos que afectaram o sistema rodo-ferroviário. Muitos danos foram também registados nas infra-estruturas portuárias, especial destaque para os portos de Navlakhi e Kandla que tiveram sérios problemas de liquefacção.

As redes de telecomunicações foram igualmente afectadas, ficando Bhuj dois dias sem comunicações. A rede eléctrica, principalmente a sub-estação de Anjar que alimenta quase toda a região, colapsou afectando grandemente o território e os extensos danos registados nas condutas de água aliados à falta de energia eléctrica, dificultaram o fornecimento de água à população.

A maior parte dos equipamentos de ensino, existentes na região de Kachchh e replicado por todo o estado de Gujarat, são estruturas de betão pré-fabricadas de um piso. Cerca de 1/3 das 318 escolas na região de Kachchh sofreram colapso dos painéis das coberturas (Figura 4.54).

Figura 4.54 – Escola de construção pré-fabricada em Gandhidham
Fonte : EERI, 2001

Das 1359 escolas primárias, do distrito de Kutch, com 5168 salas de aula, 992 escolas e 4179 salas de aula ficaram destruídas. Das 38 escolas secundárias, 6 sofreram colapso, 14 danos severos e 12 danos parciais. Das 128 escolas que não estavam sob a tutela do Estado, 9 ficaram destruídas, 11 sofreram danos severos e 99 apresentaram danos parciais. Cerca de 3 milhões de crianças em idade escolar (até aos 14 anos) foram afectadas pelo sismo (Global Education, 2009b). O grande número de destruição dos equipamentos de ensino demonstrou o elevado grau de vulnerabilidade destas estruturas aos sismos, devido à fraca qualidade construtiva e à pouca manutenção que têm tido ao longo do tempo.

Com este cenário tão intenso de danos numa zona urbana e de elevada sismicidade podemos mencionar algumas práticas construtivas inapropriadas que não deverão ser repetidas no futuro. Grande parte das construções não tem em conta o regulamento sismo-resistente e não existe também a obrigatoriedade de se realizarem estudos geotécnicos para as fundações. A presença do R/C vazado nas construções para servirem de lojas, espaços de culto, etc., é uma situação preocupante, que está presente em todo o mundo e que é responsável por grande parte do colapso dos edifícios.

4.14. Síntese e diagnóstico

Nas exposições anteriores foram resumidos danos e diferentes efeitos observados pós-sismos segundo várias categorias, considerando como objecto todos os elementos constituintes do sistema urbano, nomeadamente o parque edificado, as redes de infra-estruturas (obras de arte, estradas, saneamento, condutas, entre outras), os equipamentos urbanos e as infra-estruturas críticas. Embora forçosamente incompletos, os relatos anteriores demonstram claramente a vulnerabilidade sísmica das construções em geral quando sujeitas a eventos sísmicos. Independentemente do país ou continente essa vulnerabilidade pode resultar de um conjunto alargado de factores, de que se referem o efeito do solo de fundação, da tipologia estrutural, do material estrutural, do estado de conservação

e da omissão ou diluição de componentes estruturais vitais nas fases de projecto e construção. É igualmente perceptível que a ineficácia ou inexistência de políticas sobre risco têm impactos a variados níveis, bem como a existência e aplicação de regulamentações de forma inadequada.

O número de mortos continua a crescer apesar dos avanços na construção sismo-resistente; a média de vítimas mortais, nesta primeira década do século XXI, foi de cerca de 70000 mortos por ano, que contrasta com a média de 15000 registada no século XX. Este constitui um problema grave e que não deveria ser posto nos tempos que correm, dado o avanço nos estudos e no desenvolvimento de tecnologia que se tem verificado. Contudo, a corrupção, os conflitos de interesses e erradas decisões políticas podem conduzir a resultados calamitosos. Se por um lado a criação de construção sismo-resistente depende de uma governação responsável, por outro a sua implementação pode ser contrariada pela corrupção ou pelos níveis de pobreza, através do uso de materiais e técnicas de qualidade inferior ao requisitado, ou pela localização das construções em terrenos inapropriados.

Um exemplo que corresponde a um grave problema que podemos apontar para Portugal e para a competência dos órgãos municipais, relaciona-se com a gestão, planeamento e realização de equipamentos de utilização pública (como escolas, centros de cultura ou equipamentos de saúde), em terrenos cedidos pelos municípios, muitas vezes nos locais menos interessantes do ponto de vista comercial (para habitação não social) e, consequentemente os que apresentam maior risco, por se localizarem em zonas ameaçadas pelas cheias, ou em solos de vulnerabilidade sísmica, ou mesmo zonas de maior declive, entre outros riscos.

Outro problema que se identifica neste capítulo é o do crescimento da urbanização, o aumento da concentração de actividades de comércio, serviços, habitação em determinados eixos da malha urbana, cuja qualidade dos solos e construtiva não se coadunam com esse crescimento.

Como conclui Bilham (2009) “perdemos nas últimas décadas a oportunidade para construir estruturas seguras nas regiões de grande crescimento populacional - a maior parte países em vias de desenvolvimento - como consequência disso iremos assistir a elevados níveis de mortalidade em futuros sismos. Em 2020 espera-se que a população mundial atinja os 8 biliões”.

Por último, a falta de informação relacionada com todo o processo, desde o conhecimento do risco, à educação da população (quer em termos de risco que correm assim como do uso de técnicas construtivas que devem adoptar ou exigir à indústria da construção), passando pelas medidas de auto-protecção em caso de sismo são factores que tornam uma comunidade mais ou menos preparada. Em face do exposto um programa de redução do risco sísmico deve ser desenvolvido para os territórios, de forma a melhorar a segurança e reduzir o risco de vítimas, feridos, e diminuir as perdas de bens, serviços e património em caso de sismos, protegendo assim o futuro de uma nação.

Segundo exposto no Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT), publicado no Diário da República a 4 de Setembro de 2007,a prevenção e redução dos riscos “devem ser colocados no topo da agenda política” (Relatório PNPOT, Capítulo 4, ponto 55).

Os mega-sismos têm fatalmente custos elevados. Custos que se contam em muitas vidas perdidas, no cenário de países em desenvolvimento, e ainda que a conta possa não ser apresentada de forma tão dura em países industrializados, revela-se em avultadas somas de dinheiro, dispendidas com seguros e infra-estruturas danificadas. A diferença de perdas (ou o valor que é associado às perdas) que ocorrem em países pobres e ricos é perfeitamente distinta e é essa uma das razões que leva a que a lista dos desastres naturais mais dispendiosos (Figura 4.55) não inclua o tsunami de Sumatra (com uma perda económica de 14 biliões de dólares) ou o sismo que flagelou o Haiti, bem como outras catástrofes que atingem os países mais pobres. Em parte por o valor da propriedade e do solo nessas áreas afectadas serem baixos e por outro, estas perdas não representarem, para os países desenvolvidos, ameaça nem interdependência económica. Para a maior parte dos estudos o foco para avaliar os danos pós-desastre e as necessidades, está nas perdas físicas. Por isso na maioria dos casos em que estamos perante grandes desastres estes são tidos como um fenómeno insignificante no perfil macroeconómico do país (note-se o caso do Japão na Figura 4.55); no entanto, a nível local, o impacto é muito diferente.

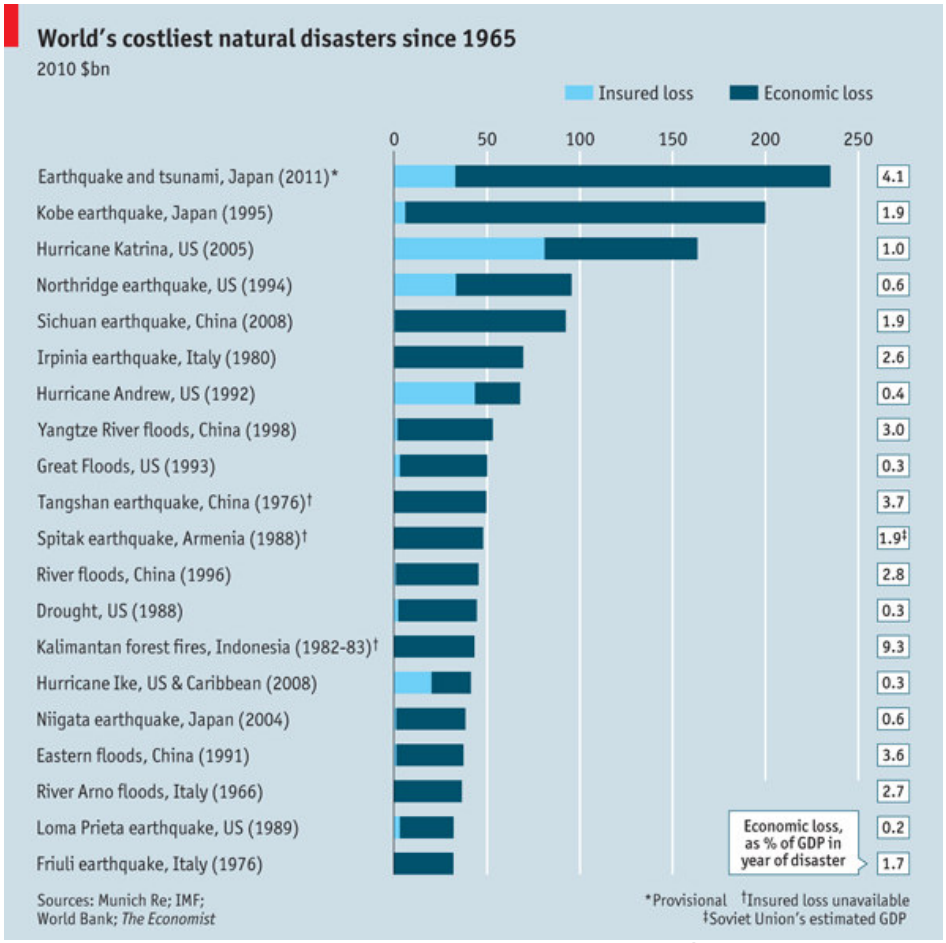


Figura 4.55 – Desastres naturais com maior impacto económico desde 1965
Fonte: The Economist, 2011

PARTE II – AVALIAÇÃO DO RISCO INDIVIDUAL DE ELEMENTOS URBANOS

5| ANÁLISE DA VULNERABILIDADE INDIVIDUAL (NÃO SISTÉMICA)

5.1. Breve descrição das metodologias mais relevantes para avaliação da vulnerabilidade sísmica do edificado e de elementos urbanos

O desenvolvimento de um método de análise de vulnerabilidade tem como objectivo correlacionar a perigosidade sísmica com as características técnicas das construções (estrutura, geometria, altura, entre outras características) capazes de tornar o seu comportamento mais ou menos propício a danos físicos. Diversos métodos de avaliação da vulnerabilidade têm sido desenvolvidos e adoptados nos últimos anos, de forma a poderem ser utilizados a uma escala territorial. Este capítulo tenciona mostrar algumas das contribuições mais significativas na avaliação da vulnerabilidade sísmica ao longo dos tempos. Os métodos existentes podem ser divididos em duas categorias: métodos empíricos (baseados na observação de danos e em juízos de peritos (*expert opinion*) ou métodos analíticos (baseados em cálculos estruturais) (Figura 5.1). Os métodos híbridos surgem como combinação dos dois anteriores.

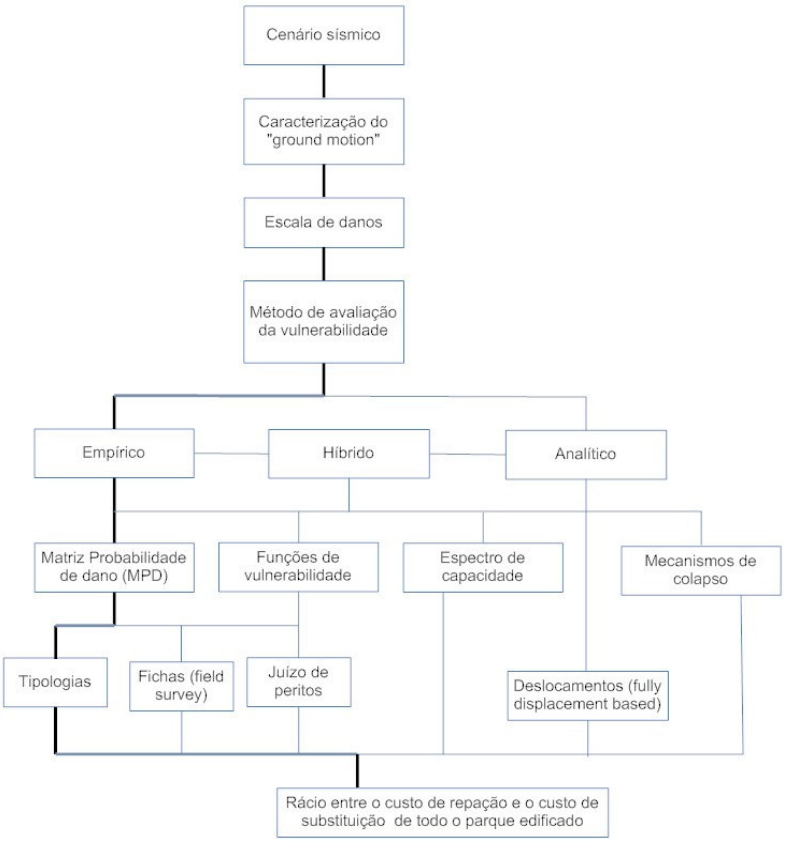


Figura 5.1 – Componentes na avaliação do risco sísmico e escolha do método para avaliação da vulnerabilidade; o traço a cheio representa um método de avaliação tradicional
Fonte: Adaptado e traduzido de Calvi et al., 2006

5.1.1. MÉTODOS EMPÍRICOS BASEADOS NA OBSERVAÇÃO DE DANOS

Para a avaliação da vulnerabilidade sísmica das estruturas que se baseia na observação de danos e se apoia em estatísticas de danos ocorridos em sismos passados, referem-se dois tipos de métodos empíricos que são aqui sumariados e representados através de Matrizes de Probabilidade de Dano (MPD) ou de funções de vulnerabilidade, que são funções contínuas que expressam a probabilidade de exceder um dado nível de dano, dada uma certa intensidade.

5.1.1.1. Matriz probabilidade de dano (MPD)

É o exemplo do estudo desenvolvido por Whitman et al. (1973), após o sismo de São Fernando em 1971, que reuniu vários tipos de danos em mais de 1600 edifícios, possibilitando a apresentação de uma matriz (Quadro 5.1) que expressa a probabilidade condicional de um edifício, pertencente a certa classe, apresentar um particular nível de dano (j) consoante o grau de intensidade sísmica (i), P (D = j | i). Em cada coluna as probabilidades têm de somar 100%. Nesta proposta o autor que apresenta valores apenas até intensidade IX, incorpora os danos estruturais e não estruturais.

Quadro 5.1 – Formato geral de uma matriz de probabilidade de dano (Whitman et al., 1973)

Grau de dano	Dano estrutural	Dano não estrutural	Intensidade sísmica				
			V	VI	VII	VIII	IX
0	Nenhum	Nenhum	10,4	--	--	--	--
1	Nenhum	Pouco	16,4	0,5	--	--	--
2	Nenhum	Localizado	40,0	22,5	--	--	--
3	Não apreciável	Distribuído	20,0	30,0	2,7	--	--
4	Pouco	Substancial	13,2	47,1	92,3	58,8	14,7
5	Substancial	Extensivo	--	0,2	5,0	41,2	83,0
6	Muito	Quase total	--	--	--	--	2,3
7	Edifício irrecuperável		--	--	--	--	--
8	Colapso		--	--	--	--	--

Em seguida, o primeiro trabalho feito de forma sistemática para codificar a vulnerabilidade sísmica dos edifícios, foi realizado pelo Applied Technology Council (fundado pela FEMA, Federal Emergency Management Agency) e baseou-se no juízo de peritos para criar as matrizes probabilidade de dano, que foram posteriormente introduzidas no ATC-13 (1985). Essencialmente o ATC-13 criou MPD para 78 classes de estruturas distintas, 40 das quais pertencentes a edifícios e as restantes a pontes, barragens ou túneis do estado da Califórnia, nos EUA. As questões colocadas a 58 especialistas permitiram estimar a percentagem de danos e perdas que determinada tipologia construtiva sofre quando sujeita a uma certa intensidade sísmica (Quadro 5.2). Embora esteja envolto em subjectividade e incertezas, por as MPD serem exclusivamente baseadas na opinião de especialistas, e por não poder englobar outras tipologias construtivas nem outra região, o ATC-13 tornou-se na

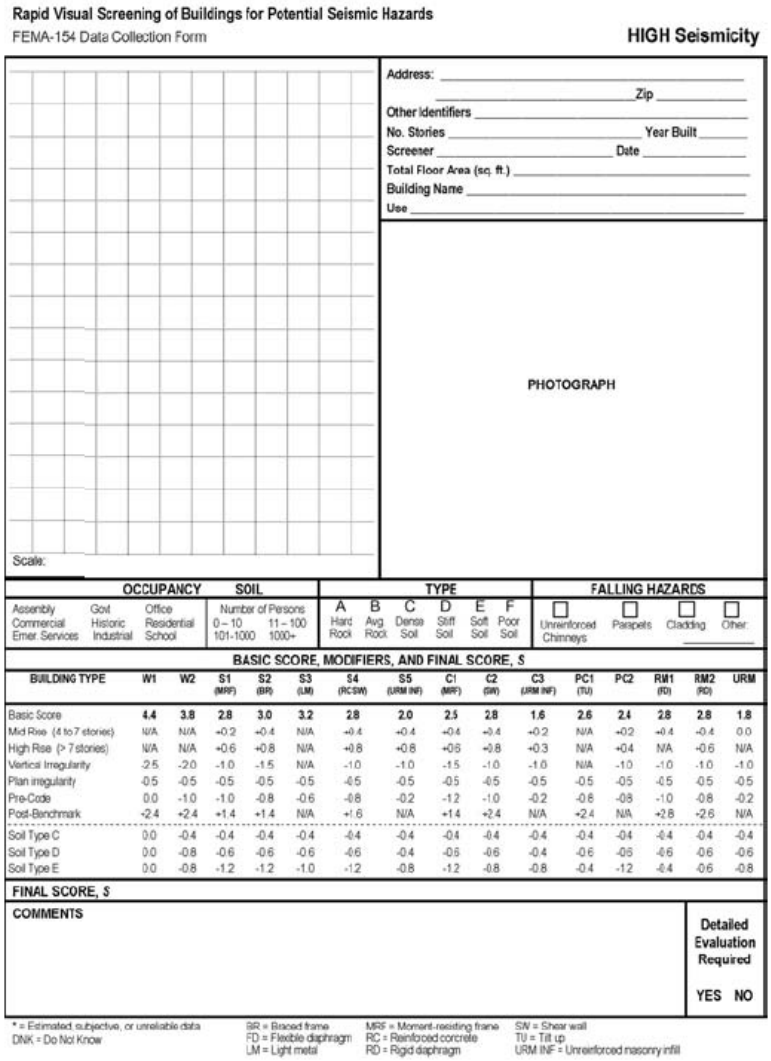
década de 1990 um trabalho de referência para muitos estudos de estimativa de danos e perdas.

Quadro 5.2 – Forma geral da MPD proposta pelo ATC-13. Estrutura 89 – edifício alto, de betão armado, sem considerações especiais anti-sísmicas

Grau de dano	Factor de dano (%)	Probabilidade de dano em percentagem para MMI e estado de dano						
		VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1- Sem dano	0	0,1						
2- Mínimo	0 - 1	27,0	2,2					
3- Ligeiro	1 - 10	72,9	89,3	32,2	3,0			
4- Moderado	10 - 30		8,5	66,9	68,1	19,9	3,9	0,1
5- Pesado	30 - 60			0,9	28,9	74,2	57,8	12,4
6- Maior	60 – 100					5,9	38,3	84,3
7- Destruição	100							3,2

As MPD tornaram-se assim muito úteis e foram evoluindo, aparecendo vários formatos em várias regiões, como por exemplo o desenvolvido em Itália por Corsanego e Petrini (1994) e utilizado pelo Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT). Tratava-se de uma MPD com três classes de vulnerabilidade, de acordo com as tipologias construtivas encontradas após o sismo de Irpinia no ano de 1980 (Braga et al., 1982) e classificadas de A a C (por ordem decrescente de vulnerabilidade). Ao contrário da MPD proposta por Whitman, a matriz do GNDT agrupa os danos em seis graus (do Grau 0 (sem dano) até ao Grau 5 (destruição)) e descreve-os para a escala de intensidade macrossísmica Medvedev-Sponheuer-Karnik (MSK). Mais tarde, Di Pasquale et al. (2005) mudaram as MPD da escala MSK para a escala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg), uma vez que o catálogo sísmico italiano vinha expresso nessa escala. Dolce et al. (2003) inserido no projecto ENSeRVES (European Network on Seismic Risk, Vulnerability and Earthquake Scenarios) adaptaram as matrizes originais para a cidade de Potenza, em Itália, surgindo uma nova classe de vulnerabilidade D, utilizando a Escala Macrossísmica Europeia, EMS-98 (Grünthal, 1998) para considerar os edifícios construídos desde 1980.

Outro procedimento para avaliação baseado no juízo de peritos aparece com o estudo ATC-21 (1988) denominado *rapid screening procedure.* Trata-se de uma ficha (Figura 5.2) de caracterização das estruturas, cujo objectivo é o de identificar, inventariar e classificar (dando uma pontuação) de forma expedita, os edifícios que apresentam maior risco (menor segurança e utilização) durante e após determinada acção sísmica. Uma primeira pontuação (*basic score*) é atribuída consoante o material de construção e o zonamento sísmico do território. A pontuação final é obtida após identificação de factores de agravamento ou desagravamento do comportamento sísmico do edifício, e está compreendida entre os valores 0 e 6, sendo os valores mais altos os correspondentes a um melhor comportamento sísmico.



Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards
FEMA-154 Data Collection Form — **HIGH Seismicity**

Address: _____
Zip _____
Other Identifiers _____
No. Stories _____ Year Built _____
Screener _____ Date _____
Total Floor Area (sq. ft.) _____
Building Name _____
Use _____

PHOTOGRAPH

Scale:

OCCUPANCY: Assembly, Commercial, Emer. Services, Govt, Historic, Industrial, Office, Residential, School
SOIL: Number of Persons 0 – 10, 11 – 100, 101-1000, 1000+
TYPE: A Hard Rock, B Avg. Rock, C Dense Soil, D Stiff Soil, E Soft Soil, F Poor Soil
FALLING HAZARDS: ☐ Unreinforced Chimneys, ☐ Parapets, ☐ Cladding, ☐ Other: _____

BASIC SCORE, MODIFIERS, AND FINAL SCORE, *S*

BUILDING TYPE	W1	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM
Basic Score	4.4	3.8	2.8	3.0	3.2	2.8	2.0	2.5	2.8	1.6	2.6	2.4	2.8	2.8	1.8
Mid Rise (4 to 7 stories)	N/A	N/A	+0.2	+0.4	N/A	+0.4	+0.4	+0.4	+0.4	+0.2	N/A	+0.2	+0.4	-0.4	0.0
High Rise (> 7 stories)	N/A	N/A	+0.6	+0.8	N/A	+0.8	+0.8	+0.6	+0.8	+0.3	N/A	+0.4	N/A	-0.6	N/A
Vertical Irregularity	-2.5	-2.0	-1.0	-1.5	N/A	-1.0	-1.0	-1.5	-1.0	-1.0	N/A	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
Plan Irregularity	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
Pre-Code	0.0	-1.0	-1.0	-0.8	-0.6	-0.8	-0.2	-1.2	-1.0	-0.2	-0.8	-0.8	-1.0	-0.8	-0.2
Post-Benchmark	+2.4	+2.4	+1.4	+1.4	N/A	+1.6	N/A	+1.4	+2.4	N/A	+2.4	N/A	+2.8	+2.6	N/A
Soil Type C	0.0	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
Soil Type D	0.0	-0.8	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
Soil Type E	0.0	-0.8	-1.2	-1.2	-1.0	-1.2	-0.8	-1.2	-0.8	-0.8	-0.4	-1.2	-0.4	-0.6	-0.8

FINAL SCORE, *S*

COMMENTS

Detailed Evaluation Required YES NO

* = Estimated, subjective, or unreliable data
DNK = Do Not Know
BR = Braced frame, FD = Flexible diaphragm, LM = Light metal
MRF = Moment-resisting frame, RC = Reinforced concrete, RD = Rigid diaphragm
SW = Shear wall, TU = Tilt up, URM INF = Unreinforced masonry infill

Figura 5.2 – Exemplo de uma ficha *rapid screening procedure* para zona de elevada sismicidade
Fonte: ATC, 1988

5.1.1.2. Método do índice de vulnerabilidade

Um método de avaliação da vulnerabilidade e estimação de danos baseado na atribuição de uma pontuação foi desenvolvido e largamente aplicado em Itália, denominado GNDT II nível (Benedetti e Petrini, 1984; GNDT, 1993), e que consistiu em conferir, após inspecção visual, um índice de vulnerabilidade (I_V) a cada edifício danificado. O índice de vulnerabilidade I_V é obtido combinando todas as diferentes pontuações atribuídas a cada um dos onze parâmetros presentes e que são considerados importantes no controlo dos danos, desde elementos estruturais e não estruturais, tipo e qualidade dos materiais, tipo de fundações, configuração em planta, distância máxima entre paredes, a outros elementos. Cada parâmetro corresponde a uma classe de vulnerabilidade – A, B, C

e D, sendo A a mais favorável e D a menos favorável, e cada classe possui uma pontuação que entra no cálculo do I_V. O valores do I_V encontram-se entre 0 e 382,5[8], podendo ser normalizados entre 0 e 100, sendo 0 o equivalente a uma estrutura menos vulnerável. O I_V é então usado como um passo intermédio para estimar os danos de uma estrutura quando sujeita a uma acção sísmica. Os dados de sismos do passado são utilizados para calibrar as funções vulnerabilidade e relacionar o índice de vulnerabilidade (I_V) a um factor de danos globais (d) para edifícios com a mesma tipologia, e para a mesma intensidade macrossísmica ou PGA. O factor de dano varia entre 0 e 1 e define a relação entre o custo de reparação e o custo de uma nova construção. O factor de dano (d) assume-se insignificante para pequenos valores de PGA (até um determinado limite), aumentando linearmente até ao colapso, onde toma o valor 1 (Figura 5.3). Com a utilização do I_V pretendeu-se relacionar directamente o grau de dano com a PGA ou intensidades independentemente da estrutura em causa.

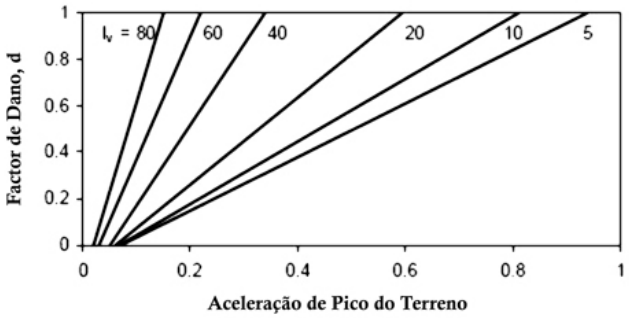


Figura 5.3 – Dano em função da aceleração (PGA) e do índice de vulnerabilidade

Recentemente Giovinazzi e Lagomarsino (2001, 2004) propuseram uma outra metodologia simplificada denominada Método Macrosísmico, que deriva da definição de funções probabilidade de dano baseadas na escala macrossímica (EMS-98) (Grünthal, 1998). A EMS-98 introduz a proporção dos danos esperados (poucos, muitos, maioria, quase todos) para 5 graus de danos, para cada grau de intensidade, através de 6 Classes de Vulnerabilidade (da A, a mais vulnerável, à F, a menos vulnerável).O apresenta as classes de vulnerabilidade de acordo com a EMS-98.

[8] Um peso "p" é atribuído a cada parâmetro de vulnerabilidade, variando entre 0,25 para os parâmetros menos importantes e 1,5 para os mais importantes.
Uma pontuação "C_V" é atribuída a cada classe de vulnerabilidade de cada parâmetro: de 0 (Classe A - vulnerabilidade muito baixa) a 45 (Classe D, alta vulnerabilidade). A maioria das pontuações intermédias têm valores iguais a 5 e 25 para as classes B e C. O índice de vulnerabilidade do edifício "I_V" é então calculado como sendo a soma ponderada das pontuações da vulnerabilidade dos vários elementos:

$$I_V = \sum_{i=1}^{11} C_{v,i}\, p_i$$

Quadro 5.3 – Atribuição de classes de vulnerabilidade a diferentes tipologias construtivas segundo a EMS-98 [adaptado de Grünthal, 1998]

Tipo de estrutura		Classe de vulnerabilidade					
		A	B	C	D	E	F
Alvenaria	Alvenaria de pedra irregular e solta				O		
	Adobe				O–|		
	Alvenaria de pedra (aparelhada)				|----O		
	Alvenaria de pedra aparelhada (silhares)				|–O----|		
	Alvenaria de blocos de betão ou tijolo (não reforçada)				|----O----|		
	Alvenaria com pavimentos em betão armado				|–O----|		
	Alvenaria reforçada/Alvenaria confinada				|–O----|		
Betão	Estrutura porticada em betão armado sem CSR ou com CSR mínimo				|----—O----|		
	Estrutura porticada em betão armado com CSR moderado				|----—O—|		
	Estrutura porticada em betão armado sem CSR elevado				|----—O—|		
	Estrutura de paredes em betão sem CSR ou com CSR mínimo				|----O–|		
	Estrutura de paredes em betão com CSR moderado				|----O–|		
	Estrutura de paredes em betão com CSR elevado				|----O–|		
Metálica	Estrutura metálica				|----—O–|		
Madeira	Estrutura de Madeira				|----—O—|		
CSR – concepção sismo-resistente							
O classe mais provável |---- ----| margem para classe menos provável |– –| margem de classe provável							

Para o caso de vulnerabilidade da classe C é apresentada a matriz de danos na Figura 5.4, descrita de forma qualitativa, a proporção de edifícios (poucos, muitos, maioria, quase todos) que pertencem a cada grau de dano.

C	1	2	3	4	5
IV					
V					
VI	poucos				
VII		poucos			
VIII		muitos	poucos		
IX			muitos	poucos	
X				muitos	poucos
XI				maioria	muitos
XII					quase todos

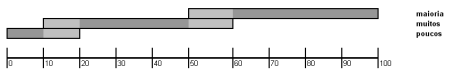


Figura 5.4 – Exemplo do modelo de danos para uma vulnerabilidade da classe C

Os problemas relacionados com a falta de informação para todos os graus de danos para um dado nível de intensidade e com a imprecisão das matrizes (ou seja, estão descritas de forma qualitativa) foram resolvidos por Giovinazzi e Lagomarsino (2004), assumindo uma distribuição beta para os danos e aplicando a Teoria dos Conjuntos Difusos (Fuzzy sets). As matrizes de probabilidade de danos produzidas para cada classe de vulnerabilidade estão relacionadas com o parque existente,

através do uso de um índice de vulnerabilidade empírico que depende da tipologia e das características dos edifícios (número de pisos, regularidade em planta, entre outros) e das práticas de construção de cada local/região.

Este foi o método adoptado para o projecto Risk-UE (Milutinovic e Trendafiloski, 2003) para a simulação e análise de cenários sísmicos de sete cidades europeias (Barcelona, Bitola, Bucareste, Catânia, Nice, Sófia e Salónica), e para o estudo de outras cidades europeias como Faro (Oliveira et al., 2004), Lisboa (Oliveira et al., 2005) ou Bucareste (Ferreira e Proença, 2008); é também o método adaptado e aplicado nos estudos desenvolvidos nesta dissertação e que será descrito em pormenor no ponto seguinte.

De uma maneira geral, os métodos baseados na observação de danos são algo limitados por não englobarem todas as tipologias construtivas e todos os níveis de intensidade que seriam necessários para ter representado num modelo de vulnerabilidade. Estas metodologias também, por requererem pareceres de peritos para atribuir coeficientes e pesos no cálculo dos índices, têm um grau de incerteza associado que geralmente não é contabilizado. Por esta razão, o processamento probabilístico resultante da observação dos danos é muitas vezes apoiado ou substituído por outras técnicas baseadas em métodos mecânicos. Porém, quando os estudos são feitos a uma escala mais macro e generalizada, como seja ao nível das freguesias, municípios ou regiões, em que não há uma informação detalhada de todas as características do edifício, apenas existindo o recurso aos Censos (que só diz respeito à habitação e cujo formulário também tem de ser adaptado, avaliado e combinado com os índices existentes) o recurso a estas metodologias estatísticas são mais adequados.

5.1.2. MÉTODOS ANALÍTICOS

Baseados em cálculos matemáticos pormenorizados, este tipo de métodos mais rigorosos na representação da resposta das estruturas só são aplicáveis a estruturas que contenham uma informação muito pormenorizada, em termos de geometria, materiais e técnicas construtivas, o que exige uma componente de recolha de documentação, de análise e de dimensionamento manifestamente desajustada e muitas vezes economicamente inviável. A metodologia é baseada em dois conceitos fundamentais: curva de capacidade e curva de fragilidade.

Muito simplificadamente, as **curvas de capacidade** (ou espectro de capacidade) obtém-se a partir do esforço transverso na sua base (Corte basal, V) em função do deslocamento de topo, d, recorrendo à análise estática não-linear *pushover*, em que se aplica progressivamente uma distribuição de cargas laterais crescentes (monotónicas), até se atingir um estado limite (associado a um deslocamento máximo no topo) (Figura 5.5). O objectivo das curvas de capacidade é de apresentar o comportamento não linear de uma estrutura por aplicação de forças laterais representativas do primeiro modo de resposta da estrutura, assumindo que este é o modo predominante de vibração da estrutura.

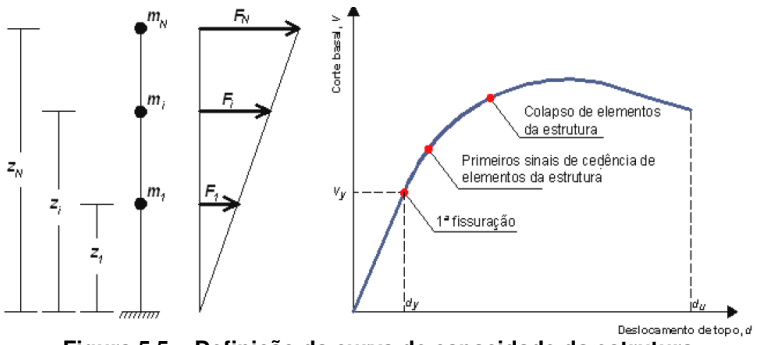


Figura 5.5 – Definição da curva de capacidade da estrutura
Fonte : Vicente, 2008

Em seguida passa-se para a definição da acção sísmica que é caracterizada por um **espectro de resposta** elástico, em termos de acelerações espectrais S_a (valores máximos de aceleração na estrutura) e deslocamentos espectrais S_d, atendendo ao comportamento não linear da estrutura. O ponto de intersecção da curva de capacidade de um sistema equivalente de 1 g.d.l. com o espectro de resposta (ADRS – acceleration-displacement response spectrum) define o "ponto de desempenho" da estrutura, ou seja, os valores da aceleração e deslocamento espectrais para os quais se atinge o equilíbrio perante aquelas acções sísmicas.

A Figura 5.6 representa três espectros de resposta relativos a diferentes acções sísmicas (fraca, média e forte), e duas curvas de capacidade de duas estruturas com características resistentes e de comportamento distintas. Verifica-se que a estrutura mais resistente e dúctil sofre menor deslocamento do que a construção menos resistente e frágil para a mesma acção.

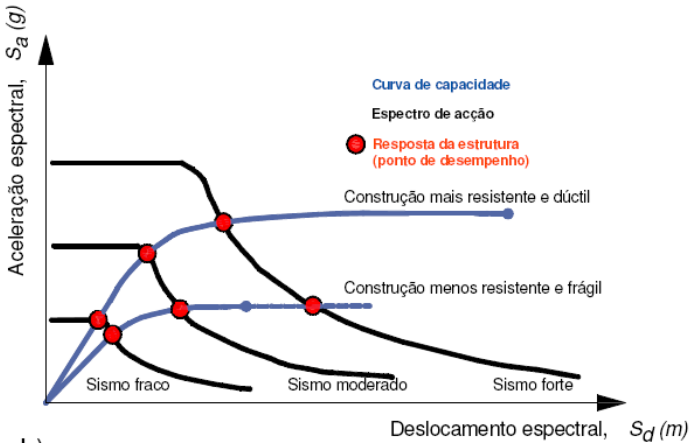


Figura 5.6 – Espectro de capacidade e ponto de desempenho
Fonte : Vicente, 2008

Por outro lado, é possível determinar a probabilidade de uma estrutura atingir um dado estado de dano, a partir de determinado nível de deslocamento espectral, estimando o dano nas estruturas através das **curvas de fragilidade** (Figura 5.7) (HAZUS99). Os danos são classificados em cinco estados, de acordo com o seu grau de severidade, correspondendo, para cada tipo de estrutura e a cada estado de dano, uma curva de fragilidade, através da qual é calculada a probabilidade de ocorrerem danos desse tipo.

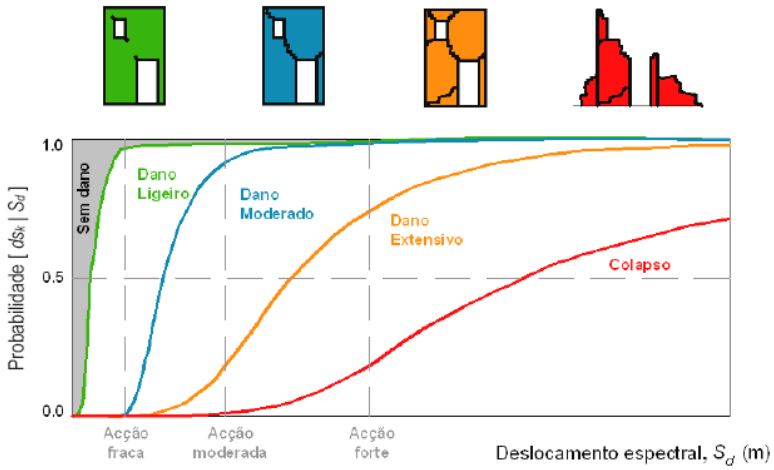


Figura 5.7 – Exemplo de curvas de fragilidade e estados de dano
Fonte : Vicente, 2008

5.1.3. MÉTODOS HÍBRIDOS

Nos métodos híbridos são combinados conceitos e abordagens dos métodos descritos anteriormente, sendo aqui feita referência a um dos métodos existentes e que recentemente teve aplicabilidade em Portugal.

No Japão, a avaliação do desempenho sísmico de edifícios de betão armado com menos de seis pisos tem sido realizada, desde 1977, através da aplicação do chamado Método Japonês do Índice Sísmico (JBDPA, 1990), que disponibiliza três níveis de avaliação do desempenho sísmico de um edifício, do mais simples e conservativo ao mais complexo e menos conservativo. O desempenho sísmico do edifício é representado por um índice de desempenho sísmico I_S, que deve ser calculado em cada piso e em ambas as direcções horizontais, utilizando a seguinte equação:

$$I_S = E_0 S_D T$$

em que E_0 é o índice de desempenho sísmico de referência, S_D é o sub-índice de irregularidade estrutural e T é o sub-índice de deterioração temporal.

O índice E_0 é determinado combinando os sub-índices de resistência ao corte - C_m, C_{sc}, C_c e C_w - das paredes de alvenaria (resistentes), colunas curtas, pilares e paredes resistentes de betão armado e um índice de ductilidade dos elementos verticais F, considerando os modos de ruptura, o número total de pisos e a direcção horizontal.

Uma vez calculado o índice de desempenho sísmico I_S de cada piso, este deve ser comparado com o índice de solicitação sísmica para a estrutura I_{SO}, para assim se determinar se a estrutura é "segura" quando sujeita a uma determinada acção sísmica (ou seja, se $I_S > I_{SO}$). Existem três combinações possíveis, dependendo da diferença entre I_S e I_{SO}:

- $I_S \geq I_{SO}$: corresponde a um baixo nível de vulnerabilidade da estrutura nos 3 níveis do método;

- $I_S << I_{SO}$: corresponde a uma alta vulnerabilidade que requer solução de reforço ou demolição da estrutura;

- $I_S < I_{SO}$: a estrutura requer uma avaliação mais detalhada, passando-se para o nível superior do método ou para uma análise dinâmica não-linear.

Proença et al. (2010) desenvolveram e adaptaram o nível 1 da metodologia japonesa, tendo em conta as características de construção e de sismicidade de Portugal, para proceder ao rastreio do risco sísmico das unidades de saúde existentes em Portugal – hospitais, centros de saúde e outras unidades - para a Administração Central do Sistema de Saúde (ACSS, IP).

A adaptação da metodologia consistiu no seguinte conjunto de acções fundamentais: i) racionalização da metodologia, filtrando alguns dos aspectos empíricos, aumentando o nível de correspondência com as metodologias baseadas na análise e dimensionamento estruturais, tendo por referência o método de análise por forças laterais; ii) adaptação à futura norma de projecto de estruturas para a resistência aos sismos (EN 1998-1 e NP EN 1998-1 AN), considerando, entre outros, os vários cenários sísmicos, o zonamento proposto e a importância conferida às unidades de saúde e iii) calibração e validação da metodologia face a estudos analíticos mais detalhados realizados previamente nos Hospitais Garcia de Orta, em Almada, e de Santa Maria, em Lisboa.

Segundo os autores foram encontradas dificuldades na extrapolação desta metodologia para a realidade nacional, devido à especificidade e requisitos da construção em Portugal, o que obrigou à dedução de expressões baseadas no método das forças laterais tal como definido no Eurocódigo 8, em particular na estimativa do índice de solicitação sísmica. Outras expressões utilizadas na metodologia japonesa foram deduzidas analiticamente, identificando os pressupostos em que se baseavam e os limites da sua aplicabilidade. De uma forma geral procedeu-se a uma racionalização da metodologia original, expurgando-a do forte conteúdo empírico e tornando-a equivalente ao método de análise das forças laterais. Assim sendo, considerou-se que esta metodologia se enquadra, como suficientemente expedita, operacional e exequível na avaliação da vulnerabilidade sísmica, permitindo aferir quais as instalações hospitalares que requerem análise mais detalhada através de métodos mais detalhados e onerosos de análise estrutural.

A utilização de métodos rápidos de rastreio do risco sísmico como este ou os empíricos, desempenham um papel importante na definição de prioridades para o reforço de edifícios, no entanto o seu uso em larga escala para todos os modelos de risco sísmico tem de ser limitado, pois há sempre necessidade de analisar os edifícios individualmente de forma determinística.

Os modelos híbridos podem ser particularmente vantajosos quando existe falta de dados sobre danos para determinado nível de intensidade numa certa área geográfica. Além disso, o uso de dados baseados na observação reduz o esforço computacional que seria necessário para produzir um conjunto completo de curvas de vulnerabilidade das matrizes probabilidade de dano.

Analisando as várias abordagens e segundo Calvi et al. (2006), é pouco provável que uma única

metodologia cumpra todos os requisitos para uma cabal avaliação do risco sísmico. Por exemplo, muitos modelos analíticos/mecânicos, embora teoricamente mais robustos, requerem grande quantidade de detalhe nos dados. O benefício por tamanha recolha de dados, muitas vezes não é comprovado quando validada a metodologia com os métodos empíricos que têm por base dados de danos observados. Por outro lado, as curvas de vulnerabilidade derivadas dos danos observados não consideram as características de frequência dos edifícios nem a influência dos erros de execução dos projectos, que provocam respostas sísmicas diferentes do expectável em determinada região. Posto isto, ambas as abordagens devem ser empregues em trabalhos futuros, sendo que cada uma complementa ou valida a outra, para uma progressiva melhoria na avaliação de vulnerabilidades.

6| AVALIAÇÃO DO RISCO SÍSMICO DOS EQUIPAMENTOS DE ENSINO DO ALGARVE

O presente capítulo realça a importância a vários níveis, dos edifícios que prestam serviços públicos, merecendo assim um destaque e uma preocupação adicional comparativamente à construção corrente. Podemos separar esses equipamentos nas seguintes áreas temáticas:

i) Equipamentos de ensino: jardins-de-infância, escolas do ensino básico, secundário e universidades.

ii) Equipamentos de saúde: hospitais, centros de saúde e clínicas.

iii) Equipamentos de segurança pública: quartéis de bombeiros, polícia, GNR.

iv) Equipamentos administrativos: ministérios, regionais e municipais.

A maior parte dos edifícios públicos tem um papel absolutamente necessário no pós-sismo. Não só por servirem como espaços para a gestão do desastre - abrigos e enfermarias por exemplo na fase de emergência -, como são de vital importância nas fases subsequentes de recuperação e reconstrução. Quando se verificam danos nestes equipamentos, registam-se impactos físicos, sociais e económicos na vida das populações, por se tratarem de equipamentos especializados, de elevada raridade ou dotados de grande área de influência, que contribuem para a estruturação e desenvolvimento do sistema urbano local, regional ou nacional. Recorde-se o caso do Haiti, em que a maior parte dos edifícios públicos colapsaram, nomeadamente ministérios, escolas, hospitais, ficando o país completamente desprovido de Governação, Segurança, Educação e Saúde.

Para termos melhor noção da importância da função (ou uso) de cada edifício observe-se o Quadro 6.1 que apresenta a densidade média de ocupação, expressa em n.º de pessoas por cada 100 m^2, determinada às 15h e às 03h para diferentes tipos de estruturas. Este Quadro demonstra claramente a elevada densidade de ocupação observada nas instalações escolares, designadamente no período de dia.

Quadro 6.1 – Densidade média de ocupação segundo uso e horários

Uso da estrutura	N.º de pessoas/100 m^2	
	às 15h	às 03h
Residencial	1,2	3,1
Educacional	20,0	0,5
Administrativo	4,0	
Segurança pública (bombeiros, polícia)	3,0	
Saúde (hospitais)	5,0	2,0

Fonte: Safina, 2002

A nível mundial, cerca de 1,2 biliões de estudantes utilizam as escolas primárias e secundárias, desses 875 milhões vivem em zonas de elevado risco sísmico e outras centenas de milhar em zonas de ocorrência de cheias, deslizamentos, ciclones e incêndios (INEE, 2009).

Embora as crianças passem mais de 50% do seu tempo nas escolas, sabe-se que grande parte não foram construídas nem reforçadas para responder a uma acção sísmica. As escolas com a sua elevada concentração de pessoas num espaço confinado (Quadro 6.1) e com relativo pequeno rácio adultos por criança tornam-se locais bastante vulneráveis aos sismos, merecendo por isso uma maior atenção e estudos relacionados com estes eventos. Os sismos sistematicamente destroem ou danificam as infra-estruturas escolares, traduzindo-se em perdas económicas gravíssimas associadas aos custos da sua reconstrução. As perdas de vidas, que muitas vezes têm lugar nessas escolas, causam por sua vez perdas irreparáveis para os familiares, para as comunidades e para os próprios países por perder-se parte do futuro das nações: as crianças e os jovens. As escolas devem ser construídas adequadamente, seguindo os regulamentos sismo-resistentes, incluir programas de mitigação, preparar e ensinar os alunos e pessoal docente/não docente e a comunidade onde vivem sobre o que fazer em caso de sismo.

Actualmente cerca de 75 milhões de crianças dentro da faixa etária da educação primária não frequentam a escola (14% da população mundial infantil). A UNESCO juntamente com outras entidades (United Nations Children's Fund, United Nations Development Programme, United Nations Populations Fund e o World Bank) lideram desde o ano 2000 o programa Education for All (EFA), cujo objectivo é o de prover educação ao nível do ensino primário para todas as crianças, jovens e adultos até ao ano 2015 (UNESCO, 2009). Para tal estão a ser construídas de forma rápida, milhares de escolas, muitas delas localizadas em zonas de elevado risco sísmico como Afeganistão, Argélia, China, México, Nepal, Paquistão, entre outros países. Ironicamente, se não forem tomadas medidas apropriadas de construção sismo-resistente e/ou reforço das estruturas, este projecto pode trazer consequências trágicas, por expor mais crianças ao risco de se ferirem ou morrerem, devido ao colapso das estruturas, aquando um evento sísmico, tal como já tem acontecido. Se analisarmos o ano 2010 só um fenómeno natural, o sismo do Haiti, foi capaz de causar a perda a 300000 vidas (3% da população). Se pensarmos apenas nas escolas, estes números poderiam ter sido substancialmente reduzidos caso os equipamentos de ensino tivessem uma construção mais resistente às catástrofes.

Não é o sismo *per si* que causa a maior parte das vítimas, mas sim o que o sismo consegue mover: os edifícios, as estruturas e os elementos não estruturais. Qualquer coisa que possa cair, partir-se ou causar um incêndio representa perigo. A maior parte das vítimas mortais e feridos de um sismo devem-se sobretudo à queda de objectos e/ou elementos ornamentais dentro e fora dos edifícios. Verificou-se que 31% dos elementos não estruturais dos edifícios - como paredes de preenchimento - foram os responsáveis pelos ferimentos no sismo de 1999 na Turquia, e 34% pelas vítimas mortais (Petal, 2004).

Numa escola passa-se exactamente o mesmo, durante o movimento sísmico os armários, as prateleiras e estantes tombam, bem como os objectos que estão dentro dos armários. Os elementos suspensos como tectos falsos, quadros, mapas, relógios e luzes caem. As portas e janelas podem sofrer deformações com o movimento das paredes, dificultando a saída e

entrada de pessoas, os vidros das janelas e portas podem-se partir e os estilhaços entrarem na sala de aula ou cairem para o exterior do edifício. A electricidade pode falhar e, consequentemente o sistema de "sprinklers" ou alarme de incêndios igualmente falhar. No exterior do edifício outros perigos existem como ruptura da rede de gás, queda de candeeiros, queda de edifícios, interrupção de vias por escombros, entre muitos outros.

A escola tem como se sabe um papel vital na sociedade, por ser responsável pela formação dos jovens de um país, para além de desempenhar um papel fundamental na promoção do conhecimento social e cultural. Uma escola segura pode salvar a vida a uma geração de um país ou região (Figura 6.1), pode também ser utilizada como abrigo temporário após o sismo e, serve igualmente para promover a cultura de prevenção e mitigação, através de actividades em conjunto com a comunidade. Podemos então reconhecer a importância da escola nas várias fases do ciclo da emergência desde a mitigação à reabilitação.

Figura 6.1 – Colapso total de edifício escolar em Alaköy. Sismo 23 de Outubro de 2011, Turquia (M7,2)
Fonte: Kandili Observatory and Earthquake Research Institute

6.1. Universo dos equipamentos de ensino estudados

6.1.1. BREVE ENQUADRAMENTO

Ao longo dos últimos anos foram desenvolvidos estudos pelo Instituto Superior Técnico em diversos equipamentos de ensino, do pré-escolar ao superior, e em diferentes pontos do país tal como nos Açores, Área Metropolitana de Lisboa e Algarve (USuET, PRRSIE/EP e ERSTA). Estes estudos possibilitaram a criação de bases de dados, estudos de vulnerabilidades, calibração de modelos e introdução de novas metodologias e análises aos diferentes projectos. Assim sendo, será apresentado o trabalho mais recente desenvolvido com os equipamentos de ensino da região do Algarve.

O estudo dos equipamentos de ensino da região do Algarve teve início em Janeiro de 2007 e terminou em Dezembro de 2009, estando enquadrado no projecto ERSTA (Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve (ERSTA, 2010)) coordenado pela ANPC (Autoridade Nacional de Protecção Civil) e que envolveu, entre outras entidades, o ICIST (Instituto de Engenharia de Estruturas, Território e Construção, do Instituto Superior Técnico), que ficou

responsável pela caracterização e avaliação do risco sísmico das redes de infra-estruturas. O estudo solicitado ao ICIST identificado por "Caracterização e Estudo de Vulnerabilidades das Redes de Infra-Estruturas para o Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve" enquadrava-se na área de estudo 4, "Elementos Vulneráveis (Identificação, Caracterização e Danos)" e incluía o estudo das redes de transportes, abastecimento de água, electricidade, telecomunicações, saneamento e as redes de equipamentos escolares e hospitalares. O projecto ERSTA encontrava-se então subdividido num conjunto de tarefas (WP, Work Packages), no qual as Redes Escolar e Hospitalar consistiam o objecto da tarefa WP20, de que o presente sub-capítulo apresenta a forma como foram recolhidos os dados, os principais problemas registados e algumas análises à base de dados e principais resultados, no que respeita à rede escolar.

6.1.2. RECOLHA E ANÁLISE DOS DADOS DO PORTAL ESCOLARISCOS

6.1.2.1. Inquérito online

A recolha e análise de dados constituem um aspecto fundamental para a avaliação das estruturas face ao risco sísmico. A técnica de recolha de informação utilizada para a concretização deste estudo foi através da criação de um inquérito online denominado ESCOLaRISCOS (www.escolariscos.eu) (Anexo I), que permitiu obter de maneira sistemática e ordenada informação sobre os equipamentos de ensino do Algarve. Esta técnica possibilita igualmente a visualização, independentemente da localização geográfica do utilizador bem como a actualização dos dados ao longo do tempo. Enumeram-se as principais vantagens e desvantagens de uma recolha de dados através de um inquérito online.

Vantagens:

- facilidade na recolha de informação sobre grande número de equipamentos de ensino num curto espaço de tempo;

- introdução simultânea de dados por municípios distintos;

- introdução de informação digital (fotografias, mapas, plantas de projectos);

- economia na recolha de dados: não estão associados custos de deslocação do investigador ou despesas por envio dos questionários em papel por correio convencional;

- estreita colaboração entre o inquiridor e o investigador é estabelecida e os dados podem ser alterados quase em simultâneo.

Desvantagens:

- dependência dos recursos de cada município, da sua capacidade de acesso aos equipamentos de ensino e do tempo disponibilizado por cada técnico municipal;

- necessidade de uma validação e análise atenta da informação recolhida por parte do

investigador, pois muitas vezes as respostas não são coerentes com os dados fotográficos ou com outros dados que caracterizam cada edifício.

6.1.2.2. Definição do universo de estudo

O estudo dos equipamentos de ensino da região do Algarve numa primeira fase foi planeado de forma a compreender a totalidade dos equipamentos de ensino públicos e privados daquela região. No entanto, dada a escassez de meios e tempo para caracterizar - segundo dados do GEPE (Gabinete de Estatística e Planeamento da Educação, Ministério da Educação) do ano lectivo 2006/07 - 434 estabelecimentos de ensino (Quadro 6.2), em pouco mais de 6 meses, decidiu-se na primeira fase avançar para a caracterização, análise e criação de cenários apenas dos equipamentos de ensino do 2º e 3º ciclos e do secundário, perfazendo um total de 65 escolas públicas.

Quadro 6.2 – Número de estabelecimentos de educação e ensino - ano lectivo 2006/2007

		Albufeira	Alcoutim	Aljezur	Castro Marim	Faro	Lagoa	Lagos	Loulé	Monchique	Olhão	Portimão	São Brás de Alportel	Silves	Tavira	Vila do Bispo	Vila Real de Santo António
Público do ME	JI	7		2	1	2	8	2	14	2	8	13	2	10	4	3	5
	EB1	11		2	7	18	9	12	29	4	15	10	7	16	13	7	9
	EB1/JI	1				2		1	2			1	1				
	EB1,2																
	EB2																
	EB2,3	3			1	6	3	2	5	1	6	6	1	4	2	1	3
	EBI	1	2						2								
	EBI/JI	1		1													
	EBM					1											
	EB2,3/ES																
	ES/EB3						1	1	1						1		1
	ES	1				3		1	1		1	2	1	1			
	ESA																
	EP																
Público de Outros Ministérios	JI																
	EB1																
	EB2,3																
	EBI																
	EBI/JI																
	EB2,3/ES																
Sub-Total		25	2	5	9	32	21	19	54	7	30	32	12	31	20	11	18
Privado do ME	JI	4				9			6		3	4		1	1		
	EB1	1										3					
	EB1/JI					2		3			1	2		1			
	ESA																
	EP					3			1			1		1			
	M-N					2	1	1	2		1			1			
Privado de Outros Ministérios	JI	3	2		3	8	2	7	4		7	3	1	2	6	1	2
	EB1																
	EB1/JI																
	EP																
	M-N																
Sub-Total		8	2		3	24	3	11	13		12	13	1	6	7	1	2
Total		**33**	**4**	**5**	**12**	**56**	**24**	**30**	**67**	**7**	**42**	**45**	**13**	**37**	**27**	**12**	**20**

Fonte: GEPE, consultado em Setembro 2009

Analisando os indicadores de síntese do sistema educativo (GEPE, 2007) referentes ao ano lectivo de 2006/2007 conclui-se que o número de escolas de natureza institucional privada era de 104, às quais correspondiam um total de 7866 alunos e um número médio de alunos por escola privada de 75,6 alunos/escola. No ano lectivo 2006/2007 o número de alunos nas escolas de natureza não pública ascendia a 8236 (Quadro 6.3), correspondendo a 11,5% do total da população estudantil da região do Algarve (total de 71103 alunos matriculados).

Perante estes valores tornava-se importante inserir no projecto esta categoria não considerada (escolas privadas), dado que do ponto de vista de segurança algumas das escolas privadas, nomeadamente os jardins-de-infância, carecem de uma maior atenção e preocupação por não terem sido projectadas para o uso específico educacional, funcionando grande parte das vezes em edifícios residenciais, cujas exigências em termos de projecto são inferiores aos dos equipamentos de ensino. O Quadro 6.3 demonstra claramente a predominância da educação pré-escolar em instituições privadas.

Quadro 6.3 – Número de alunos – ano lectivo 2006/2007

Nível de ensino		Alunos	
		Público	Privado
Educação pré-escolar		4813	5286
Ensino básico	Ensino regular	41930	2249
	Ensino artístico especializado (regular)		
	Cursos profissionais		
	Cursos CEF	1431	
	Cursos EFA	281	
	Ensino recorrente	454	
Ensino secundário	Ensino regular	10 050	103
	Ensino artístico especializado (regular)		
	Cursos profissionais	73	584
	Cursos CEF	1015	14
	Cursos EFA	2820	
	Ensino recorrente		
Total		62867	8236

Fonte: GEPE, 2009

A recolha de dados permitiu uma primeira caracterização dos equipamentos de ensino do 2º e 3º ciclos e do secundário - todos do ensino público - que ficou concluída em Novembro de 2008. Como o projecto estendeu a sua duração além do previsto inicialmente, avançou-se para a segunda fase que se destinou a caracterizar os equipamentos escolares de outros níveis de ensino, nomeadamente jardins-de-infância e 1º ciclo. Era também objectivo desta segunda fase expandir a base de dados, passando a incluir as escolas privadas e o ensino superior.

Para a concretização da segunda fase a DREALG - Direcção Regional de Educação do Algarve – solicitou a colaboração de todas as autarquias do Algarve (16 no total), que tutelam directamente esses níveis de ensino. A maior parte dos municípios colaborou na realização dos levantamentos de campo dos equipamentos de ensino públicos, relativos aos jardins-de-infância e 1º ciclo. Infelizmente, e como expectável, algumas escolas privadas, por não serem

tuteladas pelos municípios, foram excluídas do estudo dada a inexistência de técnicos para as visitar e caracterizar. Tentando não ignorar o ensino privado, o ICIST com o apoio da DREALG centrou-se então na caracterização e levantamento desses equipamentos de ensino mais representativos da região, ou seja, aqueles que apresentassem mais de 150 alunos (Quadro 6.4) bem como do ensino superior, em particular a Universidade do Algarve, em Faro.

Quadro 6.4 – Caracterização dos equipamentos de ensino privados efectuados pelo ICIST/DREALG

Coancelho	Nome estabelecimento	Níveis de ensino	N.º alunos
Faro	Colégio Algarve	Pré-escolar, 1º e 2º ciclo do EB	189
Faro	Colégio Nossa Senhora do Alto	Pré-escolar, 1º, 2º e 3º ciclo do EB	249
Loulé	Colégio Internacional de Vilamoura	Pré-escolar, 1º, 2º e 3º ciclo do EB e ensino secundário	348
Olhão	Colégio Bernardette de Jesus Romeira	Pré-escolar, 1º e 2º ciclo do EB	246
Total			1032

Alguns concelhos, nomeadamente Lagoa (inclui Escola Internacional do Algarve com 535 alunos), Loulé e Vila Real de Santo António efectuaram eles próprios os levantamentos dos equipamentos de ensino de natureza institucional não pública.

6.2. Fases de trabalho e problemas encontrados no preenchimento do portal

A Fase I teve início em Junho de 2008 e apresentou várias tarefas, desde a escolha do interlocutor local com maior responsabilidade na rede escolar – a DREALG - Direcção Regional de Educação do Algarve até à criação do portal ESCOLaRISCOS, que permitiu inserir todos os levantamentos efectuados pelo ICIST e pela DREALG ao longo do tempo. De seguida enumeram-se as várias tarefas decorridas ao longo da Fase I:

- conclusão e validação da lista das escolas que constituem o universo do estudo;

- reclassificação das escolas tendo em conta novas designações;

- criação de uma ficha de avaliação para o campus, os edifícios e os pavilhões desportivos;

- alteração das fichas de avaliação, tendo em conta resultados das várias reuniões entre a DREALG e ICIST, designadamente sobre a ocupação (alunos, docentes e não docentes) e outros campos relativos às escolas do 2º e 3º ciclos e secundário;

- criação de um portal para onde migraram os dados dos levantamentos existentes em formato Excel;

- georreferenciação das escolas através de informação cedida pela DREALG ou sempre que possível recorrendo ao portal da Educação – Roteiro das Escolas (http://roteiro.min-edu.pt/) –

onde consta o endereço das escolas e ao Google Maps;

- visitas/levantamentos de campo e preenchimento das fichas de avaliação pela DREALG e ICIST;

- validação dos dados fornecidos pela DREALG. Sempre que se justificasse o ICIST visitava as escolas que apresentavam maiores dúvidas nos levantamentos efectuados pela DREALG ou quando os dados apresentados eram pouco congruentes ou em falta.

Na Fase I definiu-se que a DREALG preencheria os dados das fichas de avaliação e introduziria os dados no portal – www.escolariscos.eu. Em Julho de 2008 foi enviado pela DREALG o resultado do levantamento e preenchimento das fichas de avaliação em Excel e verificaram-se algumas incongruências citadas abaixo:

- as fichas das escolas primárias (EB1, JI, EBI, EB1/JI) não se encontravam totalmente preenchidas à excepção da caracterização do campus;

- não aparecia especificado o número de edifícios que contém o campus;

- no preenchimento das fichas por vezes aparecia referência ao número de edifícios, no entanto, não se encontravam caracterizados individualmente. É importante ter a informação edifício a edifício, por muitas vezes no mesmo campus existirem edifícios de épocas distintas, sendo necessário analisá-los individualmente;

- a maior parte das escolas não tinha preenchido o campo "número de pisos";

- a maior parte das escolas tinha classificação "Bom" no que respeita ao estado de conservação e "sem danos" (infiltrações, assentamentos, deformações, entre outros), o que suscitou algumas dúvidas quanto à real presença e/ou conhecimentos dos técnicos no local para fazerem as inspecções.

Embora o empenhamento da DREALG tenha sido muito apreciado, faltavam dados-chave para se proceder à avaliação dos edifícios. O ICIST novamente solicitou o apoio da DREALG e conjuntamente com o ICIST, foi possível caracterizar o universo seleccionado e terminar esta Fase em Novembro de 2008, apresentando os resultados das vulnerabilidades dos edifícios e subsequentes graus médios de dano consoante o cenário sísmico escolhido.

Em Fevereiro de 2009 inicia-se a Fase II, cujo objecto era o de estudar as escolas tuteladas pelas autarquias. Tal como na Fase I a colaboração da DREALG foi imprescindível tanto como interlocutor com as Câmaras Municipais como no acompanhamento das visitas do ICIST aos equipamentos de ensino privados. Nesta Fase foi desenvolvido um "Manual de Preenchimento do Portal www.escolariscos.eu" (ver Anexo 1) e realizada uma sessão de esclarecimento a todos os técnicos municipais responsáveis pelo preenchimento das fichas de avaliação. A sessão de esclarecimento realizada na DREALG a 12 de Fevereiro de 2009, teve como objectivo reunir e apresentar a todos os técnicos das Câmaras Municipais o portal, as normas de preenchimento e subsequente esclarecimento de dúvidas. Pretendia-se que cada autarquia designasse um técnico, preferencialmente engenheiro civil ou arquitecto, que centralizava o

processo de preenchimento *online* das fichas de caracterização dos equipamentos de ensino públicos do 1º ciclo do ensino básico e sempre que possível o nível pré-escolar (jardim-de-infância). Previa-se que no final de Abril de 2009 estivesse concluída a caracterização de todos os equipamentos escolares escolhidos. No entanto, a recolha de dados e inserção no portal apenas terminou em Julho de 2009, por esta tarefa não estar enquadrada na agenda de trabalhos das autarquias, vendo-se as mesmas com outras prioridades e prazos a cumprir. Problemas burocráticos, falta de pessoal ou falta de meios de transporte para visitar algumas escolas também atrasaram o processo. Por estas razões, os levantamentos efectuados nos municípios de Vila do Bispo e Castro Marim tiveram de ser realizados pelo ICIST com o apoio da DREALG. Note-se que o esforço que os municípios fizeram para caracterizar os seus equipamentos de ensino é louvável; a Câmara de Loulé chegou mesmo a contratar uma empresa para se dedicar exclusivamente a esta tarefa.

Tal como na Fase I foram encontradas muitas dificuldades no preenchimento das fichas de avaliação por parte das autarquias. Estas dificuldades deveram-se em parte, pela falta de projectos para consulta, devendo ser toda a avaliação de inspecção visual e, também ao facto de terem sido incumbidas estas tarefas a outros técnicos que não os que estiveram presentes na sessão de esclarecimento, não apresentando muitas vezes formação na área da engenharia civil e/ou arquitectura.

Verificaram-se alguns erros e dúvidas nos elementos introduzidos no portal dos quais a seguir se enumeram:

- dúvida na classificação dos edifícios segundo a sua época construtiva e tipo de estrutura, problemas em distinguir estruturas pré-fabricadas e confusão ao classificar certos edifícios como sendo ATAPS (Adobe, taipa e pedra solta);

- alguns erros também foram encontrados no que respeita à regularidade da planta, estando assinaladas simetrias quando muitos edifícios apresentam planta irregular (L, T, U);

- identificação da presença de paredes resistentes sempre que existia uma escada, o que raramente se verifica na realidade.

A observação das fotografias (quando existiam) permitiu a correcção da maior parte destes erros, no entanto algumas dúvidas persistem como seja a certeza do tipo de estrutura das escolas pertencentes ao Plano dos Centenários, que teve início na década de 40. Dada a inexistência dos projectos nas Câmaras Municipais pressupôs-se que todas as escolas do Plano dos Centenários teriam uma estrutura do tipo “paredes de alvenaria e pavimento de betão”.

Outro problema que se registou foi a inexistência de georreferenciação nalgumas escolas, nomeadamente as de ensino privado. Muitas das coordenadas geográficas tiveram de ser calculadas, recorrendo à morada que é cedida no portal do Ministério da Educação, na opção “Roteiro das Escolas”, introduzindo-as no Google Earth e transformando as coordenadas sexagesimais (graus, minutos e segundos) em (graus) decimais.

Após as correcções e verificações de todas as escolas caracterizadas no portal ESCOLaRISCOS, estavam criadas as condições para analisar a base de dados e prosseguir para o estudo de cenários sísmicos.

6.3. Caracterização e diagnóstico da base de dados – Portal escolariscos

O portal ESCOLaRISCOS é constituído por três fichas distintas:

i) Ficha de caracterização geral do campus escolas.

ii) Ficha de caracterização do edifício.

iii) Ficha de caracterização geral dos ginásios/pavilhões desportivos.

Todos os campos das três fichas estão identificados e explicados no Manual de Preenchimento do Portal no Anexo 1 e, são a base de dados que deu origem a todos os resultados desta pesquisa sobre avaliação sísmica. Em seguida, serão apresentados alguns resultados gráficos e análises às principais variáveis que constituem a base de dados.

6.3.1. FICHA DE CARACTERIZAÇÃO GERAL DO CAMPUS ESCOLAR

Como referido no Anexo 1 esta primeira ficha caracteriza o campus escolar e é composta por duas partes (Figura 6.2):

i) Identificação da escola: onde consta o nome do estabelecimento, morada, mapa de localização, natureza institucional e nível de ensino.

ii) Caracterização geral do campus escolar: ficha de enquadramento da escola composta por informação relacionada com o número de edifícios existentes no campus, área e morfologia do terreno, proximidade a falésias e/ou à costa (para identificarmos o risco de deslizamentos e/ou tsunamis), condições gerais de acesso para acções de emergência, entre outras informações.

Os elementos relacionados sobre ocupação, como o número de alunos, de pessoal docente e não docente são preenchidos também nesta ficha, bem como a informação respeitante a possíveis obras de reabilitação ou desactivação das escolas. Nesta parte podem ser ainda adicionados documentos e plantas dos edifícios e existe um campo livre para registo de quaisquer informações que não estivessem contempladas nos outros campos.

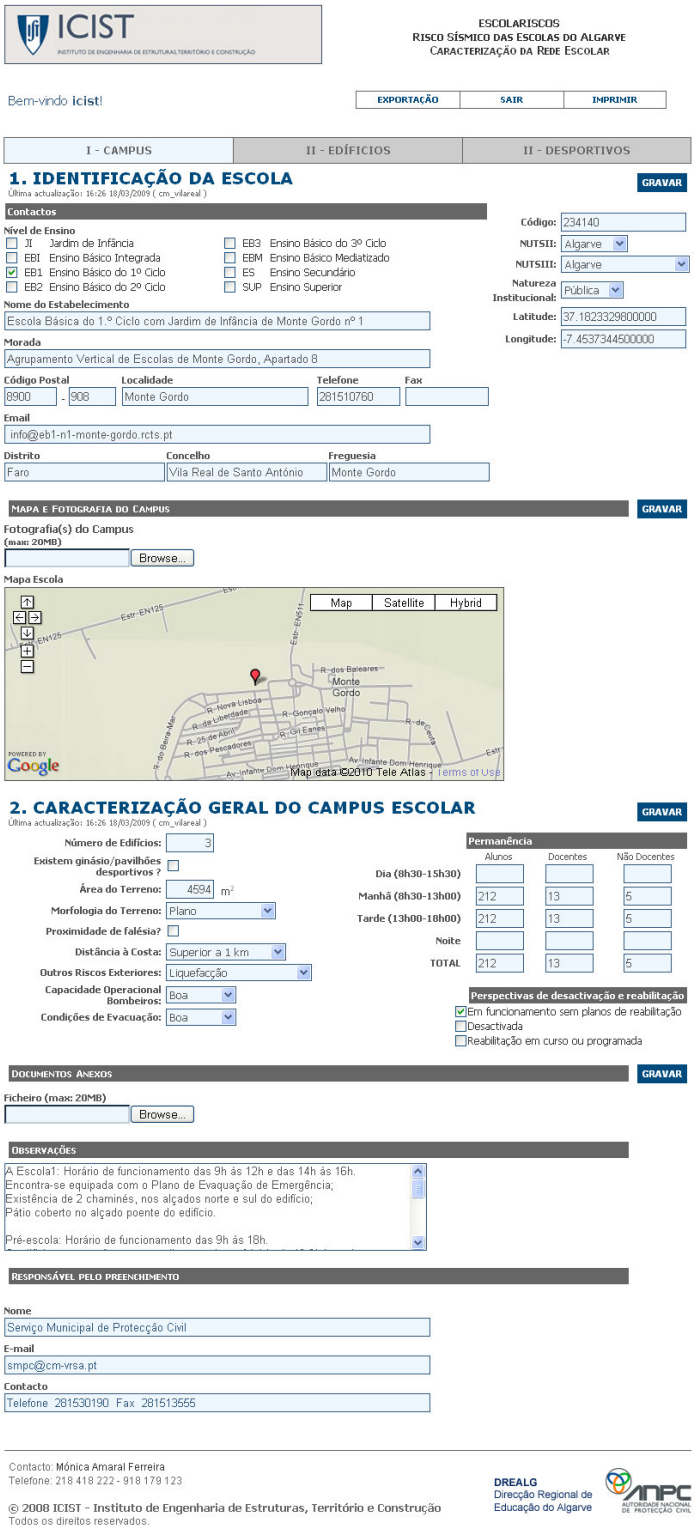


Figura 6.2 – Ficha de caracterização do campus escolar

Do total dos 378 estabelecimentos de ensino existentes no portal (Figura 6.3) – que perfazem um total de 572 edifícios - 274 são de natureza institucional pública e 104 privada. Foram efectuados os levantamentos e caracterização de 311 (Quadro 6.5) dos quais 270 dizem respeito ao ensino público e 41 a estabelecimentos de ensino particular.

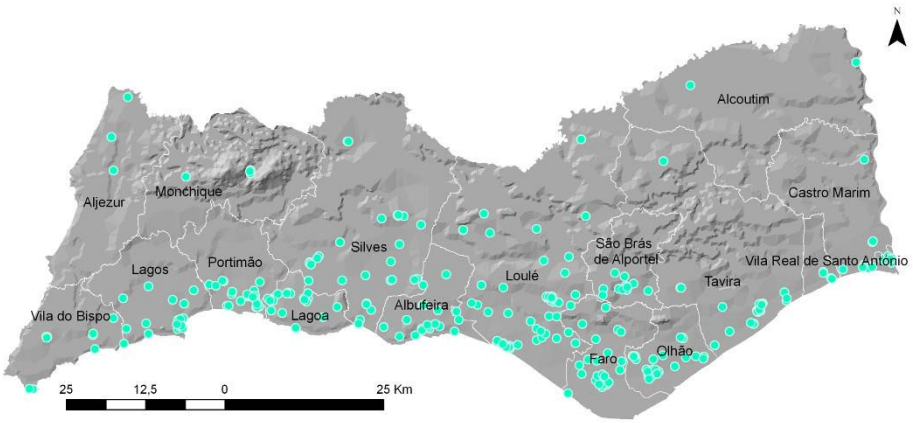


Figura 6.3 – Localização dos equipamentos de ensino analisados

Quadro 6.5 – Número de equipamentos de ensino analisados por nível de ensino

Nível de ensino	Total caracterizados	Nível de ensino	Total caracterizados
JI	70	ES com 3º ciclo	4
EB1	103	JI/EB1, 2	2
EB1/JI	58	JI/EB1, 2, 3	1
EB2,3	41	JI/EB1, 2, 3 e ES	1
EBI	5	Outros	6
EBI/JI	5	Superior	3
ES	12		

Verificou-se que na maior parte das escolas caracterizadas não foi possível obter informação sobre a área do terreno, por falta de elementos para consulta.

6.3.1.1. Número de alunos por nível de ensino e concelho

De um total de 378 estabelecimentos de ensino inseridos no portal, 311 foram alvo de caracterização pelas diferentes entidades que se disponibilizaram a realizar este estudo (210 pelas Câmaras Municipais e 101 pelo ICIST/DREALG). Relativamente à população estudantil deste universo de 311 escolas, totaliza um valor de 76543 alunos distribuídos pelos 16 concelhos. De acordo com a Figura 6.4 os concelhos que apresentam maior número de população estudantil são os de Faro, Loulé e Albufeira à semelhança com o verificado em termos de população residente (Figura 6.5). Note-se que o concelho de Faro apresenta uma população estudantil mais elevada devido à existência da Universidade do Algarve que capta estudantes de toda a região do Algarve e do país. Em sentido oposto observa-se que os concelhos mais rurais, com uma maior fragilização demográfica, registam reduzido número de estudantes, como sejam os concelhos de Alcoutim e Aljezur com 222 e 402 estudantes, respectivamente.

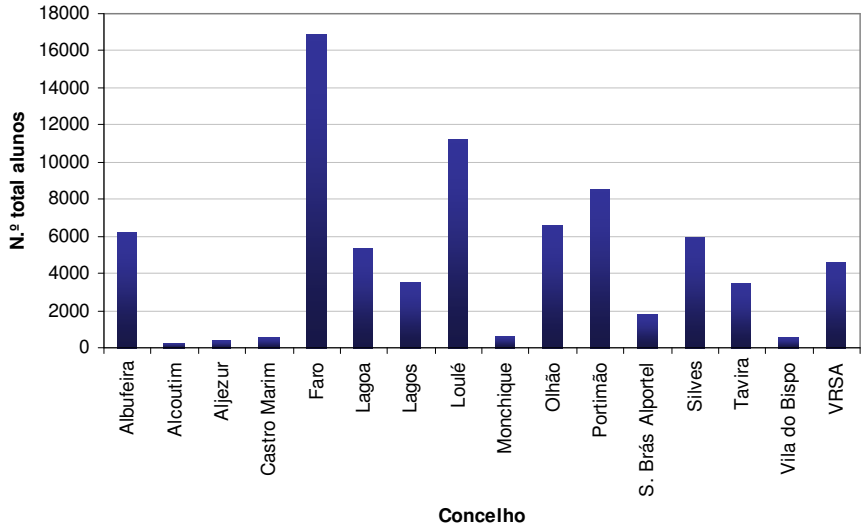


Figura 6.4 – Distribuição da população estudantil existente na base de dados (portal *ESCOLaRISCOS*) por concelho

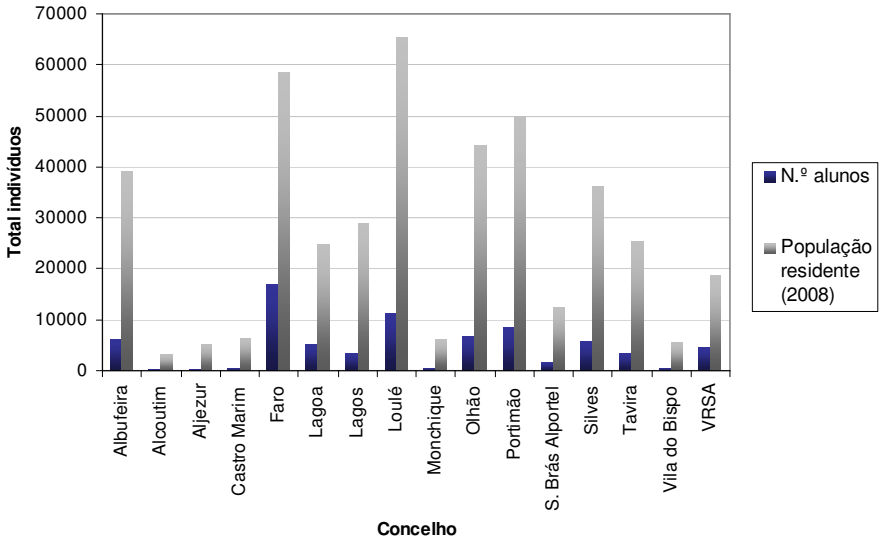


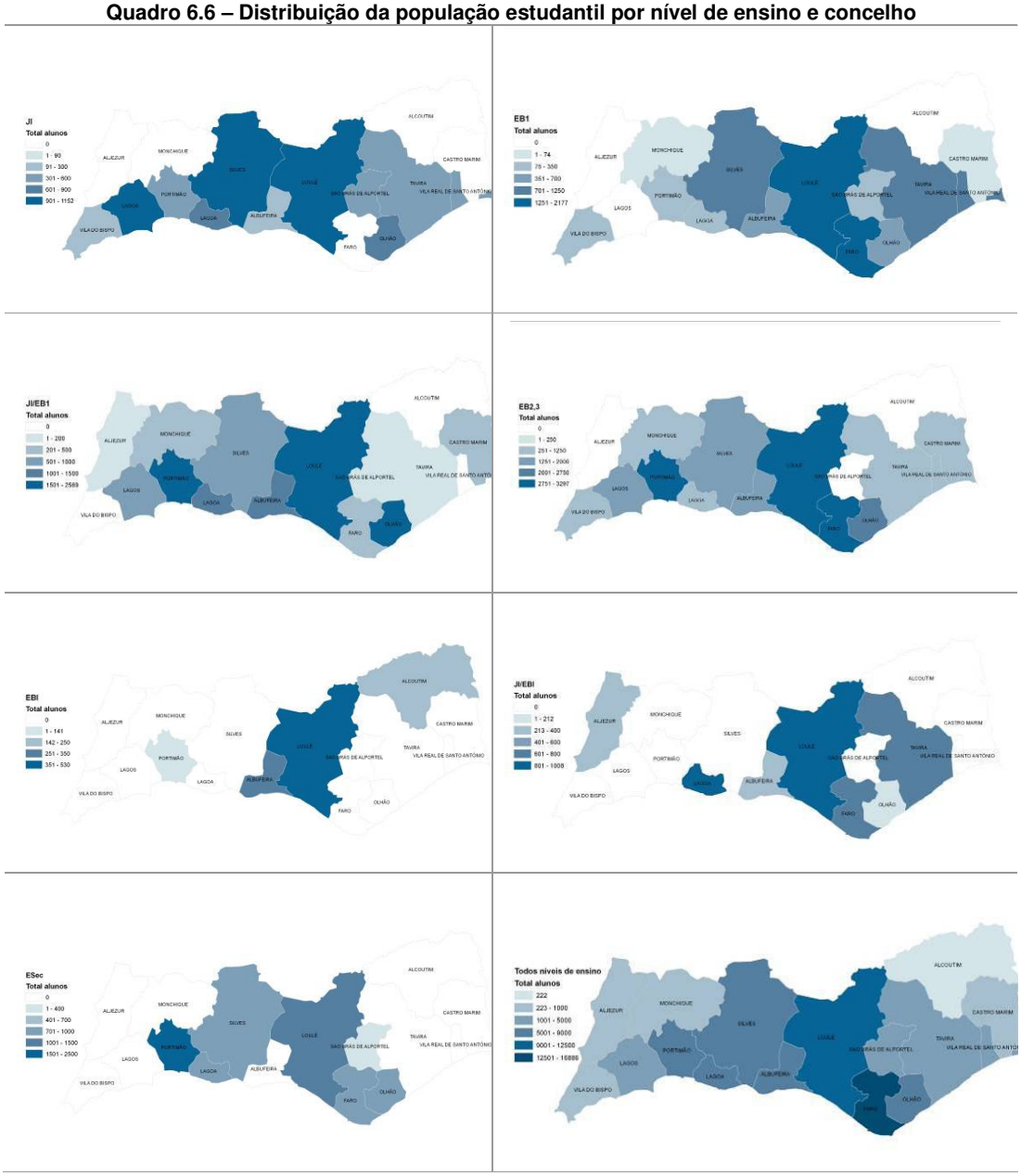
Figura 6.5 – População estudantil existente na base de dados vs população residente em 2008
Fonte: INE, Estimativas Anuais da População Residente

Os mapas do Quadro 6.6 ilustram a representação espacial da distribuição da população estudantil pelos vários concelhos da região do Algarve. Note-se que a informação relativa aos jardins-de-infância (JI) podem não ser as mais correctas, por muitas destas escolas serem de natureza institucional privada, o que impossibilitou a recolha desses dados pela maior parte dos municípios, como já referido anteriormente.

Segundo informação da base de dados, o nível de ensino que engloba maior número de alunos é o Ensino Básico de 2º e 3º ciclo (EB2, 3) com 19980 alunos, principalmente nos concelhos de Loulé, Faro e Portimão. Em segundo lugar encontra-se o Ensino Básico do 1º ciclo com jardim-de-infância (EB1/JI) com 11200 alunos que se distribuem pelos concelhos de Portimão, Loulé e Olhão.

O ensino superior, em Faro, aparece em terceiro lugar com cerca de 8700 alunos.

Quadro 6.6 – Distribuição da população estudantil por nível de ensino e concelho



6.3.1.2. Número de edifícios por nível de ensino

Da análise à base de dados resume-se que os campi das escolas são maioritariamente formados por apenas um edifício (59%) e dizem respeito ao ensino básico do 1º ciclo e educação pré-escolar (JI). Os campi que apresentam maior número de edifícios são os do ensino secundário e superior, onde normalmente constam 4 a 7 edifícios.

6.3.1.3. Tipo de projecto de arquitectura

Consoante a época em que as escolas foram construídas, diferentes modelos de edifícios foram contemplados. As visitas técnicas realizadas permitiram assim identificar um conjunto de tipologias predominantes que de seguida serão descritas:

Centenários – Edifício-tipo construído a partir do "Plano dos Centenários", no âmbito da comemoração do 8º Centenário da Fundação de Portugal, em 1940. Dispunham de elementos arquitectónicos característicos das regiões em que foram construídos tais como arcos, chaminés, entre outros. Os sanitários situam-se no recreio coberto integrado no próprio edifício. Este dispõe de um ou dois átrios conforme se destinava a um ou aos dois sexos.

Centenário rural – Projecto desenvolvido a partir do tipo "Centenários" mas sem inclusão das características arquitectónicas da região, mantendo a mesma organização de espaços.

Modelo MOP/JCETS – Projectos elaborados para os antigos liceus, escolas técnicas, industriais e comerciais, pela Junta de Construções para os ensinos técnico e secundário (JCETS) do Ministério das Obras Públicas. Construções executadas nas décadas de 1940 e 1950.

Modelo Blocos 3x3 – Projecto que data de meados dos anos 70 e o projecto-tipo do início dos anos 80. Os blocos caracterizam-se por serem de planta quadrada, com base no módulo de 7,20m x 7,20m, em que as dimensões exteriores não excedem os 23m, qualquer que seja o sistema construtivo, sendo geralmente chamados "3x3". No caso de blocos com dois pisos a escada localiza-se no átrio central, havendo um lanternim na cobertura para iluminação superior. Em escolas construídas após 1988 o projecto-tipo desenvolve-se em dois pisos e apresenta unidades de ligação, com base no módulo 7,20m x 7,20m, ganhando a designação "3x3 compacto".

Modelo Compacto (DREALG) – Modelo regional do Algarve de concepção e projecto local que se caracteriza por um edifício de aulas com 2 alas paralelas (eventualmente com diferentes comprimentos), 2 pisos e com uma parte administrativa que procede à ligação dessas 2 alas.

Os Quadros 6.7 a Quadro 6.9 apresentam exemplos de algumas tipologias descritas anteriormente.

Quadro 6.7 – Tipologias escolares predominantes

Escola	Concelho	Tipologia
E.B.1 n.º 1 de Sagres	Vila do Bispo	Centenário
E. B. 1 Salema	Vila do Bispo	Centenário rural
E.B.I. de Alcoutim	Alcoutim	Edifício Único
E.B.2,3 de Mexilhoeira Grande	Portimão	
E.B. 2,3 Prof. João Cónim	Lagoa	
E.B. 2,3 Infante D. Fernando	VRSA	
E.B. I. Paderne	Albufeira	
E.B. 2,3 Dr. António João Eusébio	Olhão	
E.B.I. de Martinlongo	Alcoutim	
E.B. 2,3 João de Deus	Silves	Blocos 3 x 3
E.B. 2,3 Dr. Garcia Domingues	Silves	

Quadro 6.8 – Tipologias escolares predominantes (continuação)

Escola	Concelho	Tipologia
E.B.I. de Aljezur	Aljezur	Compacto (DREALG)
E.B. 2,3 Santo António	Faro	
E.B. 2,3 Poeta Emiliano da Costa	Faro	
E.B. 2,3 D. Martinho Castelo Branco	Portimão	
E.B. 2,3 Eng. Nuno Mergulhão	Portimão	
E.B. 2,3 Jacinto Correia	Lagoa	
E. Secundária / 3 Gil Eanes	Lagos	
E.B. 2,3 Eng. Duarte Pacheco	Loulé	
E.B. 2,3 Padre João Coelho Cabanita	Loulé	
E.B. 2,3 D. Manuel I	Tavira	
E.B. 2,3 de Lagos n.º 1	Lagos	Base preparatória
E.B. 2,3 D. Dinis	Loulé	
E.B. 2,3 de Monchique	Monchique	
E.B. 2,3 Dr. João Lúcio	Olhão	

Quadro 6.9 – Tipologias escolares predominantes (continuação)

Escola	Concelho	Tipologia
E. Secundária Tomás Cabreira	Faro	MOP
E. Secundária João de Deus	Faro	
E.B. 2,3 D. Afonso III	Faro	
E.B. 2,3 Prof. Paula Nogueira	Olhão	
E. Secundária Poeta António Aleixo	Portimão	
E. Secundária de Silves	Silves	
E. Secundária com 3º ciclo de Vila Real de Santo António	VRSA	

6.3.1.4. Existência de risco exterior

Este campo da base de dados contempla vários factores como sejam a morfologia do terreno, distância a falésias e risco de deslizamento de taludes. Será feita uma breve análise a cada um dos referidos factores.

Morfologia do terreno:

No que concerne ao risco exterior e de acordo com os dados do portal, 71% das escolas encontram-se implantadas em terrenos planos e 4% em terrenos muito acidentados, oferecendo uma maior probabilidade de risco. Verifica-se que as escolas do ensino básico do 1º ciclo e jardins-de-infância são as que se localizam nas zonas mais declivosas, o que poderá estar relacionado com a proximidade às localidades - atendendo ao grupo etário, a distância entre estes níveis de ensino e os locais de residência ou de trabalho dos pais das crianças deverá subordinar-se ao princípio geral de grande proximidade (a pé entre 15 a 30 minutos e em transporte público de 20 a 40 minutos) (DGOTDU, 2002). Note-se que os critérios para a localização dos equipamentos de ensino indicam valores máximos de 5% para a inclinação dos terrenos independentemente do nível de ensino.

Distância a falésias:

São nove os estabelecimentos de ensino que se localizam na proximidade de falésias, sendo que quatro distam menos de 500 m; por exemplo a Escola Básica do 1º ciclo de Carvoeiro, em Lagoa, localiza-se a 50 m (Figura 6.6).

Figura 6.6 – Localização da EB1 de Carvoeiro
Fonte: Google maps

As faixas de protecção de arribas e falésias deverão ser sempre tidas em consideração, devido ao processo de agravamento do estado das mesmas em caso de ocorrência de um sismo, por exemplo.

Deslizamentos de taludes e Liquefacção:

Relativamente a outros riscos exteriores como “deslizamentos de taludes” apenas quatro estabelecimentos de ensino identificaram esse perigo; quanto à “susceptibilidade de liquefacção” foram identificados 30 equipamentos em terrenos susceptíveis e que merecem especial atenção.

Localização perto de falha geológicas:

Embora esta questão não tenha sido contemplada no inquérito, foi-nos possível analisar a mesma. Conhecendo-se as localizações das falhas geológicas na região e dos equipamentos de ensino, é possível identificar-se na Figura 6.7, 56 equipamentos cuja localização distam até 200m das falhas (estas falhas podem gerar sismos de diferentes magnitudes que podem ir de M_W 5,9 a 8,7). Em média ocorre um sismo de magnitude 6 (como o ocorrido em 17 de Dezembro de 2009) de 100 em 100 anos (probabilidade anual de 0,01 ocorrência), um sismo de magnitude 7 de 300 em 300 anos (como o de 1969) e magnitude 8 de 1000 em 1000 anos. Um sismo como o de 1755 poderá ter um período de retorno de 1000 a 2000 anos. Já um sismo, por exemplo, no sistema de falhas de Portimão com uma magnitude máxima de 6,3 terá um período de retorno superior a 10000 anos ou seja uma probabilidade anual inferior a 0,0001 (Carvalho et al., 2009).

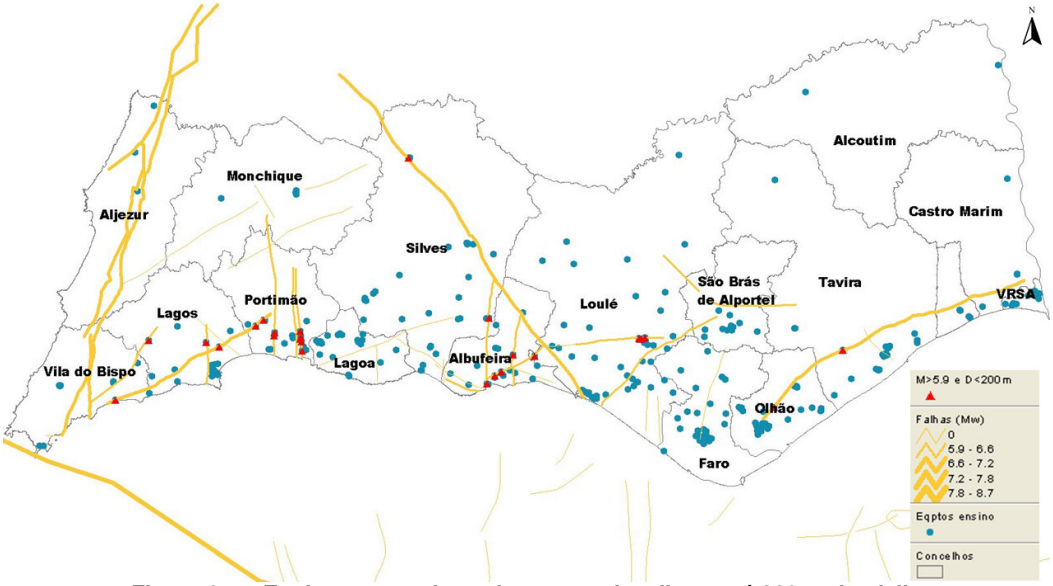


Figura 6.7 – Equipamentos de ensino que se localizam até 200 m das falhas

As construções ou reconstruções em ou muito próximo de falhas geológicas nunca devem ser consideradas. As falhas geológicas, embora exibindo uma actividade sísmica (ocorrência) muito baixa devem ser consideradas nas restrições ao uso do solo, deixando-se um corredor de 200 m para cada lado da falha como zona livre de construção. As indicações apontam para, na pior das hipóteses, a origem de um evento de magnitude M 6 a 6,5 que poderá causar deslocamentos relativos nos bordos das falhas de cerca de 1 a 2 m (horizontal ou vertical).

Tsunamis:

Os resultados das simulações de "*runup*" e de inundação desenvolvidos no estudo ERSTA, no capítulo destinado à "cartografia do risco de tsunami", permitiram obter uma carta de inundação do que poderá ter ocorrido aquando do tsunami de 1755 e é proposta na Figura 6.8. Nas áreas de arriba, a água poderá ter atingido locais a cerca de 30 m de altitude. Sendo o perigo de tsunami bem real no Algarve, verificamos que em vários segmentos do litoral os equipamentos de ensino se localizam justamente em áreas de bastante perigo.

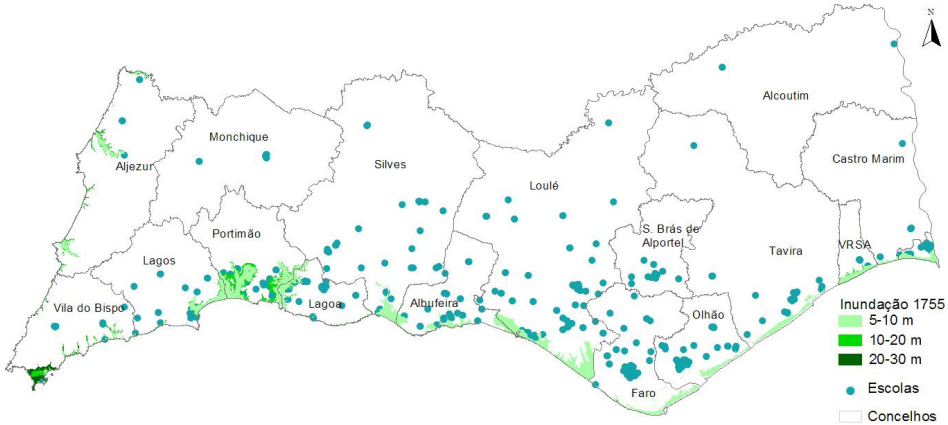


Figura 6.8 – Localização dos equipamentos de ensino e área de inundação do tsunami de 1755

6.3.2. FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

Nesta ficha (tantas quanto o número de edifícios autónomos), de índole mais técnica, caracteriza-se cada um dos edifícios que constituem o campus escolar, atribuindo-lhe uma identificação, o número de pisos e a área total do edifício. No entanto, nem sempre foi possível recolher informação sobre a área total do edifício. Caracteriza-se também o tipo de estrutura do edifício, de cobertura, de laje de piso, o estado de conservação e, indica-se adicionalmente, o período de construção. Outras informações sobre a regularidade estrutural, existência de danos e existência de riscos interiores e exteriores são também questionados (Figura 6.9).

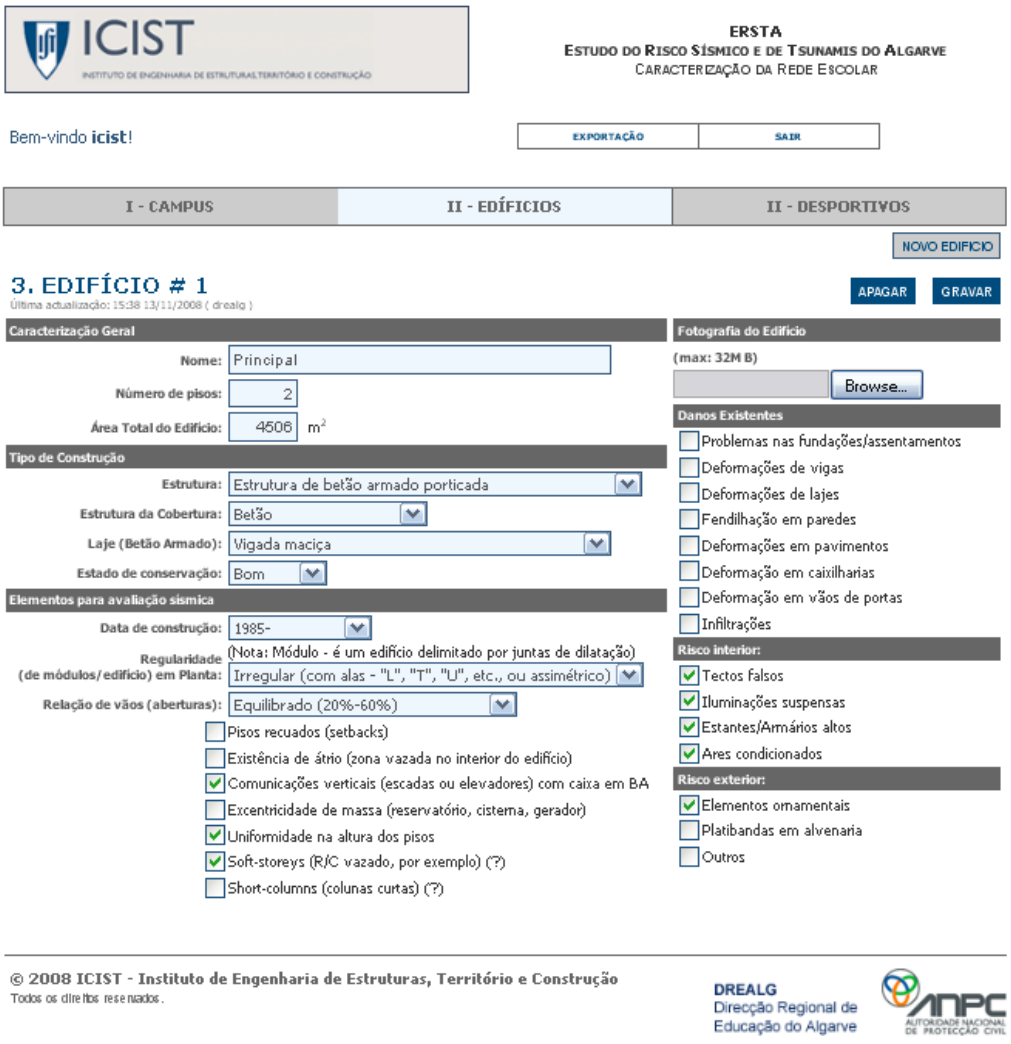


Figura 6.9 – Ficha de caracterização do edifício

6.3.2.1. Número de pisos e data de construção

Observou-se que os edifícios que compõem os campi escolares, independentemente da época construtiva, são na sua grande maioria compostos por 1 a 2 pisos (47% com 1 piso e 45% com 2 pisos). Nos edifícios mais recentes, posteriores a 1970, podemos encontrar 4 ou 5 pisos no máximo, porém em muito menor número, 1% e 0,2%, respectivamente. A Figura 6.10 ilustra a distribuição do número de pisos por época construtiva, onde se verifica que a maior parte dos

edifícios analisados foram construídos após 1985 (53%) e com 1 e 2 pisos. Os edifícios mais antigos, anteriores a 1960, ainda têm alguma expressividade na região do Algarve (23%) e dizem respeito sobretudo aos edifícios do Plano dos Centenários (

Figura 6.11).

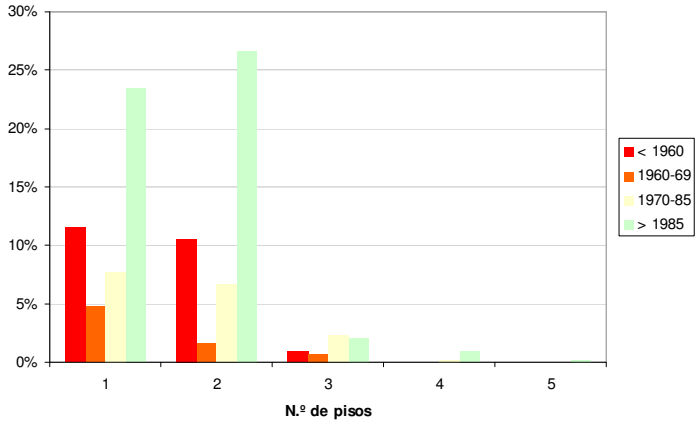


Figura 6.10 – Número de pisos por época construtiva

Figura 6.11 – Exemplo de escolas do projecto Plano dos Centenários (anos 40 a 60)

6.3.2.2. Tipo de estrutura e estado de conservação

Relativamente ao tipo de estrutura e estado de conservação dos equipamentos de ensino, verifica-se que na região do Algarve as escolas apresentam essencialmente estruturas porticadas em betão armado (68%), correspondentes às épocas de construção mais recentes, sendo 24% as estruturas dos edifícios com paredes de alvenaria e betão armado aplicado na estrutura dos pisos em alternativa a soluções de estrutura de madeira (1%), característico das construções anteriores a 1960. Relativamente ao estado de conservação, 57% dos edifícios escolares encontram-se em Bom estado de conservação e 2% em Mau estado (Figura 6.12).

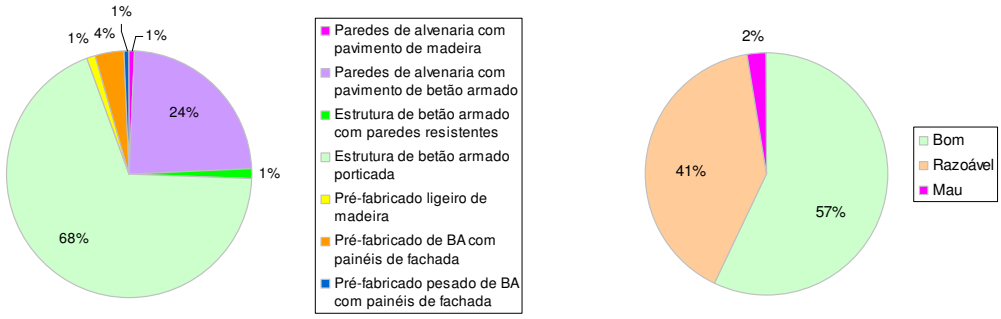


Figura 6.12 – Estrutura predominante e estado de conservação

No que diz respeito aos tipos de estrutura da cobertura e laje não aparecem listados os resultados dada a incerteza, desconhecimento e falta de dados nestes dois campos.

6.3.2.3. Outros elementos para avaliação sísmica

Apesar de existirem recomendações técnicas para a concepção e construção dos edifícios e recintos escolares, onde constam capítulos ligados à segurança, verificamos que a preocupação em assegurar essa mesma segurança não está ainda muito vocacionada para os sismos, sendo as preocupações maiores relacionadas com o risco de incêndio, com as instalações de gás, eléctricas e de telecomunicações. Verifica-se também que são exigidos certos requisitos arquitectónicos que, no caso de ocorrência de um sismo podem provocar sérios acidentes pessoais ou mesmo comprometer o desempenho sísmico do edifício. São vários os elementos que influenciam esse desempenho, desde elementos arquitectónicos ao mobiliário escolar, a soluções construtivas, entre outros. Exemplo disto é a recomendação da alínea a), ponto II.4 dos Termos de Referência para a Concepção e Construção de Escolas, do Ministério da Educação para a localização do mobiliário; “seja dada preferência à utilização de mobiliário e de equipamento móvel, em detrimento de equipamento fixo e ou integrado em paredes, designadamente em paredes que separem espaços de ensino”; ora o equipamento móvel e não fixo, bem como a presença de tectos falsos (recomendável para a absorção acústica) entram na categoria dos danos não estruturais (ver Capítulo 4) e são responsáveis por sérios danos na população, como já referido.

As Figura 6.13 e Figura 6.14 apresentam alguns factores de agravamento identificados nos equipamentos de ensino que influenciam a vulnerabilidade dos edifícios. A irregularidade e assimetria das plantas, a presença de *setbacks* (pisos recuados) e de *short-columns* (colunas curtas), bem como pisos com alturas diferentes (não uniformidade na altura) são os elementos mais frequentes e que estão presentes principalmente nos edifícios mais recentes. Outro factor com grande representatividade (10%) é o dos edifícios com R/C vazado ou *soft-storeys* que podem conduzir a efeitos importantes como deformações dos pilares do piso térreo ou mesmo destruição do edifício.

As aberturas, dependendo das suas dimensões relativamente às da parede onde se inserem, podem também alterar de forma significativa o comportamento e a resistência, diminuindo a

rigidez da parede no seu plano (Carvalho e Oliveira, 1983). Assim, se possível, as aberturas devem ser distribuídas regularmente pelas paredes exteriores sem que haja zonas muito "abertas" nem zonas muito "fechadas", devendo dispor-se simetricamente em planta. Nos equipamentos de ensino verifica-se que 80% têm uma distribuição equilibrada das aberturas, enquanto 15% dos edifícios apresentam zonas muito "abertas".

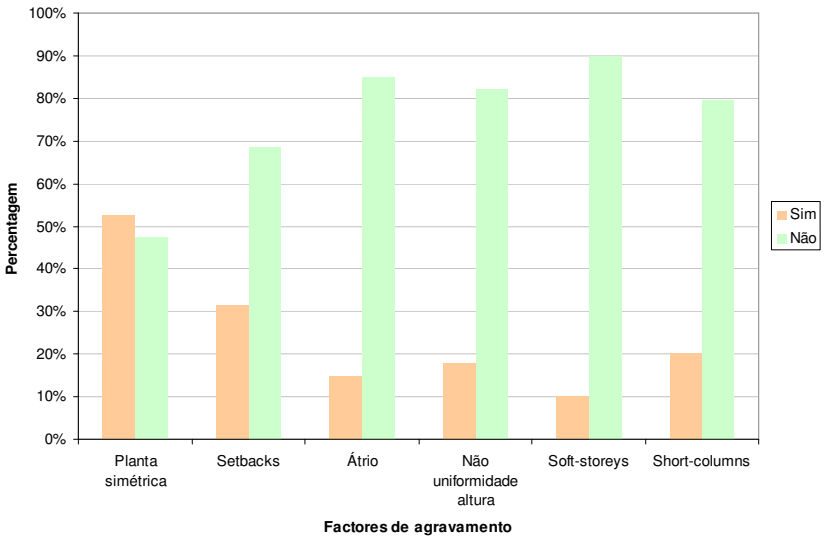


Figura 6.13 – Alguns factores de agravamento sísmico

Figura 6.14 – EB1/JI Cavalinha – soft-storey; EB1 de Quarteira – pisos recuados; Universidade do Algarve (Faculdade de Engenharia de Recursos Naturais e Faculdade de Economia) – planta assimétrica

Outros elementos que entram na análise de vulnerabilidade, são os relacionados com uma pré-existência de danos nas estruturas no momento da inspecção. Estes danos obviamente irão tornar a estrutura mais frágil. Das questões colocadas no inquérito foi possível verificar que a maior parte dos edifícios apresentam problemas de infiltrações e de fendilhação em paredes, com 56% e 39%, respectivamente. Embora em menor número mas não menos preocupante constataram-se problemas em fundações ou assentamentos em 5% dos edifícios (Figura 6.15).

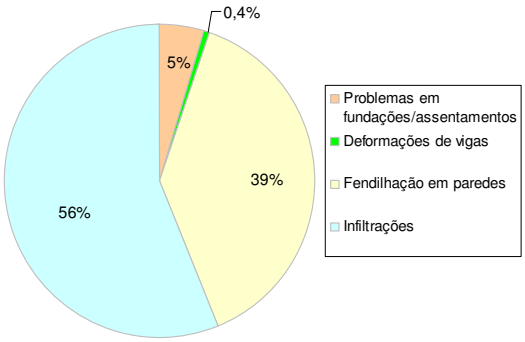


Figura 6.15 – Danos existentes

6.3.3. FICHA DE CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS GINÁSIOS/PAVILHÕES DESPORTIVOS

Esta secção do inquérito trata de uma ficha técnica semelhante à anterior mas agora vocacionada para avaliação sísmica dos ginásios e equipamentos desportivos (Figura 6.16).

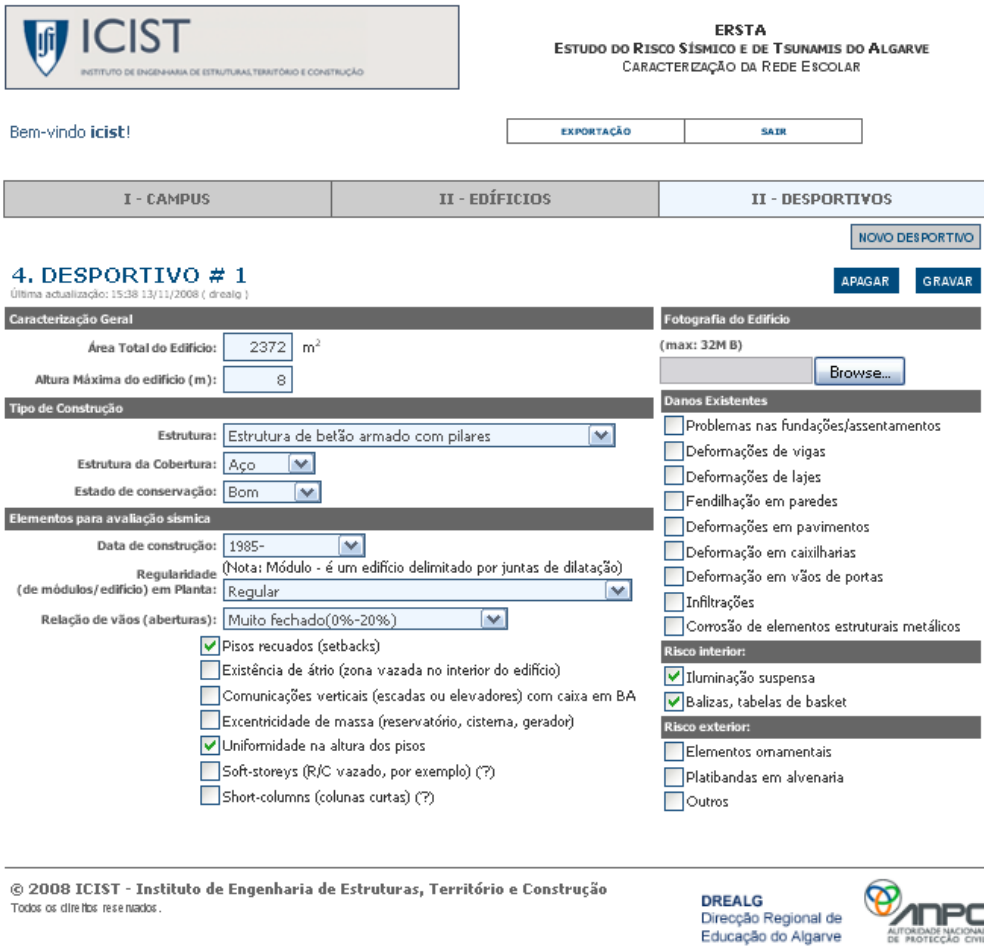
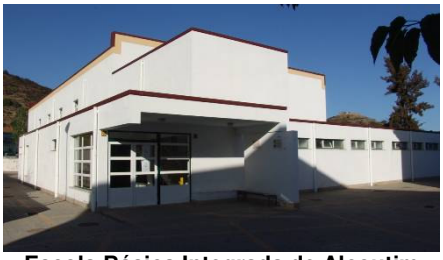


Figura 6.16 – Ficha de caracterização geral dos ginásios/pavilhões desportivos

Foram identificados 74 ginásios/pavilhões desportivos sendo a maior parte construídos após

1985 (80%) e com estrutura de betão armado com pilares (70%). Dada a falta de elementos para consulta não nos é possível encontrar dados relativos à área total dos edifícios e sua altura. A Figura 6.17 ilustra alguns exemplos de pavilhões desportivos encontrados na região.

Escola Secundária Manuel Teixeira Gomes



Escola Básica Integrada de Alcoutim

Escola Básica 2,3 Mexilhoeira Grande

Escola Secundária Poeta António Aleixo

Figura 6.17 – Exemplo de ginásios/pavilhões desportivos

6.3.3.1. Outros elementos para avaliação sísmica

Também para os ginásios e pavilhões desportivos foram identificados os factores de agravamento que mais influenciam a vulnerabilidade destes edifícios. A Figura 6.18 identifica assim a presença de *setbacks* (pisos recuados) e de *short-columns* (colunas curtas), bem como pisos com alturas diferentes (não uniformidade na altura) como sendo os elementos mais frequentes a considerar na avaliação de risco sísmico.

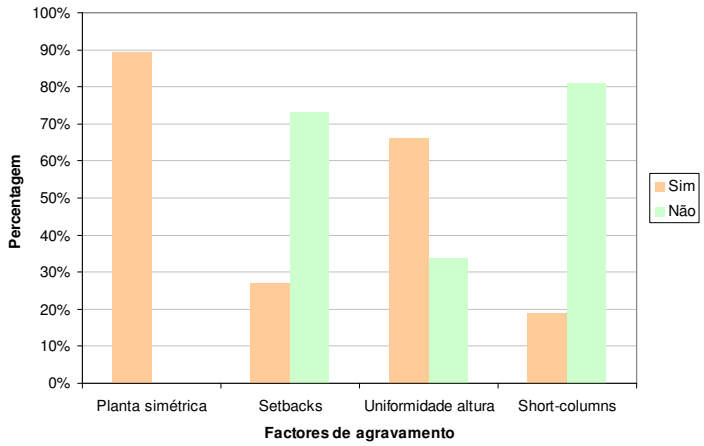


Figura 6.18 – Alguns factores de agravamento identificados considerados para o caso dos ginásios/pavilhões desportivos

6.4. Simuladores sísmicos. Resultados da avaliação de danos

"Um simulador de cenários sísmicos é uma ferramenta computacional que tem por objectivo promover a percepção global das perdas potenciais que podem ocorrer quando um sismo ocorre, ou quando um cenário sísmico é simulado visando melhorar a prevenção e mitigação destes desastres" (Sousa, 2011).

O simulador sísmico desenvolvido no âmbito do projecto ERSTA consistiu em recolher e descrever informação detalhada em várias áreas, desde as fontes sismogénicas até às consequências directas (mortos, feridos, desalojados, impacto económico), tocando nos seguintes pontos:

- Acção a nível do solo na zona atingida pelo sismo;

- Estimativa de danos no edificado;

- Estimativa de danos humanos;

- Estimativa de danos em equipamentos de ensino;

- Estimativa de danos em equipamentos de saúde;

- Estimativa de danos em equipamentos hoteleiros;

- Estimativa de danos nas obras de arte do sistema de transportes terrestre (rodo e ferroviário);

- Estimativa de perda de operacionalidade e de danos no sistema de transporte de distribuição de energia eléctrica;

- Estimativa de perda de operacionalidade e de danos no sistema de abastecimento e distribuição de água;

- Estimativa de perda de operacionalidade e de danos no sistema de saneamento básico;

- Estimativa de danos em arribas;

- Cenários de Tsunami.

Todos os dados coligidos, tratados e obtidos pelas diversas equipas que entraram no ERSTA foram incluídos no simulador de cenários de forma georreferenciada.

Após a explicitação da metodologia de análise da vulnerabilidade sísmica, propósito no qual se centrou o Capítulo 5, importa agora aplicar o método à região do Algarve. A avaliação da vulnerabilidade e risco sísmico das instalações escolares foi determinada com base nos métodos empíricos desenvolvidos por Giovinazzi e Lagomarsino (2001 e 2004) a partir dos conceitos da Escala Macrossísmica Europeia-98 (EMS-98, Grunthal, 1998), pelo detalhe apresentado por essa escala e pela vasta e abrangente gama de tipologias construtivas consideradas (das alvenarias ao aço), bem como pela distribuição dos danos relacionados com cada grau de intensidade.

6.4.1. DESCRIÇÃO GERAL DO MÉTODO MACROSÍSMICO UTILIZADO NESTA DISSERTAÇÃO

A metodologia utilizada na elaboração do estudo de vulnerabilidade sísmica nesta dissertação, constitui uma versão adaptada da Escala Macrossísmica Europeia desenvolvida, como já citado, por Giovinazzi e Lagomarsino. Esta metodologia introduz um Índice de Vulnerabilidade V_I, para representar através de um valor numérico a correspondência de uma determinada tipologia construtiva dentro de uma classe de vulnerabilidade. Seis classes de decrescente vulnerabilidade (de A a F) são consideradas na escala, sendo a classe A aquela que representa o edifício com pior comportamento à acção sísmica e F o edifício com o melhor comportamento sismo-resistente. As funções de pertença χ de cada uma das seis classes de vulnerabilidade (veja-se Figura 6.19) definem-se de forma difusa, existindo funções de pertença definidas para classes de vulnerabilidade plausíveis (χ=1, o que quer dizer "quase de certeza") e classes de vulnerabilidade possíveis (χ entre 0 e 1) que definem a transição entre duas classes de vulnerabilidade. A Figura 6.19 revela os intervalos V_I para cada classe de vulnerabilidade de A a F.

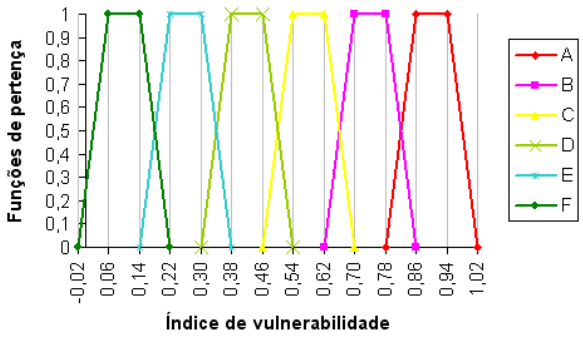


Figura 6.19 – Índice de vulnerabilidade para as classes de vulnerabilidade EMS-98

Assim para cada tipologia construtiva referida no Capítulo 5, Quadro 5.3 (correspondência entre tipologia construtiva e classes de vulnerabilidade) é possível calcular o Índice de Vulnerabilidade mais provável V_I^* e seus intervalos de variação V_I^- - V_I^+ e V_I^{--} - V_I^{++} , em que [V_I^- e V_I^+] define o intervalo plausível do índice (em que os valores da função de pertença valem 1) e [V_I^{--} e V_I^{++}] representa os limites inferior e superior de vulnerabilidade que se consideram possíveis (Quadro 6.10).

Quadro 6.10 – Valores do índice de vulnerabilidade para diferentes classes de vulnerabilidade

	V_I^{--}	V_I^-	V_I^*	V_I^+	V_I^{++}
A	0,78	0,86	0,90	0,94	1,02
B	0,62	0,70	0,74	0,78	0,86
C	0,46	0,54	0,58	0,62	0,70
D	0,30	0,38	0,42	0,46	0,54
E	0,14	0,22	0,26	0,30	0,38
F	-1,02	0,06	0,10	0,14	0,22

Assim, novas tipologias construtivas podem ser equiparadas às propostas na EMS-98 ou, por comparação com estas, permitindo calcular valores para os seus índices de vulnerabilidade. As tipologias existentes na região do Algarve foram, sempre que possível, directamente equiparadas a tipologias propostas na EMS-98, sendo necessário no entanto criar mais cinco tipologias (RC1-, RC2-, RC2+, RC4- e RC4+) para melhor caracterizar as construções existentes (Quadro 6.11 a Quadro 6.13).

Quadro 6.11 – Atribuição de tipologia construtiva

	Alv+Mad	Alv+BA	BA c/paredes	BA pórtico	PF madeira	PF BA ligeiro	PF pesado	Outros
< 1960	M5	M6	RC4-	RC1	W	RC1-	RC1-	M2
1960-69	M5	M6	RC4	RC2-	W	RC1-	RC1-	M2
1970-85	---	---	RC4+	RC2	W	RC1-	RC1-	---
> 1985	---	---	RC5	RC2+	W	RC4-	RC4-	---

Quadro 6.12 – Atribuição de índices de vulnerabilidade segundo a tipologia construtiva

	Alv+Mad	Alv+BA	BA c/paredes	BA pórtico	PF madeira	PF BA ligeiro	PF pesado	Outros
< 1960	0,74	0,616	0,553	0,644	0,447	0,660	0,660	0,84
1960-69	0,74	0,616	0,544	0,553	0,447	0,660	0,660	0,84
1970-85	---	---	0,464	0,447	0,447	0,660	0,660	---
> 1985	---	---	0,384	0,393	0,447	0,553	0,553	---

Quadro 6.13 – Atribuição dos índices de vulnerabilidade quando apenas se conhece a época construtiva

	Estrutura desconhecida
< 1960	0,645
1960-69	0,633
1970-85	0,536
> 1985	0,466

Os casos em que não foi possível obter qualquer informação sobre os edifícios, como é o caso dos jardins-de-infância e as escolas básicas do 1º ciclo, atribuiu-se um índice de vulnerabilidade de **0,586**, obtido através do cálculo da média dos índices de vulnerabilidades do Quadro 6.13.

Esta metodologia macrossísmica permite ainda, na presença de informação mais detalhada sobre o edificado (estado de conservação, número de pisos, relação de vãos, entre outros) corrigir os valores dos índices de vulnerabilidade, agravando-os ou desagravando-os, tornando o estudo mais aprofundado. Como o levantamento contemplou a identificação destes factores modificadores do comportamento (FM) (Quadro 6.14), foram calculados novos índices de vulnerabilidade ($V_{final} = V_I + FM$).

Quadro 6.14 – Factores modificadores e consequente atribuição de pontos

Factores modificadores (FM)		Alvenaria	Betão | Regulamentação		
			Pré/Baixa (<1960)	Alta (>1985)	Média (1960-85)
N.º pisos	Baixo: (Al. 1-2) | (B. 1-3)	-0,04	-0,02	-0,02	-0,02
	Médio: (Alv. 3-5) | (B. 4-7)	0	0	0	0
	Alto: (Alv. ≥6) | (B. ≥8)	0,04	0,08	0,06	0,04
Estrutura cobertura	Betão	0,04	0	0	0
Danos existentes	A, B e D	0,08	0,08	0,08	0,08
	Pelo menos 2 danos estrut	0,06	0,06	0,06	0,06
	Pelo menos 1 dano estrut	0,04	0,04	0,04	0,04
	Infiltrações	0,04			
Planta	L, T, U	0,02	0,02	0,02	0,02
Átrio/pátio		0,02	0,02	0,02	0,02
Paredes resistentes (elevador)	Centrado	0	-0,04	-0,04	-0,04
	Não centrado	0	0,.02	0,02	0,02
Excentricidade de massa (gerador, reservatório, ..)		0,04	0,04	0,04	0,04
Não uniformidade na altura		0,02	0	0	0
Aberturas	Muito aberto	0,02	0,02	0,02	0,02
Pisos vazados		0,04	0,04	0,04	0,04
Colunas curtas			0,02	0,01	0
Estado conservação	Bom	-0,04	0	0	0
	Mau	0,04	0,04	0,02	0

Com base no índice de vulnerabilidade, V_I, é possível calcular as probabilidades de ocorrerem ou de serem excedidos cada um dos diversos graus de danos propostos na EMS-98 (D1 a D5 - negligenciáveis, moderados, severos, muito graves e destruição) em função da intensidade.

Com efeito, considerando, tal como proposto pelos autores, ter-se-á que o grau médio de danos é dado pela equação:

$$\mu_d = 2{,}5(1 + Tanh(I + 6{,}25V_I^* - 13{,}1)/2{,}3$$

onde:

μ_d : grau médio de dano esperado entre 0 e 5

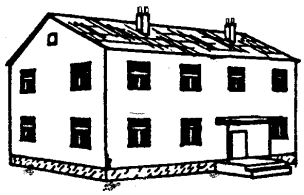
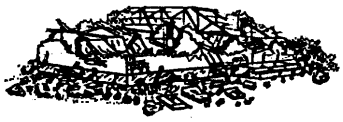
I: intensidade entre I e XII

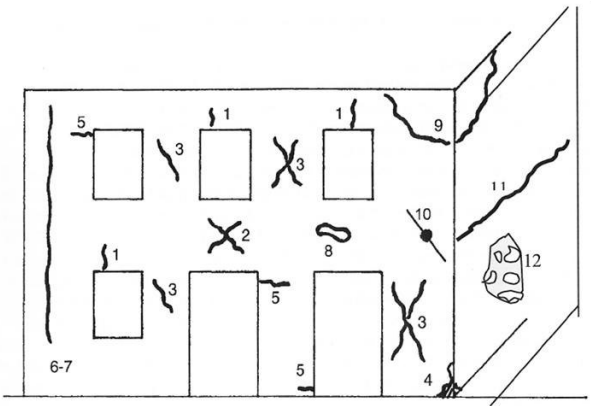
V_I^*: vulnerabilidade esperada para edifícios de tipologia i

A equação acima referida permite, depois de caracterizadas as tipologias construtivas de determinada região e uma vez definida a intensidade do cenário sísmico, encontrar o grau

médio de dano de cada estrutura e consequentemente, desenvolver as medidas de mitigação do risco. O modo como um edifício se comporta perante um abalo sísmico depende da sua tipologia construtiva, assim diferentes graus de danos podem ser observados para os edifícios de alvenaria e para os de betão armado (Quadro 6.15 e Quadro 6.16). A Figura 6.20 ilustra ainda os diferentes tipos de fendilhações que se podem encontrar em alvenarias.

Quadro 6.15 – Classificação de danos em edifícios de alvenaria

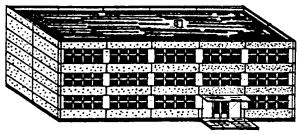
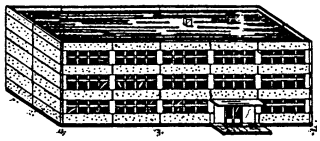
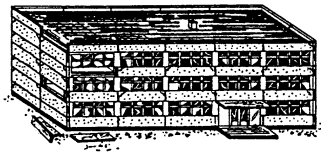
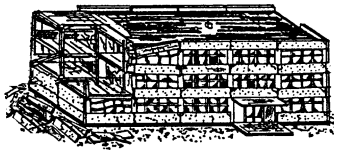
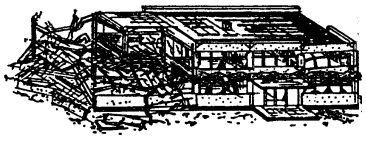
Grau de dano (D)	
	D1 – Danos negligenciáveis a leves Não há danos estruturais. Danos não estruturais ligeiros. Fendilhação de poucas paredes de alvenaria e não apenas do reboco. Pequenas fissuras junto às janelas e portas (tipo 1 e 5) ≤ 1 mm sem expulsão de material. Fissuras horizontais entre paredes ou entre pisos (tipo 11) com deslocamentos muito pequenos (≈ 1 mm). Queda de pequenas porções de reboco. Pode haver deslocamento de telhas e em poucos casos, queda de pedras soltas que se encontrem no topo das construções.
	D2 – Danos moderados Danos estruturais ligeiros. Danos não estruturais moderados. Fendilhação em algumas paredes, junto às janelas e portas (tipo 1 e 5) até 1 cm. Deslocamentos entre paredes e pavimentos ou paredes e escadas ou entre paredes ortogonais. Queda de rebocos. Colapso parcial das chaminés.
	D3 – Danos severos Danos estruturais moderados. Danos não estruturais graves. Fendilhação em muitas paredes, junto às janelas e portas (tipo 1 e 5) até 1,5 cm. Deslocamentos significativos entre paredes e pavimentos ou paredes e escadas ou entre paredes ortogonais. Desprendimento das telhas. Colapso total das chaminés. Queda de elementos não estruturais (divisórias, empenas).
	D4 – Danos muito graves Danos estruturais graves. Danos não estruturais muito graves. Grandes aberturas nas paredes. Queda dos telhados e dos pavimentos.
	D5 – Colapso. Destruição Colapso total ou parcial da estrutura.



Legenda:
1- fendas quase verticais nos lintéis sobre as aberturas;
2- fendas diagonais em faixas horizontais de parede (vigas);
3 - fendas diagonais em elementos verticais (nembos de alvenaria);
4 - deslocamento local da alvenaria com ou sem expulsão de material;
5 - fendas quase horizontais na base ou na parte superior dos nembos;
6 - fendas quase verticais na intersecção de paredes;
7 - mesmo que o 6 mas em toda a espessura da parede;
8 - expulsão de material no apoio das vigas devido ao martelamento (*pounding*);
9 - formação de uma cunha deslocada na junção de duas paredes ortogonais;
10 - ruptura de tirantes ou perda de aderência;
11 - fendas horizontais ao nível dos pisos;
12 - separação de um dos panos de uma parede de pano duplo

Figura 6.20 – Esquema de fissuras em alvenarias (AeDES. Baggio et al., 2007)

Quadro 6.16 – Classificação de danos em edifícios de betão

Grau de dano (D)	
	D1 – Danos negligenciáveis a leves Não há danos estruturais. Danos não estruturais ligeiros. Presença de algumas fissuras. Queda de estuques.
	D2 – Danos moderados Danos estruturais ligeiros. Danos não estruturais moderados. Presença de fendas em colunas, molduras e paredes estruturais. Fendas em paredes divisórias. Queda de estuques.
	D3 – Danos severos Danos estruturais moderados. Danos não estruturais graves. Presença de fendas em colunas, juntas, etc. Descasque do recobrimento de betão, encurvadura das armaduras comprimidas. Grandes fissuras em paredes divisórias.
	D4 – Danos muito graves Danos estruturais graves. Danos não estruturais muito graves. Grandes aberturas nos elementos estruturais. Inclinação de colunas e/ou colapso de algumas colunas ou de um piso superior.
	D5 – Colapso. Destruição Colapso total ou parcial da estrutura.

6.4.2. RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE DANOS

Após esta breve descrição do método de vulnerabilidade para integração no simulador, segue-se a análise de um cenário sísmico e respectiva avaliação de danos nos equipamentos escolares, no edificado e nalgumas infra-estruturas, de forma a se obter por um lado uma aproximação das consequências do ponto de vista de utilização e de resposta à emergência e por outro, alertar para a necessidade de criar medidas preventivas para minimizar danos. O

Algarve é a região mais vulnerável do país, em particular na época de Verão, onde os cerca de 600 mil turistas se juntam aos 400 mil habitantes da população residente. Como 60% das habitações estão concentradas numa faixa de 2km de largura ao longo da costa, um tsunami como o de 1755 poderia pôr em risco 200 mil pessoas e bens equivalentes a metade do PIB da região. Assim sendo, vamos considerar um cenário menos gravoso que o de 1755, correspondente a uma ruptura superficial da falha de Portimão que gera um sismo de magnitude 6,3 e intensidades máximas de IX-X conforme apresentado na Figura 6.21.

A cidade de Portimão conta com 55818 habitantes (a população de Portimão subiu 24,54% em dez anos, Censos 2011 INE) e 15050 edifícios (mais 26,50% que em 2001). É um pólo âncora do Barlavento algarvio que se distingue pelo seu desenvolvimento turístico – principal actividade económica -, por ser sede do Centro Hospitalar do Barlavento que serve sete concelhos e, por constituir com as áreas urbanas de Lagoa e Lagos uma importante aglomeração no Barlavento, devidamente articulada.

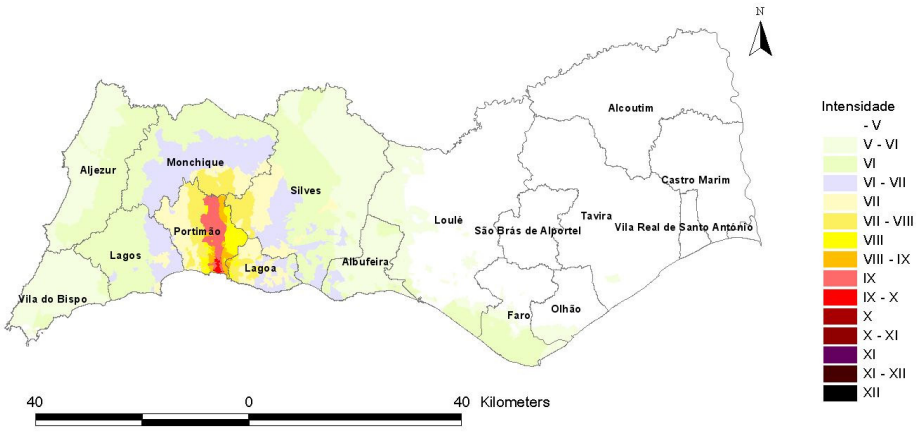


Figura 6.21 – Carta de intensidades EMS-98

A informação geral do cenário sísmico, para todo o Algarve, consta num relatório gerado automaticamente pelo simulador, em que a Figura 6.22 ilustra parte dessa informação.

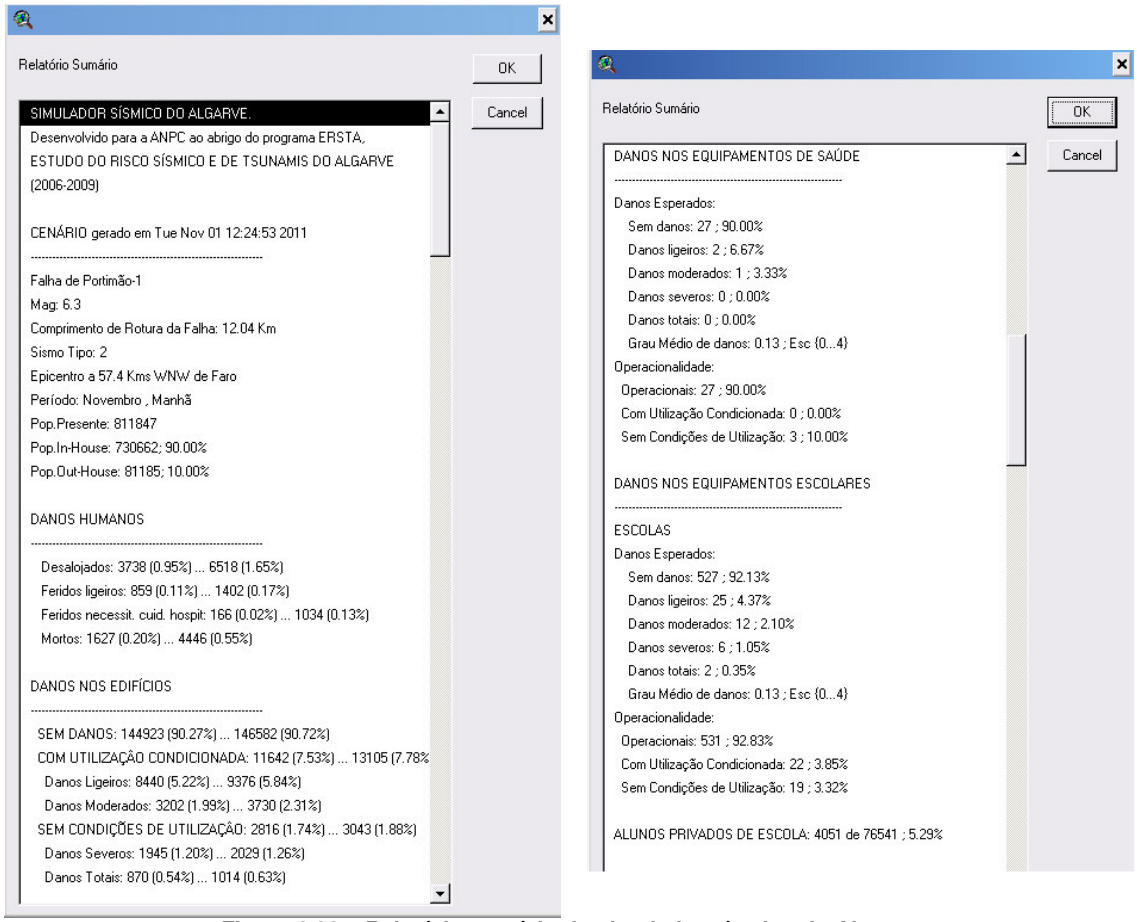


Figura 6.22 – Relatório sumário do simulador sísmico do Algarve

O comportamento do edificado e aqui leia-se "habitação", pois os dados dos Censos são relativos ao parque habitacional (Figura 6.22 e Figura 6.23) refere que entre 2816 a 3043 edifícios ficarão "sem condições de utilização" por apresentarem danos severos ou colapsos totais (cor vermelha). Embora o relatório do simulador mencione que os edifícios "sem condições de utilização" correspondam a cerca de 2%, esse valor é para o total do Algarve. Se analisarmos em termos de principal área afectada pelo sismo, ou seja o município de Portimão, verifica-se que no total dos edifícios do concelho, 26% se encontram "sem danos", 52% apresentam "utilização condicionada" (provocada por danos ligeiros e moderados que afectarão o funcionamento global dos edifícios e da função habitação) e 22% se classificam como "não utilizáveis". Em termos de impacto é sem dúvida preocupante; um evento plausível inutiliza rapidamente 74% do edificado de uma cidade.

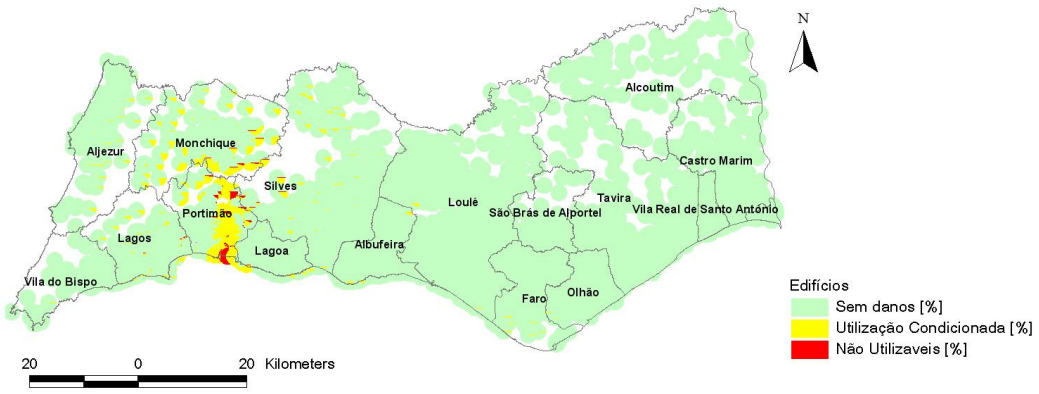


Figura 6.23 – Comportamento do edificado (habitação)

A Figura 6.24 representa essa mesma classificação agregada ao nível de cada quarteirão.

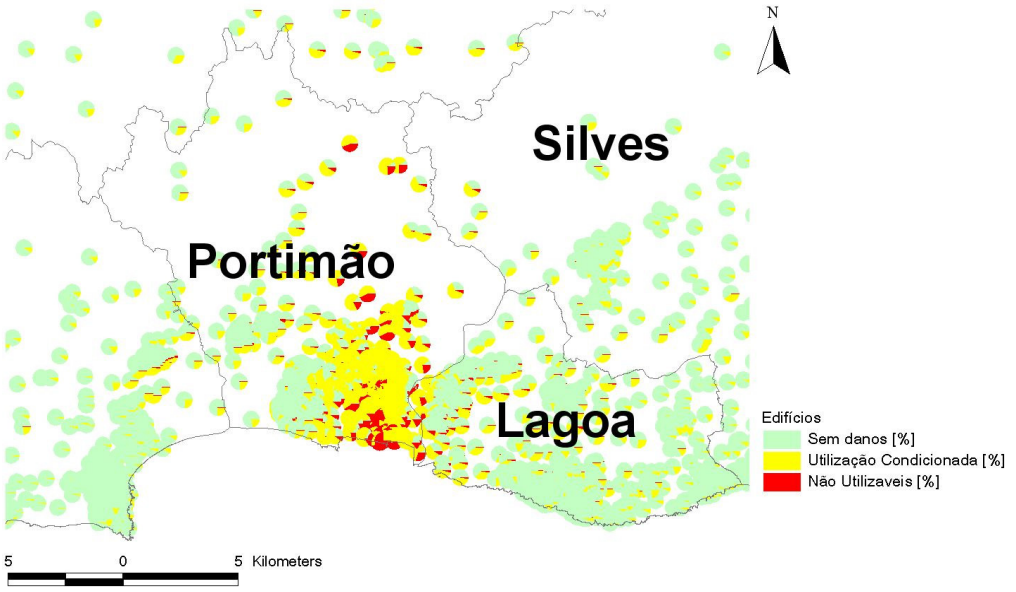


Figura 6.24 – Pormenor dos danos no edificado no concelho de Portimão e envolvente

Quanto à avaliação de danos nos equipamentos de ensino, esta permite-nos conhecer a partir do grau médio de danos obtido, quais as escolas que podem manter a oferta educativa de imediato (D<0,5 - VERDE), ou após algumas obras ligeiras de reabilitação/reforço (0,5<D<1,5 - AMARELO), ou após obras mais intrusivas e demoradas (1,5<D<2,5 - LARANJA) e ainda aquelas que ficarão irrecuperáveis e que terão de ser demolidas (D≥2,5 – VERMELHO), conforme demonstra a Figura 6.25.

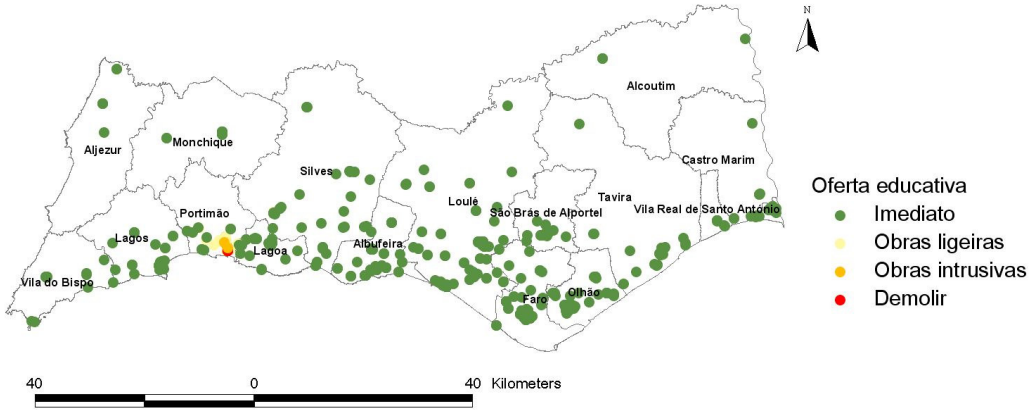


Figura 6.25 – Utilização para ensino pós-sismo

Verifica-se que em quase todos os campi existe sempre necessidade de "obras ligeiras" em algum edifício, outros há que ficam completamente inoperacionais, por necessitarem de "obras intrusivas" ou "demolição". Dos 49 edifícios que compõem a oferta de ensino de Portimão espera-se, que num cenário sísmico tal como o descrito, 16% necessitem de ser demolidos, 18% precisem de obras intrusivas, 43% de obras ligeiras e 22% estejam em condições de manter a oferta de ensino.

De igual forma, pode estabelecer-se um patamar de danos (D<1,5) abaixo do qual os edifícios escolares podem servir para a centralização das operações de emergência ou para o acolhimento de desalojados. A Figura 6.26 mostra que possivelmente serão cinco os equipamentos de ensino disponíveis para responder no pós-sismo. Os valores limites apresentados devem ser considerados apenas como referência para a delimitação dos vários níveis de uso e de utilidade para a protecção civil.

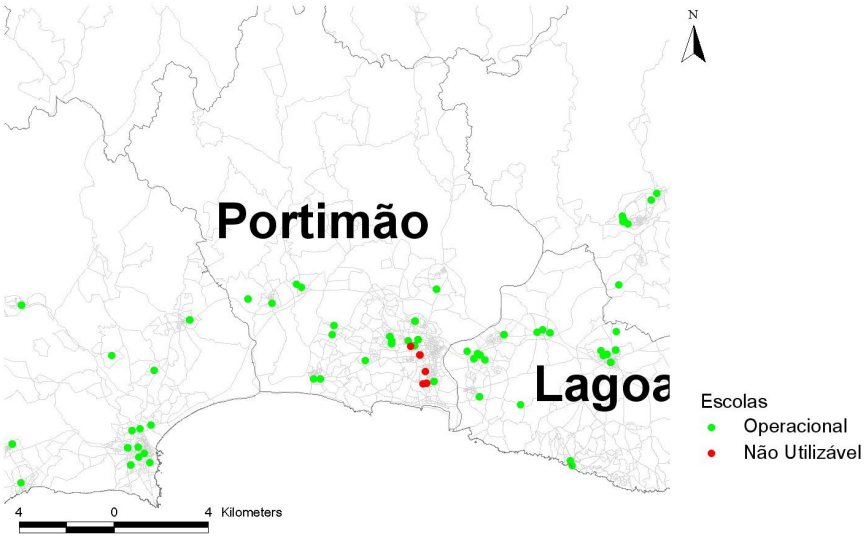


Figura 6.26 – Utilização dos equipamentos de ensino para gestão da emergência pós-sismo

Se analisarmos os restantes elementos que compõem a cidade, como o edificado, as vias de comunicação ou outras infra-estruturas/equipamentos, somos alertados para o facto de que os danos que aí ocorrem são suficientes para tornar os equipamentos de ensino inoperacionais. A sobreposição da avaliação dos danos (Figura 6.27) poderá não reflectir por si só as consequências das interdependências destes dois sistemas: habitação e ensino; mas os danos no edificado, que por serem em grande número danos moderados e severos, obrigatoriamente irão desencadear uma relocalização da população para outros locais, fora de suas casas. Em conformidade com o exposto, a inoperacionalidade dos equipamentos de ensino que tinha sido anteriormente indicada como temporária tornar-se-á mais longa, dependendo da recuperação do território afectado, ou seja, do reunir das condições que tornem possível a reocupação das casas, a abertura do comércio, a circulação, etc.

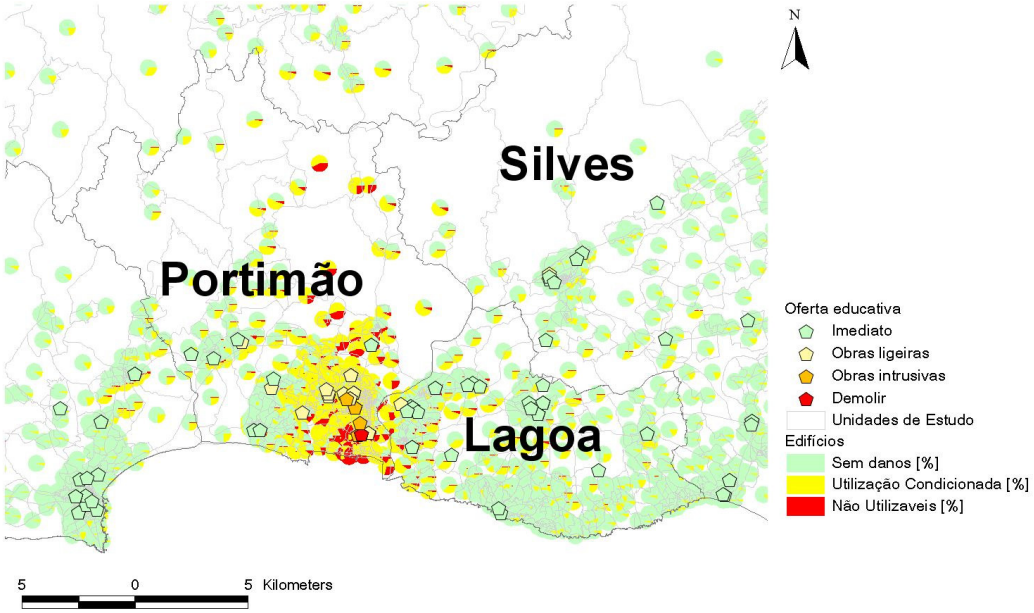


Figura 6.27 – Sobreposição da avaliação de danos no edificado e nos equipamentos de ensino

A estimativa das consequências ou efeitos no sistema de ensino de uma determinada área geográfica quando exposto a um acontecimento adverso depende não só do grau de ameaça a que o sistema de ensino está sujeito, mas também do grau de vulnerabilidade que o sistema e a envolvente oferecem. Como se observa, não podemos ver o problema de forma independente, dissociá-lo de todas as interdependências que o caracterizam. Uma escola não funciona se não tiver professores, alunos, água, luz, acessibilidades, segurança, material didáctico, entre outras coisas. Há então que identificar cada um dos factores que formam a função “escola”, analisar as suas vulnerabilidades e tentar perceber qual a importância ou posição que cada factor exerce nessa função. Assim, chama-se a atenção para a relevância dos estudos englobarem uma abordagem sistémica, com diversas dimensões e princípios.

6.4.3. ALGUMAS MEDIDAS DE IMPLEMENTAÇÃO FÁCIL NA REDUÇÃO DO RISCO EM ESCOLAS

Embora esta dissertação seja mais ampla, não querendo cingir-se apenas aos equipamentos de ensino, certas recomendações devem ser indicadas aos organismos públicos e privados, em prol da segurança de todos aqueles que utilizam estes equipamentos. Algumas destas medidas podem ser generalizadas a outros edifícios públicos e privados, nomeadamente às habitações.

Uma medida de fácil implementação, rápida e económica (*low-cost*) poderá passar pela instalação de um sistema de *early-warning*, ou seja, tal como um detector de incêndios estes aparelhos denominados *quake-alarms*, emitem um sinal sonoro após a detecção das primeiras ondas sísmicas (ondas P) e antes da chegada das ondas destrutivas (ondas S). Se houver um sistema de *early-warning* permite ganhar-se cerca de entre 10 a 20 s dependendo da localização do epicentro, e permite que as pessoas consigam reagir imediatamente (se tiverem conhecimento prévio do que fazer), e abandonar os locais onde se encontram ou abrigarem-se em locais seguros. Estes tipos de equipamentos já se encontram instalados em escolas, hospitais, hotéis e casas em várias regiões, nomeadamente nos E.U.A., México, Chile, entre outros países.

Podemos ainda assinalar de forma positiva, o trabalho já realizado pela empresa Parque Escolar, EPE, criada pelo Decreto–Lei n.º 41/2007, que teve por objecto o programa de modernização da rede pública de escolas secundárias e outras afectas ao Ministério da Educação. Para além de requalificar e modernizar estas instalações, nalguns casos procedeu ao reforço sísmico dos edifícios, diminuindo assim a sua vulnerabilidade. Às escolas não afectadas por este programa, por serem de domínio municipal ou privado, deveria ter-se a preocupação em indicar aos alunos, docentes e não docentes, quais os locais mais resistentes, para que saibam para onde se devem deslocar em caso de sismo.

7| INSTRUMENTOS PARA MINIMIZAR E PREVENIR O RISCO SÍSMICO NO PROCESSO DE PLANEAMENTO

Apontadas no Capítulo 3 todas as necessidades de obrigatoriedade de inclusão dos riscos nas acções de ocupação e transformação do território, surge como referido a necessidade de introduzir melhorias no guia relativamente à avaliação de risco sísmico

A escolha das variáveis ou factores condicionantes que representam o risco sísmico devem ir de encontro ao conhecimento, aos dados existentes e às expectativas do receptor da informação – técnicos municipais, autarcas, e demais agentes decisores da Administração Pública com responsabilidades em matéria de urbanismo.

Para conhecermos o efeito dos sismos nas construções, como é desejável para qualquer programa de prevenção e mitigação do risco, este deveria ser analisado utilizando os mesmos parâmetros e elementos que estão contidos nos regulamentos sismo-resistentes, para que possa ser perceptível por todos os profissionais. Sendo assim, três conceitos serão explicitados, visando a melhoria da construção da abordagem metodológica proposta no "Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal".

7.1. O problema da classificação do solo. Carta geológica e correlação com o EC8

As super-estruturas jurídico-administrativas têm aumentado no sentido de crescer o seu poder de controlo sobre os desenvolvimentos territoriais. No entanto, a legislação tem deficiências na explicitação e regulamentação, sente-se um vazio entre as prescrições da teoria normativa e a prática na questão dos riscos e salvaguarda dos cidadãos, devendo a argumentação técnico-científica ter um espaço próprio no processo de planeamento e gestão.

"As classificações do uso do solo (florestal, agrícola ou urbano – feita com base na identificação do uso dominante) propostas ou impostas nos planos têm por base interpretações visionárias e interesses associados à vontade de impor determinadas configurações territoriais" (Pardal et al., 2000). O desconhecimento dos solos, suas propriedades e suas implicações, leva a que os urbanistas estejam completamente afastados e desconhecedores da realidade, promovendo muitas vezes uma utilização pouco racional do território, expondo a população a riscos desnecessários.

Fazendo um breve enquadramento, o regime de uso do solo define-se pela classificação do solo em urbano e rural, conforme o destino básico dos terrenos, e pela qualificação do solo, que regula, segundo a sua classificação básica, o aproveitamento dos terrenos em função da actividade dominante que neles possa ser instalada ou desenvolvida, estabelecendo o respectivo uso e edificabilidade (Decreto-Lei n.º 380/99, de 22 de Setembro).

Poucos são ainda os municípios que ao apresentar uma classificação do uso do solo como urbano, considerem as suas propriedades e características geotécnicas, de forma a conhecerem os princípios e os critérios subjacentes a opções de localização de infra-estruturas, equipamentos, serviços e zonas habitacionais. Poucos também são os municípios que promovem uma exigente fiscalização e controlo da qualidade na construção, dois pressupostos essenciais para a salvaguarda de vidas e bens. No que toca ao parque construído já existente, constata-se pouca capacidade por parte dos municípios em analisar e avaliar as vulnerabilidades e os perigos presentes, sendo difícil proceder-se à consideração de programas de redução do risco sísmico. Importa então perceber quais as dificuldades que precisam ser ultrapassadas neste cenário desanimador por parte dos municípios, técnicos e entidades que estão envolvidas na revisão e criação de planos municipais, bem como quais os instrumentos orientadores para o trabalho em questão.

Desta forma para além da Carta de Isossistas proposta no Guia é relevante associar outra informação cartográfica nos estudos, como seja a Carta Geológica de Portugal em formato digital. Da responsabilidade do LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia) esta carta contém informação geográfica relativa à composição e estrutura geológica do subsolo, fundamental para o entendimento de fenómenos que ocorrem sobre a superfície da Terra. As cartas geológicas contêm informação sobre a natureza litológica das rochas e sua distribuição espacial, idade relativa ou absoluta das rochas, posição e os acidentes tectónicos verificados no decurso dos tempos geológicos (falhas, dobras, etc.) (Figura 7.1). O recurso a esta cartografia geológica sustenta:

- a prospecção e exploração de recursos energéticos, hídricos e minerais;

- a selecção e caracterização de locais para a implantação de grandes obras de engenharia;

- estudos de caracterização e preservação do ambiente;

- estudos de previsão e de prevenção de fenómenos naturais, como por exemplo, dinâmica de vertentes, actividade sísmica e vulcânica;

- a compreensão dos padrões de ocupação histórica do território.

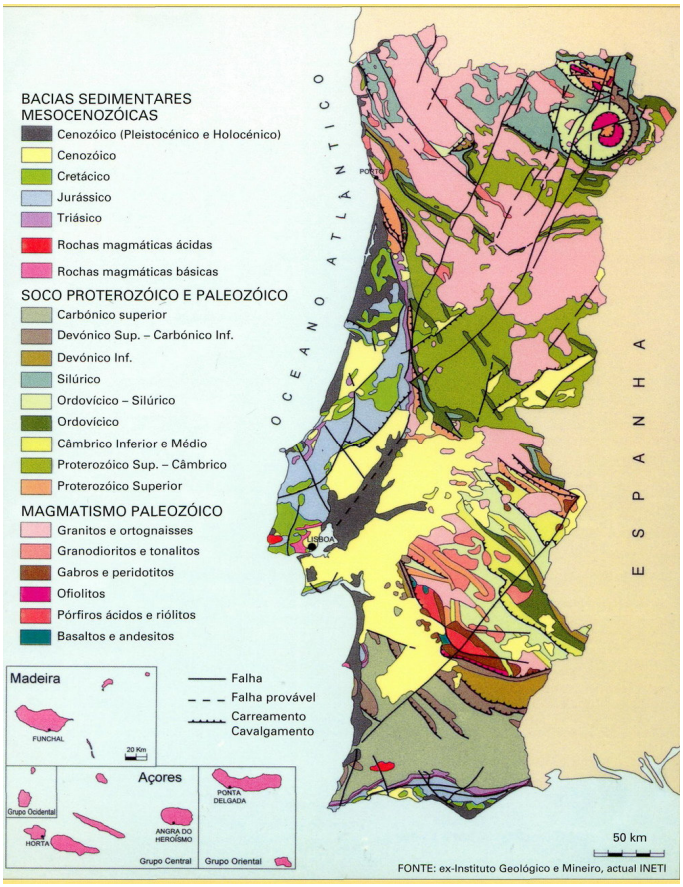


Figura 7.1 – Carta Geológica de Portugal

A cartografia geológica está representada por cartas em várias escalas: 1:25000, 1:50000, 1:200000 e 1:500000. Mesmo não existindo ainda uma cobertura exaustiva de Portugal, contemplada em todas as escalas, já existe para quase todo o território e recomenda-se que a nível municipal se utilizem as escalas 1:50000 ou 1:25000.

Os edifícios, infra-estruturas e todos os elementos expostos que o Guia refere têm de ser construídos de acordo com a classificação do subsolo estabelecida, tendo por base a consideração do risco sísmico. Para tal, é necessário que a carta geológica tenha uma leitura fácil pelos profissionais responsáveis pelas construções. Assim, deverá ser feita uma análise às cartas geológicas e propor qualificar os tipos de solo consoante a classificação de solos proposta no EC8 (A, B, C, D, E, S1 e S2) (regulamento em vigor para o cálculo dos efeitos dos sismos nas construções), o que permite calcular as acelerações do solo como proposto no Capítulo 2.3.6, sendo importante para a quantificação do fenómeno sísmico. Esta correlação (cartas geológicas e classificação de solos EC8) constitui uma mais-valia para melhorar os estudos de análise e avaliação de risco. Embora careça ainda de estudos e trabalho para o território nacional, já existe para o arquipélago dos Açores (Forjaz et al., 2001) como ilustrado no Quadro 7.1.

Quadro 7.1– Classificação geotécnica de solos do arquipélago dos Açores e correlação com a classificação do EC8

Grupo	Subgrupo	Velocidade de ondas de corte (m/s)	Classificação EC8
Duro	Ia, Ib, Ic, Id	> 400	B
Intermédio	IIa, IIb	200-400	C
Brando	IIIa, IIIb	< 200	D

Uma forma rápida de obter a informação sobre os solos e seus efeitos no edificado foi desenvolvida para o concelho de Portimão no âmbito da revisão do Plano Director Municipal (Oliveira et al., 2010). Aqui se descreve a constituição de um suporte para apoio à análise de avaliação de risco sísmico no processo de planeamento. Após enquadramento geológico e tectónico para a região, utilizando a Carta Geológica (Figura 7.2) fornecida pela Câmara Municipal de Portimão, recorreu-se aos estudos geológico-geotécnicos fornecidos pelo município para se efectuar a interpretação geológica das sondagens existentes, sendo bastante útil por permitir verificar alterações nos limites geológicos, relativamente ao que é identificado na carta geológica.

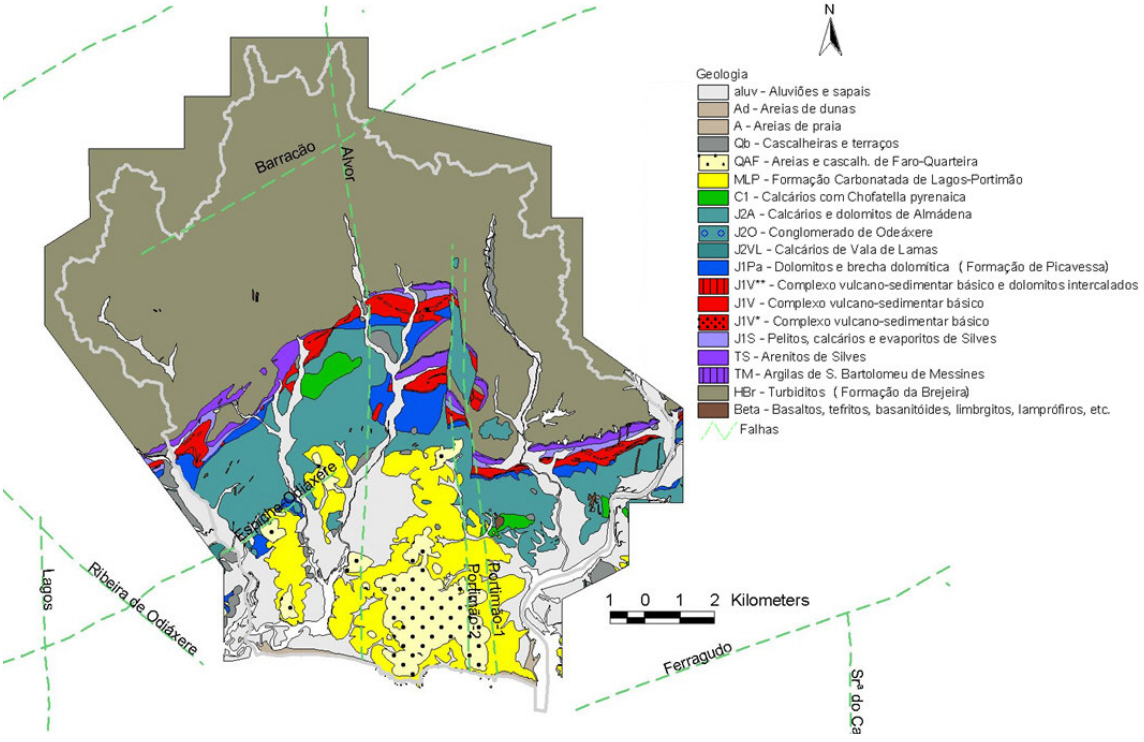


Figura 7.2 – Carta Geológica de Portimão

Com base no mapa geológico da região e nas estimativas do valor de $V_{S,30}$, para cada uma das sondagens obtidas usando a metodologia descrita em Oliveira et al. (2010), foi possível desenhar a carta de solos que qualifica os tipos de solo consoante a classificação proposta no Eurocódigo 8 (EC8) (Figura 7.3). Por fim, importa sublinhar que este mapa é uma estimativa do que é esperado, em função do pouco material disponível para efectuar este estudo.

Recomenda-se por isso a execução de sondagens que permitam avaliar correctamente o que se passa em cada local. No entanto, é uma referência ao tipo de estudo que se deve desenvolver.

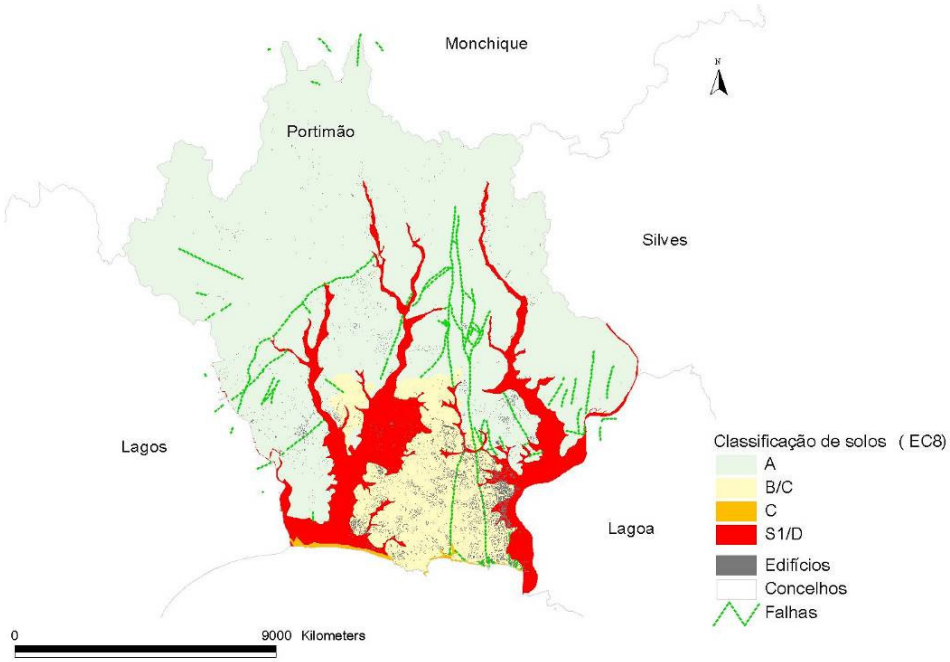


Figura 7.3 – Carta de solos para Portimão (classificação EC8)

É, portanto, importante destacar a classificação dos solos baseada nos dados geofísicos, geotécnicos e geológicos, que podem ser ainda refinados com outros trabalhos como a frequência dos solos. Estes estudos ajudam a responder a um conjunto de questões pertinentes:

i) Definição do uso dos solos através da carta de zonamento.

ii) Classificar áreas quanto ao grau de restrição à ocupação urbana ou que carecem estudos mais detalhados.

iii) Indicação das infra-estruturas a serem implantadas em áreas de possível expansão urbana e/ou considerações a ter nas existentes.

iv) Especificação dos níveis de qualidade/segurança a serem alcançados.

v) Definição dos objectivos para o planeamento e gestão.

7.2. Défice de resistência das construções

A programação da urbanização e da edificação deve ser criteriosa e prever que a existência de riscos naturais e tecnológicos são condicionantes para a localização de equipamentos, estruturas, infra-estruturas e sistemas indispensáveis à defesa nacional, segurança e protecção civil.

Sendo objecto desta dissertação apoiar os estudos de planeamento e os gestores no processo decisório, aqui fica referida uma metodologia expedita e com bom resultado no seguimento do ponto anterior que permitirá avaliar o risco sísmico das construções existentes. Assim, e dando continuidade ao trabalho desenvolvido para a Câmara Municipal de Portimão, após a classificação dos solos de brandos a rijos, surge a necessidade de:

- localizar as zonas do município que merecem maior atenção no que respeita ao risco sísmico, tendo em consideração: i) o tipo de solo, ii) o tipo de construção e iii) classe de importância das construções (definida pelo seu uso ou função conforme apresentado no Quadro 2.5;

- informar os decisores sobre a vulnerabilidade das construções existentes e sobre as a construir, e quais as opções a tomar em termos de estratégias de planeamento.

Assim, surge o conceito de Défice de Resistência das Construções (Mota de Sá et al., 2011), que pretende indicar para um determinado nível de acção sísmica, quão afastada está uma construção do seu comportamento desejado. Por outras palavras, qual a vulnerabilidade ideal ou requerida, Vu_{Req}, que verifica a exigência de não colapso (e/ou limitação de danos em elementos não estruturais), de cada tipologia construtiva.

Como já apresentado no Capítulo 6 o índice de vulnerabilidade, V_I, de cada estrutura, permite estimar em termos médios o nível de dano esperado para determinada intensidade sísmica, consoante a sua tipologia construtiva/material de construção. Quanto maior o índice de vulnerabilidade (próximo de 1), menor é a capacidade de resistência do edifício.

Para se estudar o Défice de Resistência das Construções de determinada área é necessário recolher informação sobre as vulnerabilidades associadas a cada tipologia construtiva. Existem vários métodos para o fazer, dos mais detalhados em que a recolha de dados pode englobar trabalhos de campo edifício a edifício (ideal quando se analisa um pequeno grupo de edifícios), aos métodos mais simples, que consomem menos recursos, menos tempo, menos parâmetros e que permitem analisar de forma simples e eficiente uma área de estudo grande, como cidades ou regiões. Assim, recorre-se aos dados do Recenseamento da População e Habitação de 2001 (Censos 2001) (INE, 2002), que incluem todos os edifícios e alojamentos destinados à habitação referenciados geograficamente. Aproveitando a informação existente sobre época de construção, material predominante e número de pisos, ao nível da subsecção estatística (quarteirão), é possível cruzar esses elementos, correlacioná-los com os estudos existentes nesta temática das vulnerabilidades e estabelecer uma classificação tipológica de 27 classes (T1 a T27), associando uma vulnerabilidade a cada tipologia, conforme apresenta a Figura 7.4.

Tipologia	Vu	Vu-	Vu--	Descrição
T1	0,880			Edifícios construídos até 1945, com paredes de alvenaria de pedra adobe ou taipa, com 1 ou 2 pavimentos
T3	1,020			Edifícios construídos até 1945, com paredes de alvenaria de pedra adobe ou taipa, com 5 ou mais pavimentos
T4	0,840			Edifícios construídos até 1945, com paredes de alvenaria argamassada, com 1 ou 2 pavimentos
T5	0,840			Edifícios construídos até 1945, com paredes de alvenaria argamassada, com 3 ou 4 pavimentos
T6	1,020			Edifícios construídos até 1945, com paredes de alvenaria argamassada, com 5 ou mais pavimentos
T7	0,644			Edifícios construídos até 1945, com elementos resistentes de betão, com 1 ou 2 pavimentos
T8	0,644			Edifícios construídos até 1945, com elementos resistentes de betão, com 3 ou 4 pavimentos
T9	1,020			Edifícios construídos até 1945, com elementos resistentes de betão, com 5 ou mais pavimentos
T10	0,740			Edifícios construídos entre 1946 e 1960 (placa), com paredes de alvenaria argamassada, com 1 ou 2 pavimentos
T11	0,740			Edifícios construídos entre 1946 e 1960 (placa), com paredes de alvenaria argamassada, com 3 ou 4 pavimentos
T12	0,740			Edifícios construídos entre 1946 e 1960 (placa), com paredes de alvenaria argamassada, com 5 ou mais pavimentos
T13	0,644			Edifícios construídos entre 1946 e 1960 (placa), com elementos resistentes de betão, com 1 ou 2 pavimentos
T14	0,644			Edifícios construídos entre 1946 e 1960 (placa), com elementos resistentes de betão, com 3 ou 4 pavimentos
T15	0,644			Edifícios construídos entre 1946 e 1960 (placa), com elementos resistentes de betão, com 5 ou mais pavimentos
T16	0,616			Edifícios construídos entre 1960 e 1985, RSEP, com paredes de alvenaria argamassada, com 1 ou 2 pavimentos
T17	0,616			Edifícios construídos entre 1960 e 1985, RSEP, com paredes de alvenaria argamassada, com 3 ou 4 pavimentos
T18	0,616			Edifícios construídos entre 1960 e 1985, RSEP, com paredes de alvenaria argamassada, com 5 ou mais pavimentos
T19	0,447			Edifícios construídos entre 1960 e 1985, RSEP, com elementos resistentes de betão, com 1 ou 2 pavimentos
T2	0,880			Edifícios construídos até 1945, com paredes de alvenaria de pedra adobe ou taipa, com 3 ou 4 pavimentos
T20	0,447			Edifícios construídos entre 1960 e 1985, RSEP, com elementos resistentes de betão, com 3 ou 4 pavimentos
T21	0,447			Edifícios construídos entre 1960 e 1985, RSEP, com elementos resistentes de betão, com 5 ou mais pavimentos
T22	0,500	0,260	0,020	Edifícios construídos a partir de 1986 (RSA), com paredes de alvenaria argamassada, com 1 ou 2 pavimentos
T23	0,500	0,260	0,020	Edifícios construídos a partir de 1986 (RSA), com paredes de alvenaria argamassada, com 3 ou 4 pavimentos
T24	0,500	0,260	0,020	Edifícios construídos a partir de 1986 (RSA), com paredes de alvenaria argamassada, com 5 ou mais pavimentos
T25	0,384	0,207	0,140	Edifícios construídos a partir de 1986 (RSA), com elementos resistentes de betão, com 1 ou 2 pavimentos
T26	0,384	0,207	0,140	Edifícios construídos a partir de 1986 (RSA), com elementos resistentes de betão, com 3 ou 4 pavimentos
T27	0,384	0,207	0,140	Edifícios construídos a partir de 1986 (RSA), com elementos resistentes de betão, com 5 ou mais pavimentos

*a sombreado salientam-se as diferentes épocas construtivas

Figura 7.4 – Classificação tipológica baseada no Censos 2001 para Portimão

Ou de forma ainda mais simples, para uma análise muito expedita e menos rigorosa, mas que conduz em geral a resultados bastante interessantes, as tipologias construtivas podem ser divididas, grosso modo, em 5 classes com as respectivas vulnerabilidades médias (Quadro 7.2).

Quadro 7.2 – Valores aproximados do índice de vulnerabilidade actual (Vu_{actual}) para cada tipologia construtiva

Tipologia	$V_{Iactual}$
Alvenaria (<1945)	0,70
Betão (1946-60)	0,60
Betão (1961-85)	0,50
Betão (1985-…) (até 5pisos)	0,40
Betão (1985-…) (> 5pisos)	0,44

De seguida será explicado como se pode construir o défice de resistência das construções para um caso muito simplificado com as 5 tipologias construtivas acima identificadas.

Considere-se um município localizado numa zona sísmica 1.3 e 2.3, conforme a acção sísmica é Tipo 1 ou 2. Recordando os cálculos utilizados para a definição da acção sísmica (Capítulo 2.3.6), com recurso ao Eurocódigo 8 conhece-se qual a aceleração máxima (a_{gR}) que o regulamento impõe para cada zona (Quadro 7.3).

Quadro 7.3 – Aceleração máxima de referência a_{gR} (m/s^2) nas zonas sísmicas 1.3 e 2.3

Acção sísmica Tipo 1		Acção sísmica Tipo 2	
Zona sísmica	a_{gR}(m/s^2)	Zona sísmica	a_{gR}(m/s^2)
1.3	1,5	2,3	1,7

Conhecida a aceleração máxima de referência (fixemos o valor mais elevado, ou seja, de 1,7 m/s^2) num terreno tipo A (rocha) e construções de classe de importância II (edifícios correntes, consultar Quadro 2.5), necessitamos de conhecer a aceleração para outros tipos de solo (importância para a classificação dos solos de acordo com o proposto no EC8 – Carta de Solos) e classes de importância. Assim, utilizando a equação $a_g = a_{gR} \times \gamma_I xS$ obtém-se os valores apresentados no Quadro 7.4. Recorde-se que foi escolhida para os cálculos seguintes a acção sísmica Tipo 2.

Quadro 7.4 – Aceleração espectral do solo tipo com base na classe de importância

Classe de importância da estrutura (γ_I)	Aceleração espectral (cm/s^2)				
	A	B	C	D	E
II	170	230	255	306	272
III	213	287	319	383	340
IV	255	344	383	459	408

Tendo presente o objectivo de evitar danos estruturais severos e/ou colapso das estruturas, a vulnerabilidade requerida, Vu_{Req}, que satisfaz essa condição é dada pela equação seguinte, cuja explicação se encontra em Mota de Sá (Mota de Sá et al., 2011.):

$$Vu_{req} < 1{,}82576 - 0{,}178444\, I_0$$

em que I_0 é a intensidade e pode ser calculada usando a lei que transforma aceleração em intensidade (Trifunac e Brady, 1975),

$$I_0 = \frac{\log(PGA) - 0{,}014}{0{,}3}$$

em que PGA é a *peak ground acceleration* ou aceleração máxima à superfície de um terreno (cm/s^2).

Desta forma, é possível calcular a vulnerabilidade requerida para cada construção, de acordo com a sua classe de importância e localização num determinado tipo de terreno/solo.

No Quadro 7.5 apresentam-se os défices de resistência em relação à vulnerabilidade ideal (ou requerida, Vu_{Req}). Os valores da Vu_{Req} para dado solo e intensidade, seguindo o regulamento EC8, encontram-se descriminados na 4ª linha do Quadro 7.5. Para cada uma das cinco tipologias construtivas, é apresentada em percentagem o défice de resistência, estabelecendo-se assim um *ranking* das construções que fundamenta as prioridades de intervenção nas mesmas. As células a cor verde indicam que se está do lado da segurança (não colapso), tanto

maior quanto maior o valor de afastamento. A cor amarela (défice de resistência até 100%) indica "Intervenção Desejável", as células de cor laranja indicam "Intervenção Necessária – Construções com vulnerabilidade muito afastada do recomendável (100%-250%)" e, finalmente a vermelho (défice de resistência superior a 250%) indica "Intervenção Prioritária – Construções com vulnerabilidade preocupante", ou seja que não é aceitável ter construções daquela tipologia naquele tipo de solo, implicando elevado risco sísmico.

Quadro 7.5 – Aptidão das tipologias construtivas segundo as suas funções (classe de importância) e solos de implantação

Classe Importância da Construção		Categoria II					Categoria III					Categoria IV				
Tipologia	Solo	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
	Intensidade	7,4	7,8	8,0	8,2	8,1	7,7	8,1	8,3	8,6	8,4	8,0	8,4	8,6	8,8	8,7
	$\overline{Vu_{actual}}-Vu_{req}$	0,507	0,430	0,403	0,356	0,386	0,450	0,372	0,345	0,298	0,328	0,424	0,345	0,317	0,251	0,281
Alvenaria (<1945)	0,70	38%	63%	74%	97%	81%	56%	88%	103%	135%	113%	65%	103%	121%	179%	149%
Betão (1946-60)	0,60	18%	40%	49%	69%	55%	33%	61%	74%	101%	83%	41%	74%	89%	139%	113%
Betão (1961-85)	0,50	-1%	16%	24%	41%	30%	11%	34%	45%	68%	52%	18%	45%	58%	99%	78%
Betão >1985 (até 5pisos)	0,40	-21%	-7%	-1%	13%	4%	-11%	7%	16%	34%	22%	-6%	16%	26%	59%	42%
Betão >1985 (> 5pisos)	0,44	-13%	2%	9%	24%	14%	-2%	18%	28%	48%	34%	4%	28%	39%	75%	56%

Desta forma, utilizando-se como fonte de dados o Censos, calcula-se o Défice de Resistência das Construções de determinada área geográfica, que pode ser mapeado no município, apontando os diferentes padrões de vulnerabilidade do território e demonstrando a necessidade de formulação de políticas públicas diferenciadas entre zonas num mesmo território. Por exemplo, a localização de infra-estruturas críticas em áreas onde o défice de resistência é alto, deve ser seriamente analisada e repensada, pois a localização destas deve ser de fácil acesso, livre de bloqueios e perigos.

7.3. SIRIUS, Indicador de risco sísmico urbano

As metodologias expostas nos pontos anteriores, permitiram construir um indicador de risco sísmico para as áreas urbanas denominado SIRIUS, acrónimo de Seismic Risk Indicator in Urban Spaces, que compreende vários tipos de informação relacionada com a perigosidade, a vulnerabilidade e a exposição (Mota de Sá et al., 2011). Este indicador de fácil construção pode ser utilizado por todos os técnicos de planeamento e permite, sem ter de recorrer a ferramentas mais onerosas como os simuladores sísmicos, identificar as áreas com maior risco. A sua construção resulta da conjugação do défice de resistência das construções apresentado em 7.2, com a densidade populacional. Este indicador é comunicado através de uma escala semântica, de seis classes de risco, que varia entre Muito Baixo e Extremo, correspondendo o Extremo à situação de maior risco, sendo de desaconselhar a localização de novos equipamentos e construções nessas zonas, devido à maior concentração de vulnerabilidade do edificado e de população.

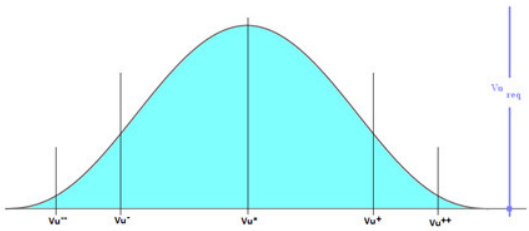
O défice de resistência, como pormenorizado anteriormente, demonstra quão afastada uma tipologia construtiva está da situação ideal (ou requerida, Vu_{Req}), à luz da regulamentação actual, expresso da seguinte forma:

$$RDR = f(Vu_{actual} - Vu_{\mathrm{Re}q})$$

em que RDR significa o risco devido ao défice de resistência.

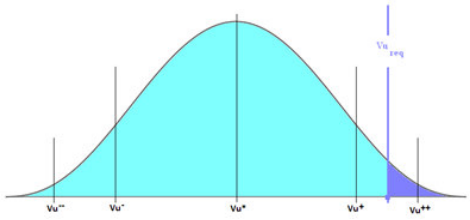
Como se sabe para cada tipologia construtiva é possível calcular um índice de vulnerabilidade

Vu, com intervalos de variação Vu^{--} a Vu^{++}, em que Vu* significa o valor mais provável. A Figura 7.5 explica de forma semântica as classes do défice de resistência, ou seja, quão afastada uma tipologia se encontra da Vu_{Req}.



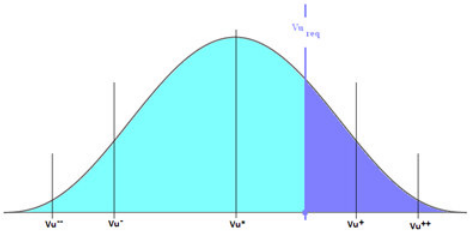
RDR Muito Fraco

Mesmo os piores edifícios da classe são menos vulneráveis do que o requerido para garantir o desempenho desejado tendo em conta a acção sísmica de projecto. Assim são esperados níveis aceitáveis de desempenho para todas as construções desta classe.



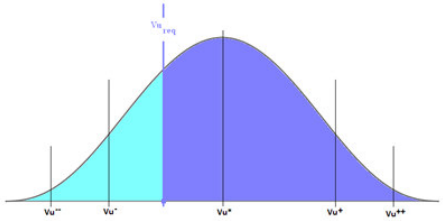
RDR Fraco

Sendo de esperar que na grande maioria dos casos os edifícios desta classe sejam menos vulneráveis do que o requerido pelas exigências de desempenho, em apenas alguns casos excepcionais, é possível que as edificações venham a apresentar uma resiliência inferior ao desejado.



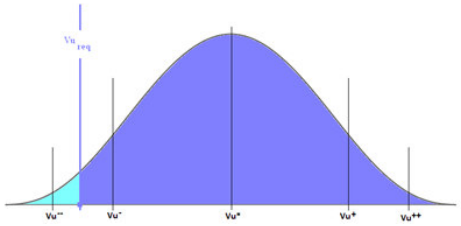
RDR Moderado

Embora a maioria dos edifícios desta classe tenha uma vulnerabilidade inferior ao requerido pelas exigências de desempenho, a percentagem de edifícios em que tal não acontece não deverá ser negligenciada.



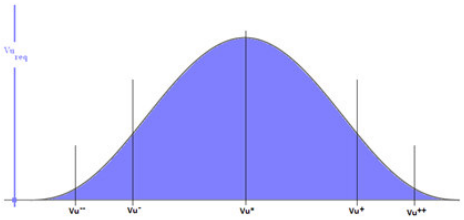
RDR Forte

A maioria dos edifícios da classe apresenta uma resistência inferior ao requerido, sugerindo um comportamento de risco uma vez sujeito a uma acção sísmica igual à de projecto. Apenas de uma pequena percentagem de casos se pode esperar sejam verificadas as exigências de desempenho.



RDR Muito Forte

A grande maioria dos edifícios da classe apresenta uma resistência muito aquém da requerida. Só em casos excepcionais se pode esperar que edifícios desta classe se venham a comportar dentro dos limites admitidos.



RDR Extremo

Os edifícios desta classe, com vulnerabilidades muito marcadas, mesmo nos raros casos em que apresentem os mais baixos valores de vulnerabilidade admissíveis para a classe, estão longe de satisfazer os requisitos mínimos de resistência, sendo de esperar que, uma vez expostos à acção sísmica de projecto, excedam em todos os casos os estados limites impostos pelas exigências de desempenho.

Figura 7.5 – Défice de resilstência, RDR

De outra forma, a escala do défice de resistência pode ser descrita conforme aparece no Quadro 7.6.

Quadro 7.6 – Classes do défice de resistência

Vu_{Req}	Nível
$Vu_{Req} > Vu++$	0- Muito Baixo
$Vu+ < Vu_{Req} \leq Vu++$	1- Baixo
$Vu^* < Vu_{Req} \leq Vu+$	2- Moderado
$Vu- < Vu_{Req} \leq Vu^*$	3- Forte
$Vu-- < Vu_{Req} \leq Vu-$	4- Muito Forte
$Vu_{Req} < Vu--$	5- Extremo

A introdução da densidade populacional no SIRIUS, é um conceito chave no planeamento urbano que importa compreender por abranger uma ampla gama de características urbanas, que mostram o grau de dispersão de uma população num determinado espaço. Quanto mais densas, mais elementos físicos, actividades, relações sociais e de vizinhança entre usos são encontradas. As densidades em áreas urbanas variam de 10 hab/ha em áreas de muito baixa densidade, como vemos em algumas cidades dos Açores, a 300 hab/ha ou mais em determinadas cidades. O tamanho, forma e padrão de urbanização das áreas residenciais exercem efeitos não só na qualidade de vida e do espaço da população, como podem estar na causa de fortes impactos após um evento sísmico. O risco devido à presença de população é então traduzido pela seguinte equação:

$$RPH = \frac{Pop_d}{Pop_{d\max}}$$

em que:

RPH – risco devido à presença humana

Pop_d – densidade populacional por hectare

Pop_{dmax} – máxima população por hectare, aqui definida em 335 hab/ha

O Quadro 7.7considera as classes de referência para as densidades populacionais.

Quadro 7.7 – Classes de densidade populacional

Densidade populacional (hab/ha)	Classes de densidade
30	Baixa
75	Baixa – Média
120	Média
185	Média – Alta
275	Alta
335	Muito Alta

A determinação do risco sísmico (SIRIUS) será então o produto do défice de resistência das construções pela densidade populacional. A agregação destes dois indicadores, a calibração dos limites da escala e a comunicação do risco (surge a necessidade de o tornar perceptível ao cidadão, ou seja, transformar os valores numéricos numa escala semântica) é feita como indicado na Figura 7.6, em que se tomou como referência dois casos:

Situação 1 caracterizada por:

a) Moderado Défice de Resistência, em que a maior parte dos edifícios apresenta mais baixa vulnerabilidade do que a requerida, sendo que a percentagem de edifícios que não respeita esse padrão não deve ser negligenciada;

b) Baixa-Média densidade populacional, sinónimo de uma mistura de casas isoladas com edifícios com poucos pisos.

Em face desta mistura de RDR e RPH, considerou-se que o impacto de um sismo, neste caso, poderá ser expresso na escala {Muito Baixo, Baixo, Moderado, Alto, Muito Alto e Extremo} como tendo impacto Moderado.

Situação 2 caracterizada por:

a) Muito forte défice de resistência das construções que está longe de salvaguardar as vidas e as funções a que se destinam;

b) Alta densidade populacional, o que pode estar associado a edifícios altos, estradas congestionadas, elevada concentração de construções e de infra-estruturas críticas.

Em termos de escala SIRIUS, o impacto de um sismo nesta área será visto com tendo um impacto Extremo.

Para calcular os restantes níveis da escala recorreu-se à lei de Weber–Fechner (Weber e Fechner, 1834), que tenta descrever a relação existente entre a magnitude física de um estímulo e a intensidade com que o estímulo é percebido. Dito de outra forma, a quantidade adicional de risco necessária, para ir de um "nível alto" para um "nível muito elevado", deve ser substancialmente maior do que a que precisamos para ir de um “nível baixo" para um "nível moderado" de risco.

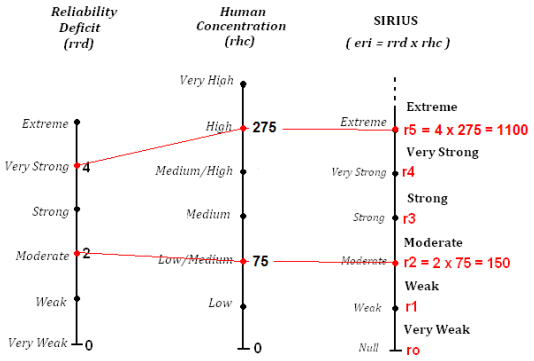


Figura 7.6 – Calibração da escala
Fonte: Mota de Sá et al., 2011

Uma vez conhecidos os défices de resistência e os valores de concentração humana em termos quantitativos e qualitativos, podemos encontrar os limites de cada classe da escala SIRIUS e traçar o seu andamento conforme ilustra a Figura 7.7.

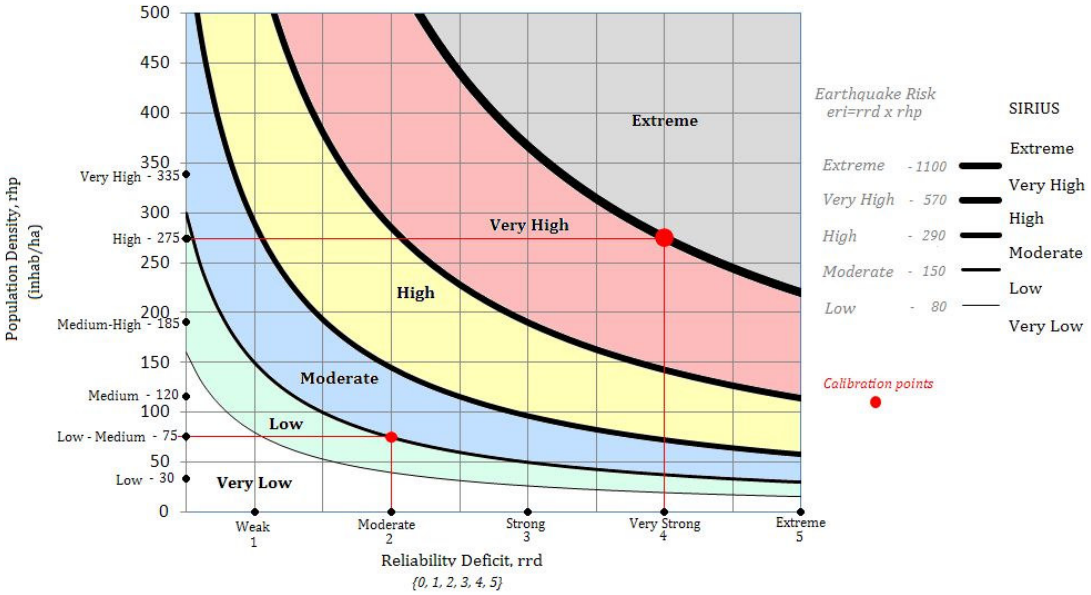


Figura 7.7 – Representação do SIRIUS em função do Défice de Resistência (RDR) e da Densidade Populacional (RPH)
Fonte: Mota de Sá et al., 2011

Analisando a Figura 7.7, o indicador SIRIUS permite fazer as seguintes considerações:

i) Zonas onde o parque edificado é concebido e construído de acordo com os actuais regulamentos sismo-resistentes (onde o défice de resistência, RDR, é Baixo ou inferior), pode crescer até altos valores de densidade populacional, mantendo-se o risco sísmico dentro de níveis aceitáveis (risco moderado);

ii) Quando o défice de resistência das construções é Muito Forte ou Extremo, mesmo valores relativamente pequenos de densidade populacional, implicam que o risco sísmico facilmente atinge valores inaceitáveis, como Muito Alto ou Extremo, o que é fácil de perceber pois a população está sujeita ao efeito do mau comportamento das construções.

iii) Se quisermos reduzir a classe SIRIUS e, de acordo com o representado, quanto maior a classe SIRIUS maior é a área, o que significa que quanto maior a classe mais difícil se torna reduzi-la a um valor menor.

iv) Nas zonas onde o défice de resistência tem crescido para níveis elevados, reduzir o risco sísmico exige um esforço desproporcionado, que pode ser visto pela forma quase horizontal das curvas de risco nesta zona. Considere-se o exemplo de ir de um ponto definido por RDR = 4 e RPH = 150 (o risco sísmico (*eri*) = 570 <> curva do risco Muito Alto), a um ponto definido por RDR = 1 e RPH = 150, tendo a mesma densidade populacional do caso anterior mas apresenta um risco sísmico (*eri*) = 150 <> curva do risco Moderado). Para reduzir o risco nestas zonas era necessário eliminar quase todos os edifícios com fiabilidade insuficiente,

permitindo apenas um ou outro caso (RDR=4 <> Muito Forte para RDR = 1 <> Fraco). Isso indica claramente que valores elevados de RDR não devem ser permitidos.

v) Com um acréscimo populacional, numa determinada área, só se mantém o mesmo nível de risco se as novas construções respeitarem a regulamentação, ou seja, se for compensado por um melhor projecto e construção que a média dessa área.

7.3.1. APLICAÇÃO DO SIRIUS NO CONCELHO DE PORTIMÃO

No âmbito da revisão do PDM de Portimão aplicou-se o Indicador de Risco Sísmico Urbano (SIRIUS) para aquele território.

Para a definição da **Perigosidade Sísmica** consideraram-se as zonas sísmicas definidas na regulamentação actual Eurocódigo 8 e os tipos de solos que caracterizam o concelho (Figura 7.3).

Para a definição da **Vulnerabilidade** considerou-se a variação entre a vulnerabilidade requerida para um edifício, à luz da regulamentação actual, e a vulnerabilidade característica (ou actual) que um edifício construído apresenta como consequência da época em que foi construído, número de pisos e material de construção (explicado em 7.2.).

Para a definição da **Exposição** considerou-se a densidade populacional (hab/ha) de cada quarteirão. Como se sabe quanto mais densa e populosa for uma área maior a exposição dessa população ao risco sísmico. Áreas urbanas que apresentam elevada densidade, compostas por quarteirões onde a construção é maioritariamente em altura, são mais vulneráveis que uma área de média densidade, que não apresenta estruturas muito elevadas que possam ruir e obstruir os espaços em caso de sismo ou dificultar as condições de acessibilidade, operações de socorro ou a própria fuga das pessoas para espaços vazios. Estas áreas de contenção urbana são as que apresentam um risco mais moderado para a população, sendo por isso preferenciais.

A cartografia produzida (Figura 7.8 a Figura 7.10) mostra que de um modo geral, o risco se apresenta moderado por todo o território concelhio, sendo que nalgumas zonas é extremo, devido à maior concentração de vulnerabilidade do edificado e de população. Este efeito agrava-se durante os meses de verão que em média tem uma população 3 vezes superior à população dos Censos (Figura 7.10).

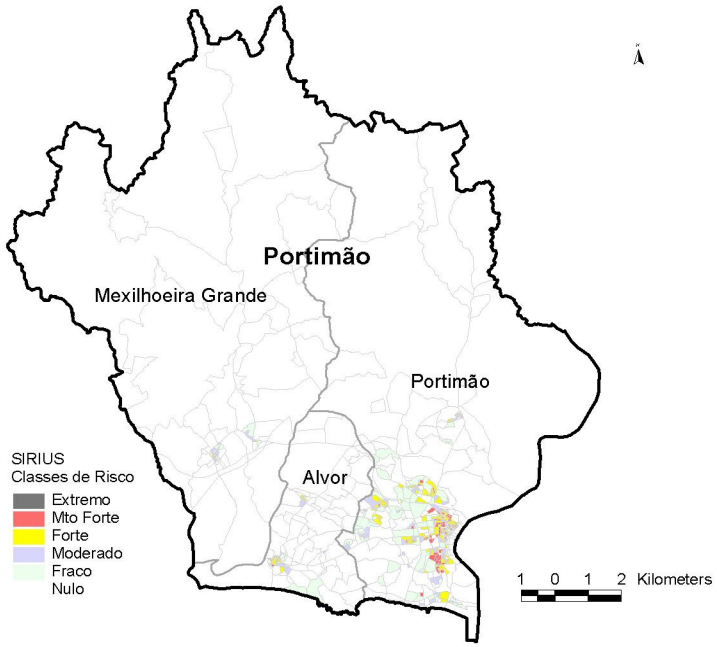


Figura 7.8 – SIRIUS – indicador de risco sísmico urbano para o concelho de Portimão

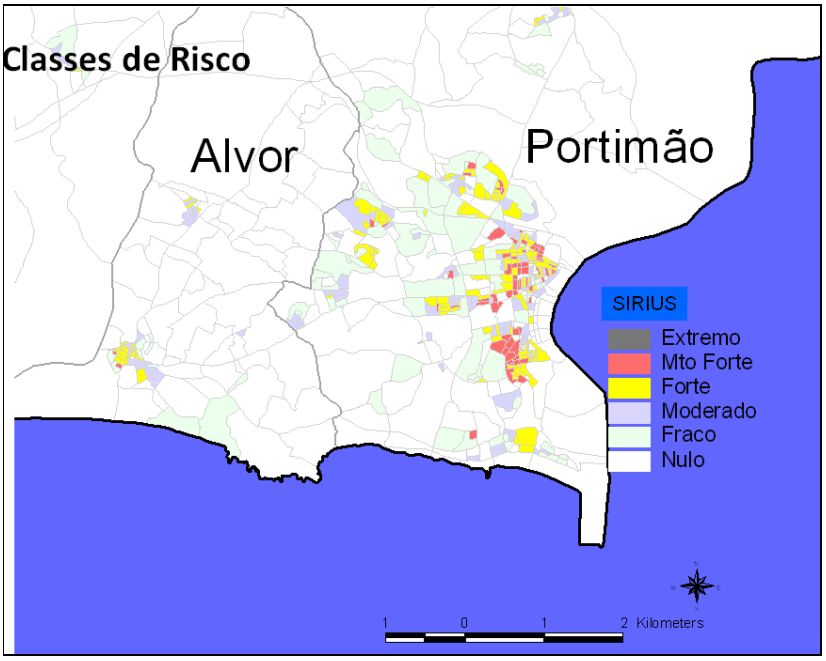


Figura 7.9 – Indicador de risco sísmico para o concelho de Portimão (pormenor) – População presente

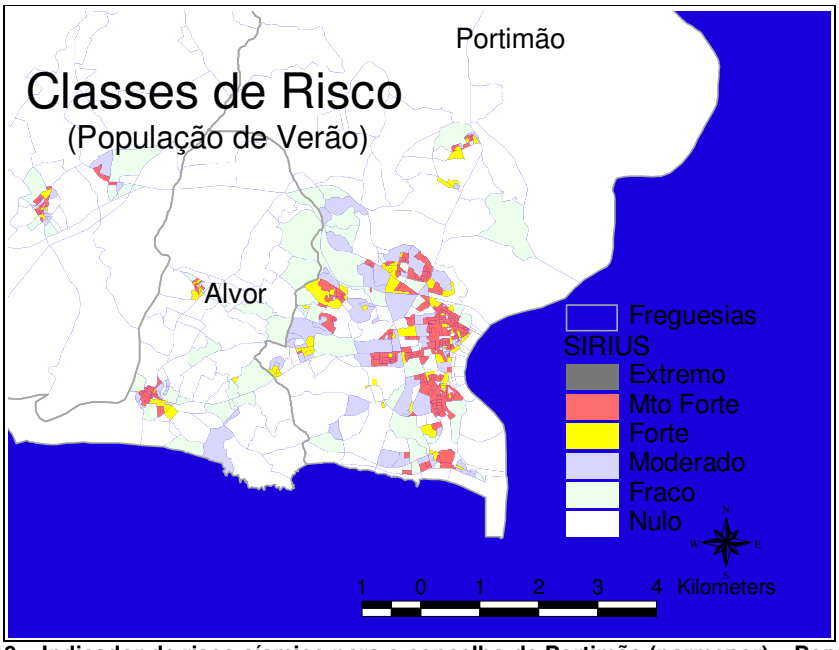


Figura 7.10 – Indicador de risco sísmico para o concelho de Portimão (pormenor) – População de Verão

7.4. Síntese

O crescimento da população e dos bens económicos nas cidades promovem a urbanização das catástrofes, a crescente concentração de risco de desastres em áreas urbanas.

Na gestão urbanística das cidades existem várias preocupações a ter em conta, desde consolidar o espaço, defender melhores planos que promovam a rentabilidade entre o público e o privado, resolver conflitos associados ao carácter desigual na utilização do solo, desenvolver desenhos urbanos adequados, a questões sociais, políticas e culturais que devem ser entendidas e solucionadas. O desenvolvimento urbano é pois uma operação complexa e cabe-nos identificar quais os espaços a intervir e as implicações que um modelo de desenvolvimento poderá envolver. Assim, devemos fornecer conhecimento para um eficaz sistema de regulação/enquadramento legal e influenciar o Estado, central ou local, no processo de urbanização e na promoção do urbanismo e da arquitectura, de forma a que os investimentos públicos em infra-estruturas e equipamentos e a localização de actividades económicas, de centros de decisão e administrativos e de equipamentos, seja realizada de forma segura e apropriada. Isto levanta diversos desafios, nomeadamente na definição da abordagem e do entendimento da política e das políticas, sistemas e práticas e definição de critérios (de avaliação e de responsabilização).

Neste sentido, a programação de equipamentos (como escolas, hospitais ou quartéis de bombeiros) ou de infra-estruturas críticas deverá ser bem planeada e implementada em locais de fácil acesso, em zonas cuja envolvente não apresente risco – por concentração humana e vulnerabilidade das construções, pois uma estrutura recente, uma escola ou um hospital, numa zona cujo edificado em redor esteja em risco devido ao elevado estado de deterioração, ou por

ameaçar não apresentar boas técnicas construtivas, de nada irá servir à população caso ocorra um sismo.

O desenvolvimento de metodologias como as descritas, simples e não muito morosas é essencial para os municípios portugueses que se encontram quase todos com os seus Planos Directores Municipais em fase de revisão e, desconhecendo as autarquias o que fazer e como abordar esta temática, limitando-se a apresentar a carta de isossistas de intensidades máximas.

A avaliação do risco sísmico consiste assim na combinação da informação e dos elementos descritos nos pontos anteriores, permitindo um mapeamento e descrição do risco em termos espaciais, para que as consequências do mesmo possam ser analisadas e mitigadas. A Figura 7.11 sumariza a hierarquia dos estudos que devem ser considerados na identificação e avaliação do risco sísmico. Os procedimentos a ter para uma melhor avaliação do risco requerem um número de passos que devem ser seguidos a fim de obtermos um resultado final: avaliar e preparar para as adversidades para se conseguir pôr em prática apropriadas estratégias de mitigação. À medida que os gestores e decisores do território vão implementando os vários estudos e reduzindo o impacto dos desastres, aumenta a confiança e a segurança das populações.

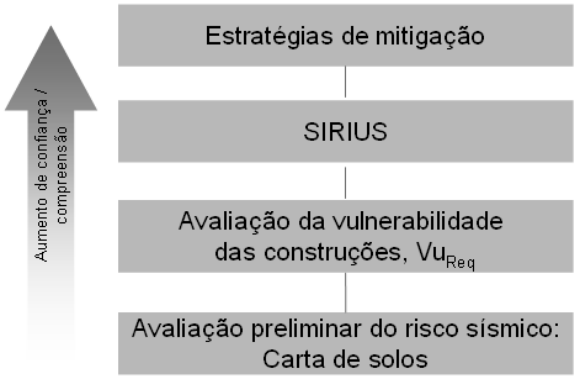


Figura 7.11 – Hierarquia dos estudos para avaliação do risco sísmico

PARTE III – RISCO E AVALIAÇÃO DE IMPACTO EM MEIO URBANO. ANÁLISE SISTÉMICA

8| OS SISTEMAS VULNERÁVEIS NO TERRITÓRIO. IMPACTOS DOS SISMOS

As cidades podem ser o local mais perigoso em caso de catástrofe. Devido à concentração populacional e densidade de construção, a exposição a acidentes e vulnerabilidade escalam. Cada vez mais vemos os espaços a sofrerem rápidas urbanizações; a população que cresce e procura os centros urbanos para obter emprego, melhores escolas ou um melhor serviço de saúde. Os crescimentos rápidos e não planeados aumentam o risco para a população e para os elementos expostos. Para aqueles que vivem num ambiente urbano onde as autoridades têm pouca presença (como por exemplo no Haiti) e onde a vontade e os recursos são insuficientes para assegurar os serviços básicos sociais, a segurança, o acesso a alimentos, a existência de água potável, a recolha de lixos e o respeito pelo cumprimento dos regulamentos, incluindo os das construções, o risco é bastante elevado.

Nas sociedades desenvolvidas, habituadas a elevados padrões de qualidade de vida, existe a confiança de que os serviços e as infra-estruturas que tornam possíveis o desenvolver das suas actividades, como energia, água/saneamento, telecomunicações, transportes, banca, saúde ou segurança, estarão disponíveis para todos os cidadãos mesmo durante um desastre. Outra confiança é a de que os planos de emergência também estão desenvolvidos, assumindo que as infra-estruturas das quais dependem estarão a funcionar a um nível normal durante e após uma catástrofe. Como se sabe, nos desastres, a partir de uma certa dimensão, as múltiplas infra-estruturas que compõem o sistema são afectadas simultaneamente; quanto mais sofisticados são os sistemas, mais vulneráveis e frágeis se tornam, devido às suas interdependências; consequentemente a falha de um deles ir-se-á repercutir no funcionamento dos outros. Assiste-se assim não só a danos estruturais mas também a danos funcionais nos vários sistemas, afectando a vida das pessoas que vivem nas áreas atingidas por um desastre. Por a priori se ignorar ou não incluir nos estudos a interrupção de serviços e funções, devida aos efeitos em cascata, desconhecem-se os resultados dessas interdependências no processo de resposta e recuperação gerando-se graves impactos na vivência das populações.

Os impactos de um sismo com significância no tecido económico e social de um território, destacam-se a vários níveis: desde a perda da habitação, à interrupção da rede de gás que priva as pessoas de regressarem às suas casas, ou ainda o impacto psico-social e de perdas humanas. Estes impactos para além de existirem a vários níveis, têm diferentes durações: desde horas, como seja nalguns casos a reposição de electricidade ou das telecomunicações, a meses, como a reposição de gás e anos, como a reconstrução de casas e monumentos e, talvez o mais longo de todos, a recuperação do trauma por parte da população – a reconstrução pessoal, se é que se consegue algum dia recuperar. Convém não esquecer que o equilíbrio social está directamente relacionado com as interacções sociais (Turner, 1993). Estudos com várias comunidades afectadas por sismos provaram que a exposição ao desastre, tem consequências traumáticas, que podem deixar as pessoas com perturbações mentais,

muito depois destes terem ocorrido: taxas que vão dos 2% aos 50% de população com perturbações de stress pós-traumático e de 8% a 52% com problemas de depressão (Salcioglu, 2010).

Para a prevenção de novas catástrofes é importante que a população tenha a percepção de que os desastres acontecem e que não têm a duração de uma hora, mas de dias ou anos.

A simulação de cenários pode ser uma valiosa ferramenta no que concerne à avaliação do impacto quase-global do que poderá ser uma catástrofe, para se perceber e iniciar não só o processo da coordenação da resposta, mas mais importante, o processo de prevenção. Porém, ao não estarem contempladas as interdependências e serem analisadas as estruturas e os sistemas individualmente, resoluções e planeamentos ao nível territorial tendem a ser pouco realistas. Os recentes acontecimentos no mundo realçam bem a criticidade relacionada com os problemas de interdependências e sua evolução no tempo, sendo exemplos dramáticos o tsunami de Sumatra em 2004, o furacão Katrina nos EUA em 2005 ou o sismo do Haiti em 2010. Um dos objectivos deste trabalho é o de reconhecer e construir um modelo capaz de apreender a complexidade dos efeitos de um sismo num determinado território, de forma a mitigar os efeitos da catástrofe.

8.1. Efeitos no sistema urbano. Uma visão integrada do problema

Consideremos o território composto por vários temas (Costa Lobo et al., 1996):

i) Estrutura física que engloba aspectos relacionados com a geomorfologia, hidrologia, ecossistemas, recursos naturais e composição da paisagem.

ii) Estrutura socioeconómica, que cobre as actividades básicas e não básicas e as condições financeiras de determinado local.

iii) Redes de infra-estruturas, equipamentos e serviços, cada uma com o seu traçado, capacidade e localização.

iv) Património edificado e natural que estão associados a valores estéticos e espirituais.

Todos estes temas apresentam sistemas abertos, nos quais há trocas, interdependências entre os elementos dos sistemas (ou sectores) mais ou menos fortes, demasiado complexas em todos os momentos e independentes da sua escala (tamanho ou forma). Tendo como base esta visão integrada do território em que o seu funcionamento depende dos efeitos mútuos entre vários sistemas, cabe-nos perceber quais os impactos de um sismo nesses sistemas. Em seguida serão descritas as várias interacções possíveis que um cenário de perdas físicas produz, resultando em perdas funcionais devido às interdependências intra e inter sistemas[9]. Tratando-se de um tema demasiado complexo, tentar-se-á fazer uma exposição exaustiva

[9] Considera-se uma interacção inter-sistema aquela que envolve dois ou mais sistemas distintos; por outro lado uma interacção intra-sistema é aquela que se dá no interior do próprio sistema.

embora de forma a ser a mais simplificada possível.

Como se sabe o funcionamento da rede de águas depende em grande parte do funcionamento da rede eléctrica. As avarias na rede eléctrica comprometem o abastecimento de água (dada a ausência de electricidade para alimentar os depósitos e os sistemas de bombagem da água) a várias localidades da zona afectada pelo sismo, repercutindo-se nas funções urbanas que podem igualmente ficar perturbadas, como por exemplo no acesso à escola ou ao emprego. Um dos efeitos do temporal de 23 de Dezembro de 2009, na região do Oeste, foi precisamente a falta de água, que teve impactos na população e na economia. Por exemplo, os bombeiros tiveram de colocar água em pecuárias e vacarias por existir o risco de os animais morrerem (Bombeirospontopt, 2009).

Por outro lado, a propagação dos efeitos dos danos físicos de uma conduta de água (a sua perfuração, por exemplo) irá causar perturbação no sistema de fibra óptica enterrado, degradando os sistemas de telecomunicações nas proximidades dessa conduta, ou ter influência posterior na reparação da rede de gás. Durante o sismo de Loma Prieta (1989, E.U.A.), em Santa Cruz, uma explosão de gás provocada por curto-circuitos, não pôde ser logo extinta devido aos danos na rede eléctrica que impossibilitaram a utilização de água.

Observa-se que o mau funcionamento da rede eléctrica e das telecomunicações reduzem drasticamente a prestação dos serviços de todas as outras redes, assim como impedem os esforços para a recuperação do sistema global. Uma infra-estrutura terá maior vulnerabilidade à destruição, interrupção ou disfunção quanto maiores sejam as suas relações de interdependência e interligação com outras.

Como referido e defendido no trabalho de Yao (Yao et al., 2004), existem interacções resultantes da recuperação pós-sismo que não devem ser desprezadas, pois definem-se como impedimentos/atrasos às fases de recuperação; são exemplos os sistemas água-gás, electricidade-água, esgotos-água, que necessitam de uma estratégia definida para optimizar a recuperação destes sistemas. A presença de água junto das tubagens enterradas que compõem a rede de gás, devido à ruptura das condutas de água ou por ocorrência de liquefacção, é um dos factores que influencia o atraso no processo de recuperação da rede de gás.

Após uma catástrofe surgem as actividades de recuperação, que inicialmente são preparadas para a emergência e que depois entram na fase de recuperação permanente. A principal preocupação quando as infra-estruturas são afectadas é a morosidade na recuperação das redes de água e gás por um lado, por outro é comummente identificado que as recuperações mais rápidas e necessárias são as da rede eléctrica e de telecomunicações (Hada e Meguro, 2000). A Figura 8.1 ilustra o processo de recuperação de cada uma das redes de infra-estruturas após o sismo de Kobe (Japão, 1995) (Yao et al., 2004); verifica-se que a recuperação da rede eléctrica foi iniciada logo após o sismo.

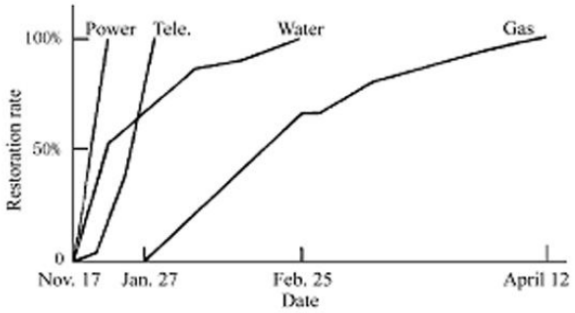


Figura 8.1 – Curvas de recuperação das redes de infra-estruturas após o sismo de Kobe
Fonte : Yao et al., 2004

Fazendo uma descrição a outro nível, que não o das infra-estruturas enterradas, o mau funcionamento da rede viária também provoca que outras redes percam a mobilidade essencial para a sua restituição. Quando se iniciam os trabalhos de recuperação e reconstrução (obras enterradas ou à superfície) regista-se uma redução ou completa suspensão na capacidade do tráfego rodoviário, devido não só às obras como ao elevado número de maquinaria e camiões com material que enchem as vias. Seis meses após o sismo de L'Aquila (2009, Itália), era quase impossível circular nalgumas vias, devido ao elevado tráfego de pesados e ao mau estado em que as vias se encontravam causado pelos mesmos veículos.

Outro efeito a que assistimos nestes cenários é a substituição de sistemas que se geram, ou seja, a falha da rede de gás irá resultar numa maior procura dos sistemas da rede eléctrica, obrigando a que haja uma redundância nas redes.

No entanto, não são apenas danos ao nível das infra-estruturas (físicos, estruturais e funcionais) que se registam após uma calamidade. Efeitos adversos nas actividades e funções sociais surgem em consequência desses mesmos danos e têm forte impacto em toda a sociedade ao longo do tempo.

Após esta descrição e indo ao encontro da Lei de bases da política de ordenamento do território e de urbanismo (Lei n.º 48/98 de 11 de Agosto) que estabelece como um dos seus objectivos, manter a distribuição equilibrada das funções de habitação, trabalho, cultura e lazer do território (artigo 6º), surge a necessidade de construir um modelo que explique a partir de que valor os efeitos de um sismo impede o desenrolar das funções no sistema urbano, tendo sempre presente que o impacto global não está dissociado da análise individual a todos os impactos.

Os esforços para compreender esta complexidade apoiaram-se na observação e diagnóstico do impacto de vários sismos em diferentes regiões do mundo, nomeadamente nos Açores (1980 e 1998), China (2008), Itália (2009), Haiti (2010) e Espanha (2011), orientando e delimitando os primeiros passos nesta pesquisa. A informação e as deduções alcançadas foram recolhidas através de missões aos vários locais, onde se estabeleceram contactos com a população afectada e com diversas entidades e organismos, com o intuito de perceber quais os aspectos mais relevantes que afectam a sociedade, a economia e outros sectores. A pesquisa

a documentos e estudos existentes, relativos a outros sismos foram igualmente analisados (Capítulo 4). Trata-se de uma metodologia participativa dos múltiplos agentes que operam e são atingidos em caso de uma catástrofe: sociedade civil, instituições e economia.

8.2. Principais variáveis e indicadores de vulnerabilidade e de risco desenvolvidos. Estado da arte

O risco e sua gestão são representados e medidos de diferentes maneiras, de acordo com as diferentes áreas de trabalho. Os psicólogos, sociólogos (Quarantelli, 1988) e historiadores consideram o risco como um fenómeno social, desta forma o conhecimento do risco requer uma apreensão das percepções individuais e sociais. Os engenheiros, geólogos, geógrafos, economistas e epidemiologistas adoptam uma postura mais objectiva, baseada na hipótese que o risco é algo que pode ser quantificado e objectivamente avaliado (Cardona, 2003). É importante ser capaz de perceber e avaliar o risco, analisando as diferentes dimensões existentes sejam elas físicas, socioeconómicos e humanas, a fim de definir os elementos em risco e caracterizar as principais questões, elementos e infra-estruturas a serem protegidos.

Existe já uma extensa literatura relativa à identificação de indicadores sociais, económicos, demográficos que combinados com dados físicos e do território pretendem categorizar níveis de vulnerabilidade das comunidades aos desastres. O avanço da tecnologia computacional permite também o acesso a uma infinidade de bases de dados desde os Censos a informação georreferenciada, levando muitas vezes a um uso “massivo” de indicadores estatísticos por serem fáceis de obter e relativamente baratos e, porque podemos facilmente agregar, manipular e analisar. No entanto, existe um conjunto de constrangimentos que impõem limitações ou induzem um enviesamento nos resultados, podendo ser citados alguns: i) falta de actualização de dados (muito antigos ou falta de comparabilidade de ano para ano), ii) problema da divisão e espacialização dos dados no território (as fronteiras geográficas: freguesia, concelho, região, etc.) ou iii) percepção de qual a informação ou variável dos Censos que melhor caracterizam a vulnerabilidade de uma comunidade. Outro problema surge com a forma como as variáveis são agregadas e modeladas; a atribuição generalizada de pesos a indicadores e a própria imposição de categorias ou classes à vulnerabilidade, por um lado impõe limitações no uso de indicadores socioeconómicos e por outro, quando as consequências estão correlacionadas, são violadas regras básicas da análise multicritério, como a propriedade de independência aditiva - necessária na análise multicritério e na teoria da utilidade para justificar representações de preferência aditiva (Keeney e Raiffa, 1976). Por exemplo, imaginemos que temos dois critérios e a cada categoria foi atribuída a pontuação da seguinte forma: 0 = não, 1 = algum / baixo, e 2 = sim / alto. A soma dessas pontuações pode ser (2+0=2) ou (1+1=2), ou seja, obtém-se o mesmo resultado mas o processo contém significância diferente e que não é captada numa abordagem puramente aditiva.

Por último, não nos podemos esquecer que estas variáveis são apenas indicadores de algum aspecto da população ou da comunidade. As comunidades e suas populações são demasiado

complexas para serem reduzidas a indicadores ou generalizar e retirar classificações absolutas sobre a sua vulnerabilidade (King, 2001).

Identificar e medir os impactos após a ocorrência de um desastre, é tarefa essencial para levar a efeito uma redução do risco a longo termo. Porém, medir o impacto global de um sismo só por si, apresentar uma classificação de impacto "Forte" ou "Moderado" não é suficiente; é necessário ir mais longe, ou seja, conseguir indicar quais os elementos, componentes e sistemas que mais contribuem para determinado nível de impacto, que são responsáveis por pela maior ou menor disfunção. Os estudos desenvolvidos sobre risco sísmico identificam sempre a necessidade de analisar a vulnerabilidade do edificado, estudando os factores associados a esta dimensão (época de construção, número de pisos, entre outros factores tal como analisado no Capítulo 6). O modelo conceptual que se propõe, resulta da combinação destas estruturas, nas funções que tornam possível a vivência em determinado local, com os desequilíbrios sociais, económicos, políticos e ambientais que se geram pela ruptura dessas mesmas funções.

Assim, ao longo deste trabalho foi necessário estar atento e identificar as funções básicas e os interesses humanos que são precisos satisfazer, a título individual e de grupo (ordem civil, governação, religião, entre outros), tendo em vista minorar as consequências de possíveis disfunções. Quais os impactos de um sismo que impedem o desenrolar das funções no sistema urbano? Com esta resposta, poderemos indicar intervenções realistas e não apenas generalistas, que não são as condicionantes do problema global. Existem várias formas de teorizar sobre esta matéria, todas elas reúnem um conjunto de pontos comuns tendo em vista o bem-estar da sociedade. Todas elas estão envoltas em discussões e devem ser vistas mais como um processo do que um produto final, dado que esta matéria precisa ser pensada, discutida e desenvolvida para além desta dissertação.

Nesta secção analisam-se os conceitos chave relevantes para o apoio e suporte de uma formulação estruturada e robusta, para a avaliação de impactos do sismo no sistema urbano e identificação de necessidades de intervenção em componentes desse mesmo sistema. De seguida será indicado um conjunto de estudos e abordagens desenvolvidos até à data, sobre os quais se pretende compreender a estruturação, o grau de enquadramento/adequação ao tema em análise e a complexidade inerente à sua construção.

8.2.1. MÉTODO GEMITIS: ESTRATÉGIA INTEGRADA DE RISCO SÍSMICO

A abordagem proposta desde 1996 por Masure e conhecida como método GEMITIS, sugere que para uma cabal análise de risco a nível urbano, devem ser considerados todos os elementos expostos, sejam eles humanos, materiais (edificações, infra-estruturas, património arquitectónico, recursos naturais, etc.), ou imateriais (cultura, estrutura social, imagem), e também as relações funcionais entre os elementos, actividades urbanas (produção, consumo, trocas), o governo, as relações da cidade com o seu ambiente circundante, etc.

O impacto de um sismo é função das relações internas e externas dos elementos de uma

cidade, e de possíveis substituições funcionais de elementos quando danificados. O que significa que para a análise de risco não se deve apenas considerar a vulnerabilidade dos elementos em risco, mas também as falhas e efeitos cascata resultante das interdependências das principais funções, actividades, decisões e comportamento humano num sistema urbano (Masure e Lutoff, 2008). Para tal, os autores propõem a identificação das características que formam a base de uma identidade urbana, sugerindo o sistema urbano composto por sete componentes (Figura 8.2), onde vários indicadores são seleccionados para representar cada um dos componentes que caracterizam uma cidade:

i) População: habitantes (idade, nível social, etc.), trabalhadores, turistas, distribuição demográfica, entre outros.

ii) Espaço urbano: ambiente (ar, água, solo, subsolo), ambiente construído (edifícios, infra-estruturas, redes, etc.), organização espacial, ordenamento, recursos naturais, entre outros.

iii) Funções (actividades e serviços): habitação, serviços de água, electricidade, gás, saneamento, transporte, comunicação, recursos para emergência.

iv) Actividades: económicas (produção, consumo, troca de bens), administrativas e culturais;

v) Governação: organizações institucionais, socioeconómicas e políticos, política urbana (opções de crescimento e desenvolvimento), processos de decisão com ênfase especial na gestão da emergência.

vi) Identidade e cultura: a coesão social, cultura e história locais (com especial ênfase para a cultura e memória dos riscos), imagens e representações simbólicas.

vii) Irradiação: características simbólicas, de imagens externas e representações, a posição regional, entre outros aspectos.

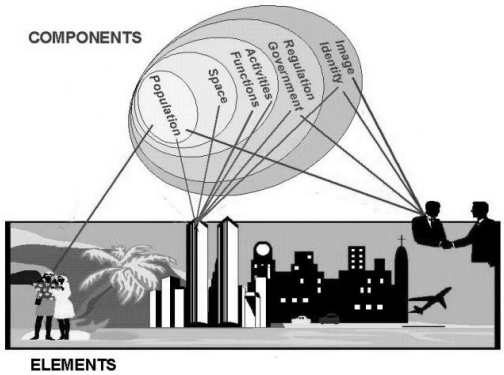


Figura 8.2 – Caracterização do sistema urbano. Relações entre elementos em risco e componentes
Fonte: Masure e Lutoff, 2008

Cada componente é expressa por um ou mais indicadores, sendo objectivo do método dar uma expressão numérica do valor global desses elementos para o sistema urbano. O valor global de um elemento em risco dependerá não apenas do seu valor financeiro ou do seu conteúdo físico e humano, mas da sua utilidade no sistema urbano em determinado momento, sendo por isso proposta a análise do valor global dos elementos em três períodos distintos: o período normal

(ou período de desenvolvimento de uma cidade), período de crise devido a um sismo (dias a semanas) e período de recuperação e reconstrução após o desastre (meses a anos).

Valor global = Σ (valores relativos seleccionados para cada período)

Para calcular o valor global, os diferentes valores afectados ao elemento (quantitativos ou qualitativos) devem ser transcritos numa escala de 4 níveis, representados por números de 0 a 1 (0, 0,3, 0,5 e 1). Por exemplo, um elemento considerado como essencial na economia urbana, é representado pelo maior valor (=1). No entanto, um elemento que não tenha significado económico é atribuído o menor valor (=0). Para os indicadores que estão ligados a unidades qualitativas (como simbolismo, imagem, etc.), a atribuição de valores relativos consiste numa transcrição numérica desses valores, sendo que o valor simbólico de um elemento pode ser expresso da seguinte forma:

- 1 = maior simbolismo: conhecido por toda a cidade;

- 0,5 = médio simbolismo: só conhecido pelos habitantes e visitantes regulares;

- 0,3 = secundário simbolismo: conhecido num bairro;

- 0 = sem representação simbólica.

Para cada elemento são definidos os limites das classes (Figura 8.3).

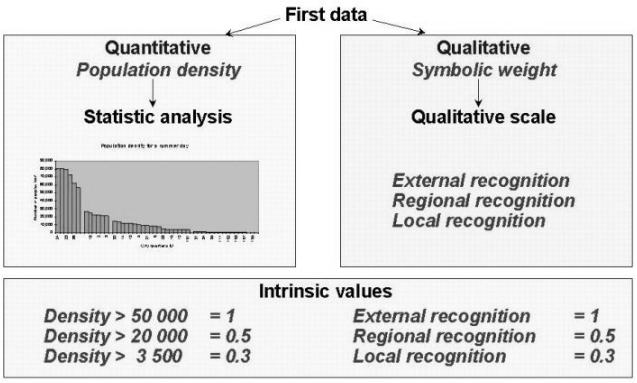


Figura 8.3 – Definição de limites para cada classe
Fonte: Masure e Lutoff, 2008

Os dados são integrados em várias *layers* de um banco de dados SIG, cuja estrutura depende dos dados disponíveis e será diferente para cada cidade.

Nesta abordagem, os elementos em risco numa cidade, como as áreas residenciais, comerciais, administrativas e industriais são identificados e analisados para definir os pontos fracos do sistema urbano (Figura 8.4) para cada período. É introduzido o conceito de "factores de vulnerabilidade", que são aqueles que desempenham um papel na existência de níveis mais elevados de vulnerabilidade (fragilidades, deficiências e limitações) e “factores de resiliência", que enfatizam as boas práticas, como preparação, coesão social, consciência ambiental, processos de reabilitação, planeamento, responsabilidade, educação, formação, regulamentação preventiva, entre outros. Os elementos mais críticos dentro do sistema urbano

são identificados para estabelecer prioridades nos planos de gestão de risco das cidades.

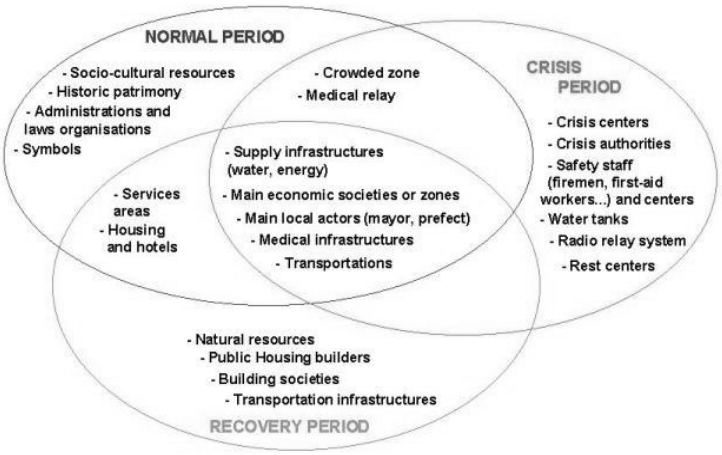


Figura 8.4 – Elementos críticos em risco no sistema urbano de Nice
Fonte: Masure e Lutoff, 2008

Embora de interesse e indo de encontro a muitos conceitos e preocupações por nós defendidos, esta abordagem apresenta muitos obstáculos na sua aplicabilidade dado o elevado número de indicadores que são necessários para alimentar o modelo, assim como a dificuldade na atribuição de pesos ou definição de limites de classes.

8.2.2. DISASTER RISK INDEX (DRI)

A nível de iniciativas internacionais, nos últimos anos dois grandes projectos foram desenvolvidos com o objectivo de medir o risco e/ou a vulnerabilidade de um país, recorrendo a índices e indicadores de nível nacional, capazes de realizar comparações a nível internacional e global. Estes projectos incluem o desenvolvimento do Índice de Risco de Desastre (DRI) e os indicadores de risco de desastre e de gestão de riscos (Cardona, 2005).

O DRI surge no âmbito do Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas (UNDP, 2004), que tinha como objectivo, baseado em dados existentes na base de dados EM-DAT (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters) entre 1980 e o ano 2000, avaliar os países que se encontravam em maior risco, considerando vários tipos de perigosidade (tais como secas, cheias, ciclones e sismos). Estes quatro acontecimentos de origem natural foram modelados recorrendo aos SIG, sobrepondo-lhes um modelo de distribuição da população, para extrair a exposição humana. Para medir a vulnerabilidade humana foi cruzada a exposição humana com 32 variáveis socioeconómicas seleccionadas como indicadores de vulnerabilidade potencial. No entanto "apenas cinco variáveis foram escolhidas após análise de regressão múltipla entre as quais se destacam: i) PIB per capita, ii) percentagem modificada de terra arável, iii) percentagem de crescimento urbano, iv) percentagem de cobertura florestal do país e v) valor transformado da percentagem do país dedicado à agricultura" (Peduzzi et al., 2009).

O modelo avalia até que ponto as perdas ocorridas no passado (20 anos), estão relacionadas com a exposição da população e a sua vulnerabilidade (Figura 8.5). A vulnerabilidade, no DRI

é assim um factor que explica a razão por que pessoas com o mesmo nível de exposição física a desastres naturais podem estar mais ou menos em risco. O DRI calcula a vulnerabilidade relativa de um país a um determinado perigo, que é obtido dividindo o número de vítimas pela população exposta.

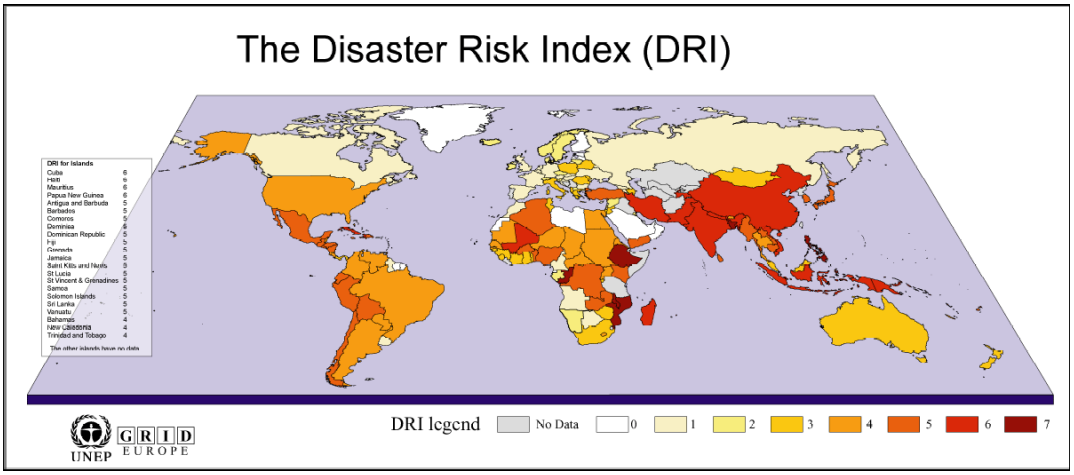


Figura 8.5 – Distribuição geográfica das classes do DRI (0-sem risco de mortalidade; a 7-elevado risco de mortalidade)
Fonte: Peduzzi et al., 2009

Outros efeitos adversos provocados por desastres naturais como por exemplo, a população afectada ou perdas económicas, não foram incluídos no modelo, sendo uma limitação desta abordagem usar apenas a mortalidade. As cheias por exemplo, ocorrem regularmente e de forma catastrófica sem provocar uma mortalidade significativa, no entanto com importantes perdas de bens e propriedade. Utilizando o DRI nestas regiões, não há indício de que as mesmas são muito vulneráveis a cheias, por estas não causarem muitas vítimas. As limitações do DRI prendem-se assim com a consideração apenas do risco de mortalidade e com a selecção das variáveis de vulnerabilidade indicadas. Outra limitação prende-se com o espaço temporal seleccionado (20 anos). Há muitos eventos de elevado impacto que acontecem uma vez em cada 200 ou 500 anos e que não estão considerados nesta abordagem, como secas (de efeito lento) ou outros eventos, e se estes índices são criados para retirar conclusões e recomendações preventivas para o futuro, é importante ter atenção e mais cuidado no uso e propósito dos mesmos.

Um dos problemas da construção de índices deste tipo (como o DRI) é que a maior parte dos estudos utilizam indicadores que se centram nas consequências directas das catástrofes, recorrendo à identificação de variáveis que se correlacionem directamente com mortes e perdas observadas.

8.2.3. INDICADORES DE RISCO DE DESASTRE E DE GESTÃO DE RISCOS

Em 2001, Omar Cardona desperta a atenção para a necessidade de uma avaliação do risco sísmico de acordo com uma visão holística, ou seja, medir o risco tendo em conta não só os danos físicos, as vítimas e perdas económicas, mas também factores sociais, organizacionais e institucionais. O seu trabalho não entra em consideração com interdependências funcionais mas com factores de fragilidade social, onde os desequilíbrios sociais e económicos se traduzem numa deterioração da qualidade urbana, na pobreza, na segregação social, aumentando assim a vulnerabilidade da população e diminuindo a sua resiliência. Cardona perspectiva assim a resiliência e a capacidade adaptativa como uma dimensão do conceito de vulnerabilidade.

Em 2005, em virtude do programa financiado pelo Inter-American Development Bank para 12 países da América Latina e Caribe, Cardona (2005) propõe um conjunto complexo de indicadores que comparam o risco dos diferentes países membros em termos de avaliação e gestão do risco. Este sistema de indicadores tenciona representar o risco não só a um nível nacional mas também à escala urbana, possibilitando a identificação das condições socioeconómicas, a análise às decisões políticas, os investimentos e as acções eficazes realizadas para cada país ao longo do tempo. A abordagem engloba quatro índices principais, sendo que cada um deles é composto por indicadores e sub-indicadores perfazendo mais de 50 indicadores. Em seguida é feita uma breve apresentação dos quatro índices principais (ver em detalhe Cardona, 2005 ou Anexo II):

8.2.3.1. Índice de Defice por Desastre (IDD)

O IDD tenciona medir o risco de impactos financeiros e macroeconómicos que um país pode experimentar, resultante da exposição a um evento (que ocorre com períodos de retorno de 50, 100 e 500 anos) e, quais os recursos existentes que atenuam os potenciais impactos (pagamentos de seguros, recursos financeiros reservados para situações de emergência, ajuda externa que pode ser obtida no mercado de capitais, entre outros).

8.2.3.2. Índice de Desastres Locais (IDL)

O IDL centra-se na propensão que um país tem à exposição a fenómenos pouco frequentes (sismos, inundações, secas, incêndios florestais, deslizamentos, avalanches, erupções vulcânicas e tempestades) e, através do impacto cumulativo que este tipo de eventos causa a nível local, determina os impactos a nível social.

8.2.3.3. Índice de Vulnerabilidade Prevalecente (IVP)

O IVP capta as condições de vulnerabilidade predominantes num país, avaliando a exposição da população, a fragilidade socioeconómica e a falta de capacidade de resiliência social, independentemente da perigosidade. Este índice é calculado a partir da análise a 24 indicadores, cujos pesos e usos variam consoante a escala a analisar (nível nacional, regional,

local).

8.2.3.4. Índice de Gestão de Risco (IGR)

O IGR propõe medir o desempenho da gestão de risco de um país e, consequentemente, a sua capacidade de resposta ao perigo. As variáveis de entrada incluem sub-indicadores que retratam o nível de identificação de riscos, a redução de riscos, a gestão de desastres e de governação e protecção financeira de um país.

A abordagem de Cardona e da sua equipa representa, provavelmente, o modelo mais complexo para análise de vulnerabilidade disponível à escala internacional. É, no entanto, geograficamente limitada aos países da América Latina e Caribe, não sendo viável a sua aplicabilidade a uma escala global, devido à indisponibilidade de dados. Por outro lado a selecção e agregação de indicadores levanta questões de difícil especificação e sobretudo de atribuição de pesos, podendo trazer importantes enviesamentos e dificuldades no apoio à decisão de investimentos nas políticas de mitigação, por um indicador poder ser adequado para um país ou região e desaqueado para outro. Outro problema prende-se com a construção de funções de valor (as funções de valor descrevem a intensidade do risco para cada descritor) utlizadas para os factores de agravamento de "fragilidade sócio-económica" e "falta de resiliência". Normalmente as funções que dão origem aos valores dos factores de agravamento utilizam na sua maior parte funções sigmóides. Por exemplo, a função de valor para o número de vítimas (Figura 8.6), definida como o número de vítimas por causas naturais para cada 1000 habitantes, sugere que o agravamento para este factor é mínimo, se o valor é inferior a 10 mortes por cada 1000 habitantes, e o agravamento é máximo se o valor for maior que 50 mortes por cada 1000 habitantes.

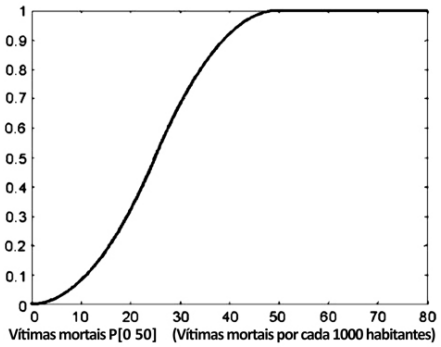


Figura 8.6 – Função de valor para o número de vítimas

Esta questão de como as funções de valor devem idealmente ser construídas, de forma a melhorar as decisões de gestão de risco, são muito questionáveis e difíceis de aceitar, seja na construção dos pesos ou na própria construção das escalas das funções de valor.

8.2.4. INTERDEPENDÊNCIAS NAS INFRA-ESTRUTURAS CRÍTICAS

Martí (2008) e sua equipa de 24 investigadores da Universidade de British Columbia (UBC) alertados para a problemática da interrupção de infra-estruturas críticas, suas interdependências e impactos nos sistemas e funções, desenvolveram uma metodologia e um simulador denominado I2Sim (Infrastructures Interdependencies Simulator) no âmbito do projecto JIIRP (Joint Infrastructure Interdependencies Research Program), capaz de captar as dinâmicas complexas que ocorrem num sistema com múltiplas infra-estruturas. Este projecto é desenvolvido em duas frentes: primeiro pretende modelar uma área real onde existam várias infra-estruturas, como serviços de energia, água, transportes e saúde. Para tal, as vulnerabilidades e interdependências existentes em momentos de crise foram identificadas após discussões com os operadores das respectivas infra-estruturas. Em paralelo, a equipa UBC-JIIRP investigou modelos possíveis de interdependências e metodologias de simulação. Foi dada relevância à necessidade de assegurar que as ferramentas de modelação/simulação deveriam ser capazes de operar de forma transparente desde o período antes da emergência até às fases de recuperação.

O simulador I2Sim segue, como referem os autores, uma representação ontológica em que as várias infra-estruturas são representadas de acordo com os seguintes conceitos (Figura 8.7):

i) Células (unidades funcionais): por exemplo um hospital para funcionar necessita como *input* de electricidade, água, medicamentos e médicos e produz como *output* internamentos/camas de hospital (Figura 8.8).

ii) Canais (unidades de transporte): a electricidade é transportada para os hospitais por cabos, a água por condutas e os médicos pelo sistema de trânsito.

iii) Tokens (unidades de troca): bens ou serviços que são fornecidos por uma entidade para outra entidade a utilizar. Por exemplo, água é um token, um médico é um token, uma chamada telefónica também é um token.

iv) Distribuidores e agregadores (CCDA): faz a ligação da camada física com os decisores, por exemplo, se a oferta de electricidade é limitada, que quantidade deve ir para o hospital e quanto deve ir para a estação de bombeamento de água (distribuidor). O total de energia eléctrica fornecida ao hospital é a soma (agregador) da electricidade que vem da fonte externa (subestação) e do gerador de reserva. Distribuidores fornecem as ligações (linhas a tracejado no diagrama) entre a distribuição física dos recursos de saída e os decisores.

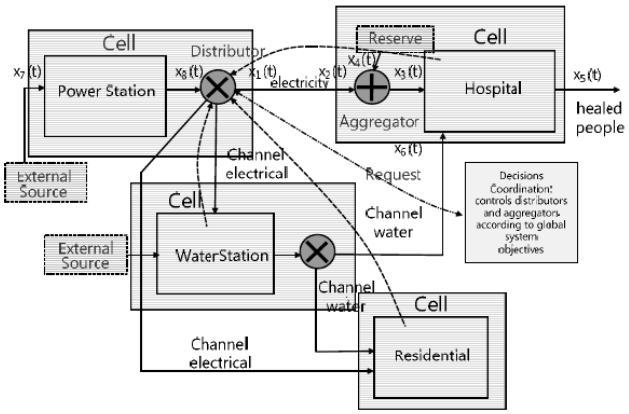


Figura 8.7 – Células, canais, distribuidores e agregadores
Fonte: Ventura et al., 2010

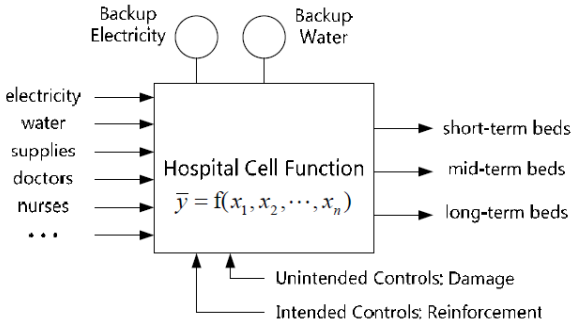


Figura 8.8 – Modelo de uma célula

Fonte: Ventura et al., 2010

O modelo do simulador é assim composto por três componentes principais: tokens, canais e células. A função básica de infra-estruturas críticas é a transferência de recursos (tokens) a partir do local onde os recursos são produzidos ou armazenados (célula 1) para o local onde eles são utilizados ou acumulados (célula 2) através de canais de transporte. O objectivo do sistema é garantir que a qualquer momento, e sob a ameaça de desastres naturais ou provocados pelo homem, os recursos (tokens) sejam direccionados para as infra-estruturas críticas mais vulneráveis (Martí et al., 2008).

Estes conceitos e metodologias foram transportados para o sistema urbano, nomeadamente para o campus universitário da UBC, implicando como se pode imaginar um elevado nível de abstracção no processo de modelação. Identificadas as interdependências entre as infra-estruturas críticas nesse território e recorrendo a um determinado cenário sísmico, consegue-se integrar os danos dos edifícios, com a população, as infra-estruturas críticas e o sistema de transportes, obtendo uma representação das consequências, tal como demonstrado na Figura 8.9.

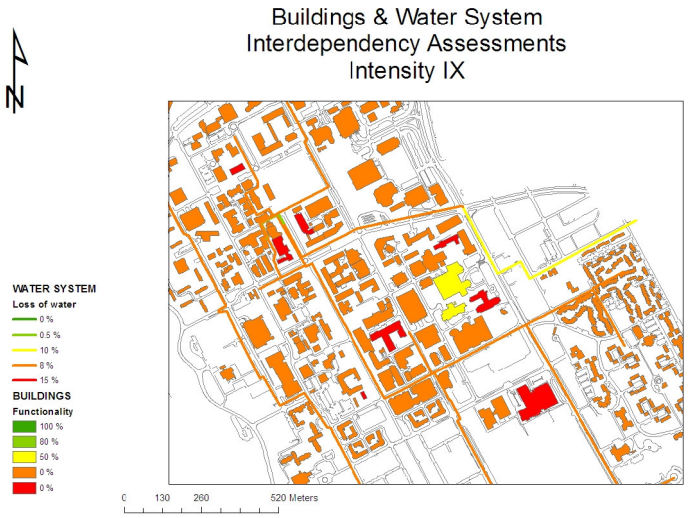


Figura 8.9 – Condições de funcionamento com interdependências, sistema de água e edifícios

Fonte: Ventura et al., 2008

A Figura 8.9 mostra a interdependência entre o sistema de abastecimento de água e o edificado. A maioria dos edifícios ficou inutilizável (cor laranja: danos moderados a severos), devido aos danos nas componentes não estruturais dos edifícios que afectam a funcionalidade geral dos mesmos. Da avaliação de danos ao sistema de abastecimento de água, verifica-se que as condutas que fornecem água à estação tiveram uma perda de capacidade de 8%, no entanto a estação encontra-se inoperacional devido aos extensos danos na sua estrutura e em componentes não estruturais. Conclui-se assim que todo o campus da UBC assistirá a um corte no fornecimento de água e permanecerá inoperacional. Estes mapas são denominados pelos autores por Mapas de Interdependências.

Os resultados de cada avaliação individual de danos não mostram a complexidade das interdependências dos sistemas dentro de uma área atingida por um acontecimento adverso. Mas quando os danos e as interdependências são tidos em conta, como no modelo I2Sim percebemos a importância e a necessidade em implementar estas interacções, de forma a desenvolver melhores planos de acção e de recursos, a fim de reduzir as vulnerabilidades e minimizar danos.

8.3. Síntese e discussão

Este tipo de abordagens sistémicas que incluem as dimensões social e económica têm sido desenvolvidas nos últimos anos por vários investigadores, onde podemos ainda citar os trabalhos de Granger et al., 1999; Menoni et al., 2002; Bruneau et al., 2003, entre outros, que tratam a vulnerabilidade e a análise de risco a partir de uma perspectiva sistémica.

As quatro abordagens acima revistas são uma base importante para assinalar que tipo de dados e informações são utilizados e devem ser integrados para conseguir ter uma visão mais

abrangente sobre o risco e a vulnerabilidade, bem como quais os aperfeiçoamentos a desenvolver, particularmente em relação à origem dos efeitos e ao tipo de modelos a utilizar.

As três primeiras metodologias apresentadas anteriormente têm em comum uma característica que é por nós questionável – a utilização da agregação aditiva completa. Esta consiste em ter um conjunto de critérios (C1,…, Cn), em que o indicador final é um agregador do impacto dos cenários em cada um destes critérios (Figura 8.11).

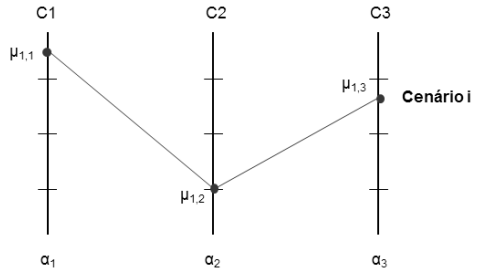


Figura 8.10 – Impactos nos critérios

onde:

$\mu_{i,j}$ – impacto do cenário i no critério j

α_j – peso que o critério j apresenta

μ_i – impacto global do cenário i

O modelo de valor aditivo que se cria é representado da seguinte forma:

$$\mu_i = \sum_{j=1}^{n} \mu_{i,j} \cdot \alpha_j$$

8.3.1. SIGNIFICADO DOS PESOS

Imaginemos os dois critérios identificados na Figura 8.12.

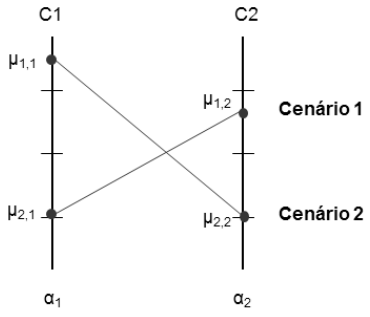


Figura 8.11 – Impactos nos critérios

Considerando as duas acções de igual valor, obtém-se:

$$\mu_1 = \mu_2 \Rightarrow \alpha_1 \times \mu_{1,1} + \alpha_2 \times \mu_{1,2} = \alpha_1 \times \mu_{2,1} + \alpha_2 \times \mu_{2,2}$$

$$\Rightarrow \alpha_1(\mu_{1,1} - \mu_{2,1}) - \alpha_2(\mu_{1,2} - \mu_{2,2}) = 0$$

$$\Rightarrow \alpha_1 = \alpha_2 \frac{(\mu_{1,2} - \mu_{2,2})}{(\mu_{1,1} - \mu_{2,1})}$$

Ora, $(\mu_{1,1} - \mu_{2,1})$ significa "quanto no critério 1 se perde por passar do cenário 1 para o cenário 2". O mesmo raciocínio para $(\mu_{1,2} - \mu_{2,2})$, "quanto o critério 2 ganha ou perde por passar do cenário 1 para o cenário 2".

Assim, da última equação, vem-nos que o peso dos critérios (α) não pode ser dissociado das escalas de valor associadas aos mesmos. Dito de outra forma, se perguntarmos a um perito o que é mais importante, se o número de vítimas ou o abastecimento de água, provavelmente obtém-se a resposta que a vida é mais importante. Porém este tipo de afirmações só é significante se entrar em consideração a dimensão das escalas envolvidas. Para formular o modelo desta forma, somos obrigados a outra questão "quantas vidas está disposto a sacrificar para ter um bom abastecimento de água?". Só confrontados com estas respostas é que se podem formular os pesos.

Vejamos o exemplo em que os critérios "número de vítimas" e "perdas na rede eléctrica" são representados pelas seguintes funções de valor.

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + e^{-5\alpha\left(\frac{2x}{x_{\max}} - 1\right)}}$$

em que, $0 \le x \le x_{max}$ e $\alpha \ge 1$ é o parâmetro da forma da função (Quadro 8.1):

Quadro 8.1 – Funções de valor

Função	x_{max}	α
Mortos/1000 hab.	50	1,0
Falhas na rede eléctrica (m)/km^2	200	1,5

Foi considerado adequado atribuir a estes dois critérios os pesos de $\alpha_1 = 0,47$ para "número de vítimas" e $\alpha_2 = 0,53$ para "falhas na rede eléctrica".

Para tanto admitiu-se existirem dois cenários possíveis, a_1 e a_2, ambos com o mesmo valor global, tais que $\mu_{i,j}$ = impacto da acção i no critério j:

$\mu_{1,1}$ é o impacto do cenário a_1 no critério 1, e

$\mu_{2,1}$ é o impacto do cenário a_2 no critério 2.

Com efeito, tendo em consideração as funções de valor acima indicadas constata-se que:

Quadro 8.2 – Cenários

Cenário	Perdas humanas	Falhas na rede eléctrica	$\mu_{i,1}$	$\mu_{i,2}$	μ_i
a_1	20/1000 hab.	118 m/km^2	0,087	0,413	0,5
a_2	50/1000 hab.	60 m/km^2	0,476	0,024	0,5

O Quadro 8.2 permite-nos concluir que sendo estes cenários equivalentes, para uma utilidade global de 0,5, estamos a admitir que:

"20 mortos/1000 hab. e 118 m de falhas na rede eléctrica /km^2" é equivalente a dizer que para obter "60 m de falhas na rede eléctrica/km^2 estou disposto a ter 50 mortos/1000 hab."

Se aplicarmos directamente estes valores a uma cidade como Lisboa, com 600000 habitantes obtém-se:

Quadro 8.3 – Cenário Lisboa

Cenário	Perdas humanas	Perdas rede eléctrica (m)
a_1	20/1000 hab. x 600000 = 12000	118 m/km^2
a_2	50/1000 hab. x 600000 = 30000	60 m/km^2

Assim, utilizando as funções de valor anteriores, podemos concluir do Quadro 8.3 que para reduzir o impacto na rede eléctrica de 118 para 60 m falhas/km^2 estou disposto a perder 18000 vidas (30000-12000).

O mesmo raciocínio pode ser feito para a cidade de Port-au-Prince, com 900000 habitantes:

Quadro 8.4 – Cenário Port-au-Prince

Cenário	Perdas humanas	Falhas rede eléctrica (m)
a_1	20/1000 hab. x 900000 = 18000	118 m/km^2
a_2	50/1000 hab. x 900000 = 45000	60 m/km^2

Conclui-se do Quadro 8.4 que para reduzir as perdas na rede eléctrica em 58m/km^2 (118-60) estou disposto a perder 27000 vidas.

Estes valores podem estar correctos e aceitáveis, no entanto entendemos muito difícil a sustentação destas conclusões junto a responsáveis e decisores que venham a ter de as explicar como forma de justificar as suas decisões.

A dificuldade em tratar estas funções foi notória quando se tentou formular os sismos do Faial, Sichuan, L'Aquila ou Port-au-Prince, em que se tornou impossível criar as funções e parâmetros que foram observados *in situ*. Por exemplo em L'Aquila verifica-se que a cidade foi fechada, mesmo estando algumas partes operacionais, porque uma parte não compensa a outra. Assim, verifica-se que não existe uma agregação aditiva e que o modelo não é compensatório.

9| DISRUPTION INDEX: CONCEITO DE DISFUNÇÃO NOS SISTEMAS URBANOS

"(…) In the Tsunami-hit areas, people are still in acute shortage of water, food, and basic daily stuff. If I am correct, the death count is over 13,000 and more than 400,000 people are still displaced from their homes most of which have been completely lost. Even undamaged hospitals have to move their patients because medicines are lacking. The most difficult problem is the damage to transport systems. Areas are not reachable from sea because of Tsunami damage." (Tsuneo Katayama, [email] Comunicação pessoal, Março de 2011)

Nos Capítulos 4, 8 e 9 destacam-se a realidade da interrupção de serviços e funções num sistema urbano devido aos efeitos em cascata. Em geral, os maiores impactos sobre as comunidades afectadas são:

- interrupção de energia eléctrica, com impacto na segurança, na prestação dos serviços de saúde e em outros serviços essenciais. Por exemplo, durante a falta de energia, a água fornecida às casas poderá não ser segura para beber - bombas utilizadas para pressurizar a rede de água podem falhar, ou surgir problemas nas estações de tratamento de água, necessárias para a purificação da mesma, levando à interrupção de abastecimento de água potável;

- interrupção do serviço de água potável e para fins de irrigação, dificultando a agricultura;

- problemas na prestação dos serviços de saúde, devido à falta de acessibilidade às unidades de saúde ou até devido à falta de colecta e tratamento de resíduos hospitalares ou por problemas estruturais e não estruturais nos equipamentos de saúde;

- acessos impedidos de/para casa e trabalho, e outras localidades devido à acumulação de escombros ou por colapso das estruturas;

- descontinuidade do ensino ou deslocalização temporária dos alunos para fora da zona afectada, devido ao estado de danos dos equipamentos de ensino e/ou preocupações relacionadas com a segurança da habitação;

- interrupção da comunicação dentro e entre as comunidades, com impacto na segurança;

- aumento dos preços dos bens/mercadoria e transporte;

- ruptura de funções comuns (sociais, económicas e religiosas) e quebra de rotinas, resultando em comportamentos de risco acrescido.

Como verificado, a seguir a um sismo existem actividades e funções básicas que são sempre avaliadas, por serem primordiais nas nossas vidas. Os danos nas estruturas e infra-estruturas, bem como o colapso de organismos institucionais relevantes, causam impactos em todas as esferas de uma comunidade a curto e longo prazo, trazendo assim o sismo importantes

repercussões, quer de sinistralidade, quer de natureza económica, ambiental e sociológica.

A intensidade de um sismo, num determinado local, deriva do grau de dano observado nas suas estruturas. Consequentemente os impactos desses danos irão ter maior ou menor expressão na sociedade. Um sismo de baixa/média intensidade (I=V) provoca, por exemplo, algum alarme, no entanto, nem a população nem as actividades do dia-a-dia são afectadas. Contrariamente, um sismo de intensidade mais elevada (I=VII ou superior) gera uma infinidade de consequências desde perdas humanas, feridos graves, desaparecidos, desalojados, danos no edificado, no património, nas infra-estruturas e vias de comunicação, queda ou interrupção de pontes e viadutos, queda de blocos e/ou deslizamentos, incêndios, entre muitos outros acidentes já relatados. Dá-se conta então que a partir de determinados graus de dano - verificados no parque edificado, nas infra-estruturas (redes de gás, luz ou água inoperacionais) e nos meios de comunicação (vias obstruídas por escombros ou danificadas) - e das interdependências entre sistemas, surgem diferentes níveis de impacto (disfunção, interrupção, degradação ou perda de funcionalidade) que contribuem para a inutilização ou interrupção de determinada área. Assim sendo, a partir de certos níveis de perdas, as disfunções nos sub-sistemas deixam de se compensar, passando a assumirem-se como "critérios de veto" num sistema global.

Perante isto, surge a necessidade de abordar o risco sísmico de outra forma, ou seja, aos resultados obtidos pelos simuladores sísmicos, introduzir-lhes a noção de interdependências e de consequências nas várias funções.

Em face do afirmado, considerou-se relevante construir um índice de impacto do sismo, que fosse indicativo de todo o funcionamento urbano e que mostrasse os efeitos da conectividade e interdependência das infra-estruturas, das funções urbanas e da população. O índice desenvolvido ao longo desta dissertação dá pelo nome de Disruption Index (DI) ou índice de interrupção/blindagem (no interesse de sermos mais práticos iremos utilizar daqui para diante o termo em inglês – Disruption Index), que tal como o nome indica prende-se com a conotação de "blindar ou interromper" a vivência em determinado território, exprimindo-se com base numa escala de "intensidade" (Oliveira et al., 2012). É a partir de um determinado nível dessa escala (ou do impacto) que se toma a decisão de interromper determinadas áreas ou de evacuar a população, ou mesmo de delimitar um perímetro de segurança dentro do qual é interdito o acesso (Figura 9.1). Por exemplo, a função habitação é vista como uma agregação de vários indicadores – acesso a água, transportes, saneamento, educação, entre outros – e até certo ponto, uma melhor prestação de determinado indicador pode "compensar" uma pior prestação de outro; mas quando alguns desses indicadores surgem abaixo de um mínimo exigível, uma melhor prestação dos outros não compensa o sistema. Assim, os sistemas e indicadores que caracterizam determinada função deixam de ser compensatórios.

Este é dos erros mais frequentes nas formulações de indicadores em sistemas interdependentes (como analisado no capítulo 8): somar impactos individuais, pesados por uma importância relativa, pode ser tão útil como associar um valor aleatório qualquer. O resultado

final é incoerente e desprovido de significado, sendo apenas “aparente”.

Figura 9.1 – Exemplos de obstrução de vias e acesso interrompido. Sismo de L’Aquila 2009

As referidas interdependências entre os vários sistemas irão assim definir o estado do sistema global. Quando se utilizam os simuladores para obter o cenário plausível de determinado evento, tem-se um estado do sistema inicial, ES_i, que reflecte o estado de dano de cada elemento. Após a identificação de interdependências intra e inter sistemas, o estado do sistema inicial é agravado pelo facto de existirem interacções a várias dimensões, obtendo-se então um estado do sistema final, ES_f, (Figura 9.2). Com a aplicação do conceito de DI ir-se-á obter um impacto global que engloba todas as partes analisadas.

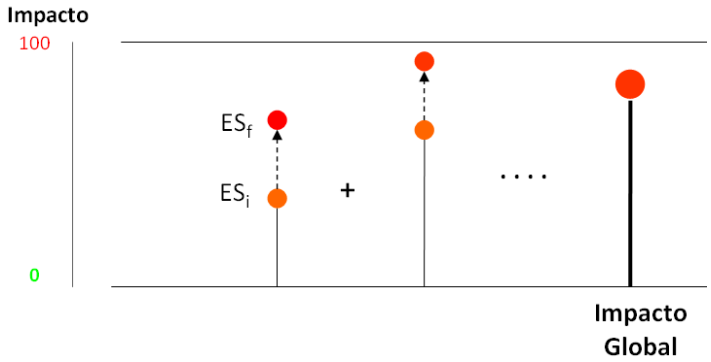


Figura 9.2 – Impacto global do sismo resultante das interdependências

Embora sejam citados (Yao, 2004) trabalhos que já englobam o estudo e o mecanismo das interacções entre electricidade e água (Zhao e Feng, 1994; Gao, 2000), gás ou os sistemas de transportes, com a construção do índice (DI) pretende-se abranger a maior parte dos impactos directos e indirectos, bem como a propagação de efeitos dentro de cada sistema e entre sistemas (efeito cascata) e interacções na vivência urbana.

Os modelos expostos no capítulo anterior resultam num indicador de risco dado por uma função compreendida entre 0 e 1 (ou 0 e 100, ou outra qualquer escala), cujo significado traduz a agregação dos critérios num indicador global. Como vimos, subjacente a estes modelos estão associadas funções de valor ou de utilidade, bem como factores de escala ou pesos e, pressupõe-se que os critérios envolvidos obedecem aos fundamentos teóricos de uma agregação completa aditiva, como por exemplo a propriedade de isolabilidade ou

independência preferencial, o que na nossa perspectiva e como já referido, nos parece demasiado para ser verdadeiro.

Perante isto, procurou-se construir-se um índice de disfunção, Disruption Index, que embora como nos restantes modelos continua a proceder a uma agregação de todos os critérios (agregação completa) difere deles por:

i) Os critérios não terem de obedecer a propriedades de independência preferencial (ou seja, a avaliação de um critério pode variar consoante o impacto noutros).

ii) Não existir uma pré-determinação de pesos dos atributos ou factores de escala. A importância relativa dos critérios varia, ou pode variar com os cenários avaliados.

iii) Não requerer a construção de funções de valor ou funções de utilidade associado a cada critério.

iv) Ter em consideração as múltiplas dependências e interdependências.

v) Como foi afirmado, não procede a uma soma pesada de impactos.

O Disruption Index permite descrever o risco como uma probabilidade de excedência de estados globais do sistema, como adiante se descrevem e aos quais não são associados quaisquer medidas de valor. Obviamente nada impede que numa apreciação de cenários e políticas se entre com valores como número de mortos, número de desalojados ou custos, embora esta realidade já esteja contemplada neste indicador.

Na Figura 9.3 estão representadas as ideias, os conceitos pensados e mais importantes do problema e que são necessários identificar para se passar às etapas seguintes.

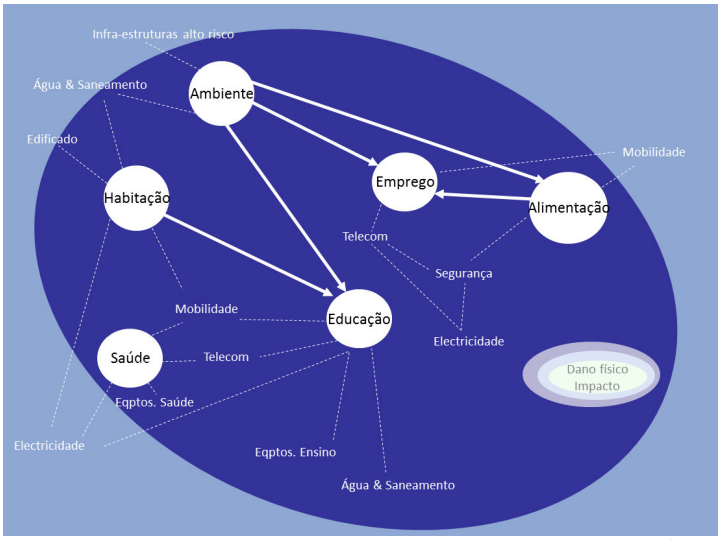


Figura 9.3 – Relações entre sistemas e componentes (esquemático)

Com recurso a toda a informação disponível, estudos, relatos e missões pós-sismo, procurou-se contextualizar, identificar e sustentar um conjunto de funções ou partes da realidade que possam ser consideradas vitais (a que chamaremos sistemas, funções, critérios ou dimensões) para o desenrolar da nossa vivência em determinado lugar e, que podem ser facilmente

interrompidas por um sismo ou outro acontecimento adverso. São então objectivos deste modelo:

i) Desenvolver uma metodologia geral para a construção de cenários de risco sísmico, dando particular atenção à resposta do meio urbano após o evento, incluindo a propagação de efeitos. Para tal, torna-se necessário reunir e analisar a informação de experiências passadas, de modo a clarificar os impactos que não são considerados nos métodos correntes de elaboração de cenários sísmicos, tais como a complexidade das interdependências, da propagação de efeitos e consequentes impactos a nível humano, patrimonial, ambiental e das actividades económicas.

ii) Comunicar e avaliar o risco de uma forma semi-quantitativa à qual se associam o conceito de probabilidade, ou seja, podemos afirmar que perante uma acção sísmica o sistema urbano terá uma probabilidade P(n) de ter excedido o nível de disfunção "n", cuja descrição completa é dada de seguida.

iii) Caracterizar cada elemento individualmente, perceber as redes de infra-estruturas (sistemas) e estabelecer a relação entre elas (interdependências), para responder à questão: dado um evento que provoca uma falha na infra-estrutura A, e dado um conjunto de regras que definem a relação (interdependência) entre as infra-estruturas A e B, como é afectada a infra-estrutura B e, de que forma afecta o sistema global?

iv) Alertar a tempo de prevenir danos humanos, económicos, sociais ou ambientais. Dado um evento, e conhecidas as interdependências entre infra-estruturas, sistemas e funções, que decisão se deve tomar na infra-estrutura A ou B que maximize a funcionalidade de determinado sistema?

9.1. Metodologia para construção do DI

O estudo da realidade feito à custa de visitas a locais atingidos por terramotos e da literatura, revelou não apenas as várias dimensões envolvidas no sistema urbano, como ainda as relações que entre eles existem, ou seja, permitem identificar critérios ou objectivos consoante o léxico de vários autores ("dimensões" segundo Von Winterfeldt e Edwards, 1986 ou "objectivo" de Keeney e Raiffa, 1976 e Keeney, 1992).

Depois de identificados os objectivos que queremos alcançar, bem como as relações entre eles envolvidas, podemos observar que os mesmos apresentam um comportamento não independente, mas sim desenvolvido segundo uma árvore onde existem dependências simultâneas, i.e., as células ou nós de um nível partilham dependências com outras células do mesmo nível. Dito de outra forma as células de nível inferior têm impacto em várias células do nível superior como se mostra na Figura 9.4.

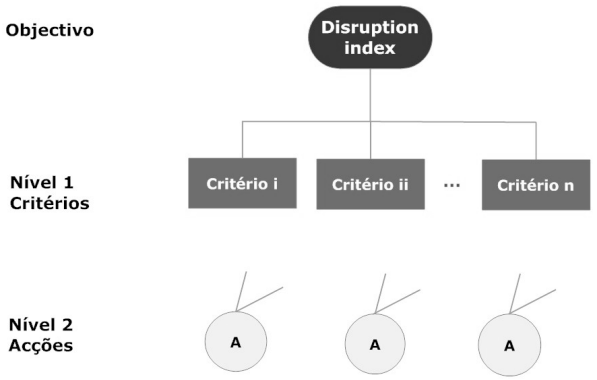


Figura 9.4 – Estrutura do problema

Após esta breve introdução e das considerações supracitadas, para ajudar à estruturação do pensamento e do problema, parece claro que uma taxonomia funcional urbana constitui a base para avaliar o impacto territorial de um sismo. Tal como introduzido na Teoria da Motivação de Abraham Maslow (Maslow, 1943) que tentou compreender o homem dentro de uma percepção multidimensional (a sua teoria sugere que as pessoas têm um conjunto de aspirações genéricas, agrupadas em cinco categorias de necessidades e organizadas por prioridades fisiológicas, de segurança, sociais, estima e de realização pessoal), hierarquizando as necessidades do indivíduo - as necessidades de nível mais baixo devem ser satisfeitas antes das necessidades de nível mais alto – uma analogia pode ser feita, categorizando as várias funções que existem no território e que ao serem afectadas por um sismo ou outro acontecimento adverso, começam a degradar-se, introduzindo-se assim uma nova leitura dos resultados dos simuladores sísmicos, favorecendo na mitigação do risco bem como na gestão da emergência. A Figura 9.5 ilustra o paralelismo entre as dimensões ou objectivos de outros autores (coluna da esquerda) com os aspectos que consideramos mais relevantes para uma análise global do sistema urbano (coluna da direita).

Valores	DI Layer
Separação/perda da rede familiar ou de amizades	DI
Descaracterização urbana	DI
Reconversão de usos	DI
Perda de valores	DI
Privação de acesso a bens e serviços	DI

Valores	DI Layer
Alimentação	**Alimentação**
Ambiente	**Ambiente**
Ensino	**Educação**
Emprego e Serviços	**Emprego**
Habitação	**Habitação**
Saúde	**Saúde**
Água	Água
Energia eléctrica	Electricidade
Saneamento e Higiene Urbana	Saneamento
Comunicações	Telecom
Mortos	Edificado geral
Feridos	Edificado geral
Desalojados	Edificado geral
Património	Edificado geral
Circulação (rede viária,etc.)	Mobilidade
Transportes	Transportes
Segurança e Protecção Civil	Segurança
Restrições (de movimentação, reunião, acesso a informação, etc.)	Segur / Mobilidade
Meios de informação (media)	Telecom

Figura 9.5 – Paralelismo entre as dimensões ou objectivos propostos por vários autores e os seleccionados neste estudo

Com efeito, as funções ou aspectos relevantes para esta análise foram identificados e classificados, assentes em seis princípios fundamentais das necessidades humanas sendo estas, o Ambiente, a Habitação, a Alimentação, a Saúde, a Educação e o Emprego, respeitando as propriedades básicas de consensualidade (em que tudo aquilo que possa contribuir para a vulnerabilidade do sistema urbano é contemplado, i.e., em que determinado valor é suficientemente importante a ponto de ser considerado um critério), inteligibilidade (significa que o critério serve de base à comunicação, à argumentação e à confrontação de valores e convicções entre actores) e operacionalidade (é possível associar níveis de impacto a cada critério).

Como atrás se justificou chegou-se à selecção dos critérios. A cada um é associado um "descritor de impacto" que permite definir o efeito de cada acção potencial segundo cada critério. Na Figura 9.6 é dada uma visão detalhada dos critérios. A família de critérios conta com seis funções urbanas vitais, oito serviços/componentes e na base da representação encontram-se as acções (os elementos físicos: equipamentos e edifícios analisados nos simuladores sísmicos).

A partir de determinada percentagem de danos nos elementos físicos, definem-se os descritores de impacto e níveis de impacto de forma semântica. Num contexto matemático, podemos apresentar os valores médios que definem esses níveis e que correspondem ao resultado do ajustamento de uma sigmóide aos valores observados no terreno. Estes valores aparecem nos quadros denominados "Avaliação de impacto".

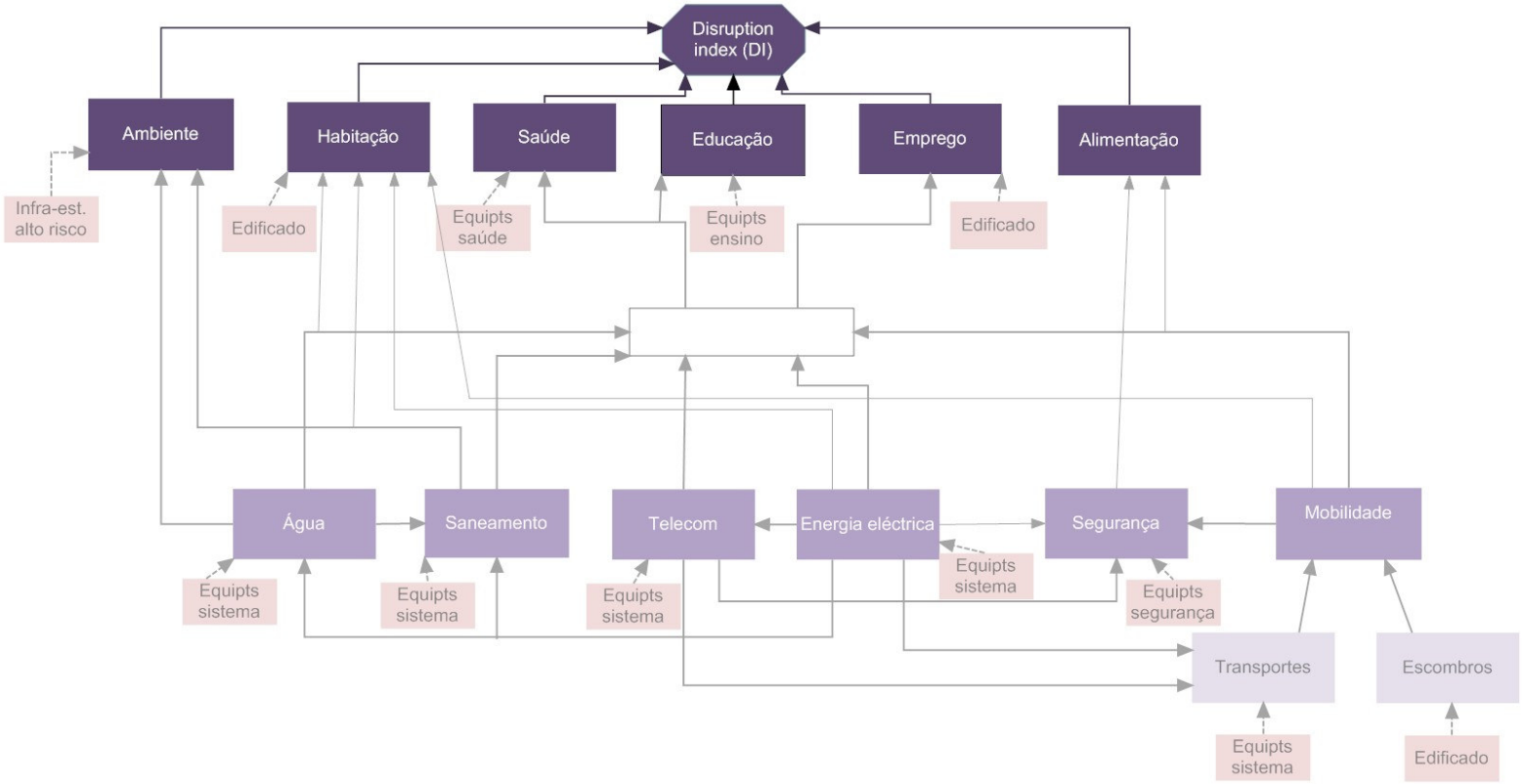


Figura 9.6 – Esquematização das funções urbanas vitais e suas dependências e incidências

Para cada critério é feita uma descrição qualitativa de impacto o mais objectiva possível, ou seja, todos os impactos plausíveis que um determinado critério pode apresentar (ou as diversas possibilidades que podem ocorrer de acordo com os vários elementos que os compõem). Cada nível da escala pode ser visto como a representação do impacto de uma acção plausível (segundo Roy, (1985), é toda aquela acção que corresponde rigorosamente à descrição e às consequências previstas quando colocada em execução).

Os impactos associados a determinado critério são restringidos a uma gama plausível de níveis de impacto, desde o nível mais desejável (normalidade – I) até ao nível menos desejável (excepcional – IV ou V).

No final deste processo a resposta global do sistema, o Disruption Index, resultante das várias interacções entre sistemas (os resultados das sequências de acções são determinados por acções individuais) e dos valores apresentados em cada critério, apresentará um único valor compreendido entre I e V, ou seja, uma escala de impacto do sismo em sistemas urbanos. Cada nível transmite quais as interrupções e influências nas actividades físicas, funcionais, sociais, económicas e ambientais, a que determinada área geográfica está sujeita quando exposta a um acontecimento adverso. Os níveis descritos correspondem ao observado em múltiplos casos reais analisados – existe determinados patamares que se repetem e que são descritos adiante.

Como a Figura 9.6 aparenta alguma complexidade, uma outra forma mais simples de apresentar e interpretar as dependências é descrita através da chamada Matriz de Dependências, tal como apresentado na Figura 9.7.

	DI	Ambiente	Habitação	Alimentação	Saúde	Educação	Emprego	Mobilidade	Electricidade	Telecom	Transportes	Escombros	Água	Saneamento	Segurança	Infra-estruturas de alto risco	Equipamentos fornec. electricidade	Infra-estruturas de transporte	Equipamentos fornec. água	Equipamentos fornec. saneamento	Equipamentos fornec. telecom	Equipamentos de ensino	Equipamentos de saúde	Equipamentos de segurança	Edificado
DI	1	1	1	1	1	1	1																		
Ambiente													1	1		1									
Habitação								1	1				1	1											1
Alimentação								1							1										
Saúde								1	1	1			1	1									1		
Educação								1	1	1			1	1								1			
Emprego								1	1	1			1	1											1
Mobilidade											1	1													
Electricidade																	1								
Telecom									1												1				
Transportes									1	1								1							
Escombros																									1
Água									1										1						
Saneamento									1				1							1					
Segurança								1	1	1														1	

Figura 9.7 – Matriz de dependências

A matriz de dependências apresenta duas sub-matrizes: à esquerda (preto) engloba as funções vitais e os serviços/componentes; à direita (azul) encontram-se os elementos físicos que alimentam a matriz da esquerda. As linhas e as colunas correspondem a todos os elementos que entram no modelo. As células valem 1 sempre que o elemento em linha dependa do elemento em coluna e vale 0 quando não há dependências. Assim, na primeira linha por exemplo, vemos assinalada a dependência (com o número 1) do DI ao Ambiente, à Habitação, Alimentação, Saúde, Educação e Emprego. Consequentemente verifica-se que estes seis critérios dependem de diversos serviços e componentes, desde a Mobilidade, Electricidade, Telecomunicações, Transportes, Escombros, Água, Saneamento e Segurança. Por sua vez os serviços e componentes dependem de elementos físicos (equipamentos, infra-estruturas, edifícios) indicados na matriz a azul. Nas dependências assinaladas não foram considerados pesos (apenas se representa se existe dependência ou não, com o valor 1). Tal fica-se a dever ao facto de esta noção, aplicada de forma generalizada, não tem expressão, pois como já referido não se procede aqui a uma "soma pesada". Esta noção de peso decorre mais tarde, com o desenvolvimento de cada caso, de cada cenário e tem um significado distinto do utilizado em análise multicritério.

A Matriz de Dependências apresenta certas características que permitem um diagnóstico relativamente rápido:

- verifica-se que estamos perante um grafo orientado (dígrafo) representativo das múltiplas dependências existentes entre as várias dimensões do espaço urbano;

- um elemento não nulo, $d_{i,j}$,, indica existir uma dependência directa da função i (em linha) da função j (em coluna) ou, de forma inversa, indica que a função j tem um impacto directo na dimensão i;

- verifica-se que estamos perante um dígrafo acíclico. Esta propriedade confere-lhe a existência de uma ordem topológica onde o vértice inicial de qualquer aresta tem um grau sempre inferior ao seu vértice final. Isto permite que o impacto de cada critério nos que dele dependem directamente, possa ser calculado sequencialmente, com início nos vértices de grau[10] zero (elementos físicos, a azul), propagando-se sucessivamente aos vértices de grau superior até atingir o DI.

Cada critério ou sistema é apresentado em forma de árvore tal como se mostra de forma esquemática na Figura 9.8, cuja construção é feita de baixo para cima, ou seja, a partir dos elementos físicos (E) (assinalados a azul na matriz de dependências) até ao topo da árvore, assinalando assim a interacção entre os elementos da matriz.

[10] Grau de um vértice de um dígrafo é o número de arestas que nele incidem.

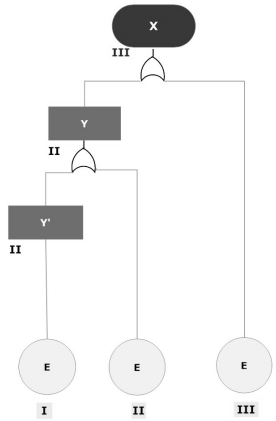


Figura 9.8 – Representação gráfica em árvore

Cada ramo na árvore é uma aplicação de lógica Booleana, utilizando o operador binário "Ou", sobre o estado das células (sistemas) inferiores, dessa forma determinando o estado de cada célula como função lógica do estado das células das quais depende. Assim sendo, as árvores podem ser representadas pelo seguinte algoritmo:

Seja,

S_x – estado do sistema x; $S_x \in \{0, I, II, ..n_x\}$

$d_{x,i,j}$ – estado do sistema j que leva o sistema x ao estado i

$x = 1, ... , n_s$	Para cada sistema x de 1 a nº de sistemas
$S_x=0$	Estado do sistema Sx=0
$i= I, …, n_x$	Para cada estado possível i do sistema x
$j = I,…, n_s, n_s; j≠i$	Para cada sistema j≠i
if $(Sj≥d_{x,i,j})$ S_x =i	Se o sistema j estiver num estado igual ou superior a $d_{x,i,j}$, então o estado do sistema x, S_x será levado a i
END	Fim

Exemplo: Considere-se um sistema x cujos estados possíveis são $S_x \in \{0, I, II, III\}$

Este sistema depende dos restantes conforme indicado na matriz de dependências $[D_x]$.

Quadro 9.1 – Exemplo esquemático

$[D_x]$	S_1	S_x	S_3	S_4
i=I	I		II	
i=II			III	
i=III				III

Assim, obtém-se do Quadro 9.1:

- sistema x (S_x) será levado ao estado I se S_1 estiver num estado igual ou superior ao estado I **ou** se $S_{2\ estiver}$ num estado igual ou superior ao estado II;

- S_x será levado ao estado II se S_3 estiver num estado igual ou superior ao estado III;

- S_x será levado ao estado III se S_4 estiver num estado igual ou superior ao estado III;

Nas subsecções seguintes expõe-se como funciona o algoritmo acima descrito, expõem-se os rudimentos à abordagem do tema, apresentando-se todos os elementos considerados e que podem influenciar (dependências/incidências) o estado final do sistema urbano, levando à criação do DI.

Os elementos que se consideram nesta análise resultam de amplas discussões e reflexões até se ter chegado a um consenso sobre os melhores parâmetros a utilizar neste modelo, tal como discutido no Capítulo 8. Assim, julga-se que os elementos identificados são em número suficiente para tratar o problema das dependências e propagação de efeitos a uma escala macro, com o rigor pretendido e atingindo os objectivos propostos.

9.2. Critérios e descritores de impacto: Funções urbanas

Nesta etapa definem-se quais os critérios que representam melhor o problema existente. O Quadro 9.2 apresenta-os e descreve os seus conteúdos.

Quadro 9.2 – Descrição das funções urbanas incluídas no modelo

Área	Descrição
Ambiente	Determina o impacto ambiental que uma eventual contaminação de solo, de águas, aquíferos, ar, radiação nuclear ou derrames representa para o ambiente. Avalia também o impacto da paralisação dos serviços de higiene urbana/saúde pública, causado devido à interrupção das vias, à contaminação das redes de águas ou ainda devido à concentração de pessoas num mesmo espaço que aumenta o risco de transmissão de doenças - doenças respiratórias, por exemplo.
Habitação	Avalia se determinada área pode ou não ser ocupada para a função habitação em consequência dos danos ocorridos após o sismo e indica alternativas quando a habitação/abrigo não existe.
Alimentação	Avalia se a existência e fornecimento de alimentos são suficientes para a população e identifica alternativas ao seu fornecimento.
Saúde	Determina se a população é servida por um número suficiente de unidades de saúde, em funcionamento (desde o Hospital ao Centro de Saúde) que a possam servir em caso de catástrofe.
Educação	Mede a descontinuidade do ensino, o número de pessoas privadas de ensino e identifica alternativas para a retoma do mesmo.
Emprego	Avalia se determinada área mantém a sua actividade económica em consequência dos danos ocorridos pelo sismo, identificando possíveis novos pólos de emprego que podem ser gerados.

Cada critério é então operacionalizado através de um descritor qualitativo de performances, ou seja, um conjunto ordenado de níveis de performance, cujo objectivo consiste em determinar quais os possíveis níveis de impactos que poderão ocorrer. É necessário que os descritores sejam não ambíguos, ou seja, cada um dos seus níveis deverá ter um significado claro.

Os pontos seguintes explicam as considerações a ter em cada um dos seis critérios, e a construção dos respectivos descritores.

9.2.1. AMBIENTE

Como identificado no Quadro 9.2 com a introdução do Ambiente no modelo pretende-se determinar qual o impacto que uma eventual contaminação de solo, de águas, aquíferos ou ar, causados por radiação nuclear, derrame ou libertação de matérias perigosas representa para o ambiente. Neste princípio considera-se também o impacto da paralisação dos serviços de higiene urbana/saúde pública, causado devido à interrupção das vias, à contaminação das redes de águas ou ainda devido à concentração de pessoas num mesmo espaço que aumenta o risco de transmissão de doenças (doenças respiratórias, por exemplo).

Dois exemplos relevantes do que pode acontecer a nível ambiental decorreram:

i) Sismo de 17 de Agosto de 1999 em Izmit, na Turquia. Este sismo afectou uma área bastante industrializada, provocando a explosão de várias refinarias que, para além das consequências a nível social e económico que se possam prever, salienta-se o elevado impacto ambiental que se verificou. Foram encontradas elevadas concentrações de poluentes orgânicos persistentes (PCB – bifenilos policlorados) em moluscos bivalves nas águas da Baía de Izmit (Tolun, 2007), contaminando os mesmos e, consequentemente o ser humano caso os ingerissem (saúde pública).

ii) Sismo de 11 de Março de 2011 no Japão. O acidente na central nuclear de Fukushima que decorreu após o sismo e tsunami, causou a libertação durante vários meses de níveis muito elevados de iodo, césio radioactivo e plutónio, obrigando à evacuação da população num raio de 30 km da central nuclear. Foram encontrados elevados níveis de radiação na água para consumo, nos vegetais, no leite e o cultivo de arroz na área afectada, foi proibido até a situação voltar à normalidade. Segundo especialistas serão precisas três décadas até ter a área “limpa” (Glionna, 2011). A cidade, que dá nome à central conta com 300 mil habitantes, não sofreu danos com o sismo nem com o tsunami, apenas com a radiação – que agirá silenciosamente ao longo de anos e cujas consequências são desconhecidas.

Para se perceber quais as dependências consideradas no Ambiente, a Figura 8.6 organiza-as numa estrutura arborescente. Identifica-se que o Ambiente depende do sistema de água, este por sua vez depende do sistema de energia eléctrica e respectivos equipamentos. O segundo ramo mostra a dependência ao sistema de saneamento, que por sua vez depende do sistema de electricidade e do fornecimento de água. Por último, no terceiro ramo aparece a dependência às infra-estruturas de alto risco (barragens, centrais nucleares, indústrias químicas).

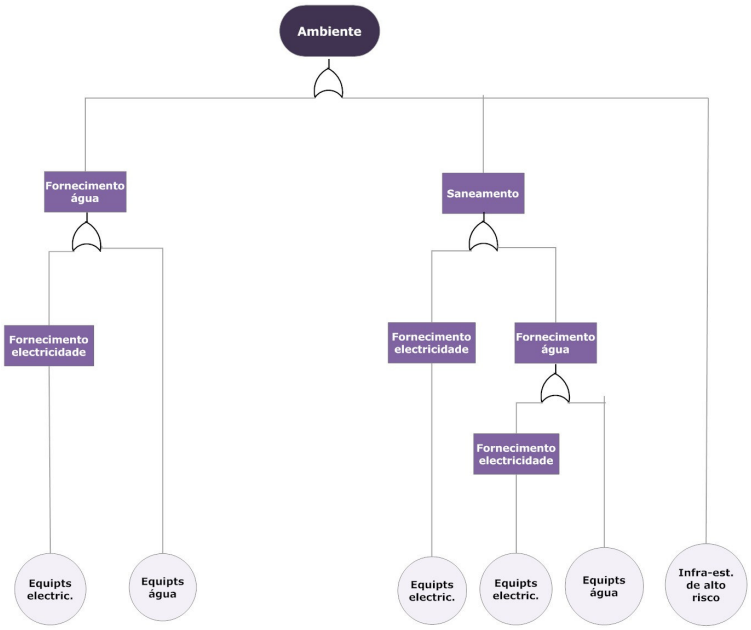


Figura 9.9 – Serviços, componentes e elementos físicos dos quais o Ambiente depende

No Quadro 9.3 são então apresentados os descritores de impacto construídos para o ambiente e as principais relações de causa efeito existentes entre os elementos físicos, serviços e componentes que caracterizam e medem os impactos no Ambiente.

Note-se que os descritores de impacto devem incluir os níveis de impacto plausíveis que um cenário pode ter, i.e., têm de descrever causas ou consequências directas/indirectas dos critérios.

Fixemo-nos no Nível de impacto III do Ambiente. Da análise ao Quadro seguinte podemos considerar que os problemas graves de saúde pública ocorrem a partir do momento em que os sistemas de água **ou** saneamento se encontram no nível III (estando este nível associado a perdas totais de funcionamento dos equipamentos e consequentemente do sistema; como esquematizado na Figura 9.9 e descrito adiante na parte dos "serviços e componentes") **ou** quando há danos com as infra-estruturas de alto risco (nível III), cujos acidentes constituem perigo grave para o ambiente e saúde pública.

Cada caminho na árvore da Figura 9.9 corresponde a uma combinação particular de níveis de impacto. No caso de diferentes níveis de impacto dentro de cada subsistema, optou-se por definir o impacto global como o máximo existente, ou seja, se as infra-estruturas de alto risco estiverem no nível III **ou** o sistema de água no nível III **ou** o sistema de saneamento no nível III, o Ambiente apresentará um impacto nível III.

Quadro 9.3 – Descritor de impacto do Ambiente e dependências

Ambiente	
Nível de impacto	Descritor de impacto
	Determina o impacto ambiental (área de influência e permanência) que uma eventual contaminação de solo, de águas, aquíferos, ar, radiação nuclear ou derrames representa para o ambiente. Avalia também o impacto da paralisação dos serviços de higiene urbana/saúde pública, causado devido à interrupção das vias, à contaminação das redes de águas ou ainda devido à concentração de pessoas num mesmo espaço que aumenta o risco de transmissão de doenças - doenças respiratórias, por ex.
IV	Perigo de explosões, acidentes nucleares, risco químico, biológico, radiológico, etc. Contaminação generalizada do ar, solos, aquíferos ou do ambiente em geral. Acidentes susceptíveis de provocar efeitos transfronteiras. Necessária evacuação.
III	Preocupações ambientais e perturbações de ordem sanitária com degradação significativa da saúde pública (disenteria, malária, etc.), águas contaminadas (para beber e do mar/rios por ruptura dos esgotos), problemas da acumulação de escombros e lixos. Acidentes que constituem perigo grave, imediato ou retardado, para a saúde humana (no interior ou no exterior do estabelecimento) e/ou para o ambiente.
II	Problemas pontuais, alguma libertação de substâncias perigosas (combustíveis, etc). Saúde pública com alguns problemas.
I	Sem impacto significativo.

Infra-est. alto risco		Sistema água		Sistema saneamento
IV	OR		OR	
III	OR	III	OR	III
II	OR	II	OR	II
-	-	-	-	-

Por uma questão de organização da escrita, os serviços correspondentes aos dois primeiros ramos (água, saneamento e electricidade) serão analisados nas secções subsequentes, exclusivamente dedicadas aos serviços e componentes. Por essa razão a próxima subsecção será dedicada ao elemento físico com incidência directa no Ambiente; as infra-estruturas de alto risco[11].

9.2.1.1. Infra-estruturas de alto risco

As infra-estruturas de alto risco incluem aquelas que podem causar contaminações, acidentes industriais graves com emissão de substâncias perigosas, incêndios ou explosões de proporções graves, resultantes de desenvolvimentos incontrolados que possam ocorrer devido ao seu mau funcionamento e cujos efeitos afectam o Ambiente. O Quadro 9.4 apresenta os diferentes níveis de impacto a partir dos graus de danos observados nestas infra-estruturas.

Quadro 9.4 – Descritor de impacto das infra-estruturas de alto risco

Infra-estruturas de alto risco (barragens, indústrias químicas, centrais nucleares)		
Nível de impacto	Descritor de impacto	
	Mede o estado de dano das infra-estrutura	Avaliação de impacto
IV	Explosões, danos severos ou totais.	(%D4 ou +) ≥ 6%
III	Danos moderados (D3).	(%D3 ou +) ≥ 6%
II	Danos ligeiros (D2).	(%D2 ou +) ≥ 6%
I	Sem danos.	

9.2.2. HABITAÇÃO

Normalmente o impacto na função Habitação é medido através do número de desalojados; função do estado de danos em que se encontram os edifícios habitacionais. Porém, nem só os danos no edificado devem ser considerados num estudo, mas também outros sistemas que tornam possível a habitabilidade de determinado território, como sejam a existência de água, energia, mobilidade, entre outros como mostra a Figura 9.10.

[11] Este tipo de apresentação é repetido em diversas outras secções subsequentes.

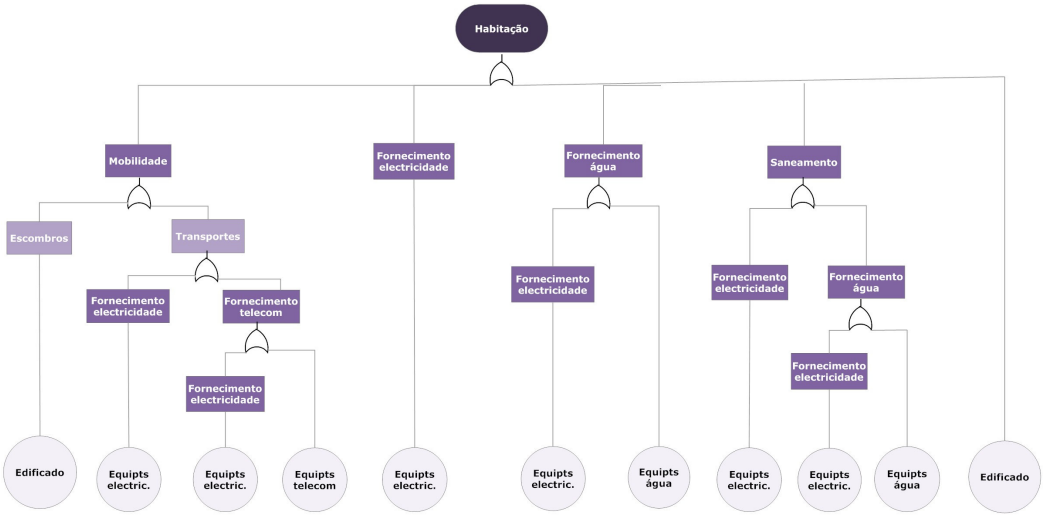


Figura 9.10 – Serviços, componentes e elementos físicos dos quais a Habitação depende

A inoperacionalidade de cada um destes sistemas será decisiva no processo de realojamento, que dependendo do nível de impacto em cada um, poderá obrigar a um realojamento em outros locais, agravando-se as distâncias aos antigos locais de trabalho, ao ensino e à comunidade. Constata-se então a diversidade de sectores que estão dependentes entre si, culminando com o efeito cascata em caso de interrupção de uma ou mais infra-estruturas, afectando todo o bem-estar social e económico.

O Quadro 9.5 descreve os impactos possíveis na função Habitação, consequência do estado em que se encontra cada um dos sistemas ou elementos do qual depende. Se observarmos o nível de impacto IV da Habitação, vemos que cada componente que contribui para esta função deve estar num determinado nível, havendo vários requisitos que determinam o nível IV da Habitação:

i) Edificado deve apresentar um nível de impacto igual a IV, o que significa que na área atingida, a maioria dos edifícios estão muito danificados e, consequentemente inutilizáveis (Quadro 9.6); **ou**,

ii) A Mobilidade deve apresentar um nível de impacto superior a III, o que significa que é "fortemente perturbada a nível local e regional (Quadro 9.21). Este requisito é obtido a partir dos elementos que estão ligados à Mobilidade: a existência de escombros e danos nas infra-estruturas de transporte (descritos mais adiante); **ou**,

iii) Sistema de energia eléctrica deve estar no nível III; **ou**,

iv) Sistema de água deve estar no nível III; **ou**,

v) Sistema de saneamento no nível III.

Ao combinar as condições utilizando a função lógica OR, podemos categorizar o nível de impacto, desde que uma das condições seja verdadeira. O benefício do uso de condições lógicas, prende-se com a eliminação de hipotéticas funções (subjectivas) de utilidade e regras de agregação aditiva, com as limitações inerentes que levam a problemas bem conhecidos relacionados com o peso e independência dos critérios.

Quadro 9.5 – Descritor de impacto da Habitação e dependências

Habitação	
Nível de impacto	Descritor de impacto
	Avalia se determinada área pode ou não ser ocupada para a função habitação em consequência dos danos ocorridos após o sismo e indica alternativas quando a habitação/abrigo não existe.
V	Perda quase total das habitações. Relocalização definitiva.
IV	Edifícios residenciais estão quase todos inutilizáveis (+40%D3 e D4-D5) ou mesmo todos.Falta de serviços que permitam a habitabilidade. Necessário realojamento (processo de relocalização por vezes definitiva da população).
III	Edifícios residenciais temporariamente inutilizáveis. Habitação condicionada; a entrada é permitida apenas por curtos períodos de tempo supervisionado por um técnico. Utilizável após obras pouco intrusivas ou remoção de escombros, de forma a reduzir o risco para os seus ocupantes. Dificuldade em aceder às habitações e problemas no fornecimento de serviços. Necessidade de realojamento temporário.
II	Edifícios requerem inspecção e, em alguns casos ocorre um breve realojamento temporário, para definir as estratégias de reparação / reforço. Algumas obras de reparação ou reforço podem ser executadas com a população a viver dentro das habitações, sem necessidade de realojamento.
I	Sem impacto significativo na função.

Edificado		Mobilidade		Sistema eléctrico		Sistema água		Sistema saneamento
V	-	-	-	-	-	-	-	-
IV	OR	IV	OR	III	OR	III	OR	III
III	OR	III	OR	-	OR	-	OR	III
II	OR	-	OR	II	OR	II	OR	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-

9.2.2.1. Edificado

O Quadro 9.6 apresenta os diferentes níveis de impacto a partir dos graus de danos obtidos no edificado que influenciarão directamente a habitação.

Quadro 9.6 – Descritor de impacto do edificado

Edificado		
Nível de impacto	Descritor de impacto	
	Mede o estado de dano do conjunto edificado habitacional nas áreas mais afectadas (I ≥ V-VI).	Avaliação de impacto
V	Colapso total ou parcial de um nº elevado de edifícios habitacionais. Edifícios inutilizáveis/demolição.	(%D4 ou +) ≥ 48%
IV	Muitos edifícios com danos severos. Edifícios estão inutilizáveis por representarem perigo aos habitantes.	(%D3 ou +) ≥ 48%
III	Número elevado de edifícios na área afectada apresenta danos moderados. Inutilizáveis temporariamente, alguns edifícios requerem reparação/reforço.	(%D2 ou +) ≥ 48%
II	Maioria dos edifícios com danos ligeiros. Necessitam inspecção (utilizáveis).	(%D1 ou +) ≥ 73%
I	Sem danos ou pequenos danos que não afectam o uso.	

9.2.3. ALIMENTAÇÃO

Este critério avalia igualmente o Disruption Index e na descrição de impacto avaliamos se a existência e o fornecimento de alimentos são suficientes para a população, identificando-se alternativas ao seu fornecimento.

Os serviços e componentes que mais influenciam a Alimentação são a mobilidade e a segurança. Nas dependências da mobilidade estão indirectamente contemplados os danos do edificado, consequentemente os mesmos danos obrigam ao fecho dos estabelecimentos e comércio que fornecem os alimentos à população.

A Figura 9.11 esquematiza a estrutura das dependências consideradas, tal como a mobilidade e a segurança e cada um destes componentes tem as suas dependências associadas.

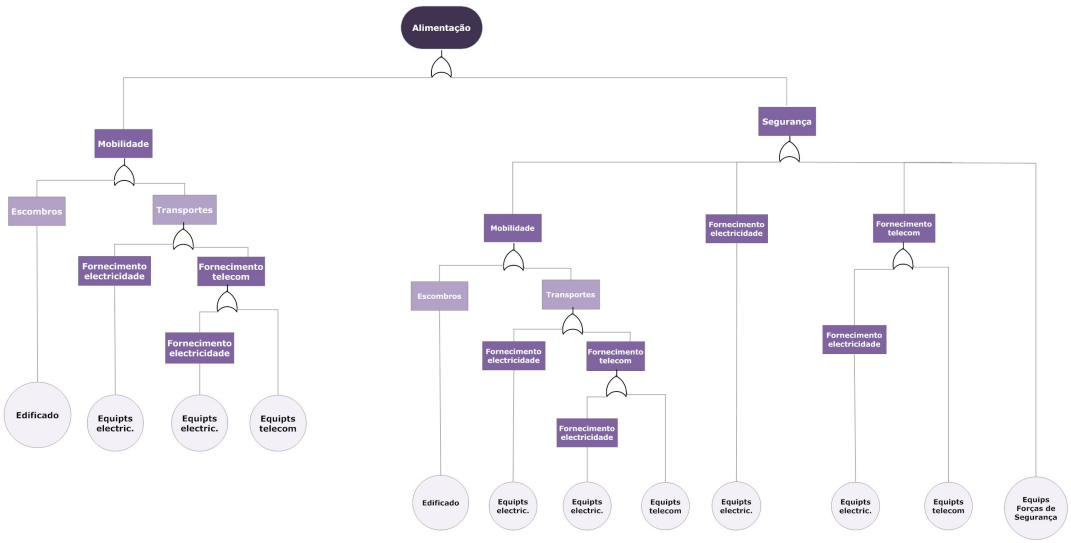


Figura 9.11 – Serviços, componentes e elementos físicos dos quais a Alimentação depende

O Quadro 9.7 refere os principais sistemas a considerar e descreve os seus impactos no critério Alimentação.

Quadro 9.7 – Descritor de impacto da Alimentação e dependências

Alimentação	
Nível de impacto	Descritor de impacto
	Avalia se a existência e fornecimento de alimentos são suficientes para a população e identifica alternativas ao seu fornecimento.
III	Necessidade de ajuda alimentar provavelmente causada por problemas associados à falta de energia, sistemas de transporte, serviços públicos e destruição de bens produtivos.
II	Interrupção das condições normais para o seu fornecimento, sobretudo devido a dificuldades de mobilidade. O fornecimento é assegurado pela Protecção Civil e/ou outras instituições.
I	Normal fornecimento de alimentos à população.

Mobilidade		Segurança
IV	OR	IV
III	OR	III
-	-	-

9.2.4. SAÚDE

Outra área de preocupação a ser analisada diz respeito aos sistemas de saúde, por se tratar de uma componente crucial na resposta à emergência e que está profundamente dependente de uma série de outros sistemas. Mais importante que o número total de camas/habitante ou a perda de camas que aparece identificado em inúmeros trabalhos, importa analisar toda a estrutura que permite que o sistema de saúde esteja operacional. O estado das ruas, das pontes, os deslizamentos que bloqueiam acessos, e o funcionamento dos hospitais por depender de infra-estruturas e sistemas externos à própria estrutura física são relações que não podemos descurar. De nada serve ter um hospital sem danos, se a electricidade ou a água interrompem a assistência na emergência, ou se não se consegue aceder ao mesmo. Recorde-se o sismo e tsunami do Japão (2011), em que hospitais sem qualquer dano tiveram de

transferir os seus pacientes para outras unidades, devido à falta de medicamentos (paragem da indústria farmacêutica e dificuldade na distribuição dos mesmos).

A Figura 9.12 esquematiza os sistemas e interdependências mais importantes considerados no sistema de saúde.

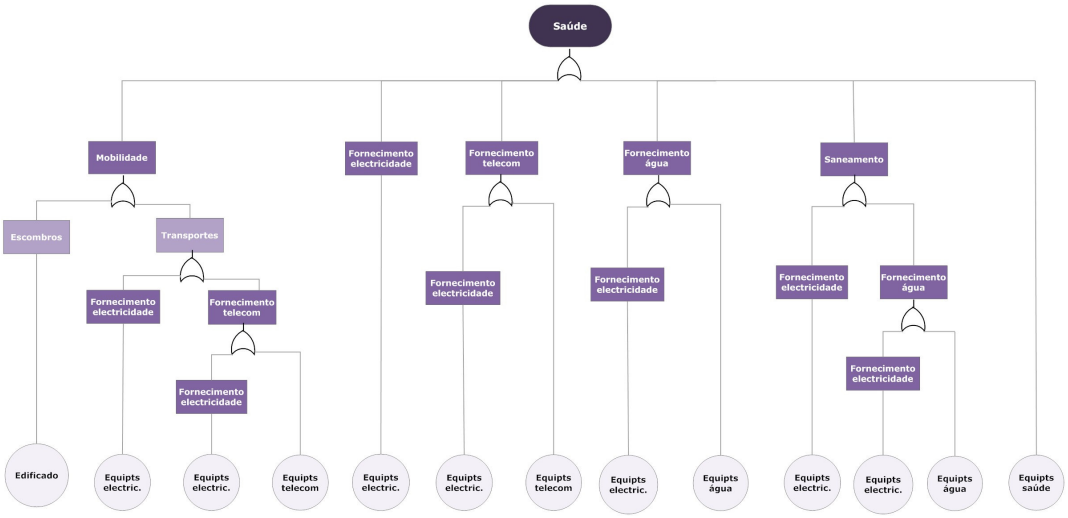


Figura 9.12 – Serviços, componentes e elementos físicos dos quais o sistema de Saúde depende

A forma como cada um dos subsistemas se comporta terá diferentes níveis de impacto no sistema de saúde, tal como descrito no Quadro 9.8. Assim, se os equipamentos de saúde se encontrarem no nível II (danos ligeiros, utilizável após inspecção, Quadro 9.9) mas a mobilidade se encontrar no nível III (perturbações devido a problemas no sistema de transportes ou escombros), verifica-se que a resposta do sistema de saúde à população será limitado, encontrando-se este num nível de impacto III.

Quadro 9.8 – Descritor de impacto da Saúde e dependências

Saúde	
Nível de impacto	Descritor de impacto
	Determina se a população é servida por um número suficiente de unidades de saúde, em funcionamento (desde o Hospital ao Centro de Saúde) que a possam servir em caso de emergência.
IV	Inutilização de unidades de saúde, tendo de se recorrer a hospitais de campanha, apoio exterior, etc.
III	Assegurados apenas os cuidados básicos de saúde. Cirurgias com capacidade reduzida, para minorar o risco de infecção pós-operatório. Técnicos de saúde necessitam de uma melhor coordenação para prestar os serviços médicos. Problemas na distribuição e na disponibilidade de medicamentos essenciais.
II	As unidades de saúde estão em funcionamento, embora possam ocorrer algumas dificuldades devido à queda de objectos, aparelhos, elementos não estruturais ou a cortes de comunicações, energia, etc.
I	Sem impacto significativo na função.

Eqpts. saúde		Mobilidade		Sistema electric.		Sistema Telecom		Sistema água		Sistema saneamento
IV	OR	IV	OR	-	OR	-	OR	-	OR	-
III	OR	III	OR	III	OR	III	OR	III	OR	III
II	OR	II	OR	II	OR	II	OR	II	OR	II
-	-	-	-	-	-		-	-	-	-

9.2.4.1. Equipamentos de saúde

No Quadro 9.9 aparecem os descritores dos equipamentos de saúde definidos como um conjunto de níveis de impacto plausíveis.

Quadro 9.9 – Descritor de impacto dos equipamentos de Saúde

Equipamentos de saúde		
Nível de impacto	Descritor de impacto	
	Mede o estado de dano dos equipamentos de saúde nas áreas mais afectadas (I ≥ VII).	Avaliação de impacto
IV	Maior parte dos equipamentos com danos severos ou colapso. Inutilizável/perigo.	(%D3 ou +) ≥ 73%
III	Danos moderados, a maior parte apresentam D2 e D3. Danos não-estruturais afectam o funcionamento das instalações.	(%D2 ou +) ≥ 73%
II	Muitos danos ligeiros, utilizável após inspecção. Danos não estruturais.	(%D1 ou +) ≥ 48%
I	Sem danos ou pequenos danos que não afectam o uso.	

9.2.5. EDUCAÇÃO

Face aos danos verificados nos equipamentos de ensino e na envolvente, estes podem inviabilizar a retoma do ensino por tempo indeterminado, obrigando nos casos mais gravosos a uma relocalização da população estudantil para áreas afastadas, não afectadas pelo sismo, tal como já aconteceu em algumas regiões descritas no Capítulo 4. A Figura 9.13 ilustra a conjugação dos vários serviços, componentes e elementos físicos que estão na origem dos diferentes níveis de impacto descritos no Quadro 9.10.

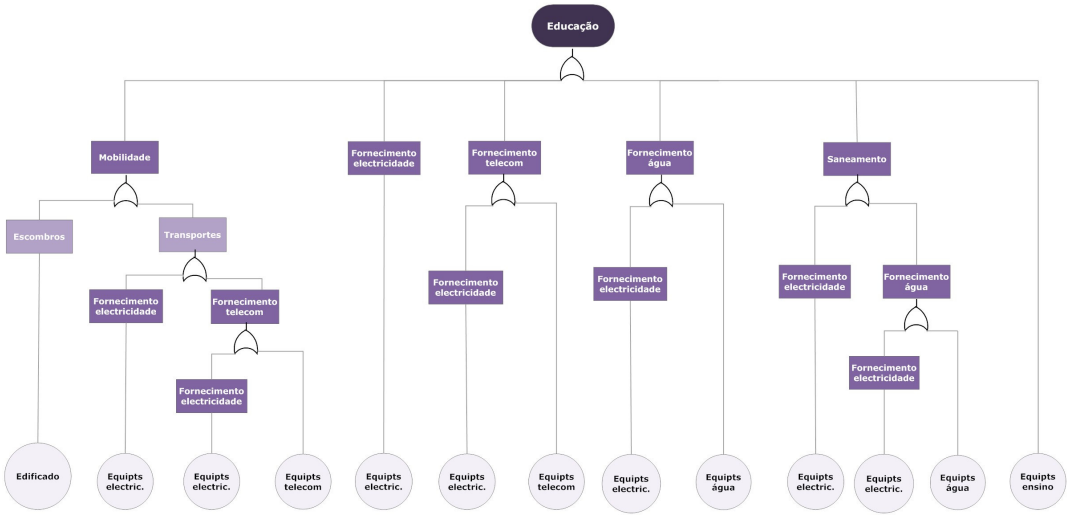


Figura 9.13 – Serviços, componentes e elementos físicos dos quais o sistema de Ensino depende

Quadro 9.10 – Descritor de impacto da Educação e dependências

Educação	
Nível de impacto	Descritor de impacto
	Mede a descontinuidade do ensino, o número de pessoas privadas de ensino e identifica alternativas para a retoma do mesmo.
IV	Face aos danos verificados nos equipamentos de ensino e/ou na envolvente (D≥3) não há possibilidade de retomar o ensino por tempo indeterminado (obras de reabilitação/reconstrução). Relocalização da população estudantil para áreas não afectadas pelo sismo. Famílias muitas vezes não conseguem fazer face às despesas de ensino por falta de rendimentos (paralização da economia).
III	Difícil retoma da educação. Equipamentos de ensino com danos, perda de material didáctico e envolvente com escombros restringem o acesso. Necessário escolas-tenda ou distribuir os alunos por outras escolas/instituições até recuperação total das condições de funcionamento.
II	Interrupção momentânea com a retoma das aulas após a inspecção e avaliação das condições de segurança (semanas).
I	Sem impacto significativo na função.

Eqpts. ensino		Mobilidade		Sistema electric.		Sistema Telecom		Sistema água		Sistema saneamento
IV	OR	III	OR	-	OR	-	OR	-	OR	-
III	OR	II	OR	III	OR	III	OR	III	OR	III
II	OR	-	OR	II	OR	-	OR	II	OR	II
-	-	-	-	-	-		-	-	-	-

9.2.5.1. Equipamentos de ensino

No Quadro 9.11 encontram-se descritos os impactos nos equipamentos de ensino decorrentes dos diferentes graus de danos que estes possam apresentar.

Quadro 9.11 – Descritor de impacto dos equipamentos de Ensino

Equipamentos de ensino		
Nível de impacto	Descritor de impacto	
	Mede o estado de dano dos equipamentos de ensino nas áreas mais afectadas (I ≥ VII).	Avaliação de impacto
IV	Maior parte dos equipamentos com danos severos ou colapso. Inutilizável/perigo.	(%D3 ou +) ≥ 73%
III	A maior parte apresenta danos moderados ou severos. Danos não-estruturais afectam o funcionamento das instalações.	(%D2 ou +) ≥ 48%
II	Maioria dos edifícios com danos ligeiros, utilizável após inspecção. Danos não estruturais.	(%D1 ou +) ≥ 73%
I	Sem danos ou pequenos danos que não afectam o uso.	

9.2.6. EMPREGO

Os centros económicos são áreas onde a ocorrência de um sismo pode ter efeitos adversos na economia local, regional, nacional ou internacional, uma vez que o custo destas catástrofes para a comunidade traduz-se em perda de rendimentos, interrupção dos negócios e perda de emprego. A falta de actividade produtiva, resultante do não funcionamento das empresas, das indústrias, das escolas, do turismo, devido não só aos danos causados mas também à ausência de pessoas para trabalhar, por morte, ferimentos ou por terem de ser evacuadas para outras localidades, geram um absentismo elevado.

As acções ou perdas que podem determinar cada nível de impacto são várias conforme se visualiza na Figura 9.14 e no Quadro 9.12. Um inquérito realizado após o sismo de Northridge (Gordon et al., 1998), aponta como factores mais importantes para a interrupção da actividade económica: danos em empresas, indústrias, serviços públicos, habitação e rede de transportes. Outros factores importantes estão relacionados com a falta de acesso dos clientes, incapacidade de fazer entregas ou receber material, perdas de inventário ou problemas de crédito, que no modelo aparecem ligados à mobilidade, às telecomunicações, entre outros.

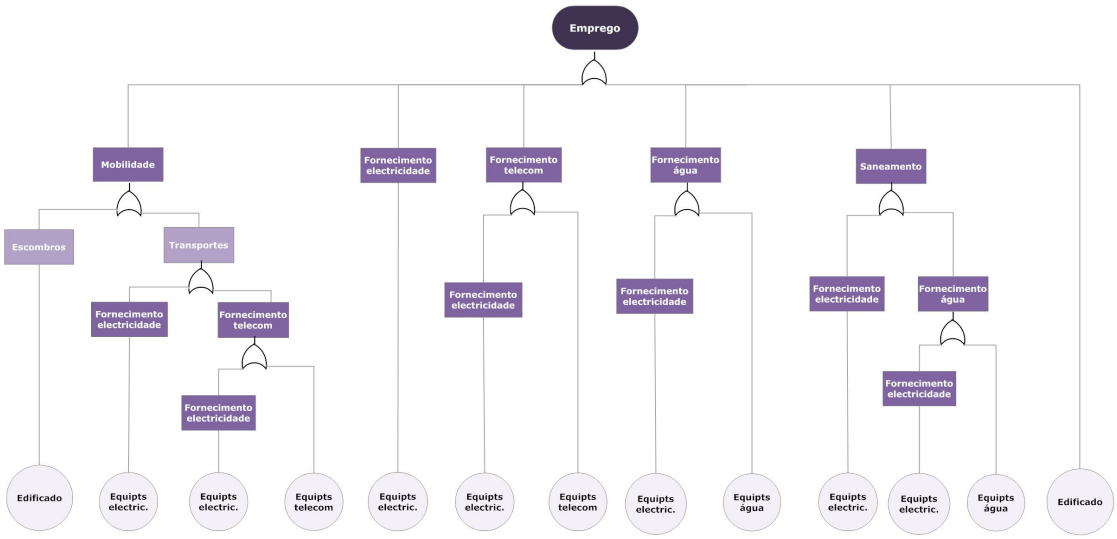


Figura 9.14 – Serviços, componentes e elementos físicos dos quais o Emprego depende

Quadro 9.12 – Descritor de impacto do Emprego e dependências

Emprego	
Nível de impacto	Descritor de impacto
	Avalia se determinada área mantém a sua actividade económica em consequência dos danos ocorridos após o sismo e identifica novos pólos de emprego que podem ser gerados.
IV	Interrupção da actual actividade económica por tempo indeterminado (falta de oportunidades). No entanto, surgem novos empregos relacionados com a reconstrução em que a maior parte das vezes os trabalhadores são oriundos de outras localidades ou países.
III	Interrupção de parte da actividade económica. Quebras de vendas, decréscimos de produção. Danos no património, diminuindo a procura pelos turistas e consequentemente os postos de trabalho.
II	Retoma das actividades económicas num período de tempo curto (semanas) após a inspecção e avaliação das condições de segurança e reposição dos sistemas em funcionamento.
I	Sem impacto significativo na função. Sectores (indústria, serviços, comércio, etc.) não foram afectados.

Edificado		Mobilidade		Sistema electric.		Sistema Telecom		Sistema água		Sistema saneamento
V	OR	IV	OR	-	OR	-	OR	-	OR	-
IV	OR	III	OR	III	OR	III	OR	III	OR	III
III	OR	-	OR	II	OR	II	OR	II	OR	II
-	-	-	-	-	-		-	-	-	-

Os graus de danos no edificado que terão impacto no funcionamento das actividades económicas, nomeadamente serviços, comércio, indústria e património encontram-se esquematizados no Quadro 9.6.

9.3. Critérios e descritores de impacto: Serviços, componentes e elementos físicos

Como se observou são os comportamentos de cada componente de um sistema que determinam o seu desempenho global, a segurança e resiliência. Esses componentes/serviços tendem a ter um valor limite ou um ponto de inflexão, a partir do qual falham. Normalmente essas propriedades são representadas pelas curvas de fragilidade, no nosso caso podemos fazer relações similares que caracterizem os vários níveis de disfunção desde o normal ao excepcional e que estão relacionados como estes elementos se sobrepõem e interagem.

9.3.1. SISTEMA DE ENERGIA ELÉCTRICA

Como constatado nos pontos anteriores, o sistema de energia eléctrica está presente em quase todos os sistemas e a sua capacidade de recuperação é essencial para dar resposta à maior parte das actividades descritas anteriormente. Um exemplo que expressa bem a necessidade de recuperação urgente da electricidade ocorreu logo após o sismo de Sendai (Japão, 11 de Março de 2011); a TEPCO (Tokyo Electric and Power Supply Company) antes do evento tinha capacidade para 52 milhões de KW, com o sismo baixou para 31 milhões de KW e no final do primeiro mês estava a uma capacidade de 40 milhões de KW, apresentando 80% da capacidade total, apesar de esta recuperação não ser ainda suficiente para suportar toda a indústria e actividades domésticas que o país exige – só a Central Nuclear de Fukushima (que ficou severamente danificada) produzia 9 milhões de KW (Murai, 2011).

O Quadro 9.13 apresenta os possíveis níveis de impacto do sistema de energia eléctrica em função do estado em que se encontram os equipamentos que o compõem.

Quadro 9.13 – Descritor de impacto do sistema de energia eléctrica e dependências

Sistema de energia eléctrica		
Nível de impacto	Descritor de impacto	
	Mede qualidade do serviço prestado.	Equipts. sistema eléctrico
III	Interrupção de serviço por tempo prolongado com afectação de serviços críticos. O colapso do edificado povoca o colapso de postes, verificando-se corte de energia à habitação e serviços (hospitais, bombeiros, polícia, etc.)	III
II	Interrupção de serviço temporária (horas) mas com serviços críticos assegurados.	II
I	Sem danos ou pequenas perturbações na frequência e qualidade da energia.	I

9.3.1.1. Equipamentos do sistema de energia eléctrica

Os danos mais frequentes que ocorrem nos equipamentos do sistema de energia eléctrica, como sejam nas instalações das subestações, podem dar-se ao nível dos transformadores, das travessias de transformadores, dos seccionadores, dos conectores, dos disjuntores e também fugas de óleos (Figura 9.15), afectando o seu funcionamento, conduzindo a diferentes impactos

como traduz o Quadro 9.14.

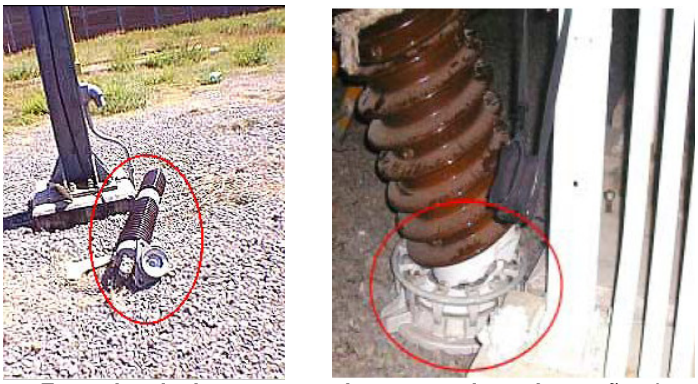


Figura 9.15 – Exemplos de danos nos equipamentos das subestações (travessias de transformadores e seccionadores)
Fonte : JSCE, 2001

Quadro 9.14 – Descritor de impacto dos equipamentos do sistema de energia eléctrica

Equipamentos do sistema de energia eléctrica		
Nível de impacto	Descritor de impacto	
	Mede o estado de dano dos equipamentos.	Avaliação de impacto
III	Destruição ou danos severos da maior parte das infra-estruturas da rede eléctrica.	(%D3 ou +) ≥ 73%
II	Reparação de um número considerável de equipamentos devido a danos moderados nos equipamentos das subestações (interrupção de energia em determinadas secções).	(%D2 ou +) ≥ 23%
I	Sem danos ou pequenos danos em equipamentos que não afectam a operacionalidade do sistema.	

Para além dos danos nos equipamentos ou componentes sabe-se que a interrupção deste serviço será maior nas áreas mais urbanizadas do que em áreas menos desenvolvidas, uma das razões prende-se com a necessidade de inspeccionar todos os edifícios logo após um sismo (devido à elevada probabilidade de fugas de gás e risco de explosão), aumentando o tempo de reposição do sistema.

9.3.2. SISTEMA DE ÁGUA

Relativamente ao sistema de água, muitas vezes são os componentes não estruturais, fundamentais para o bom funcionamento destas instalações, que sofrem danos severos causando grandes disfunções ao seu fornecimento.

O Quadro 9.15 descreve a qualidade do serviço prestado de acordo com o nível em que se encontra cada um dos sistemas e equipamentos do qual depende:

i) Sistema de água no nível I: é necessário que o sistema de energia eléctrica **ou** os equipamentos do sistema de água estejam operacionais (Nível I);

ii) Sistema de água no nível II: é necessário que o sistema de energia eléctrica esteja no Nível II **ou** os equipamentos do sistema da rede de água com danos do tipo Nível II;

iii) Sistema de água no nível III: se houver uma interrupção do sistema de energia eléctrica por tempo prolongado, por envolver destruição de equipamentos, etc. (Nível III) **ou** se os equipamentos do sistema da rede de água apresentarem danos severos (Nível III).

Quadro 9.15 – Descritor de impacto do sistema de água e dependências

Sistema de água	
Nível de impacto	Descritor de impacto
	Mede qualidade do serviço prestado.
III	Interrupção de serviço por tempo prolongado (metade ou mais da área afectada pelo sismo não tem água disponível). Afectação de serviços críticos.
II	Interrupção de serviço temporária mas com serviços críticos assegurados. Bombeiros asseguram fornecimento à população.
I	Serviço em funcionamento normal ou com pequenas perturbações de fácil resolução.

Sistema electric.		Equipts. sistema água
III	OR	III
II	OR	II
I	OR	I

9.3.2.1. Equipamentos do sistema de água

O Quadro 9.16 apresenta as diversas possibilidades de impactos que podem ocorrer nos equipamentos do sistema de água.

Quadro 9.16 – Descritor de impacto dos equipamentos do sistema de água

Equipamentos do sistema de água	
Nível de impacto	Descritor de impacto
	Mede o estado de dano dos equipamentos.
III	Destruição ou danos severos na maior parte das infra-estruturas da rede de águas (condutas por serem rígidas fracturam).
II	Danos moderados num número considerável de condutas nas áreas mais afectadas pelo sismo. Necessidade de reparação ou substituição.
I	Sem danos nos equipamentos, reservatórios ou aquedutos.

Avaliação de impacto
(%D3 ou +) ≥ 73%
(%D2 ou +) ≥ 23%

9.3.3. SISTEMA DE SANEAMENTO

Normalmente os danos nas infra-estruturas de saneamento (ou equipamentos) estão localizados em zonas onde o sistema de águas também foi danificado. A interrupção de energia é também a causa do não funcionamento daquelas infra-estruturas. O Quadro 9.17 reflecte essa interacção entre os diferentes componentes e equipamentos ao apresentar os diferentes níveis de impacto.

Quadro 9.17 – Descritor de impacto do sistema de saneamento e dependências

Sistema de saneamento	
Nível de impacto	Descritor de impacto
	Mede a qualidade do serviço prestado.
III	Interrupção de serviço por tempo prolongado.
II	Interrupção de serviço temporária.
I	Serviço em funcionamento normal ou com pequenas perturbações de fácil resolução.

Sistema electric.		Sistema água		Equipts. saneamento
III	OR	III	OR	III
II	OR	II	OR	II
I	OR	I	OR	I

9.3.3.1. Equipamentos do sistema de saneamento

O Quadro 9.18 descreve qualitativamente as causas que fixam cada nível de impacto.

Quadro 9.18 – Descritor de impacto dos equipamentos do sistema de saneamento

Equipamentos do sistema de saneamento	
Nível de impacto	Descritor de impacto
	Mede o estado de dano dos equipamentos.
III	Destruição ou danos severos na maior parte das infra-estruturas da rede de saneamento (colectores, centrais de bombagem, etc.).
II	Necessidade de reparação ou substituição de alguns equipamentos devido à ocorrência de danos moderados.
I	Sem danos nos equipamentos.

Avaliação de impacto
(%D3 ou +) ≥ 73%
(%D2 ou +) ≥ 23%

9.3.4. SISTEMA DE TELECOMUNICAÇÕES

As telecomunicações, uma das redes mais vulneráveis, desempenham um papel crítico em todas as fases de recuperação de desastres - incluindo resposta à emergência. Parcial ou completa, a falha de telecomunicações causa atrasos e erros na resposta da emergência e nos esforços de socorro, levando à perda evitável de vida e propriedade - como pode acontecer quando não se consegue transmitir um aviso de perigo de tsunami através da rádio, telefone ou televisão, por exemplo.

As falhas na rede de telecomunicações podem dever-se a três factores: i) destruição física dos componentes da rede; ii) interrupção das infra-estruturas de apoio ao funcionamento da rede (rede eléctrica) e iii) congestionamento/sobrecarga da rede. No Quadro 9.19 aparecem descritos os impactos no sistema de telecomunicações e dependências do sistema.

Quadro 9.19 – Descritor de impacto do sistema de telecomunicações e dependências

Sistema de telecomunicações (fixas, móveis e dados)				
Nível de impacto	Descritor de impacto *Mede qualidade do serviço prestado.*	Sistema electric.		Equipts. Telecom
III	Interrupção de serviços de comunicações, internet e dados por tempo prolongado. Perturbação dos serviços críticos. Redes de telecomunicações do país para fora (estrangeiro) estão interrompidas.	III	OR	III
II	Interrupção temporária (horas) dos serviços de telecomunicações (comunicações, internet e dados).	II	OR	II
I	Operacionalidade normal ou pequenas perturbações de fácil resolução e sem efeitos adversos.	I	OR	I

A qualidade do serviço prestado depende da conjugação dos seguintes factores:

i) Sistema de telecomunicações no Nível I: é necessário que os sistemas de energia eléctrica **ou** de telecomunicações estejam operacionais (Nível I).

ii) Sistema de telecomunicações no Nível II: sistema de energia eléctrica no nível II **ou** os equipamentos de telecomunicações no Nível II. Note-se que se o sistema de energia eléctrica apresentar danos os equipamentos de telecomunicações continuam sem funcionar.

iii) Sistema de telecomunicações no Nível III: há interrupção por tempo indeterminado do sistema de energia eléctrica **ou** os equipamentos de telecomunicações necessitam de reparações (impacto de Nível III).

Para realçar a importância deste sistema são dados a conhecer alguns casos que buscam mitigar e criar soluções alternativas para estes sistemas. No Japão os operadores das telecomunicações têm adoptado soluções para que a sua interrupção seja cada vez mais breve e de fácil reposição; a introdução de condutas subterrâneas flexíveis, tornou-se comum em instalações posteriores a 1995, após o sismo de Kobe. Uma outra solução, que se prende com o facto da ocorrência de fenómenos de liquefacção poderem elevar ou deslocar os cabos, consiste em deixar uma folga suficiente, nos cabos de fibra óptica para que estes possam esticar sem partir; este conceito é aplicado na concepção das infra-estruturas subterrâneas (Figura 9.16).

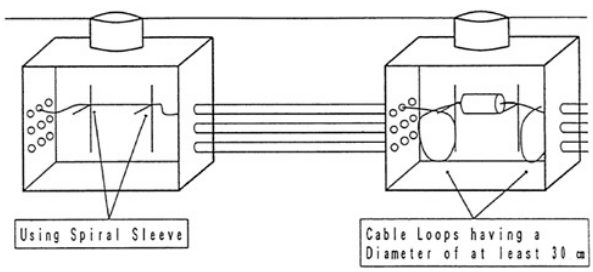


Figura 9.16 – Medidas de mitigação aplicadas em cabos de fibra óptica
Fonte: National Research Council, 1994

Porém, a vulnerabilidade dos dispositivos fixos de comunicação mantém-se elevada devido à interrupção de energia. Mesmo que os operadores consigam manter a sua infra-estrutura de fibra operacional, é de pouca utilidade se a energia não é assegurada aos dispositivos. As maiores dificuldades observadas nas telecomunicações resultam da falha de energia ou da insuficiente capacidade de armazenamento de mesma.

No entanto, uma das mais antigas tecnologias de telecomunicações - rádio amador - continua a ser a única infra-estrutura de comunicações que tem repetidamente demonstrado a sua capacidade de operar de forma eficaz após os suprimentos de energia eléctrica.

9.3.4.1. Equipamentos do sistema de telecomunicações

Para se atingir cada um dos níveis de impacto assinalados anteriormente, é necessário descrever os danos nos equipamentos de telecomunicações que estão associados a cada nível (Quadro 9.20).

Quadro 9.20 – Descritor de impacto dos equipamentos de telecomunicações

Equipamentos de telecomunicações		
Nível de impacto	Descritor de impacto	
	Mede o estado de dano dos equipamentos.	Avaliação de impacto
III	Destruição ou danos severos na maior parte das infra-estruturas de telecomunicações (quebra de cabos, etc) devido a vibrações do sismo ou liquefacção do solo.	(%D3 ou +) ≥ 73%
II	Danos podem requerer reparação de um número considerável de equipamentos. Falha de comunicações fixas e móveis.	(%D2 ou +) ≥ 23%
I	Sem danos / pequenas perturbações.	

9.3.5. MOBILIDADE

A existência de mobilidade é factor primordial para suster várias funções. Cada vez há maior dependência dos modos de transporte para as deslocações ao emprego e estudo, por ser maior a dispersão da localização dos empreendimentos habitacionais e do emprego. Os danos que ocorrem nos sistemas de transportes bem como os escombros existentes nas áreas atingidas por um sismo tornam difícil a garantia da acessibilidade e da mobilidade em determinados locais. Essa falta de mobilidade para além de causar transtornos na região afectada, poderá ter reflexos em zonas mais distantes.

Existem elementos construtivos, operativos e de transporte que podem impedir o acesso, a circulação e a comunicação. O Quadro 9.21 descreve os principais níveis de impacto associados à mobilidade assim como os elementos do qual depende.

Quadro 9.21 – Descritor de impacto da mobilidade e dependências

Mobilidade		Acumulação escombros		Sistema transporte
Nível de impacto	Descritor de impacto			
	Mede o constrangimento devido à acumulação de escombros ou por danos e trabalhos de recuperação que implicam a escolha de caminhos alternativos, com maiores tempos de espera, de viagem e percursos com custo maior.			
IV	Mobilidade severamente reduzida a nível local e regional. Factores geológicos associados (deslizamentos, queda de blocos, etc).	III	OR	IV
III	Perturbações na mobilidade nas áreas mais afectadas (perigos de derrocada e factores geológicos (deslizamentos, queda de blocos, etc.) associados). Zonas interditas, utilizadas apenas por equipas de salvamento. Interrupção dos movimentos casa-trabalho, lazer, etc.	II	OR	III
II	Dificuldade na acessibildade e mobilidade devido a alguns escombros ou trabalhos nas vias.	-	OR	II
I	Sem impacto significativo na função.	-	-	-

9.3.6. SISTEMA DE TRANSPORTES

Para sustentar a mobilidade (analisada anteriormente) é necessário que seja assegurada não só uma boa rede de transportes como a sua operacionalidade. Os sistemas de energia, telecomunicações (tecnologia de comunicação que apoia a operacionalidade das redes e serviços de transportes) e as próprias infra-estruturas de transportes (vias de comunicação, pontes, viadutos, aeroportos, portos, ferrovias, metropolitano, entre outros) constituem o sistema de transportes. Os diferentes níveis de impacto no sistema em análise encontram-se no Quadro 9.22.

Quadro 9.22 – Descritor de impacto do sistema de transportes e dependências

Sistema de transportes (rodoviário, ferroviário, portuário, aéreo)		Sistema electric.		Sistema Telecom		Infra-estrut. transporte
Nível de impacto	Descritor de impacto					
	Mede a qualidade do serviço prestado.					
IV	Algumas estradas para localidades vizinhas foram cortadas devido a danos em vias e pontes. Queda de blocos e deslizamentos bloqueiam vias. Ligações aéreas, ferroviárias e portuárias interrompidas.	III	OR	III	OR	III
III	Vias principais fechadas ou bloqueadas dentro das localidades devido a danos nas mesmas, provocando grandes congestionamentos.	-	OR	-	OR	III
II	Perturbações pontuais devido a eventuais disfunções, desvios, obras, etc. Tráfego lento.	-	OR	-	OR	II
I	Serviço em funcionamento normal.	-	-	-	-	-

9.3.6.1. Infra-estruturas de transportes

De acordo com o grau de dano observado nas infra-estruturas de transportes (causado pelo sismo ou por fenómenos geológicos de deslizamentos ou queda de blocos) é possível medir o impacto conforme descrito no Quadro 9.23.

Quadro 9.23 – Descritor de impacto das infra-estruturas de transportes

Infra-estruturas de transporte rodoviárias (vias, pontes, túneis), ferroviárias, portuárias e aéreas		
Nível de impacto	Descritor de impacto	
	Mede o estado de dano das infra-estruturas de transporte.	Avaliação de impacto
IV	Destruição das principais infra-estruturas de transporte.	(%D4 ou +) ≥ 12%
III	Danos severos num número considerável de vias rodo-ferroviárias, torres de controlo, infra-estruturas portuárias/equipamentos, etc.	(%D3 ou +) ≥ 23%
II	Danos moderados num número muito elevado de vias. Danos nos terminais de passageiros, etc.	(%D2 ou +) ≥ 89%
I	Sem danos ou pequenos danos que não afectam a operacionalidade das infra-estruturas.	

9.3.7. ESCOMBROS

Outro factor que afecta a mobilidade é a existência de escombros nas vias, causados não só pelos danos do edificado como pelas obras de demolição que impedem o acesso a determinado local. No Quadro 9.24 constam os descritores de impacto construídos para a "acumulação de escombros". Como se verifica o estado em que se encontra o edificado define os diferentes níveis de impacto da "acumulação de escombros". O edificado encontra-se analisado em 9.2.2.1.

Quadro 9.24 – Descritor de impacto da acumulação de escombros e dependências

Acumulação de escombros		
Nível de impacto	Descritor de impacto	
	Mede o impacto dos escombros na vivência da área afectada.	Edificado
III	Grande quantidade de escombros, dispersos pelo território afectado, reduzindo drasticamente a mobilidade a carros e pessoas.	V
II	Escombros de danos nos edfícios causam interrupções ocasionais.	IV
I	Danos no edificado não causam grande volume de escombros.	III

9.3.8. SEGURANÇA

Em situação de acidente grave, catástrofe ou calamidade são desencadeadas operações de protecção civil (busca e salvamento, primeiros socorros, tiragem, evacuação, abrigo de emergência, abastecimento e alimentação), que só são possíveis caso um conjunto de meios, recursos, serviços e estruturas estiver disponível e utilizável, com vista a garantir a segurança de pessoas e bens.

A Figura 9.17 esquematiza a estrutura das dependências consideradas, tal como a mobilidade, o fornecimento de electricidade e de telecomunicações. Cada um destes componentes tem as suas dependências associadas.

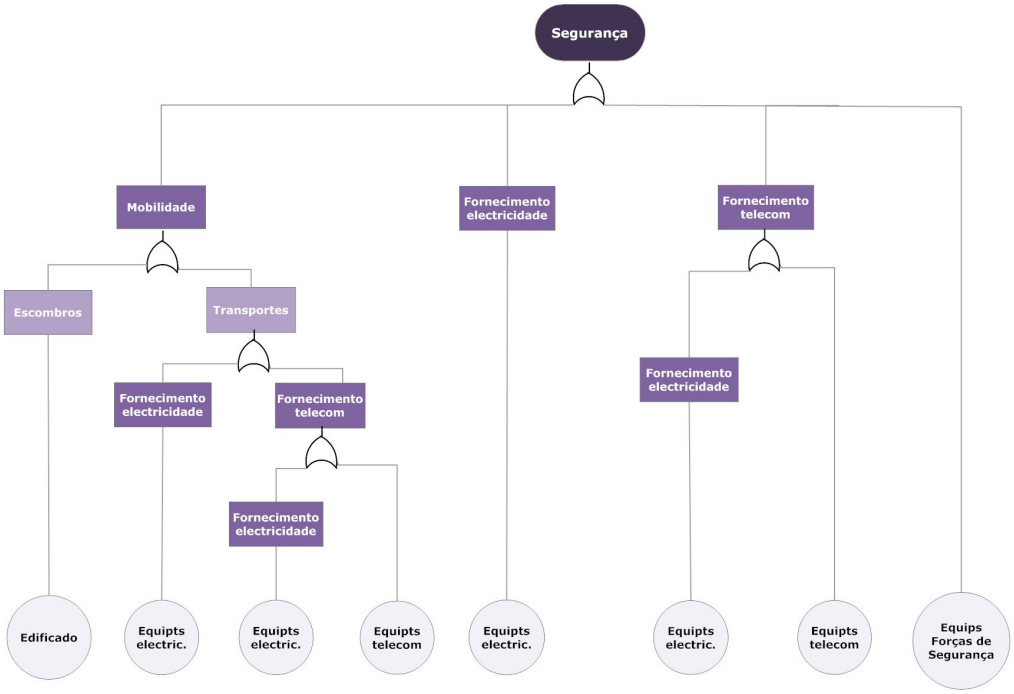


Figura 9.17 – Serviços, componentes e elementos físicos dos quais a Segurança depende

O Quadro 9.25 refere os principais sistemas a considerar e descreve os seus impactos na função Segurança.

Quadro 9.25 – Descritor de impacto da Segurança e dependências

Segurança	
Nível de impacto	Descritor de impacto
	Avalia o nível de segurança (das populações, da propriedade, empresas, etc.) de determinada área afectada.
IV	Forças de segurança insuficientes ou severamente afectadas. Incapacidade de repor ordem, segurança e socorro pós-sismo. Necessidade de recurso a outras forças de fora e internacionais.
III	Dificuldade em repor a ordem, segurança, salvamento e fornecimento de alimentos.
II	As forças de segurança não apresentam qualquer disfunção, mas podem ter resposta mais demorada por problemas nas telecomunicações, energia e mobilidade.
I	Sem impacto significativo na função. As forças de segurança podem intervir imediatamente.

Sistema electric.		Sistema Telecom		Mobilidade		Equipts. Força Segurança
-	-	-	-	IV	OR	IV
III	OR	III	OR	III	OR	III
II	OR	II	OR	II	OR	II
-	-	-	-	-	-	-

9.3.8.1. Equipamentos de segurança

O Quadro 9.26 descreve quais os estados de dano limite em cada nível de impacto (e respectiva cardinalidade) relativamente aos equipamentos que são responsáveis pela segurança e resposta à emergência, nomeadamente edifícios de bombeiros, polícia, GNR, entre outros.

Quadro 9.26 – Descritor de impacto dos equipamentos de segurança

Equipamentos de segurança (bombeiros, polícia, GNR, etc.)	
Nível de impacto	Descritor de impacto
	Mede o estado de dano dos equipamentos de segurança.
IV	Maior parte dos equipamentos com danos severos ou colapso. Inutilizável/perigo.
III	A maioria dos edifícios apresenta danos moderados. Utilização parcial.
II	Muitos edifícios com danos ligeiros. Utilizável mas requer inspecção.
I	Sem danos significativos.

Avaliação de impacto
(%D3 ou +) ≥ 73%
(%D2 ou +) ≥ 73%
(%D1 ou +) ≥ 48%

9.4. Disruption index

Uma vez diagnosticado que um efeito é a causa de outro efeito, gerando-se o chamado efeito em cascata, consegue-se traduzir o impacto de um evento em determinado local através do Disruption Index, ou seja, de acordo com o número de serviços e funções interrompidas.

Uma vez identificados todos os elementos que relacionam as acções na matriz de dependências; representadas as redes de interacções (como se fora uma estrutura em árvore) e estabelecidas as sequências e os níveis de cada impacto, tem-se uma percepção e visualização das relações de precedência (falhas em equipamentos, edificado, etc.) que irão causar impactos de primeira e demais ordens.

Quanto mais elevado for o nível de impacto do DI, maior o impacto a nível social e económico (Quadro 9.27). A nível económico resulta em algo que pode ser contabilizado pelos financiamentos cedidos pelo Estado, através de períodos de isenção de pagamentos de taxas aos contribuintes (como declaração de rendimentos), suspensão dos pagamentos das prestações de empréstimos e impostos sobre os imóveis, apoio financeiro através de subsídios e/ou pensões, pagamento de alugueres de casas não utilizadas (e sem danos) e que podem servir para realojamento, entre muitas outras formas de financiamento. A nível social podemos concluir que num território sem um parque edificado em condições de habitabilidade e vivência, os seus residentes e trabalhadores não poderão voltar às suas vidas. Sem trabalhadores as empresas e indústrias não poderão reiniciar as suas actividades, e sem actividade económica, as comunidades continuarão dependentes da ajuda do Estado e assim sucessivamente.

O índice DI reflecte assim a penosidade induzida na população atingida, directa ou indirectamente, por ter ocorrido um acontecimento adverso do qual tenham decorrido, ou possam vir a decorrer, perturbações mais ou menos profundas das actividades físicas, funcionais, sociais, económicas, ambientais ou outras, e que pela sua natureza ou extensão podem vir a permanecer por um período de tempo mais ou menos prolongado.

Este índice apresenta como vantagem uma estimativa rápida da evolução e sequência de impactos, e das inter-relações entre impactos, de forma organizada e facilmente compreensível pelo público, possibilitando não só a percepção do papel desenvolvido por cada “dimensão ou critério”, mas também o seu potencial de impacto, de acordo com determinado cenário.

Quadro 9.27 – Descritores de impacto do DI e dependências

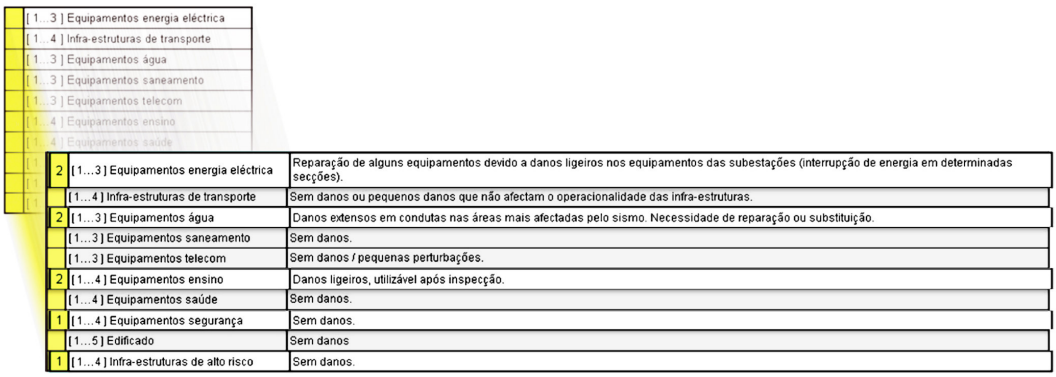
Disruption index, DI	
Nível de impacto	Descritor de impacto
	Indica a penosidade induzida na população atingida, directa ou indirectamente, por um acontecimento adverso do qual tenham decorrido, ou possam vir a decorrer, perturbações mais ou menos profundas do seu quotidiano, tais como perdas humanas, físicas, funcionais, sociais, económicas, ambientais ou outras, e que pela sua natureza ou extensão podem vir a permanecer por um período de tempo mais ou menos prolongado.
V	Graves perturbações a nível físico e funcional de todo o sistema, com muito elevadas perdas a vários níveis: edificações, população, infra-estruturas, saúde, mobilidade, estruturas administrativas e políticas, entre outras. Inexistência de condições para o exercício das funções e actividades do quotidiano. Muito elevados custos para a recuperação.
IV	Início da paralisia funcional quer das edificações quer das estruturas administrativas e políticas e de muitas actividades profissionais e económicas por tempo indefinido. Esta disfunção é determinada pela elevada percentagem de edificações com danos entre moderados (D3) a severos, e alguma percentagem de colapso total do edificado. O grau de destruição pode levar a uma percentagem significativa de vítimas, feridos e um número considerável de desalojados, estes últimos devido ao facto das habitações apresentarem danos que, embora não sendo de colapso, são suficientes para perderem a sua função de habitação. Esta perda de função deve-se ao facto do estado em que se encontram as construções poderem pôr em risco a vida humana e ao trauma que a população sente, impedindo-a de retornar às suas casas nos primeiros tempos.
III	Associadas disfunções ao nível dos equipamentos ou infra-estruturas críticas. Começam a surgir problemas no fornecimento de alimentação e água que tem de ser assegurado pela P. Civil e/ou outras instituições, bem como problemas significativos na mobilidade em zonas mais afectadas por escombros ou danos na rede viária. Poder-se-á verificar perda de algum património, bem como alguns transtornos no desenrolar das actividades profissionais por algum tempo.
II	São ainda poucos os desalojados devido a alguns danos no edificado que podem influenciar a habitabilidade ou vivência da região atingida, no entanto alguns casos requerem realojamento temporário. Alguns problemas nas redes de água, energia eléctrica e/ou gás. Cuidados de saúde mínimos.
I	A região atingida poderá apresentar um reduzido número de desalojados devido à existência de alguns problemas nas redes de água, energia eléctrica e/ou gás, ou devido à ocorrência de alguns danos ligeiros no edificado (danos não estruturais) que influenciam a vivência e habitabilidade de determinada área.

Ambiente		Habitação		Alimentação		Educação		Emprego		Saúde
IV	OR	V	OR	III	-	-	-	-	-	-
III	OR	IV	OR	-	-	-	OR	IV	-	-
II	OR	III	OR	II	OR	IV	OR	III	OR	IV
-	OR	-	OR	-	OR	III	OR	II	OR	III
-	OR	II	OR	-	OR	-	OR	-	OR	-

Tendo em vista tudo o que foi exposto e de forma a permitir fazer uso deste índice, serão comentados e expostos os elementos necessários para a etapa do processo do DI:

1. De acordo com o nível de impacto relatado (danos directos) ou obtido de um simulador de cenários sísmicos, inserir o valor correspondente nas células a amarelo (Quadro 9.28) para cada um dos elementos físicos (edifícios, infra-estruturas) ou para um mínimo necessário que defina a organização física e funcional do sistema urbano;

Quadro 9.28 – Nível de impacto em cada elemento físico



2. Com as perdas de capacidade de cada elemento exposto anteriormente, e com recurso às condições lógicas (explicadas nos pontos anteriores), consegue-se construir a cadeia de impactos e, consequentemente a relação de perdas indirectas (devido às funções que estão ligadas aos elementos físicos), propiciando-se a obtenção das perdas de capacidade ou níveis de impacto de cada subsistema do sistema urbano (serviços/componentes) (Quadro 9.29);

Quadro 9.29 – Nível de impacto dos serviços e componentes

Nível de impacto	Serviços e componentes	Descritor de impacto
II	[I...III] Sistema energia eléctrica	Interrupção de serviço temporária (horas) mas com serviços críticos assegurados.
II	[I...III] Sistema água	Interrupção de serviço temporária mas com serviços críticos assegurados. Bombeiros asseguram fornecimento à população.
II	[I...III] Sistema saneamento	Interrupção de serviço temporária.
II	[I...III] Sistema telecomunicações	Interrupção temporária (horas) dos serviços de telecomunicações (comunicações, internet e dados).
I	[I...IV] Mobilidade	Sem impacto significativo na função.
II	[I...IV] Segurança	As forças de segurança não apresentam qualquer disfunção, mas podem ter resposta mais demorada por problemas nas telecomunicações, energia e mobilidade.
I	[I...IV] Sistema transporte	Serviço em funcionamento normal.
I	[I...III] Acumulação de escombros	Danos no edificado não causam grande volume de escombros.

3. Com a definição e avaliação dos subsistemas urbanos, encontram-se modelados os princípios fundamentais necessários para esquematizar a organização funcional do sistema urbano (Ambiente, Habitação, Alimentação, Educação, Emprego e Saúde) (Quadro 9.30);

Quadro 9.30 – Princípios fundamentais do sistema urbano e níveis de impacto

Nível de impacto	Funções	Descritor de impacto
II	[I...IV] **Ambiente**	Problemas pontuais. No caso de infra-estruturas de alto risco poderá ocorrer alguma libertação de substâncias perigosas (combustíveis, etc). Saúde pública com alguns problemas, perturbações de ordem sanitária.
II	[I...V] **Habitação**	Edifícios requerem inspecção e, em alguns casos ocorre um breve realojamento temporário, para definir as estratégias de reparação / reforço. Algumas obras de reparação ou reforço podem ser executadas com a população a viver dentro das habitações, sem necessidade de realojamento.
I	[I...III] **Alimentação**	Normal fornecimento de alimentos às populações.
II	[I...IV] **Saúde**	As unidades de saúde estão em funcionamento, embora possam ocorrer algumas dificuldades devido à queda de objectos, aparelhos, elementos não estruturais ou a cortes de comunicações, energia, etc.
II	[I...IV] **Educação**	Interrupção momentânea. Retoma das aulas após inspecção e avaliação das condições de segurança (semanas).
II	[I...IV] **Emprego**	Retoma das actividades económicas num período de tempo curto (semanas) após a inspecção e avaliação das condições de segurança e reposição dos sistemas em funcionamento.

4. As perdas ou níveis de impacto obtidos pela conexão entre os vários sistemas e subsistemas permitem avaliar a disfunção global do sistema urbano, obtendo-se o DI conforme disposto no Quadro 9.31. (Nota: Para agilizar todas estas sequências de operações e regras recorreu-se ao programa Excel®).

Quadro 9.31 – Disruption índex

Nível de impacto		Descritor de impacto
II	[I...V] **Disruption índex, DI**	São ainda poucos os desalojados devido a alguns danos no edificado que podem influenciar a habitabilidade ou vivência da região atingida, no entanto alguns casos requerem realojamento temporário. Alguns problemas nas redes de água, energia eléctrica e/ou gás. Cuidados de saúde mínimos.

À medida que vamos incrementando mais ou menos os danos no primeiro quadro (células amarelas, Figura 9.18) fica-se com a percepção de quais os sistemas (serviços e componentes) que mais são afectados e os que mais contribuem para a interrupção de funções, consequentemente aumentando o DI, de acordo com os graus de dano. Chama-se a atenção para que este descritor mede o impacto de um acontecimento adverso no momento em que ele ocorre. Caso queiramos estudar a evolução ao longo do tempo outras variáveis são de considerar.

[I…III] Equipamentos energia eléctrica	I	II	III								
[I…IV] Infra-estruturas de transporte											
[I…III] Equipamentos água											
[I…III] Equipamentos saneamento											
[I…III] Equipamentos telecom											
[I…IV] Equipamentos ensino									II	III	IV
[I…IV] Equipamentos saúde											
[I…IV] Equipamentos segurança											
[I…V] Edificado				II	III	IV	V				
[I…IV] Infra-estruturas de alto risco											
[I…III]Sistema energia eléctrica	I	II	III	I	I	I	I		I	I	I
[I…III] Sistema de água	I	II	III	I	I	I	I		I	I	I
[I…III] Sistema de saneamento	I	II	III	I	I	I	I		I	I	I
[I…III] Sistema de telecomunicaçoes	I	II	III	I	I	I	I		I	I	I
[I…IV] Mobilidade	I	I	I	I	I	II	IV		I	I	I
[I…IV] Segurança	I	II	III	I	I	II	IV		I	I	I
[I…IV] Sistema de transportes	I	I	III	I	I	I	I		I	I	I
[I…III] Acumulação de escombros	I	I	I	I	I	II	III		I	I	I
[I…IV] Ambiente	I	II	III	I	I	I	I		I	I	I
[I…V] Habitação	I	II	IV	II	III	IV	V		I	I	I
[I…III] Alimentação	I	I	II	I	I	I	III		I	I	I
[I…IV] Educação	I	II	III	I	I	III	IV		II	III	IV
[I…IV] Emprego	I	II	III	I	III	III	IV		I	I	I
[I…IV] Saúde	I	II	III	I	I	II	IV		I	I	I
[I…V] Disruption index, DI	I	III	IV	I	III	IV	V		I	III	III

Figura 9.18 – Efeito cascata

Os resultados da avaliação de danos individuais não mostram a complexidade das interdependências dos sistemas dentro de uma determinada área. Quando a ligação entre elementos é estabelecida e as interdependências identificadas e levadas em consideração, uma outra leitura é dada aos resultados obtidos pelos simuladores sísmicos, tal como demonstra a Figura acima em que se observa o potencial e a aplicabilidade do DI.

Fixemo-nos apenas no “Edificado” na Figura anterior; imaginando todos os elementos (das células amarelas) sem danos, apenas os danos no edificado que vão aumentado (II, III ou IV). Vemos (leitura vertical) a repercussão que tem nos vários sistemas, tal como no emprego, saúde ou na educação, que aumentam o nível de disfunção.

Por fim, e aproveitando o significado da escala de intensidade, que avalia os efeitos do sismo sobre cada ponto do território, podemos fazer uma correlação entre o nível de impacto do DI com a escala de intensidade macrossísmica (EMS-98), tal como consta do Quadro 9.32.

Quadro 9.32 – Correlação entre cada nível de impacto do Disruption Index (DI) e a escala de intensidade

Nível de impacto	Descrição	Intensidade
V	Graves perturbações a nível físico e funcional de todo o sistema, com muito elevadas perdas a vários níveis: edificações, população, infra-estruturas, saúde, mobilidade, estruturas administrativas e políticas, entre outras. Inexistência de condições para o exercício das funções e actividades do quotidiano. Muito elevados custos para a recuperação.	X-XII
IV	Início da paralisia funcional quer das edificações quer das estruturas administrativas e políticas e de muitas actividades profissionais e económicas por tempo indefinido. Esta disfunção é determinada pela elevada percentagem de edificações com danos, entre moderados (D3) a severos, e alguma percentagem de colapso total do edificado. O grau de destruição pode levar a uma percentagem significativa de vítimas, feridos e um número considerável de desalojados, estes últimos devido ao facto das habitações apresentarem danos que, embora não sendo de colapso, são suficientes para perderem a sua função de habitação. Esta perda de função deve-se ao facto do estado em que se encontram as construções poderem pôr em risco a vida humana e ao trauma que a população sente, impedindo-as de retornar às suas casas nos primeiros tempos.	VIII-IX
III	Associadas perdas humanas, disfunções ao nível dos equipamentos ou infra-estruturas críticas. Poder-se-ão verificar problemas na mobilidade das zonas mais afectadas por escombros ou danos em alguns pontos da rede viária, perda de algum património bem como alguns transtornos no desenrolar das actividades profissionais por algum tempo. Começam a surgir problemas no fornecimento de alimentação e água que tem de ser assegurado pela P. Civil e/ou outras instituições.	VII-VIII
II	São ainda poucos os desalojados devido a alguns danos no edificado que podem influenciar a habitabilidade ou vivência da região atingida, no entanto alguns casos requerem realojamento temporário. Alguns problemas nas redes de água, energia eléctrica e/ou gás. Cuidados de saúde mínimos.	VI-VII
I	A região atingida poderá apresentar um reduzido número de desalojados devido à existência de alguns problemas nas redes de água, energia eléctrica e/ou gás, ou devido à ocorrência de alguns danos ligeiros no edificado (danos não estruturais) que influenciam a vivência e habitabilidade de determinada área geográfica. A nível político inicia-se um processo de consciencialização de que o problema existe bem como alguns investimentos na política de reforço e mitigação do risco.	VI

O Quadro anterior mostra que o DI inicia no equivalente a uma intensidade VI (EMS-98), ou seja, quando os danos estruturais no edificado são ligeiros (pequenas fendas) e os danos nos elementos não estruturais são moderados (alguns detalhes de arquitectura podem ser destruídos, como chaminés, telhados danificados, etc.), podem ainda ser encontrados danos não estruturais em túneis ou estradas.

9.5. Aplicação aos sistemas urbanos

Depois da construção formal do modelo, a sua potencialidade foi aplicada a um conjunto de sismos estudados. A avaliação pós-sismo de usabilidade do edificado tal como a conhecemos, é actualmente uma forma de estabelecer a contribuição financeira de um governo para a reconstrução. Porém é também necessário apontar as consequências da perda de Habitação, por exemplo, na Educação. Considerando os efeitos de propagação, podemos obter uma estimativa do número de desalojados (directos e indirectos), a quantidade de habitação temporária necessária, o número de famílias afectadas pela deslocalização e,

consequentemente o impacto no conjunto de estruturas sociais, políticas e económicas. De facto, este modelo dá uma visão integrada e coerente de todos os aspectos com impacto territorial relevante.

9.5.1. ILHA DO FAIAL, AÇORES

O sismo de 9 de Julho de 1998 que provocou oito mortos, uma centena de feridos ligeiros, dois mil e quinhentos desalojados e casas destruídas, levou à interrupção de actividades socioeconómicas da ilha por algum tempo. A principal efeméride anual da Horta (Semana do Mar em Agosto) foi cancelada na sequência do sismo, com claro impacto na ilha. A Figura 9.19 representa o mapa de isossistas para o evento de magnitude M_W 6,2.

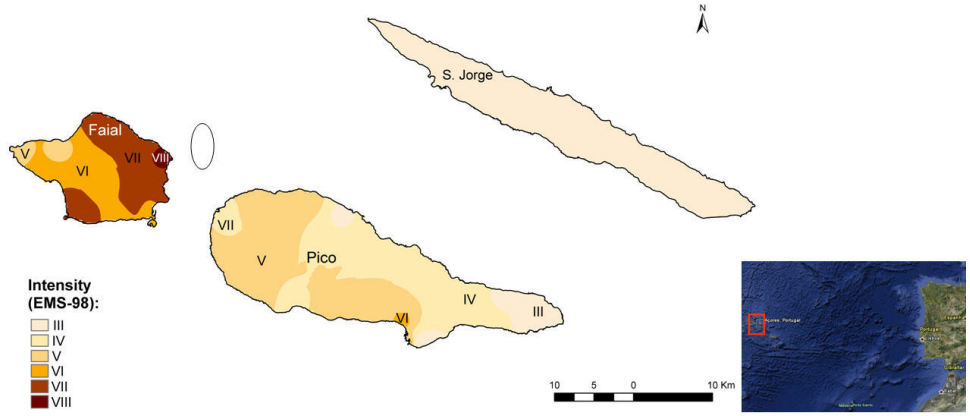


Figura 9.19 – Mapa de isossistas (EMS-98) obtidas da classificação dos danos no edificado. Elipse representa possível localização do epicentro.
Fonte : Ferreira, 2008

Uma vasta colectânea de informações e descrições retiradas de vários estudos e nomeadamente do livro "Sismo 1998 – Açores. Uma década depois" (edição Oliveira et al., 2008), permitiu alimentar o modelo desenvolvido para calcular o Disruption Index.

Os números introduzidos nas células amarelas (Quadro 9.33) traduzem o nível de dano e consequente descrição de impacto observado em cada tipo de equipamento ou edificado após o sismo. Pelo recurso às condições lógicas (explicadas nos pontos anteriores), consegue-se construir a cadeia de etapas e calcular diferentes níveis de impacto para cada serviço e componente, chegando ao topo da árvore, ou seja, aos às principais funções identificadas (Quadro 9.34). Por fim, deste encadear de operações obtém-se o nível de disfunção, DI, (Quadro 9.35) imposto por este evento no território.

Quadro 9.33 – Nível de impacto de cada elemento

Nível de impacto	Elementos físicos	Descritor de impacto
II	[I...III] Equiptos. energia eléctrica	Reparação de um número considerável de equipamentos devido a danos moderados nos equipamentos das subestações (interrupção de energia em determinadas secções).
II	[I...IV] Infra-estrut. transporte	Danos moderados num número muito elevado de vias. Danos nos terminais de passageiros, etc.
II	[I...III] Equiptos. água	Danos moderados num número considerável de condutas nas áreas mais afectadas pelo sismo. Necessidade de reparação ou substituição.
II	[I...III] Equiptos. saneamento	Necessidade de reparação ou substituição de alguns equipamentos devido à ocorrência de danos moderados.
I	[I...III] Equiptos. telecom	Sem danos / pequenas perturbações.
III	[I...IV] Equiptos. ensino	A maior parte apresenta danos moderados ou severos. Danos não-estruturais afectam o funcionamento das instalações.
I	[I...IV] Equiptos. saúde	Sem danos ou pequenos danos que não afectam o uso.
I	[I...IV] Equiptos. segurança	Sem danos significativos.
IV	[I...V] Edificado	Muitos edifícios com danos severos. Edifícios estão inutilizáveis por representarem perigo aos habitantes.
I	[I...IV] Infra-estrut. alto risco	Sem danos.

Quadro 9.34 – Nível de disfunção dos serviços e funções com descritores de impacto associados

Nível de impacto	Serviços e componentes	Descritor de impacto
II	[I...III] Sistema energia eléctrica	Interrupção de serviço temporária mas com serviços críticos assegurados.
II	[I...III] Sistema água	Interrupção de serviço temporária mas com serviços críticos assegurados. Bombeiros asseguram fornecimento à população.
II	[I...III] Sistema saneamento	Interrupção de serviço temporária.
II	[I...III] Sistema telecomunicações	Interrupção temporária (horas) dos serviços de telecomunicações (comunicações, internet e dados).
II	[I...IV] Mobilidade	Dificuldade na acessibildade e mobilidade devido a alguns escombros ou trabalhos nas vias.
II	[I...IV] Segurança	As forças de segurança não apresentam qualquer disfunção, mas podem ter resposta mais demorada por problemas nas telecomunicações, energia e mobilidade.
II	[I...IV] Sistema transporte	Danos moderados num número muito elevado de vias. Danos nos terminais de passageiros, etc.
II	[I...III] Acumulação de escombros	Escombros de danos nos edfícios causam interrupções ocasionais.

Nível de impacto	Funções	Descritor de impacto
II	[I...IV] **Ambiente**	Problemas pontuais, alguma libertação de substâncias perigosas (combustíveis, etc). Saúde pública com alguns problemas.
IV	[I...V] **Habitação**	Edifícios residenciais estão quase todos inutilizáveis (+40%D3 e D4-D5) ou mesmo todos.Falta de serviços que permitam a habitabilidade. Necessário realojamento (processo de relocalização por vezes definitiva da população).
I	[I...III] **Alimentação**	Normal fornecimento de alimentos à população.
II	[I...IV] **Saúde**	As unidades de saúde estão em funcionamento, embora possam ocorrer algumas dificuldades devido à queda de objectos, aparelhos, elementos não estruturais ou a cortes de comunicações, energia, etc.
III	[I...IV] **Educação**	Difícil retoma da educação. Equipamentos de ensino com danos, perda de material didáctico e envolvente com escombros restringem o acesso. Necessário escolas-tenda ou distribuir os alunos por outras escolas/instituições até recuperação total das condições de funcionamento.
III	[I...IV] **Emprego**	Interrupção de parte da actividade económica. Quebras de vendas, decréscimos de produção. Danos no património, diminuindo a procura pelos turistas e consequentemente os postos de trabalho.

Verifica-se que o modelo descreve bem os danos e as interrupções ocorridas na sequência da crise sísmica. Por exemplo, a saúde encontra-se num nível II, tal como relatado, havendo apenas algumas limitações no serviço de pediatria e obstetrícia, que sofreu alguns danos (Sousa et al., 2008).

A presente metodologia calcula assim o valor do Disruption Index (DI) igual a IV como apresentado no Quadro 9.35.

Quadro 9.35 – Impacto global (Disruption index)

Nível de impacto		Descritor de impacto
IV	[I...V] **Disruption índex, DI**	Início da paralisia funcional quer das edificações quer das estruturas administrativas e políticas e de muitas actividades profissionais e económicas por tempo indefinido. Esta disfunção é determinada pela elevada percentagem de edificações com danos entre moderados (D3) a severos, e alguma percentagem de colapso total do edificado. O grau de destruição pode levar a uma percentagem significativa de vítimas, feridos e um número considerável de desalojados, estes últimos devido ao facto das habitações apresentarem danos que, embora não sendo de colapso, são suficientes para perderem a sua função de habitação. Esta perda de função deve-se ao facto do estado em que encontram as construções poderem pôr em risco a vida humana e ao trauma que a população sente, impedindo-a de retornar às suas casas nos primeiros tempos.

9.5.2. MOLISE, ITÁLIA

O evento descrito no Capítulo 4, atingiu uma vasta área rural da região de Molise, causando o colapso da única escola primária e danos severos em zonas muito localizadas como seja o caso de San Giuliano di Puglia, que observou intensidades máximas de VIII-IX (MCS). Da informação directa dos danos existentes nos equipamentos de ensino e no edificado (Galanti et al., 2006), verificou-se que 23% dos edifícios privados não se encontravam em condições de serem utilizados (20% para demolição e 3% não utilizáveis devido ao risco de colapso existente na envolvente), assim definiu-se que o edificado na zona mais danificada se encontra no nível III (Quadro 9.36). As células vazias representam falta de informação.

Quadro 9.36 – Níveis de impacto de cada elemento

Nível de impacto	Elementos físicos	Descritor de impacto
II	[I...III] Equiptos. energia eléctrica	Reparação de um número considerável de equipamentos devido a danos moderados nos equipamentos das subestações (interrupção de energia em determinadas secções).
II	[I...IV] Infra-estrut. transporte	Danos moderados num número muito elevado de vias. Danos nos terminais de passageiros, etc.
	[I...III] Equiptos. água	Sem informação.
	[I...III] Equiptos. saneamento	Sem informação.
	[I...III] Equiptos. telecom	Sem informação.
IV	[I...IV] Equiptos. ensino	A maior parte apresenta danos moderados ou severos. Danos não-estruturais afectam o funcionamento das instalações.
	[I...IV] Equiptos. saúde	Sem informação.
	[I...IV] Equiptos. segurança	Sem informação.
III	[I...V] Edificado	Número elevado de edifícios na área afectada apresenta danos moderados. Inutilizáveis temporariamente, alguns edifícios requerem reparação/reforço.
	[I...IV] Infra-estrut. alto risco	Sem informação.

O Quadro 9.37 apresenta a sequência de impactos nos diversos sistemas e princípios fundamentais que permitem definir a disfunção global para a localidade em análise, obtendo-se um DI=III.

Quadro 9.37 – Descritores de impacto das várias etapas

Nível de impacto	Serviços e componentes	Descritor de impacto
II	[I...III] Sistema energia eléctrica	Interrupção de serviço temporária (horas) mas com serviços críticos assegurados.
II	[I...III] Sistema água	Interrupção de serviço temporária mas com serviços críticos assegurados. Bombeiros asseguram fornecimento à população.
II	[I...III] Sistema saneamento	Interrupção de serviço temporária.
II	[I...III] Sistema telecomunicações	Interrupção temporária (horas) dos serviços de telecomunicações (comunicações, internet e dados).
II	[I...IV] Mobilidade	Dificuldade na acessibildade e mobilidade devido a alguns escombros ou trabalhos nas vias.
II	[I...IV] Segurança	As forças de segurança não apresentam qualquer disfunção, mas podem ter resposta mais demorada por problemas nas telecomunicações, energia e mobilidade.
II	[I...IV] Sistema transporte	Perturbações pontuais devido a eventuais disfunções, desvios, obras, etc. Tráfego lento.
I	[I...III] Acumulação de escombros	Danos no edificado não causam grande volume de escombros.

Nível de impacto	Funções	Descritor de impacto
II	[I...IV] **Ambiente**	Problemas pontuais, alguma libertação de substâncias perigosas (combustíveis, etc). Saúde pública com alguns problemas.
III	[I...V] **Habitação**	Edifícios residenciais temporariamente inutilizáveis. Habitação condicionada; a entrada é permitida apenas por curtos períodos de tempo supervisionado por um técnico. Utilizável após obras pouco intrusivas ou remoção de escombros, de forma a reduzir o risco para os seus ocupantes. Dificuldade em aceder às habitações e problemas no fornecimento de serviços. Necessidade de realojamento temporário.
I	[I...III] **Alimentação**	Normal fornecimento de alimentos à população.
II	[I...IV] **Saúde**	As unidades de saúde estão em funcionamento, embora possam ocorrer algumas dificuldades devido à queda de objectos, aparelhos, elementos não estruturais ou a cortes de comunicações, energia, etc.
IV	[I...IV] **Educação**	Face aos danos verificados nos equipamentos de ensino e/ou na envolvente (D≥3) não há possibilidade de retomar o ensino por tempo indeterminado (obras de reabilitação/reconstrução). Relocalização da população estudantil para áreas não afectadas pelo sismo. Famílias muitas vezes não conseguem fazer face às despesas de ensino por falta de rendimentos (paralização da economia).
II	[I...IV] **Emprego**	Retoma das actividades económicas num período de tempo curto (semanas) após a inspecção e avaliação das condições de segurança e reposição dos sistemas em funcionamento.

Nível de impacto		Descritor de impacto
III	[I...V] **Disruption índex, DI**	Associadas disfunções ao nível dos equipamentos ou infra-estruturas críticas. Começam a surgir problemas no fornecimento de alimentação e água que tem de ser assegurado pela P. Civil e/ou outras instituições, bem como problemas significativos na mobilidade em zonas mais afectadas por escombros ou danos na rede viária. Poder-se-á verificar perda de algum património bem como alguns transtornos no desenrolar das actividades profissionais por algum tempo.

9.5.3. PORT-AU-PRINCE, HAITI

De seguida será apresentado o DI para o evento que atingiu a sociedade haitiana. Conforme demonstrado no Quadro 9.38, as células a amarelo foram quase todas preenchidas com o nível mais elevado de dano que cada elemento físico poderia apresentar devido ao elevado nível de destruição que foi observado na área.

Quadro 9.38 – Níveis de impacto dos elementos físicos e respectivos descritores

Nível de impacto	Elementos físicos	Descritor de impacto
III	[I...III] Equiptos. energia eléctrica	Destruição ou danos severos da maior parte das infra-estruturas da rede eléctrica.
III	[I...IV] Infra-estrut. transporte	Danos severos num número considerável de vias rodo-ferroviárias, torres de controlo, infra-estruturas portuárias/equipamentos, etc.
III	[I...III] Equiptos. água	Destruição ou danos severos na maior parte das infra-estruturas da rede de águas (condutas por serem rígidas fracturam).
III	[I...III] Equiptos. saneamento	Destruição ou danos severos na maior parte das infra-estruturas da rede de saneamento (colectores, centrais de bombagem, etc.).
III	[I...III] Equiptos. telecom	Destruição ou danos severos na maior parte das infra-estruturas de telecomunicações (quebra de cabos, etc) devido a vibrações do sismo ou liquefacção do solo.
IV	[I...IV] Equiptos. ensino	Maior parte dos equipamentos com danos severos ou colapso. Inutilizável/perigo.
IV	[I...IV] Equiptos. saúde	Maior parte dos equipamentos com danos severos ou colapso. Inutilizável/perigo.
IV	[I...IV] Equiptos. segurança	Maior parte dos equipamentos com danos severos ou colapso. Inutilizável/perigo.
V	[I...V] Edificado	Colapso total ou parcial de um nº elevado de edifícios habitacionais. Edifícios inutilizáveis/demolição.
I	[I...IV] Infra-estrut. alto risco	Sem danos.

Consequentemente, as interdependências e propagação de efeitos provocam a interrupção dos serviços e das funções urbanas tal como apresentado no Quadro 9.39, resultando numa paralisação total da já fragilizada sociedade Haitiana (Quadro 8.39).

Quadro 9.39 – Níveis de impacto dos serviços/componentes e das funções urbanas

Nível de impacto	Serviços e componentes	Descritor de impacto
III	[I...III] Sistema energia eléctrica	Interrupção de serviço por tempo prolongado com afectação de serviços críticos. O colapso do edificado povoca o colapso de postes, verificando-se corte de energia à habitação e serviços (hospitais, bombeiros, polícia, etc.)
III	[I...III] Sistema água	Interrupção de serviço por tempo prolongado (metade ou mais da área afectada pelo sismo não tem água disponível). Afectação de serviços críticos.
III	[I...III] Sistema saneamento	Interrupção de serviço por tempo prolongado.
III	[I...III] Sistema telecomunicações	Interrupção de serviços de comunicações, internet e dados por tempo prolongado. Perturbação dos serviços críticos. Redes de telecomunicações do país para fora (estrangeiro) estão interrompidas.
IV	[I...IV] Mobilidade	Mobilidade severamente reduzida a nível local e regional. Factores geológicos associados (deslizamentos, queda de blocos, etc).
IV	[I...IV] Segurança	Forças de segurança insuficientes ou severamente afectadas. Incapacidade de repor ordem, segurança e socorro pós-sismo. Necessidade de recurso a outras forças de fora e internacionais.
III	[I...IV] Sistema transporte	Danos severos num número considerável de vias rodo-ferroviárias, torres de controlo, infra-estruturas portuárias/equipamentos, etc.
III	[I...III] Acumulação de escombros	Grande quantidade de escombros, dispersos pelo território afectado, reduzindo drasticamente a mobilidade a carros e pessoas.

Nível de impacto	Funções	Descritor de impacto
III	[I...IV] **Ambiente**	Preocupações ambientais e perturbações de ordem sanitária com degradação significativa da saúde pública (disenteria, malária, etc.), águas contaminadas (para beber e do mar/rios por ruptura dos esgotos), problemas da acumulação de escombros e lixos. Acidentes que constituem perigo grave, imediato ou retardado, para a saúde humana (no interior ou no exterior do estabelecimento) e/ou para o ambiente.
V	[I...V] **Habitação**	Perda quase total das habitações. Relocalização definitiva.
III	[I...III] **Alimentação**	Necessidade de ajuda alimentar provavelmente causada por problemas associados à falta de energia, sistemas de transporte, serviços públicos e destruição de bens produtivos.
IV	[I...IV] **Saúde**	Inutilização de unidades de saúde, tendo de se recorrer a hospitais de campanha, apoio exterior, etc.
IV	[I...IV] **Educação**	Face aos danos verificados nos equipamentos de ensino e/ou na envolvente (D≥3) não há possibilidade de retomar o ensino por tempo indeterminado (obras de reabilitação/reconstrução). Relocalização da população estudantil para áreas não afectadas pelo sismo. Famílias muitas vezes não conseguem fazer face às despesas de ensino por falta de rendimentos (paralização da economia).
IV	[I...IV] **Emprego**	Interrupção da actual actividade económica por tempo indeterminado (falta de oportunidades). No entanto, surgem novos empregos relacionados com a reconstrução em que a maior parte das vezes os trabalhadores são oriundos de outras localidades ou países.

Quadro 9.40 – Disruption Index

Nível de impacto		Descritor de impacto
V	[I...V] **Disruption índex, DI**	Graves perturbações a nível físico e funcional de todo o sistema, com muito elevadas perdas a vários níveis: edificações, população, infra-estruturas, saúde, mobilidade, estruturas administrativas e políticas, entre outras. Inexistência de condições para o exercício das funções e actividades do quotidiano. Muito elevados custos para a recuperação.

9.5.4. OUTRAS APLICAÇÕES: CAGAYAN DE ORO, FILIPINAS. TUFÃO WASHI

Aparte os sismos, o DI mostra ter potencialidades para ser aplicado a outros eventos naturais. Uma experiência foi feita para o tufão Washi que atingiu parte das Filipinas a 16 de Dezembro de 2011, onde pelo menos 430 pessoas morreram e cerca de 800 ficaram desaparecidas. Cheias e deslizamentos de terra obrigaram 100 mil pessoas a abandonar as suas residências. O tufão Washi, atingiu a ilha de Mindanao na noite de 16 de Dezembro, a chuva forte e a subida rápida das águas (Figura 9.20), impediram descolagens de voos domésticos, danificaram os principais portos de Cagayan de Oro e Iligan e deixaram grandes áreas sem energia. (Manny Mogato, 2011).

Figura 9.20 – Ponte danificada (esquerda) e escombros (direita) causados pelas inundações trazidas pela tempestade tropical Washi na cidade de Iligan, ilha de Mindanao, Filipinas
Fonte : UOL, 2012

Após estas breves descrições recebidas em tempo real aplicou-se o DI a esta tempestade tropical. Considerando, segundo os relatos, que os danos nos equipamentos de energia eléctrica correspondem a um nível II (célula amarela), os danos nas infra-estruturas de transporte a um nível III e os danos no edificado a um nível III (com mais informação talvez subam para o nível IV), podemos preencher as células do Quadro 9.41. (Note-se que as restantes células permanecem em branco por falta de informação).

Quadro 9.41 – Danos e subsequentes níveis de impacto de cada elemento físico

Nível de impacto	Elementos físicos	Descritor de impacto
II	[I...III] Equiptos. energia eléctrica	Reparação de um número considerável de equipamentos devido a danos moderados nos equipamentos das subestações (interrupção de energia em determinadas secções).
III	[I...IV] Infra-estrut. transporte	Danos severos num número considerável de vias rodo-ferroviárias, torres de controlo, infra-estruturas portuárias/equipamentos, etc.
	[I...III] Equiptos. água	Sem informação.
	[I...III] Equiptos. saneamento	Sem informação.
	[I...III] Equiptos. telecom	Sem informação.
	[I...IV] Equiptos. ensino	Sem informação.
	[I...IV] Equiptos. saúde	Sem informação.
	[I...IV] Equiptos. segurança	Sem informação.
III	[I...V] Edificado	Número elevado de edifícios na área afectada apresenta danos moderados. Inutilizáveis temporariamente, alguns edifícios requerem reparação/reforço.
	[I...IV] Infra-estrut. alto risco	Sem informação.

Determinado o perfil de impacto para cada elemento físico, obtém-se directamente as avaliações parciais (ou níveis de impacto parciais) de cada sistema (serviço ou componente) tal como representado no Quadro 9.41, consequência das interdependências entre elementos e sistemas. Constata-se então que os sistemas de energia eléctrica, água, saneamento e telecomunicações ficam pelo menos no nível II; a mobilidade atinge o nível III (devido aos problemas no sistema de transportes e deslizamentos) e a acumulação de escombros (aqui directamente calculada através do grau de dano do edificado) atinge o nível I (Quadro 9.42), o que significa que o volume de escombros que visualizamos na Figura 9.20 é função de todo o material que é arrastado com a água e os deslizamentos de terra e não do edificado (dado o nível de danos em que este se encontra).

Quadro 9.42 – Indicador de impacto para os serviços e componentes

Nível de impacto	Serviços e componentes	Descritor de impacto
II	[I...III] Sistema energia eléctrica	Interrupção de serviço temporária (horas) mas com serviços críticos assegurados.
II	[I...III] Sistema água	Interrupção de serviço temporária mas com serviços críticos assegurados. Bombeiros asseguram fornecimento à população.
II	[I...III] Sistema saneamento	Interrupção de serviço temporária.
II	[I...III] Sistema telecomunicações	Interrupção temporária (horas) dos serviços de telecomunicações (comunicações, internet e dados).
III	[I...IV] Mobilidade	Perturbações na mobilidade nas áreas mais afectadas (perigos de derrocada e factores geológicos (deslizamentos, queda de blocos, etc.) associados). Zonas interditas, utilizadas apenas por equipas de salvamento. Interrupção dos movimentos casa-trabalho, lazer, etc.
III	[I...IV] Segurança	Dificuldade em repor a ordem, segurança, salvamento e fornecimento de alimentos.
III	[I...IV] Sistema transporte	Vias principais fechadas ou bloqueadas dentro das localidades devido a danos nas mesmas, provocando grandes congestionamentos.
I	[I...III] Acumulação de escombros	Danos no edificado não causam grande volume de escombros.

Consequentemente, o Quadro 9.43 traduz o impacto das disfunções anteriores em cada um das seis funções ou dimensões que por sua vez irão gerar o DI deste evento.

Repare-se no facto de que com apenas três células preenchidas (Quadro 9.41), se obtém por exemplo um impacto na Educação de nível III e um DI igual a III, ao qual estão "Associadas perdas humanas, disfunções ao nível dos equipamentos ou infra-estruturas críticas. Poder-se-ão verificar problemas na mobilidade das zonas mais afectadas por escombros ou danos em alguns pontos da rede viária, perda de algum património bem como alguns transtornos no desenrolar das actividades profissionais por algum tempo. Começam a surgir problemas no fornecimento de alimentação e água que tem de ser assegurado pela Protecção Civil e/ou outras instituições."

Note-se que este evento poderá facilmente atingir um DI de nível IV, caso o edificado ou outros sistemas tenham sido mais danificados que o considerado. Mesmo assim, com a pouca informação que chegou logo após a catástrofe, já nos é possível perceber que as perdas, e os processos de recuperação e reconstrução serão significativos.

Quadro 9.43 – Descrição dos impactos para os pontos de vista fundamentais e respectivo DI

Nível de impacto	Funções	Descritor de impacto
I	[I...IV] **Ambiente**	Sem impacto significativo.
III	[I...V] H**abitação**	Edifícios residenciais temporariamente inutilizáveis. Habitação condicionada; a entrada é permitida apenas por curtos períodos de tempo supervisionado por um técnico. Utilizável após obras pouco intrusivas ou remoção de escombros, de forma a reduzir o risco para os seus ocupantes. Dificuldade em aceder às habitações e problemas no fornecimento de serviços. Necessidade de realojamento temporário.
II	[I...III] **Alimentação**	Interrupção das condições normais para o seu fornecimento, sobretudo devido a dificuldades de mobilidade. O fornecimento é assegurado pela Protecção Civil e/ou outras instituições.
III	[I...IV] **Saúde**	Assegurados apenas os cuidados básicos de saúde. Cirurgias com capacidade reduzida, para minorar o risco de infecção pós-operatório. Técnicos de saúde necessitam de uma melhor coordenação para prestar os serviços médicos. Problemas na distribuição e na disponibilidade de medicamentos essenciais.
IV	[I...IV] **Educação**	Face aos danos verificados nos equipamentos de ensino e/ou na envolvente (D≥3) não há possibilidade de retomar o ensino por tempo indeterminado (obras de reabilitação/reconstrução). Relocalização da população estudantil para áreas não afectadas pelo sismo. Famílias muitas vezes não conseguem fazer face às despesas de ensino por falta de rendimentos (paralização da economia).
III	[I...IV] **Emprego**	Interrupção de parte da actividade económica. Quebras de vendas, decréscimos de produção. Danos no património, diminuindo a procura pelos turistas e consequentemente os postos de trabalho.

Nível de impacto		Descritor de impacto
III	[I...V] **Disruption índex, DI**	Associadas disfunções ao nível dos equipamentos ou infra-estruturas críticas. Começam a surgir problemas no fornecimento de alimentação e água que tem de ser assegurado pela P. Civil e/ou outras instituições, bem como problemas significativos na mobilidade em zonas mais afectadas por escombros ou danos na rede viária. Poder-se-á verificar perda de algum património bem como alguns transtornos no desenrolar das actividades profissionais por algum tempo.

Desta forma foi possível rapidamente e com pouca informação avaliar o impacto do tufão para a comunidade de Mindanao, considerando e avaliando todos os elementos que dão identidade e força motriz a determinado território, o que mostra tratar-se de um índice com potencialidade para outros eventos que não só os sismos.

9.6. Síntese e sugestões para desenvolvimentos futuros

Existem uma série de acções entre as componentes urbanas que são bastante complexas e que dificultam a avaliação do risco sísmico. O desenvolvimento deste modelo que consegue com poucos elementos (e de fácil recolha, basta uma descrição com maior ou menor detalhe de alguns danos nos elementos físicos (a partir de notícias de jornal, por exemplo)), relacioná-los com actividades e aspectos do meio urbano, e reflecti-los nos aspectos sociais e culturais de uma sociedade, adquire uma importância na forma de estudar o risco sísmico e de responder à exigência de avaliar o risco a vários níveis, não vendo as perdas de pessoas e de elementos físicos (como edificado e infra-estruturas) de forma isolada, mas dando-lhes uma ligação à função e actividade que definem no tecido urbano.

Podemos afirmar que as perdas mais significativas associadas às falhas dos sistemas são oriundas da interrupção desses sistemas e funções inerentes, devido às interdependências e não dos seus custos de reparação. O retorno gradual e lento às habitações ou localidades mais danificadas, dependerá das obras ao nível das infra-estruturas (gás e água, por exemplo), das vias de comunicação e obras de arte, do património e do edificado em geral, dependendo da resiliência e da capacidade de resposta de cada país. Durante este período há uma desagregação social forçada e o retorno à normalidade é de difícil previsão.

Esta forma de expor o risco pode ser útil para que o poder político fique mais alerta e comece a definir programas de apoio antes da ocorrência de sismos, para que a população e a economia se ressintam o menos possível. O desenvolvimento de cenários de risco deste tipo permite ter uma consciência mais generalizada de um risco muito real, mas muitas vezes esquecido. Pretende-se não só considerar os riscos decorrentes de uma eventual ocupação urbana, propiciando, desde já, uma gestão de prevenção mais eficaz, mas também assegurar às populações o conhecimento de uma situação que as pode afectar.

Os impactos calculados anteriormente, as disfunções inseridas na vivência urbana, são medidos logo após o sismo; importa relembrar que um desastre natural é sempre seguido da recuperação e da reconstrução, que por sua vez acarretam novos impactos.

As respostas obtidas com este modelo, não apenas para um evento sísmico, são encorajantes para se desenvolverem mais estudos e melhoramentos à metodologia proposta, tal como aplicar distribuições a cada um dos componentes do DI, bem como ao próprio índice, recorrendo ao software da Palisade de análise de risco, nomeadamente o "@RISK" que permite usar simulação de Monte Carlo no Excel®. Assim, poderemos simular vários cenários e perceber quais os elementos físicos (equipamentos e edificado) que mais contribuem para determinado nível de DI, quais as correlações entre variáveis, bem como perceber a distribuição de cada grau de dano ao longo de várias simulações (Figura 9.21), entre outras funções que o programa permite.

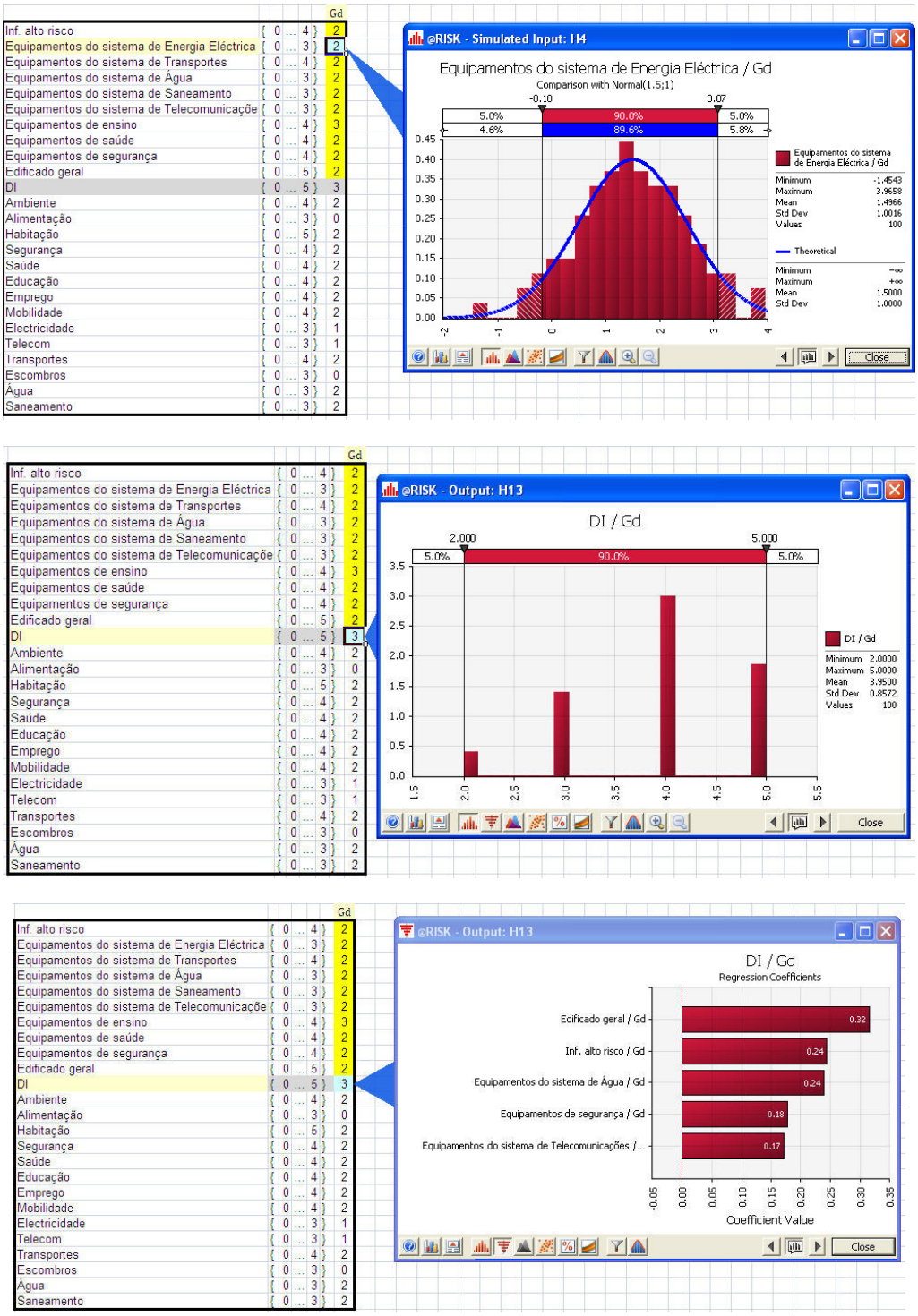


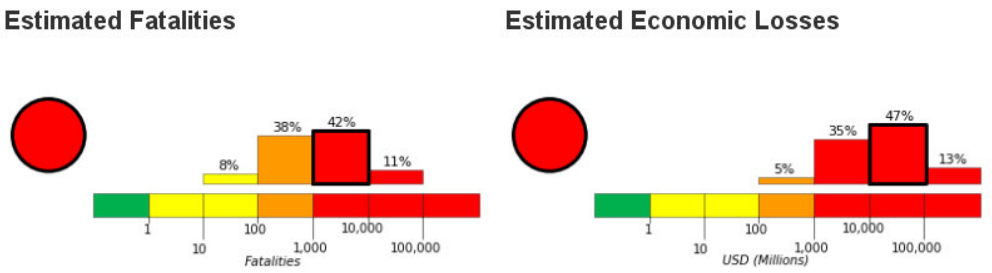
Figura 9.21 – Exemplos de informação retirada de simulações utilizando o @RISK

Este trabalho requer simulações repetitivas do mesmo modelo, introduzindo de cada vez pequenas alterações aos parâmetros e às funções distribuição, até se perceber de que modo as alterações nas variáveis incidem no resultado das simulações.

Outro trabalho a desenvolver de futuro, passa pela tradução prática do DI numa plataforma interactiva disponível ao público, em rede *online*, que permita a submissão de cenários reais

em tempo real (para obtenção de dados de leitura), para que o público em geral possa obter uma rápida estimava dos impactos causados, apenas acedendo à internet. Utilizando o DI, as estimativas rápidas de perda de bens e funções podem recomendar o tipo de resposta adequada. Apesar das incertezas, a espera de observações ou estimativas de perdas muito precisas pode aumentar as perdas numa comunidade, por falta de percepção do impacto do acontecimento e consequente falta de socorro.

O sistema PAGER - Prompt Assessment of Global Earthquakes for Response, criado pela USGS (Figura 9.22) é o pioneiro neste tipo de abordagem. Este sistema lança *online*, quase em tempo real, as estimativas de perdas económicas e de população provocadas por um sismo. O PAGER utiliza modelos simplificados para quantificar tanto as perdas humanas como as económicas - combinando a acção sísmica, a exposição, e as taxas de perda calibradas a partir de dados observados no passado.



Detailed Information

Summary | Recent Earthquake History | Full City Exposure List

Estimated Population Exposed to Earthquake Shaking

Estimated Modified Mercalli Intensity		I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Est. Population Exposure		---*	202*	1,120k*	2,842k*	981k*	9,347k	3,649k	0	0
Perceived Shaking		Not Felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very Strong	Severe	Violent	Extreme
Potential Structure Damage	Resistant	none	none	none	V. Light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	V. Heavy
	Vulnerable	none	none	none	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	V. Heavy	V. Heavy

*Estimated exposure only includes population within calculated shake map area

Figura 9.22 – Exemplo de informação contida na página do PAGER para o sismo de 27 de Fevereiro de 2010,Chile (M8,8). Versão 1
Fonte: http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/pager

Como *input* do sistema o PAGER cria um ShakeMap (mapa de intensidades). A seguir, a partir da base de dados (Landscan) da população mundial (Wald et al., 2010), o PAGER calcula a população exposta a cada nível de intensidade (Figura 9.23).

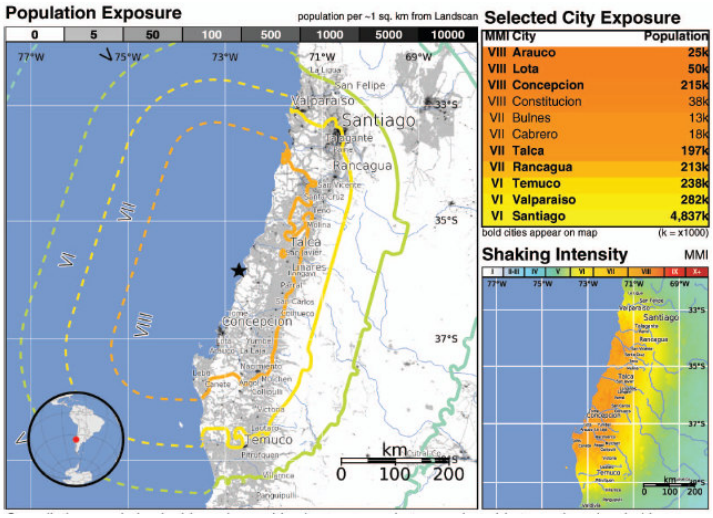


Figura 9.23 – Exemplo de ShakeMap e população exposta (sismo de 27 de Fevereiro de 2010,Chile (M8,8))
Fonte: http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/pager

A Comissão Europeia em colaboração com as Nações Unidas criou igualmente uma plataforma *online*, denominada GDACS, acrónimo de Global Disaster Alert and Coordination System (Figura 9.24), cujas prinicipais actividades e objectivos são:

i) Envio de alertas automáticos de desastres (por e-mail e SMS) e estimativas de impacto (na www.gdacs.org) imediatamente após grandes catástrofes (sismos e tsunamis, ciclones, cheias, e vulcões).

ii) Fornecimento da plataforma web "Virtual OSOCC" (em www.gdacs.org/virtualOSOCC) para a coordenação de desastres, restrito aos gestores de desastres (governos e organizações);

iii) Reforçar a rede de gestores de emergência com os centros de operação e com as organizações de resposta existentes em todo o mundo.

iv) Desenvolvimento de padrões de informação relacionados com os desastres num sistema *web-based*. Actualmente estas informações são (Figura 9.24):

- Estimativas automáticas de impacto e análise de riscos fornecida pela Comissão Europeia (CE/JRC) e pelo Dartmouth Flood Observatory (DFO);

- Actualização da informação do país afectado e resposta internacional, disponível em www.gdacs.org/virtualOSOCC;

- Mapas e imagens de satélite a partir de vários fornecedores (UNOSAT, MapAction, e ReliefWeb);

- Relatórios da ReliefWeb OCHA.

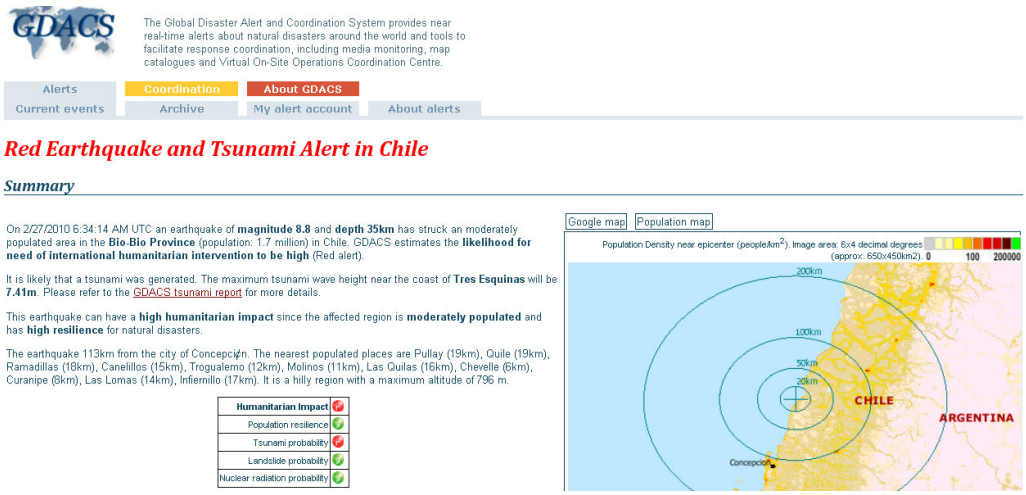


Figura 9.24 – Exemplo de informação contida na página do GDACS para o sismo de 27 de 2010,Chile (M8,8)

O sistema GDACS apresenta para além da população afectada qual a vulnerabilidade da população e sua resiliência, com base em nove indicadores, entre eles o PIB e investimentos na prevenção, atribuindo ao Chile uma classificação de "baixa vulnerabilidade" tal como ilustra a Figura 9.25.

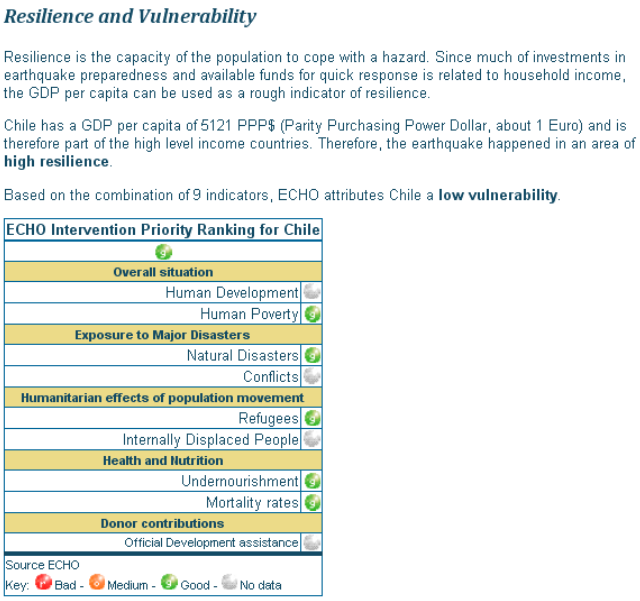


Figura 9.25 – Informação contida na página GDACS sobre resiliência e vulnerabilidade da população

Sem pretender que esta dissertação constitua uma resposta cabal às várias interrogações que surgiram ao longo do tempo, considera-se que a mesma contém elementos que permitem continuar a alimentar o debate em torno dos impactos dos sismos nos sistemas urbanos. Face ao exposto, espera-se ter contribuído para estimular a investigação futura neste domínio, sobretudo no contexto português onde se verifica maior escassez de estudos na matéria.

10| CONCLUSÕES

10.1. Principais conclusões

O suporte físico dos territórios tem sido menosprezado nos processos de ordenamento do território e planeamento urbano, e este facto tem exposto cidades e populações a sérias ameaças e interrupções da funcionalidade das comunidades, na sequência de eventos naturais perigosos. Para minimizar as consequências destes desastres é necessário identificar e perceber as vulnerabilidades, as interdependências entre infra-estruturas, sistemas e funções e a perigosidade a que está exposto cada território.

Nenhuma sociedade está preparada para em 20-30 segundos perder o que construiu ao longo de gerações. Perder vidas, empregos, perder obras de arte, o património, perder o quotidiano e ser forçado a adquirir novos hábitos sem aviso prévio, ver o seu território completamente desfigurado e sem referenciais. Tal como uma doença que para além de afectar o doente contagia o que o rodeia, também o sismo se propaga e dissemina por tudo o que define uma sociedade tendo um impacto de difícil previsão e em larga escala.

Nem a magnitude do sismo, nem a intensidade macrossísmica ou os “shakemaps” fornecem informações suficientes para julgar o impacto global de um sismo. O principal objectivo deste estudo consiste em contribuir para a compreensão do impacto de um sismo no seu todo e nas suas diversas dimensões, de forma a encontrar quais as principais áreas de preocupação em que nos devemos focar, com o objectivo de mitigar esses impactos.

A percepção de que o grau de destruição pode introduzir um índice (DI), capaz de analisar os danos indirectos consequência dos danos directos nas habitações e sua envolvente como escolas, locais de trabalho, vias de comunicação, e reflecti-los nos aspectos sociais, culturais e demográficos de uma sociedade adquire uma importância nas questões de adaptação do território na retoma às suas funções sociais e económicas.

Para tal procurou-se completar esta abordagem caracterizando a vulnerabilidade socioeconómica de uma cidade e seus habitantes e, com um objectivo mais amplo, a vulnerabilidade funcional do sistema urbano. Esta vulnerabilidade funcional depende das relações entre os elementos do sistema (ligações em cadeias) e das relações da cidade com o mundo exterior. Apesar das interdependências e propagação de efeitos estar já muito desenvolvido em métodos de avaliação de risco industrial (árvore de falhas, por exemplo), este aspecto até agora tinha sido pouco discutido pelos especialistas que trabalham com os riscos naturais. Conseguir perceber e quantificar quais os elementos expostos de uma cidade que mais contribuem para o DI, fornece um guia muito útil para a adaptação de estudos de vulnerabilidade e para orientar acções preventivas, sendo o principal desafio a abordar em futuros trabalhos.

O presente estudo propõe um enfoque conceptual do risco sísmico que considere não só as variáveis sísmicas e estruturais, mas também as funções e serviços associados ao sistema

urbano. A inclusão destes elementos, que por si caracterizam uma cidade ou localidade, por serem eles que definem a economia e a vivência, exploram uma abordagem sistémica do problema, que se perde com a utilização de outros indicadores. Embora existam muitos índices e técnicas de avaliação de risco, é muito difícil do ponto de vista conceptual, científico e numérico, medir e gerir o risco através de indicadores que sejam transparentes, representativos e robustos, que expressem o risco numa linguagem fácil, acessível aos vários decisores e que inclua o cariz integrado do risco. Qualquer método que se utilize terá limitações, maiores ou menores, de acordo com a escala de estudo, os dados disponíveis e o objecto pretendido.

Nesta dissertação foram identificadas as origens dos diferentes tipos de falhas em infra-estruturas e elementos físicos e, foram estimadas as interdependências e seus impactos nas redes, sistemas e funções urbanas. Assim, uma das contribuições do presente trabalho consiste em associar à leitura do território, não apenas a informação obtida através de indicadores gerais como o Censos ou outros referidos no Capítulo 8, mas também fazer uma análise semi-quantitava mais fina do que pode acontecer em caso de sismo. Esta pode ser dada através de um relato pós-evento ou dos resultados obtidos por um simulador sísmico, permitindo uma leitura extremamente fina de cada um dos sistemas e das suas interligações. A escala final do DI simultaneamente simples e intuitiva, permite não só proceder à comunicação pós-sismo de forma acessível (os alertas de impacto dos sismos, num futuro próximo, ir-se-ão tornar num procedimento operacional padrão; assim sendo terão de ter fácil leitura pelo público em geral), mas também perceber em ambiente de simulador, antes de um acontecimento adverso, quais os elementos que mais contribuem para o escalar dos efeitos.

Um contributo que este trabalho também permitiu obter, ocorreu da identificação das causas que levam a diversos efeitos (pormenorizado nos Capítulos 4, 8 e 9), que nos permite fazer uma chamada de atenção para a elevada vulnerabilidade das infra-estruturas enterradas que por serem estrutuas rígidas, apresentam facilmente rupturas e danos com a acção sísmica. Deste modo, com a experiência e ensinamentos de outras sociedades, nomedamente do Japão, cabe-nos alertar e incentivar os *stakeholders* e empresas fornecedoras destas infra-estruturas (condutas, cabos, etc.), para a re-adequação de produtos, menos vulneráveis. Deste modo, a renovação do "parque" de equipamentos deveria ser feita através de substituições de reparação, ao longo do tempo de forma sustentada, por oposição a investimentos dispendiosos forçados, de recuperação pós-sismo. Só assim será possível aspirar a uma diminuição do risco.

Na presente investigação é também dado destaque ao Indicador de Risco Sísmico Urbano, SIRIUS (ver Capítulo 7), construído de forma simples, que permite identificar as áreas mais expostas ao risco – resultante da conjugação da vulnerabilidade das construções com a densidade populacional. O uso deste indicador permite apoiar os estudos de planeamento e os gestores no processo decisório da seguinte forma:

- Localizar as zonas do município que merecem maior atenção no que respeita ao risco sísmico, tendo em consideração: i) o tipo de solo, ii) o tipo de construção e iii) classe de

importância das construções (definida pelo seu uso ou função);

- Informar os decisores sobre a vulnerabilidade das construções existentes e sobre as a construir, e quais as opções a tomar em termos de estratégias de planeamento.

Neste último capítulo e no âmbito deste trabalho, deverá ainda ter lugar uma discussão de algumas evidências e preocupações que não podemos descurar, sendo igualmente apresentadas algumas formas de prevenção e mitigação do risco, a seguir referidas.

10.2. Como implementar políticas de mitigação do risco sísmico em Portugal

Em Portugal tem-se feito muito o diagnóstico, criando ferramentas úteis como aquelas que se desenvolvem nesta dissertação. É importante sublinhar que há um extraordinário esforço de pesquisa por parte da comunidade científica, de sistematização teórica que muito pode contribuir para formulação de propostas de políticas públicas na temática da redução do risco.

Para alguns casos fizeram-se propostas de intervenção a curto e médio prazo. Contudo, não tem sido possível implementar de uma forma generalizada aquilo que é proposto pelos diferentes sectores da sociedade científica. Parece não existir vontade política em coordenar e utilizar todas as possibilidades científicas, técnicas, jurídicas e financeiras com vista a assegurar a protecção, a conservação e a valorização de pessoas e do seu património cultural e natural. Embora não se queira fazer uma análise extensa sobre esta matéria há uma série de princípios claros a usar no estabelecimento de metas, bem como as principais preocupações no desenvolvimento e execução de políticas públicas. Estes princípios e metas são indicados a seguir.

10.2.1. ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E RISCO SÍSMICO

Não podemos escamotear o facto de que em Portugal a tomada de medidas contra sismos carece de interesse político nessa matéria. Assim, um primeiro e particularmente importante dado a reter neste domínio, tal como referido no Capítulo 3, consiste em apontar alguns exemplos que permitem avaliar o problema actual sobre esta matéria:

i) Aumento da ocupação urbana nas áreas de risco.

ii) Acréscimo da população exposta ao risco sísmico.

iii) Ausência de vontade política para o cumprimento de regras de ordenamento nas zonas mais problemáticas (sismos, deslizamentos, zonas inundáveis).

iv) Falta de fiscalização e controlo da qualidade na construção.

v) Divergências de percepção entre técnicos de vários sectores (planeamento, geografia, geologia, engenharia, biologia, entre outras).

vi) Falta de equipas técnicas e de técnicos com formação nas Câmaras Municipais, afectos à elaboração ou acompanhamento de elaboração dos Planos, por um lado. Por outro, falta de qualidade técnica das equipas técnicas externas a quem são adjudicadas a elaboração dos Planos.

vii) Falta de coordenação entre autoridades locais e entidades centrais e regionais.

viii) Ausência de informação pública e de consciencialização das populações.

Cabe ao Estado tomar todas as medidas necessárias para fazer face a estas lacunas. Não esquecer que as autarquias locais apresentam um leque de competências de vária ordem, aplicado à área de jurisdição do respectivo concelho. Salientam-se, entre outras, a competência de elaborar e aprovar os planos municipais de ordenamento do território (PDM, PP e PU); concessão de licenciamentos ou autorização das operações de loteamento urbano, obras de urbanização e obras particulares (Decreto-Lei n.º 26/2010, de 30 de Março que introduz alterações e republica o Decreto-Lei n.º 555/99, de 16 de Dezembro (regime jurídico de urbanização e edificação)).

10.2.2. EDUCAÇÃO COMO PLATAFORMA PARA AUMENTAR A RESILIÊNCIA DAS COMUNIDADES

A educação é uma plataforma para aumentar a resiliência das comunidades, contribuindo para a mudança de pensamento das gerações futuras em prol de uma cultura de segurança. A introdução de livros no mercado para os mais novos, a alteração do curriculum escolar, a educação e preparação dos professores para as temáticas do risco devem ser trabalhadas para estes poderem passar a informação aos alunos.

Podem ser inseridos nos programas curriculares e nas áreas de projecto (área curricular não disciplinar) programas de consciencialização sobre os sismos com a criação de iniciativas e participação em projectos com o apoio das instituições universitárias e laboratórios, à semelhança do que ocorre nos E.U.A., em que há um intercâmbio entre a universidade e o ensino secundário, de forma a contribuir para a disseminação dos conhecimentos adquiridos em experiências e construções do tipo LEGO e K'Nex (Figura 10.1). Promover o intercâmbio, as competições entre escolas, os *workshops*, entre outras acções. "Aprender brincando": aprende-se melhor fazendo, estando-se envolvido no processo de reflexão e nas actividades propostas. Note-se que geralmente recordamos 20% do que ouvimos, 40% do que vemos e 80% do que fazemos.

Figura 10.1 – Exemplo de construção com LEGO inserido no programa "Shakes&Quakes"
Fonte: EERIUND, 2010

Neste contexto, foi publicada em Diário da República a Recomendação n.º 5/2011 do Conselho Nacional de Educação sobre Educação para o Risco. Trata-se de um documento que faz a chamada de atenção para as várias ameaças que a sociedade está sujeita "quer sejam as ameaças ao ambiente, os perigos de confronto militar, a crise económica e financeira, as ameaças à saúde e falta de segurança, a generalização de epidemias à escala mundial, todas estas ameaças ajudam a configurar o que actualmente designamos como uma "sociedade de risco"." A Recomendação reconhece que "por força dos próprios pilares do Estado democrático, urge agir e promover uma Educação para o Risco, ou seja, para a tomada de decisões informadas. Estas decisões podem ser o resultado de um processo que envolva, entre outros, escolas, autarquias, museus e os *media*." Esta Recomendação aponta a escola como pólo de produção e difusão de informação sobre Educação para o Risco. Desta forma, a educação é uma componente fundamental no que respeita à intervenção sobre as vulnerabilidades face aos riscos, sendo que este novo paradigma tem como ideia central que o risco deve ser gerido e não deve ser aceite pacificamente. É preciso ter presente que influenciamos o comportamento da população por meio do ensino, da informação e dos exemplos práticos.

10.2.3. ENVOLVIMENTO DA COMUNIDADE ("COMMUNITY ENGAGEMENT")

Se o conhecimento continua a permanecer no meio científico e não é transferido para a população e para os agentes de decisão a nível local, que é onde os desastres ocorrem, então estes nunca ficarão a saber do que precisam para tomar acções para prevenir ou preparar-se para outros eventos. O poder local bem como os cidadãos devem fazer parte integral da avaliação do risco, da prevenção e dos processos de planeamento a fim de garantir que o conhecimento não ficou apenas nos estudos desenvolvidos. As questões técnicas com impacto público importante devem ser partilhadas e divulgadas à sociedade civil – é também uma forma de educação pública. Se existe risco é importante que a comunidade decida ou pelo menos tenha o conhecimento dos riscos a que está sujeita e a quanto risco quer estar sujeita. Afinal são os principais visados quando ocorre uma catástrofe pela consequente perda de empregos, aumento dos preços, perda de bens, etc.

Quando os órgãos de fiscalização são fracos ou limitados - o que geralmente acontece e não só em países em vias de desenvolvimento - as empresas raramente são multadas. Por esta razão, as empresas que infringem as normas e o estipulado nos projectos, não têm muitos incentivos para mudar os seus procedimentos e as empresas que respeitam os parâmetros legais têm ainda menos incentivos para continuar a fazê-lo.

Diante dessas limitações, podemos ter uma nova abordagem – e à semelhança do *Greening Industry* (Wheeler, 2000) que combina incentivos baseados no mercado e na divulgação pública de informações para estimular os administradores de fábricas a manterem um melhor desempenho ambiental ao mesmo tempo que procuram produzir lucros – passa por aumentar a influência das comunidades e do meio científico, compilando estatísticas e estudos fiáveis sobre a perigosidade, vulnerabilidade e risco sísmico e divulgando-as ao público de forma fácil de perceber. No caso do programa *Greening Industry*, por exemplo, os funcionários do governo da Indonésia dão uma classificação aos poluidores da água: i) preto para as empresas que nada fazem para controlar a poluição e causam danos graves; ii) vermelho para as que adoptam alguns controles da poluição mas não cumprem todas as normas; iii) azul para as que atendem aos padrões nacionais e iv) verde para as que são muito mais limpas do que as normas requerem. As indústrias que se comportam segundo os padrões internacionais recebem uma classificação dourada, mas até agora nenhuma empresa a mereceu.

Muito embora a capacidade de fiscalização dos governos possa ser limitada, as pressões dos mercados e das comunidades, decorrentes da divulgação da informação forçará as empresas a cumprirem essas normas. Assim o governo, as comunidades e os mercados têm funções importantes a desempenhar na redução do risco. A informação ao público permite que os consumidores, banqueiros e accionistas avaliem o desempenho de uma empresa antes de decidir se devem conceder empréstimos para novas construções ou negociar as acções da empresa, por exemplo.

Se transpusermos para o risco sísmico a ideia do *Greening Industry*, podemos obter um *rating* de empresas que cumprem (ou não os regulamentos) em projecto e em obra e até obter um *rating* de concelhos ou freguesias que estão melhor preparadas; a população como está melhor informada começa a apostar e exigir obras de reabilitação que contemplem o reforço sísmico; ou seja, começa a haver um estímulo em investir na mitigação.

As forças motrizes deste tipo de iniciativas podem começar pela Sociedade Portuguesa de Engenharia Sísmica, universidades e laboratórios, bem como com organizações não-governamentais ou movimentos culturais e artísticos de envolvimento na comunidade. A arte urbana é um dos exemplos do envolvimento de minorias em acções de pressão de consciencialização da comunidade (Figura 10.2).

Figura 10.2 – Ligação da arte urbana à consciencialização da população

A actual frágil situação económica em que se encontra o Estado Português, que foi obrigado a solicitar ajuda externa às instituições internacionais, tendo para o efeito assinado um Memorando de Entendimento com a Comissão Europeia, o Banco Central Europeu e o Fundo Monetário Internacional, não permitem a disponibilidade de recursos para projectos de investimento, mas sim para aqueles que gerem retorno económico para o país e melhorem a competitividade das empresas. Sendo função do Estado garantir a segurança de pessoas e bens, uma correcta articulação entre a comunidade, as autarquias, as empresas e as políticas económicas e do ordenamento do território poderão em muito contribuir para a mitigação dos efeitos de um sismo. Quando esteja em causa a ocupação de solos que se localizem em áreas de perigosidade moderada ou elevada, os requerentes de pedido de informação prévia ou de licença de obras particulares, de obras de urbanização ou de operação de loteamento devem fazer prova, através de estudo adequado, de que o empreendimento, tal como se encontra projectado, não é susceptível de pôr em perigo a segurança de pessoas e bens, a fim de evitar e reduzir os impactos negativos dos sismos nas zonas em causa.

Trata-se de um processo longo que envolve educação/sensibilização/informação/participação (Figura 10.3) mas pode ser levado a cabo com sucesso.

Figura 10.3 – Envolvimento da comunidade
Fonte : DSE, n.d.

10.2.4. ENVOLVIMENTO E RESPONSABILIZAÇÃO DOS VÁRIOS ACTORES

Um sistema de elevada complexidade como é o do risco sísmico em meio urbano, para mais sem uma dependência hierárquica unívoca dos seus intervenientes, só pode ser gerido com alguma eficiência desde que todos os agentes envolvidos tenham uma ideia clara dos seus objectivos de desempenho e assumam as suas responsabilidades. Esse desígnio passa pela assunção conjunta de um Pacto de Segurança, elaborado com participação de todas as entidades relevantes, da qual constem os objectivos globais e específicos de desempenho, e pelo estabelecimento de uma classificação/exigência/certificação às empresas que se propõe a garantir esse desempenho. Em primeiro plano fica estabelecido o compromisso político perante a população e em segundo vincula-se as relações entre os agentes.

A responsabilização das autoridades locais, nacionais, construtores se algo falha com os cidadãos que utilizam os equipamentos públicos, deve ser encorajada. Alguns países têm centenas de milhar de escolas a serem avaliadas, inclusive Portugal já estudou vários desses equipamentos como referido no Capítulo 6, entre outros desenvolvidos para a Área Metropolitana de Lisboa (Ferreira et al., 2007) e a ilha do Faial (Ferreira et al., 2008). Só havendo uma política pública e interesse em combinar os recursos administrativos, financeiros e técnicos para salvaguardar a vida e o bom funcionamento das estruturas urbanas, é que começarão a ter relevo os estudos até então desenvolvidos, caso contrário vão permanecer como até então, com pouca ou nenhuma aplicabilidade prática.

É cada vez mais importante também o envolvimento das empresas (*stakeholder engagement*) e das partes interessadas, em relação aos riscos e impactos que os seus projectos e estruturas são susceptíveis de criar, para si e para as comunidades que consomem os seus serviços e produtos. Imagine-se o Complexo Industrial de Sines, onde se localizam as grandes indústrias pesadas como sejam a petroquímica, a central termoeléctrica, entre outras actividades. As suas acções afectam não só o concelho mas todo o país. Quanto maiores e mais graus de complexidade existirem nas empresas/áreas industriais, maior alcance terão os seus impactos sobre diversos grupos interessados, obrigando a um maior ênfase à estratégia e à transparência na informação.

10.2.5. CERTIFICADO DE QUALIDADE SÍSMICA DAS CONSTRUÇÕES

As consequências da falsa sensação de segurança que o Estado transmite aos cidadãos, relacionada com a existência de um Regulamento de Segurança e Acções cujo incumprimento não é penalizado, podem ser muito graves e devastadoras. Para minimizar este problema, a maioria das respostas aponta no sentido da disponibilização aos cidadãos de um indicador da qualidade das construções ou do seu nível de vulnerabilidade. Assim, é relevante a criação de uma legislação que obrigue à certificação que comprove a segurança sísmica de todos os edifícios de serviços ou habitação. Na Nova Zelândia, foi desenvolvida uma Norma (NZS 4306:2005 Residential Property Inspection) que estabelece os requisitos mínimos para a inspecção visual de edifícios residenciais, e para a preparação dos relatórios de inspecção

(disponível em http://www.standards.co.nz/). Esta Norma dá orientações aos inspectores e fornece aos proprietários, vendedores e financiadores uma garantia da condição da propriedade, que lhes permite tomar decisões informadas antes de comprar e, consequentemente permite uma avaliação justa do imóvel, beneficiando todas as partes com interesse na propriedade. Existem várias empresas certificadas que fazem estas inspecções (Figura 10.4).

Figura 10.4 – Empresa de inspecção de imóveis "Property check" (Nova Zelândia)

Esta certificação surge assim como um mecanismo mais eficaz no controlo da qualidade da construção e, uma vez divulgados à sociedade civil, possibilitam a depreciação do valor das construções, por falta de segurança em relação às acções sísmicas.

10.2.6. POLÍTICA DE REABILITAÇÃO URBANA

"Várias áreas urbanas, em particular os centros históricos das cidades, enfrentam sérios problemas de obsolescência dos edifícios, infra-estruturas e equipamentos, com níveis de degradação que repelem a população e as actividades económicas. A valorização das potencialidades destas áreas e, sobretudo, a salvaguarda do património que estes espaços representam tornam urgente dinamizar a sua reabilitação (Programa POLIS XXI)".

Nesse sentido, em 2004 foi dado aos municípios o poder de criarem Sociedades de Reabilitação Urbana visando a promoção de operações de reabilitação de áreas delimitadas

das cidades. Estas Sociedades de Reabilitação Urbana são empresas públicas que dispõem de poderes especiais de intervenção, nomeadamente em matéria de licenciamento e expropriação. Para estimular a reabilitação dos edifícios pelos seus proprietários e atrair capitais privados para a reabilitação destas áreas, a Lei do Orçamento de Estado para 2008 criou um regime extraordinário de apoios fiscais à reabilitação urbana, com impacto em matéria de impostos sobre o imobiliário, do IVA e dos impostos sobre os rendimentos dos Fundos de Investimento Imobiliário. A reabilitação de edifícios conta ainda com apoios de natureza financeira (programas RECRIA, RECRIPH, SOLARH e REHABITA), concedidos pelo Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana (IHRU) sob a forma de empréstimos ou comparticipações a fundo perdido.

Há necessidade de especializar e qualificar as empresas de construção em algumas das áreas de reabilitação, devido à especificidade e complexidade das intervenções a executar.

10.2.7. FICHA PARA AVALIAÇÃO DE DANOS E FORMAÇÃO DE INSPECTORES

É importante destacar a pouca vontade demonstrada pelos políticos e administradores locais portugueses (responsáveis pela gestão de emergência) em criar uma ficha de avaliação de danos pós-sismo. Em Portugal, nesta matéria são de registar: a falta de uma tendência unitária em escolher ou aplicar a melhor metodologia para recolha e avaliação de danos, bem como a falta de procedimentos e formulário para a realização de fichas de avaliação de danos. Finalmente, a falta de inspectores treinados para avaliar os danos assume-se como outro grave problema. Esta situação, num futuro sismo em território nacional irá causar mais problemas na gestão da crise, não só em termos financeiros, como de estrutura para a recolha de dados, bem como um atraso no processo de reconstrução. Esta é mais uma linha de pesquisa e trabalho com um longo percurso a trilhar.

10.2.8. PARA REFLEXÃO. O CONTEXTO ACTUAL

Não obstante a seriedade da matéria e conforme oportunamente referido, a Segurança constitui um dos pontos de vista para a edificação deste trabalho. Deste modo, não se consegue ficar alheio ao artigo do jornal Público, do passado dia 4 de Janeiro de 2012 (Henriques, 2012). Neste artigo são relatadas as dificuldades e as faltas de condições de trabalho com que os bombeiros se deparam, fazendo um panorama sobre a situação de (in)segurança da cidade de Lisboa. Ficam aqui alguns excertos para reflexão:

“(…) Em Novembro os bombeiros salvaram a vida a uma mulher encurralada pelas chamas numa varanda da Rua Barão de Sabrosa, mas o acto heróico podia ter-lhes corrido mal, segundo contam: "Podia ter morrido toda a gente, vítima e bombeiros, porque não havia homens suficientes para cortar a luz e o gás."

"(…) Não há registo de controlo dos nossos aparelhos respiratórios e os carregadores das garrafas de ar estão avariados, estando a ser usados compressores portáteis para essa função".

“(…) Vários dos carros que andam na cidade a combater fogos têm mais de 20 anos (…). Nas oficinas do regimento estão 20 veículos parados. "Têm peças avariadas que às vezes nem cem euros custam". Noutros casos, saem para a rua mesmo com problemas: "Há um veículo de combate a incêndios no quartel da Avenida Rio de Janeiro que está ao serviço com a bomba de água avariada. O motor pode gripar a qualquer momento".

“(…) As auto-escadas são outro problema: apenas há três ao serviço para a cidade inteira. (…) Povoadas de prédios com mais de dez andares, zonas como a Alta de Lisboa e o Parque das Nações "têm uma carência de socorro brutal".(…).”

“We must, above all, shift from a culture of reaction to a culture of prevention. Prevention is not only more humane than cure; it is also much cheaper… Above all, let us not forget that disaster prevention is a moral imperative, no less than reducing the risks of war.” (In IDNDR. A Safer World in the 21st Century. Disaster and risk reduction. Programme Forum, Geneva, July 1999)."

11| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alarcón, J.E.; Taucer, F. e So, E. (2008). The 15 August 2007 Pisco, Peru, earthquake - post-earthquake field survey. *Proceedings, 14th World Conference on Earthquake Engineering*. Beijing, China 12-17 October.

Arg-e-bam (n.d.). (imagem online) Disponível em http://ormeenuvole.blogspot.com/2011/04/e-storia-rovine-e-trionfi.html.

Ambraseys, N.N. (1981). The El Asnam (Algeria) earthquake of 10 October 1980; Conclusions drawn from a field study. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 14:143-148, doi:10.1144/GSL.QJEG.1981.014.02.05

Anexo Nacional do EC8 (2009). Documento de trabalho da CT115, LNEC, Lisboa, Fevereiro.

Appleton, J. (2008). Módulos do curso projectos de reabilitação de edifícios pombalinos. Appleton Square, Lisboa.

Applied Technology Council (ATC) (1985). *ATC-13, Earthquake damage evaluation data for California*. Applied Technology Council, Redwood City, California, USA.

Applied Technology Council (ATC) (1988). *ATC-21, Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A handbook*. Applied Technology Council, for the Federal Emergency Management Agency, FEMA-154 Report, Washington, D.C., USA.

Applied Technology Council (ATC) (2008). *ATC-69, Reducing the risks of nonstructural earthquake damage, state-of-the-art and practice report*. Applied Technology Council for the Federal Emergency Management Agency in cooperation with the National Earthquake Hazard Reduction Program, Redwood City, California, USA.

Asian Development Bank and World Bank (ADB-WB) (2005). *Preliminary damage and needs assessment*. Prepared by Asian Development Bank and World Bank.

Autoridade Nacional de Protecção Civil (Ed.). Direcção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano. Instituto Geográfico do Exército (Co-Eds.), (2009). *Guia metodológico para a produção de cartografia de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal*. ISBN 978-989-96121-4-3.

Aydan, O.; Ulusay, R. e Miyajima, M. (2003). *The Bingol earthquake of May 1, 2003.* Japan Society of Civil Engineers, p. 96

Baggio, C.; Bernardini, A.; Colozza, R.; Corazza, L.; Della Bella, M.; Di Pasquale, G.; Dolce,M.; Goretti, A.; Martinelli, A.; Orsini, G.; Papa, F e Zuccaro, G. (2007). *Field Manual post-earthquake damage and safety assessment and short term countermeasure (AeDES)*. European Comission. Joint Research Centre. Institute for the Protection and Security of the Citizen.

Baptista, M.A.C.V. (1998). *Génese, propagação e impacto de tsunamis na costa portuguesa*.

Tese de Doutoramento. Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa. 202 pp.

BBC News (2011). *In pictures: Japan earthquake and tsunami*. (imagem online) consultado em 11 de Março de 2011, em: http://www.bbc.co.uk/news/world-asia-pacific-12709791

Bendimerad, F. (2004). Earthquake vulnerability of school buildings in Algeria. *Keeping schools safe in earthquakes*. OECD publication, Paris, p 35-44.

Benedetti, D.e Petrini V. (1984). On seismic vulnerability of masonry buildings: proposal of an evaluation procedure. The industry of constructions, 18: 66-78.

Bilham, R. (2009) The seismic future of cities, 12th annual Mallet-Milne Lecture. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 1-49, doi: 10.1007/s10518-009-9147-0.

Bonanno, G. (2004). Loss and trauma, and human resilience, *American Psychologist*, 59(1): 10-28.

Boschi, E.; Amato, A.; Chiarabba, C.; Meletti, C.; Pantosti, D.; Selvaggi, G.; Stucchi, M. e Valensise, G. (2009). *Prima del terremoto del 6 Aprile 2009: Conoscenze ed ipotesi sismologiche*. Progettazione Sismica, IUSS Press Pavia, p 15-22.

Bouhadad, Y.; Nour, A.; Slimani, A.; Laouami, N. e Belhai, D. (2004). The Boumerdes (Algeria) earthquake of May 21, 2003 (Mw 6.8): Ground deformation and intensity. *Journal of Seismology*. 8(4): 497-506.

Braga F.; Dolce M. e Liberatore D. (1982). A statistical study on damaged buildings and an ensuing review of the M.S.K76 scale. *Proceedings, 7th European Conference on Earthquake Engineering.* Athens, Greece, September.

Bombeirospontopt (2009). Bombeiros abastecem água à população no concelho de Torres Vedras. *Bombeirospontopt blog*, (Blog) 26 de Dezembro de 2009, Disponível em: http://bombeirospontopt.blogspot.com/2009/12/bombeiros-abastecem-agua-populacao-no.html

Bruneau, M.; Chang, S.; Eguchi, R.; Lee, G.; O'Rourke, T.; Reinhorn, A.; Shinozuka, M.; Tierney, K.; Wallace, W. e Von Winterfeldt, D. (2003). A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. *Earthquake Spectra*. 19(4): 733-752.

Cabral, J. (1995). *Neotectónica em Portugal Continenta*l. Memórias do Instituto Geológico e Mineiro, n.º 31, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, p 265.

Calvi, G.M.; Pinho, R.; Magenes, G.; Bommer, J.J.; Restrepo-Vélez, L.F. e Crowley, H. (2006). Developement of seismic vulnerability assessment methodologies over the past 30 years. *ISET Journal of Earthquake Technology*, (43)3: 75-104.

Calvi, G.M. (2010). L'Aquila earthquake 2009: Reconstruction between temporary and definitive. *Proceedings, 2010 NZSEE Annual Technical Conference*. Wellington, New Zealand, 26-28 March.

Cardona, O.D. (2001). *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

Cardona, O.D. (2003). *Information and indicators program for disaster risk management. The notion of disaster risk*. Inter-American Development Bank. Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Estudios Ambientales – IDEA.

Cardona, O.D. (2005). *Indicators of disaster and disaster risk management – main technical report*. IDB/IDEA Program of indicators for disaster risk management, National University of Colombia, Manizales.

Carvalho, A. (2007). *Modelação estocástica da acção sísmica em Portugal continental*. Tese de Doutoramento. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 304 pp.

Carvalho, E.C. e Oliveira, C.S. (1983). *Manual de construção anti-sísmica*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Castillo, E.D.R. (2009). Después del terremoto del 15 de agosto de 2007. *Puerto de Pisco* blog. (Blog), Disponível em: http://puertodepisco.blogspot.com/.

CCDRALG (2007) - *Plano Regional de Ordenamento do Território do Algarve (PROT-Algarve)*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento da Região do Algarve, Faro.

CEB (1978). *CEB-FIP Model Code for Concrete Structures*. Comité Euro-International du Béton (CEB) Lausanne, 1978.

Chávez, J. (1998). Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico a escala regional: Aplicación a Cataluña. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 343 pp.

Choffat, P. e Bensaúde, A. (1912). *Estudos sobre o sismo do Ribatejo de 23 de Abril de 1909*. Comissão do Serviço Geológico de Portugal, Lisboa, p 146.

Corsanego, A. e Petrini, V. (1994). Evaluation criteria of seismic vulnerability of the existing building patrimony on the national territory. *Ingegneria Sismica*. 1:16-24.

Costa, A.; Ferreira, M.A. e Oliveira, C.S. (2010). O grande sismo de Sichuan: Impactos e lições para o futuro. *Proceedings, Sísmica 2010 - 8º Congresso Nacional de Engenharia Sísmica*. Aveiro, Portugal, 20-23 Outubro.

Costa Lobo, M.; Pardal, S.; Correia, V.D.P. e Lobo, M.S. (1996). *Normas urbanísticas. Vol. 1 Princípios e conceitos fundamentais*. Direcção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal. 261 p.

Crollo della scuola elementare Francesco Jovine di San Giuliano di Puglia durante il terremoto del Molise e della Puglia del 31 ottobre 2002 (n.d.). (imagem online) Consultado em Outubro de 2005, em: http://www.ingegneriasismica.net/Tematiche/5CS/5CStecnologieM/5CStecnologieM_martelli03/5CStecnologieM_martelli03.htm.

Deprem yol (n.d.). (imagem online) Disponível em: http://www.resimle.net/resim-deprem-yol-1546.html

Dias, J.A. (n..d). *Casos de estudo: As cheias de Novembro de 1967 em Lisboa*. Consult. 13 Dez. 2010, em: http://w3.ualg.pt/~jdias/GEOLAMB/GA3_cheias/GA35_CheiasPortugal/GA35_cheiasPortugal.html.

Dilley, M.; Chen, R.S.; Deichmann, U. Lerner-Lam, A. e Arnold, M. (2005). *Natural disasters hotspot. A global risk analysis*. The World Bank, Hazard Management Unit, Washington, DC.

Di Pasquale, G.; Orsini, G.e Romeo, R.W. (2005). New developments in seismic risk assessment in Italy. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 3(1): 101-128.

DGOTDU (2002). *Normas para a programação e caracterização de equipamentos colectivos*. Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano, Lisboa.

Dolce, M.; Masi, A.; Marino, M. e Vona, M. (2003). Earthquake damage scenarios of the building stock of Potenza (Southern Italy) including site effects. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 1(1):115-140.

Dolce, M. (2004). Seismic safety of schools in Italy. *Keeping schools safe in earthquakes*. OECD publication, Paris, p. 53-63.

Dolce, M.; Di Pasquale, G.; Albanese, V.; Benetti, D.; Bramerini, F.; Coppari, S.; Corina, A.; De Rosa, G; De Sortis, A.; Emili, P.; Ferlito, R.; Filippi, L.; Giordano, F.; Goretti, A.; Lo Presti, T.; Lucantoni, A.; Mercuri, M.; Moroni, C.; Orlandi, N.; Paoli, G.; Papa, F.; Pizza, A.; Procida, F.; Rinaldelli, M.; Sergio S.; Severino, M.; Speranza, E.; Veschi, A.; Zambonelli, E.; Manfredi, G.; Di Ludovico, M.; Palermo, G.; Prota, A.; Verderame, G.; Corazza, L.; Cifani, G.; Mannella, A. e Martinelli, A. (2009). *Rilievi speditivi: sopralluoghi per l'agibilità sismica*. Progettazione Sismica, IUSS Press Pavia, p 97-105.

DSE (n.d). (Imagem online) Diponível em: http://www.dse.vic.gov.au/DSE/wcmn203.nsf/childdocs/-0B996EB412EAB883CA2570360014F01A-6BC40C338B25036ECA257036001555F2?open

Durrani, A.J.; Elnashai, A.S.; Hashash, Y.; Sung J.K. e Masud, A. (2005). *The Kashmir earthquake of October 8, 2005: A quick look report*. MAE Center report. Urbana-Champaign, IL: Mid-America Earthquake Center. OCLC 65167442.

EC (2010). *Risk assessment and mapping guidelines for disaster management*. Disponível em http://ec.europa.eu/echo/civil_protection/civil/prevention_risk_assessment.htm.

EERI (2001). Learning from earthquakes – Preliminary observations on the origin and effects of the January 26, 2001 Bhuj (Gujarat, India) earthquake. Earthquake Engineering Research Institute, Special Earthquake Report, April, pp. 16.

EERI (2003). L*earning from earthquakes - The Boumerdes, Algeria, Earthquake May 21, 2003*. Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California, pp. 71.

EERI (2005). Learning from Earthquakes - The Great Sumatra Earthquake and Indian Ocean

tsunami of December 26, 2004. Earthquake Engineering Research Institute, Special Earthquake Report, p 8.

EERI (2006). *Learning from Earthquakes - The Kashmir Earthquake of October 8, 2005: Impacts in Pakistan*. The Newsletter of the Earthquake Engineering Research Institute, 40(2): 1-8.

EERI (2007). *Learning from Earthquakes – The Pisco, Peru, Earthquake of August 15, 2007*. Earthquake Engineering Research Institute, Special Earthquake Report, p.12.

EERI (2010). *Learning from Earthquakes – The Mw 8.8 Chile earthquake of February 27, 2010*. Earthquake Engineering Research Institute, Special Earthquake Report, p.20.

EERI (n.d.). (imagem online) Disponível em: http://www.eeri.org/lfe/clearinghouse/sumatra_tsunami/overview.html.

EERIUND (2010). Earthquake Engineering Research Institute of Notre Dame. (imagem online) Consult. 9 Jan. 2012, em: http://www.nd.edu/~eeriund/shakes.htm.

EEFIT (2003). The Bingol, Turkey earthquake of the 1st of May 2003. A field report, pp. 44.

EFE (2010). *Comunidad internacional esperaba luz verde para el envío de ayuda*. (imagem online) Disponível em: http://www.elmostrador.cl/noticias/mundo/2010/03/01/comunidad-internacional-esperaba-luz-verde-para-el-envio-de-ayuda-a-chile/.

ElComercio.pe (2010). *Tras el terremoto en Chile, Piñera firma decreto de austeridad y habla de economía de guerra*. (imagem online) Disponível em: http://elcomercio.pe/mundo/449571/noticia-terremoto-chile-pinera-firma-decreto-austeridad-habla-economia-guerra.

EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database – www.emdat.be, Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium.

EN 1998-1 (2004). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. CEN, Bruxelas, Bélgica, November.

Erdik, M; Demircioğlu, M.; Beyen, K.; Şeşetyan, K.; Aydõnoğlu, N.; Gul, M.; Siyahi, B.; Önem, G.Tüzün, C.; Salkõn, A. e Kaya, Y. (2003). *May 01, 2003 Bingöl (Turkey) earthquake*. Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, 30 p.

ERSTA (2010). Estudo do risco sísmico e de tsunamis do Algarve. Autoridade Nacional de Protecção Civil. Carnaxide, Portugal.

Eshghi, S e Zare, M. (2003). *Bam (SE Iran) earthquake of 26 December 2003, M_w 6.5: A preliminary reconnaissance report.* International Institute of Earthquake Engineering and Seismology.

Ferreira, M.A.; Proença, J.M; Oliveira, C.S. e Andonov, A. (2007). Avaliação do risco sísmico das instalações escolares na Área Metropolitana de Lisboa. Uma metodologia baseada na EMS-98. *Proceedings, Sísmica 2007. 7º Encontro Nacional de Sismologia e Engenharia*

Sísmica. Porto, 26-28 Setembro.

Ferreira, M.A. (2008). Classificação dos danos no edificado com base na EMS-98. Em: Oliveira, C.S.; Costa. A.; Nunes, J.C. (Eds.). *Sismo 1998 - Açores. Uma década depois*. Governo dos Açores/SPRHI, S.A., pp 501-512.

Ferreira, M.A. e Proença, J.M. (2008). Seismic vulnerability assessment of the educational system of Bucharest. *Proceedings, 14th World Conference on Earthquake Engineering*. Beijing, China, 12-17 October.

Ferreira, M.A. (2009). L'Aquila earthquake viewed from World Wide Web. A preliminary report - the first week. *The Newsletter of the European Association for Earthquake Engineering*, 27(1): 6-16.

Ferreira, M. A.; Oliveira, C. S. e Sá, F. M. (2011). Estimating human losses in earthquake models: A discussion. In Spence, R.; So, E.; Scawthorn, C. (Eds.) 2011. *Human casualties in earthquakes: progress in modelling and mitigation.* Springer Science+Business Media B.V. Ch. 17, pp. 255-266.

Fonseca, B. (n.d.). *São Jorge Digital*. Consult. 10 Dez. 2010 em: http://www.galaia.pt/Clientes/SJorge/historia/datas/1964_crise_sismica.php

Forjaz, V.H., Nunes, J.C., Guedes, J.C. e Oliveira, C.S. (2001). Classificação Geotécnica de Solos das Ilhas dos Açores: Uma Proposta, *Proceedings, 2º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG*, *3º Encontro Luso-Espanhol de Meteorologia.* Évora, Portugal, 12-15 Fevereiro 2001. Pp. 76-81.

Galanti, E.; Goretti, A.; Foster, B e Di Pasquale, G. (2006). Civil protection management. In Oliveira, C. S.; Roca, A.; Goula, X. (Eds.). *Assessing and managing earthquake risk. Geo-scientific and engineering knowledge for earthquake risk mitigation: developments, tools, techniques* (pp. 369-384). Springer.

Galeria EERI Haiti social impacts team's (2010). (imagem online) Disponível em http://www.flickr.com/photos/47984960@N04/

Gao, H. (2000). *GIS-based seismic performance analysis of water delivery systems*. Thesis Doctoral, Harbin: Institute of Engineering Mechanics, China Seismological Bureau (in Chinese).

GEPE. (2007). Gabinete de Estatística e Planeamento da Educação, Ministério da Educação. Consult. Jan. 2007, em: http://www.giase.min-edu.pt/IndSintese0506.asp.

GEPE. (2009). Gabinete de Estatística e Planeamento da Educação, Ministério da Educação. Consult. Set. 2009, em: http://www.gepe.min-edu.pt/np4/9.html.

Ghafory-Ashtiany, M.e Hosseini, M. (2007). Post-Bam earthquake: recovery and reconstruction. *Natural Hazards*, 44(2): 229-241.

Giovinazzi, S. e Lagomarsino, S. (2004). A macroseismic method for the vulnerability assessment of buildings. *Proceedings, 13th World Conference on Earthquake Engineering.*

Vancouver, Canada, 1-6 August. Paper n.º 896.

Giovinazzi, S. e Lagomarsino, S. (2001). Una metodologia per l'analisi di vulnerabilità sismica del costruito", *Proceedings, X Congresso Nazionale on L'Ingegneria Sismica in Italia*. Potenza-Matera, Italy, 9-13 Setembro. Paper nº. 121.

Glionna, J.M. (2011). *Gas suggests new problem at stricken Japan nuclear plant.* Los Angeles Times (online), 2 Novembro. Consult. 2 Nov. 2011, em: http://latimesblogs.latimes.com/world_now/2011/11/march-11-earthwuake-and-tsunami-fukushima-daiichi-plant-nuclar-meltdown-and-evacuation.html.

Global Education (2009a). *Indian Ocean Tsunami*. Disponível em: http://www.globaleducation.edna.edu.au/globaled/go/cache/offonce/pid/2258.

Global Education (2009b). *Indian Gujarat Earthquake, 26 January 2001.* Consult. em Dez. 2009, em: http://www.globaleducation.edna.edu.au/globaled/go/pid/1248,

GNDT (1993). Rischio sismico di edifici pubblici, Parte I: Aspetti metodologici. *Proceedings, CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti.* Roma, Itália.

Gordon, P; Richardson, H.W. e Davis, B. (1998). Transport-related impacts of the Northridge earthquake. *Journal of Transportation and Statistics*, 1(2): 21-36.

Granger, K.; Jones, T.; Leiba, M. e Scott, G. (1999). *Community risk in Cairns: A provisional multi hazard risk assessment, AGSO Cities Project Report n.º 1*. Australian Geological Survey Organisation, Canberra.

Grünewald, F..; Binder, A. e Georges, Y. (2010). *Inter-Agency real time evaluation in Haiti: 3 months after the earthquake. Final report.* Produced for IASC by Groupe URD and GPPi.

Grünthal, G. (Ed.) (1998). *European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98)*. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie 15, Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg, 99 pp.

Grünthal, G. (Ed.) (1993). *European macroseismic scale 1998*. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, 7, Luxembourg, p 1-79.

Gülkan, P. e Langenbach, R. (2004). The earthquake resistance of traditional timber and masonry dwellings in Turkey. *Proceedings, 13th World Conference on Earthquake Engineering*. Vancouver, B.C., Canada, 1-6 August 2004. p 15.

Hada, Y.e Meguro, K. (2000). Optimum restoration model considering interactions among lifeline systems -interactions among restoration activities of lifeline utilities. *Proceedings, 12th World Conference on Earthquake Engineering*. Auckland, New Zealand, 30 Jan-4 February. p 7.

Hammer, M. (2011). *Haitian gingerbread houses.* (imagem online) Disponível em: http://archrecord.construction.com/news/2011/06/110601-Haiti-Gingerbread.asp.

Happy Hearts Fund (n.d.). *Peru Case study*. Consult. 14 Dez. 2010, em: http://www.happyheartsfund.org/case_study_peru.php

HAZUS99 (1999). *Earthquake loss estimation methodology*. Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.

Henriques, A. (2012). Teríamos muita dificuldade em dar socorro adequado num incêndio como o do Chiado. *Jornal Público*. Consult. 4 Jan. 2012.

Hirn, A.; Haessler, H.; Tronc, P.H.; Wittlinger,. G. e Victor, L.M. (1980). Aftershock sequence of the January 1, 1980, earthquake and present-day tectonics in the Azores. *Geophysical Research Letters*, 7: 501-504.

Iemura, H.; Takahashi, Y.;Sukamdo. P.; Pradono, M. H. e Kurniawan, R. (2005). Tsunami questionnaires and bridge damage surveys in Banda Aceh for city restoration planning and urban design. *Memorial Conference on the 2004 Giant Earthquake and Tsunami in the Indian Ocean*.

International Institute of Engineering Earthquake and Seismology (IIEES). (2003). *Engineering geology and geotechnical aspects of Bam earthquake (Preliminary report)*. Disponível em: http://www.iiees.ac.ir/iiees/English/bank/Bam/bam_report_english_geo.html.

Indirli, M.; Clemente, P e Spadoni, B. (2004). The reconstruction of San Giuliano di Puglia after the October 31st 2002 earthquake. *Proceedings, 13th World Conference on Earthquake Engineering*. Vancouver, B.C., Canada, 1-6 August 2004. Paper No. 1805.

INE (2002). Instituto Nacional de Estatística, Censos 2001 – XIV Recenseamentos Geral da População – XIV Recenseamento Geral da Habitação, Lisboa, Portugal.

INEE (2009). *Guidance notes on safer school construction.* Interagency Network for Education in Emergencies. 113 pp.

JBDPA (1990). *Standard for seismic capacity assessment of existing reinforced concrete buildings*. Japanese Building Disaster Prevention Association, Ministry of Construction, Tokyo, Japan.

JSCE (2001). The January 13, 2001 off the coast of El Salvador earthquake. Investigation of damage to civil engineering structures, buildings and dwellings. Japan Society of Civil Engineers. p 112.

Kaplan, H.; Yilmaz, S.; Binici, H.; Yazar, E.; Çetinkaya, N. (2004). May 1, 2003 Turkey—Bingöl earthquake: damage in reinforced concrete structures. *Engineering Failure Analysis*, 11(3): 279-291.

Karl V. Steinbrugge Collection. (n.d.). Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley. (imagem online) Disponível em: http://www.ce.washington.edu/~liquefaction/html/what/what1.html.

Keeney, R.L. e Raiffa, H. (1976). Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs. Wiley, New York.

Keeney, R.L. (1992). *Value-focused thinking: a path to creative decisionmaking*. Harvard

University Press, Cambridge.

King, D. (2001). Uses and limitations of socioeconomic indicators of community vulnerability to natural hazards: data and disasters in northern Australia. *Natural Hazards*, 24(2): 147-156.

KOERI (2003a). Scientific and Technical Research Council of Turkey Tubitak Marmara research center, Preliminary Report. Seismological Laboratory in Koeri.

KOERI (2003b). May 1, 2003 Bingöl (Turkey) earthquake, Preliminary Report.

Kramer, S.L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. 1 edition, Prentice Hall, New Jersey. 653 pp.

Lall, S.V. e Deichmann, U. (2009). *Density and disasters: Economics of urban hazard risk*. Policy Research Working Paper n.º 5161, The World Bank.

Laouami, N.; Slimani, A.; Bouhadad, Y e Nour, A. (2003). The 05/21/2003 Boumerdès Earthquake: Preliminary analysis. Intern Report. CGS.

Laris, K. (2010). The Washington Post. (imagem online) Consul. 23 Fev 2010.

Latercera online (2010a). *Interactivo: Réplicas del terremoto en detalle*. Consult. 5 Mar. 2010, em: http://www.latercera.com/contenido/687_19720_4.shtml.

Latercera online (2010b). *Buscan fosos para depositar tres millones de metros cúbicos de escombros de la RM*. Consult. 17 Mar. 2010, em: http://www.latercera.com/contenido/680_234634_9.shtml.

Latimes (2010). (imagem online). Consult. Jan. 2010, em http://www.latimes.com/media/photo/2010-01/51639473.jpg

Liu-Zeng, J.; Zhang, Z.; Wen, L.; Tapponnier, P; Sun, J.; Xing, X.; Hu, G.; Xu, Q.; Zeng, L.; Ding, L.; Ji, C.; Hudnut, K.W. e Van der Woerd, J. (2009). Co-seismic ruptures of the 12 May 2008, Ms 8.0 Wenchuan earthquake, Sichuan: East-west crustal shortening on oblique, parallel thrusts along the eastern edge of Tibet. *Earth and Planetary Science Letters*, 286(3-4): 355-370.

Lopes, M. (2008). Em: Lopes, M. (Ed.) - *Sismos e edifícios*. Edições Orion. 760 pp.

Lopes, M. (2010). *Mau tempo na zona Centro causou 15 milhões de euros de prejuízos*, Público online. Consult. 9 Dez. 2010, em: http://www.publico.pt/Local/mau-tempo-na-zona-centro-causou-15-milhoes-de-euros-de-prejuizos_1470208.

Lopez, P. (2011). *Japan disaster Day: 6.* (imagem online) disponível em: http://www.heraldsun.com.au/news/photo-gallery/gallery-e6frf94x-1226022218950?page=2.

Machado, F.M. e Forjaz, V.H. (1965). A crise sísmica de S. Jorge, de Fevereiro de 1964. Boletim da Sociedade Geológica de Portugal 16; p 19-36.

Maggi, M.A. (2004). A characterization of S-shaped utility displaying loss aversion. Disponível em http://www.mfn.unipmn.it/~maggi/maggi_files/usloss.pdf

Manafpour, A.R. (2008). Bam earthquake, Iran: Lessons on the seismic behaviour of building structures. *Proceedings, 14th World Conference on Earthquake Engineering*. Beijing, China 12-17 October. p 8.

Manny Mogato (2011). *Tufão mata mais de 250 pessoas no sul das Filipinas*, Swissinfo.ch. (online). Consult. 17 Dez. 2011, em: http://www.swissinfo.ch/por/internacional/Tufao_mata_mais_de_250_pessoas_no_sul_das_Filipinas.html?cid=31785844

Martí, C.I. (2010). *Terremoto de Chile: informes de la situación desde el punto de vista sanitario OPS-OMS*, Madrid+d (online). Consult. 7 Mar. 2010 em: http://www.madrimasd.org/blogs/salud_publica/2010/03/04/131667.

Martí, J.R.; Hollman, J.A.; Ventura, C.E. e Jatskevich, J. (2008). Dynamic recovery of critical infrastructures: real-time temporal coordination. *International Journal of Critical Infrastructures (IJCI)*, **4**, Nos. 1/2, 17-31.

Martins, I.J., & Mendes-Victor, L.A. (1990): Contribuição para o estudo da sismicidade de Portugal Continental. P*ublicação n.º 18 do IGIDL*.

Mascarenhas, J. (2004). Sistemas de Construção V – O edifício de rendimento da Baixa Pombalina de Lisboa, Edições Livro Horizonte.

Maslow, A.H. (1943). A Theory of Human Motivation. Psychological Review, 50, p 370-396.

Masure, P. (1996). *Preventing planning, condition for the sustainable development of cities.* Methodological bases of the GEMITIS programs, DHA news, n.º 18.

Masure, P. e Lutoff, C. (2008). *Methodology on urban system exposure (USE) assessment to natural disasters*. BRGM Report, RISK UE project, Orléans, p 82.

MCEER (2010). *Haiti earthquake 2010: facts, engineering, images & maps*. Consult. Fev. 2010, em : http://mceer.buffalo.edu/infoservice/disasters/Haiti-Earthquake-2010.asp.

Menoni, S. ; Pergalani, F. ; Boni, M.P. e Petrini, V. (2002). Lifelines earthquake vulnerability assessment: a systemic approach, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. **22**, 1199-1208.

Milutinovic, Z.V. e Trendafiloski, G.S. (2003). WP04. Vulnerability of current buildings. RISK-UE project: An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns. Contract No.EVK4-CT-2000-00014. Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology (IZIIS), Skopje, 109 p.

Minerva (n.d.). *As calamidades dos Açores no séc. XX*. Consult. 2010 em: http://www.minerva.uevora.pt/eschola/acores/calamidades.htm.

Miss Kappa (2010). Parto. *Miss Kappa*. (Blog), Consult. Set. 2010, em: http://miskappa.blogspot.com/2010/09/parto.html.

Moreira, V.S. (1991). Sismicidade histórica de Portugal Continental, 2nd revised edn. Rev INMG, Lisbon, p 79.

Mota de Sá, F; Oliveira, C.S. e Ferreira, M.A. (2011). SIRIUS, Seismic risk Indicator in urban space. *Earthquake Spectra*. (submitted).

Murai, S. (2011). *Lessons from the disaster os east Japan Great earthquake and tsunami 311*, Disponível em: http://www.isprsc.org/material/Lessons_from_the_Disaster_of_East_Japan_Great_Earthquake_and_Tsunami_Text.pdf.

Nunes, J.C. (1999). *A actividade vulcânica na Ilha do Pico do plistocénico superior ao holocénico: Mecanismo eruptivo e hazard vulcânico*. Tese de Doutoramento. Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 357 pp.

Nunes, J.C.; Forjaz, V.H. e Oliveira, C.S. (2004). *Catálogo sísmico da região dos Açores. Versão 1.0 (1850-1998*) (CD-ROM). ISBN 972-8612-17-6.

National Research Council (1994). *Practical lessons from the Loma Prieta earthquake*. National Academy Press, Washington, D.C., USA.

Noticiário do dia (2010). Programa de rádio, Rádio Renascença.

Oliveira, C.S. (1977). Sismologia, sismicidade e risco sísmico. Aplicações em Portugal. Relatório. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Oliveira, C.S.; Ferreira, M.A. e Mota de Sá, F. (2004). Seismic vulnerability and impact analysis: elements for mitigation policies. *Proceedings, XI Congresso Nazionale on L'ingegneria Sismica in Italia*. Genova, Italy, 25-29 January. Keynote Lecture.

Oliveira, C.S. (2005). Descrição do terramoto de 1755, sua extensão, causas e efeitos. O sismo. O tsunami. O incêndio. Em: FLAD e Público (Eds.) *O grande terramoto de Lisboa,* Vol.1, Descrições, Tipografia Peres, SA., pp 23-87.

Oliveira, C.S.; Mota de Sá, F. e Ferreira, M.A. (2005). Application of two different vulnerability methodologies to assess seismic scenarios in Lisbon", *Proceedings, 250th Anniversary of the 1755 Lisbon Earthquake,* Lisbon, Portugal, Paper n.º 37.

Oliveira, C.S. (2008). Efeitos naturais, impacto e mitigação. Em: Lopes, M. (Ed.). *Sismos e edifícios.* Edições Orion, pp 51-140.

Oliveira, C.S.; Costa. A.; Nunes, J.C. (Eds.), (2008). *Sismo 1998 - Açores. Uma década depois*. Governo dos Açores/SPRHI, S.A.

Oliveira, C.S. e Ferreira, M.A. (2008). Impacto do sismo de 1998 no território dos Açores. Principais consequências e indicadores. Em: Oliveira, C.S.; Costa. A.; Nunes, J.C. (Eds.). *Sismo 1998 - Açores. Uma década depois*. Governo dos Açores/SPRHI, S.A., pp 717-726.

Oliveira, C.S. e Ferreira, M.A. (2010). *The fragile state of education in Haiti*. CELE Exchange. The journal of the OECD Centre for Effective Learning Environments.

Oliveira, C.S.; Mota de Sá, F.; Lopes, I.; Estêvão, J. e Ferreira, M.A. (2010). *Revisão do Plano Director Municipal de Portimão. Estudo sectorial sobre risco sísmico.* Relatório ICIST-DTC, nº

10/2010, Instituto Superior Técnico.

Oliveira, C.S.; Ferreira, M.A. e Mota de Sá, F. (2012). The concept of a disruption index: application to the overall impact of the July 9, 1998 Faial earthquake (Azores islands). *Bulletin of Earthquake Engineering*. 10(1): 7-25.

Oliveira, F.P. (2010). Protecção civil e ordenamento do território: A necessária consideração dos riscos no planeamento territorial. Cadernos Municipais. Ano II - nº 3 - Abril.

Pardal, S.; Costa Lobo, M. e Correia, V.D.P. (2000). *Normas urbanísticas* Vol. IV., Planeamento integrado do território. Direcção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal. 287 p.

Peduzzi, P.; Dao, H.; Herold, C. e Mouton, F. (2009): Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the Disaster Risk Index. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **9**,149-1159.

PEER (2010). *Chile EERI/PEER Reconnaissance Briefing at UC Berkeley*. (video online) Consult. 30 Mar. 2010, em: http://peer.berkeley.edu/events/2010/chile_eq_briefing.html

Penelis, G.G. (1997). Eurocode 8: Characterization of seismic action, design spectra and future trends. *Proceedings, SERINA – Seismic Risk an Integrated Seismological, Geotechnical and Structural Approach*. Thessaloniki, Greece, pp. 479-492.

Pereira de Sousa, F.L. (1915). *O megasismo do 1º de Novembro de 1755 em Portugal–Distrito de Faro*. Extracto da Revista de Obras Públicas e Minas, Tipografia do Comércio, Lisboa.

Pereira de Sousa, F.L. (1923). *O Terramoto de 1755 do 1º de Novembro de 1755 em Portugal*. Um estudo demográfico. Vol.I-IV, Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.

Perú: Patrimonio y Sitios (2008). *Patrimonio en riesgo: Santuario des Señor de Luren, Ica*. (Blog) Imagem disponível em: http://perpatrimonioysitios.blogspot.com/2008/08/patrimonio-en-riesgo-santuario-del.html.

Petal, M.A. (2004). *Urban disaster mitigation and preparedness: The 1999 Kocaeli earthquake.* Ph.D., University of California, Los Angeles, 526 p., AAT3142562.

Pique, J.R. e Salinas, R. (2008). Peruvian seismic design practice produced undamaged buildings in Peru's latest earthquakes. *Proceedings, 14th World Conference on Earthquake Engineering*. Beijing, China, 12-17 October.

PNPOT (2007). Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território. Relatório anexo à Lei nº 58/2007. Disponível em http://www.dpp.pt/Planos_Programas_Sectoriais/index.html.

Portocarrero, S.S. (n.d.). (imagem online) Disponível em: http://www.flickr.com/photos/santiagostucchi/.

Prats, F. (2010). *Tres semanas después.* (imagem online) Disponível em http://www.mabuse.cl/cine_chileno.php?id=86466.

Proença, J.M.; Henriques, J.F.; Albuquerque, P. e Augusto, V. (2010). Metodologia ICIST/ACSS de avaliação do risco sísmico de unidades de saúde. *Proceedings, Sísmica 2010 - 8º Congresso Nacional de Engenharia Sísmica. Aveiro, Portugal, 20-23 Outubro*.

Proença, J.M.; Oliveira, C.S. e Ferreira, M.A. (2005). PRRSIE/EP - Programa de redução do risco sísmico das instalações escolares / Estudo Piloto. Fase I: Diagnóstico e caracterização preliminar do risco sísmico do parque das instalações escolares. Relatório ICIST EP nº 60/05.

Protezione Civile Italiana (2009). *Rapporto attività di sopralluogo effettuate*. *Tecnica di Valutazione e censimento danni*. Disponível em http://www.protezionecivile.gov.it.

Quarantelli, E.L. (1988). Disaster studies: an analysis of the social historical factor affecting the development of research in the area, *International Journal of Mass Emergencies*, 5(3): 285-310.

Rayhani, M.H.T. e El Naggar, M.H. (2007). Collapse hazard zonation of qanats in greater Tehran area. *Geotechnical and Geological Engineering*, 25: 327-338.

Reis, M. (2010). *Perdas do sismo no Haiti equivalem a 120 por cento do PIB*. iOnline, 7 Agosto, Consult. 7 Ago. 2010, em: http://www1.ionline.pt/conteudo/72904-perdas-do-sismo-no-haiti-equivalem-120-cento-do-pib.

REBAP (1983). *Regulamento de estruturas de betão armado e pré-esforçado*. Decreto-Lei n.º 349-C/83. Imprensa Nacional – Casa da Moeda, Lisboa.

Ricci, P.; De Luca, F. e Verderame, G.M. (2010). 6th April 2009 L'Aquila earthquake, Italy: reinforced concrete building performance. *Bulletin Earthquake Engineering*, 9(1) : 285-305.

Roy, B. (1985). Méthodologie multicritère d'aide à la décision. Paris, Economica.

RSA (1983). *Regulamento de segurança e acções para Estruturas de edifícios e pontes*. Decreto-Lei n.º 235/83 de 31 de Maio e Decreto-Lei n.º 357/85 de 2 de Setembro. Imprensa Nacional - Casa da Moeda, Lisboa.

RSCCS (1958). *Regulamento de segurança das construções contra os sismos.* Decreto n.º 41658. Imprensa da Casa da Moeda. Lisboa.

RSEP (1961). *Regulamento de solicitações em edifícios e pontes*. Decreto n.º 44041. Imprensa da Casa da Moeda. Lisboa.

Safina, S. (2002). Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña UPC, Barcelona. España.

Salcioglu, E. (2010). Mental health consequences of earthquakes and their effective treatment: a control focused behavioural treatment approach. *Proceedings, II Conferenza Tematica Nazionale Società Italiana Riabilitazione Psicosociale*. L'Aquila, Italia, 16-18 September.

Santos, M.C. (2008). *Estudo dos danos ocorridos em Lisboa causados pelo terramoto de 1755: Quantificação e discussão*. Tese de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Técnico, Lisboa, 166 pp.

Save the Children (2010). *L'Aquila, anniversario del sisma: Save the Children, necessario sostegno ai bambini e alle famiglie e nuovi spazi d'incontro.* Consult. 6 Abr. 2010, em: http://www.savethechildren.it/IT/Tool/Press/Single?id_press=217&year=2010.

Senos, M.L.; Ramalhete, D. e Taquelim, M.J. (1994). Estudo dos principais sismos que atingiram o território de Portugal continental. *Proceedings, 2º Encontro Nacional sobre Sismologia e Engenharia Sísmica*. Porto, Portugal. pp.I.75-I.84.

Serviço Meteorológico Nacional (1962). *Graus de intensidade dos sismos (escala de Wood-Neumann)*. RT 665. GEO22. Lisboa.

Shaw, R. e Sinha, R. (2001). Preliminary observations and aftermath of Gujarat earthquake, India. Joint mission of the Earthquake Disaster Mitigation Research Institute (EdM) and the Indian Institute of Technology (IIT)-Bombay.

Sousa, M.L. (2011). *Reabilitação de estruturas antigas tendo em conta a acção sísmica*. Folhas do Curso Fundec. Instituto Superior Técnico.

Sousa, M.L; Rodrigues, J.; Coelho, E.; Carvalho, E.C.; Salta, M.; Eusébio, M.I. e Viegas, J. (2008). A intervenção do LNEC na sequência da crise sísmica dos Açores iniciada pelo sismo de 9 de Julho de 1998. Em: Oliveira, C.S.; Costa. A.; Nunes, J.C. (Eds.). *Sismo 1998 - Açores. Uma década depois*. Governo dos Açores/SPRHI, S.A., pp 501-512.

Spence, R. e Pomonis, A. (2005). The 2004 Indian Ocean tsunami: field reconnaissance and eyewitness reports. *Proceedings, 250th Anniversary of the Lisbon Earthquake*. Lisboa, Portugal, 1-4 November.

Strollo, A.; Richwalski, S. M.; Parolai, S.; Gallipoli, M. R.; Mucciarelli, M. e Caputo, R. (2007.) Site effects of the 2002 Molise earthquake, Italy: analysis of strong motion, ambient noise, and synthetic data from 2D modelling in San Giuliano di Puglia. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 5(3): 347-362.

Takahashi, M.; Tanaka, S.; Kimura, R.; Umitsu, M.; Tabuchi, R.; Kuroda, T.; Ando, M. e Kimata, F. (2007). Restoration after the Sumatra earthquake tsunami in Banda Aceh: based on the results of interdisciplinary researches by Nagoya University. *Journal of Natural Disaster Science*, 29(2): 53-61.

Taucer, F. e Cobane, C. (2010). Haiti earthquake of 12 January 2010: Field damage assessment, data collection and analysis. P*roceedings, Sísmica 2010 - 8º Congresso Nacional de Engenharia Sísmica*. Aveiro, Portugal, 20-23 Outubro.

Termos de Referência para a Concepção e Construção de Escolas (2005). Secretaria-Geral, Ministério da Educação, Direcção de Serviços de Instalações e Equipamentos Educativos.

Teves-Costa P.; Borges, J.F.; Rio, I.; Ribeiro, R. e Marreiros, C. (1999). Source parameters of old earthquakes: semiautomatic digitization of analog records and seismic moment assessment. *Natural Hazards*, 19: 205-220.

Teves-Costa, P.; Batlló, J.; Rio, I. e Macià, R. (2005). O sismo de Benavente de 23 de Abril de 1909-Estado da arte. *Proceedings, 4º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG*, Sesimbra, Portugal, 14–17 Fev, pp. 44–49.

Teves-Costa, P. e Batlló, J. (2010). The 23 April 1909 Benavente earthquake (Portugal): macroseismic field revision. *Journal of Seismology*, 15(1): 59-70. DOI: 10.1007/s10950-010-9207-6.

The Economist online (2011). *Counting the cost.* Consult. Mar. 2011, em: http://www.economist.com/blogs/dailychart/2011/03/natural_disasters.

Tobriner, S. (1997). La casa baraccata: un sistema antisismico nella Calabria del XVIII secolo. *Costruire in laterizio*, n.º 56, anno XXXVIII, pp. 110-115. Disponível em: http://www.laterizio.it/costruire/_pdf/n56/56_110_115.pdf.

Tolun, L.; Karakoç, F.T.; Henkelmann, B.; Okay, O.S. e Schramm, K. W. (2007). *PCB pollution in Izmit Bay (Marmara Sea) mussels after the earthquake*. NATO, Advanced Research Workshop on the Fate of Persistent Organic Pollutants in the Environment. 24-27 April, Istanbul-Turkey.

Tomás, V. (2010). *O Temporal de 23 de Dezembro de 2009 e Consequências no Sector Eléctrico*. Consult. Nov. 2010, em: http://apmg.clientes.eurotux.com/index.php?option=com_content&task=view&id=36&Itemid=1.

Trifunac, M.D. e Brady, A.G. (1975). On the correlation of seismic intensity scales with the peaks of recorded strong ground motion, Bulletin of Seismological Society of America, 65 (1), p 139-162.

Turner, S.P. (Ed.) (1993). *Émile Durkheim: sociologist and moralist*. London and New York, Routledge.

UNEP (2004). United Nations Environment Programme. (imagem online) Disponível em: http://www.unep.org/tsunami/Information_Requirement/PhotoGallery/photogallery.asp.

UNEP/OCHA (2007). Impactos ambientales del terremoto ocurrido en Perú - 2007: Resultados de una evaluación ambiental rápida. Joint UNEP/OCHA Environment Unit.16 p.

UNDP (2004). *Reducing disaster risk. A challenge for development*. A global report, United Nations Development Programme – Bureau for Crisis Prevention and Recovery (BRCP), New York.

UNISDR (2010). *Disaster risk reduction: An instrument for achieving the millennium development goals.* Consult. 15 Dez. 2010 em: http://www.unisdr.org/files/15711_parliamentariankitfinal.pdf.

Universidad de Chile (2010). Consult. 8 Mar. 2010 em: www.uchile.cl.

UOL (2012). (imagem online) Consult. 17 Dez. 2012 em: http://noticias.uol.com.br/.

Urquieta, C. (2010). *Vecinos de edificio que colapsó en Maipú se preparan para enfrentar a*

constructora e inmobiliaria responsables, Elmostrador.cl (Imagem online) Consult. 1 Mar. 2010, em: http://www.elmostrador.cl/noticias/pais/2010/03/01/vecinos-de-edificio-que-colapso-en-maipu-se-preparan-para-enfrentar-a-constructora-e-inmobiliaria-responsables/.

USGS/EERI (2010). *The M_W 7.0 Haiti earthquake of January 12, 2010*, Advance reconnaissance team. Team report V.1.1.56 p.

USGS (2003). *Magnitude 6.6 South-eastern Iran, 2003 December 26, Preliminary earthquake report USGS*. USGS, NEIC, World Data Center for Seismology, http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/2003/eq_031226.

USGS (2003). *Magnitude 6.4 Eastern Turkey, 2003 May 1, Preliminary earthquake report USGS*. USGS, NEIC, World Data Center for Seismology, http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/2003/eq_030501/.

USuET (2009). Urban system under earthquake threat: An integrated global approach. Application to the Azores. Projecto POCTI/CTE-GIN/58095/2004.

Ventura, C.E.; García, H.J. e Martí, J.M. (2010). Understanding interdependencies among critical infrastructures. *Proceedings, 9th U. S. National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering*. Toronto, Ontario, Canada, 25-29 July. Paper 1899.

Ventura, C.E.; García, H.J.; Thibert, K.M.; Martí, J.M. e Hollman, J. (2008). Mapping of interdependencies through integrated hazard analysis: study case of a Canadian university campus. *Proceedings, 14th World Conference on Earthquake Engineering.* Beijing, China, 12-17 October.

Vicente, R. (2008). *Estratégias e Metodologias para intervenções de reabilitação urbana*. Dissertação de doutoramento, Universidade de Aveiro.

Vilanova, S. (2011). SHARE Project. (comunicação pessoal)

Von Winterfeldt, D. e Edwards, W. (1986). Decision analysis and behavioural research. Cambridge University Press, Cambridge.

Wade, J. (2010). *New Zealand earthquake bends train tracks.* (imagem online) Consult. 10 Nov. 2010 em: http://www.riskmanagementmonitor.com/new-zealand-earthquake-bends-train-tracks/

Wald, D.J.; Jaiswal, K.S.; Marano, K.D. e Bausch, D. (2011). Earthquake impact scale. *Natural Hazards Review*, 12:125-139, DOI:10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000040.

Weber, E.H. e Fechner, G.T. (1834).Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Weber%E2%80%93Fechner_law.

Wheeler, D. (2000). Greening industry: new roles for communities, markets and governments, World Bank Policy Research, Oxford University Press.

Whitman, R.V.; Reed, J.W. e Hong, S.T. (1973). Earthquake Damage Probability Matrices. *Proceeding, 5th European Conference on Earthquake Engineering*, Rome, Italy, pp. 2531-2540.

Wimbish, W. e Sterling, J. (2003). The national infrastructure simulation and analysis center (NISAC): A new contributor to strategic leader education and formulation of critical Infrastructure policies and decisions. *Center for Strategic Leadership*. *US Army War College*. Issue Paper, Volume 06-03.

Wisner, B.; Blaikie, P.; Cannon, T. e Davis, I. (2004). At risk: natural hazards, people's vulnerability, and disaster (2nd ed.) London: Routledge.

Wisner, B. (2006). *Let our children teach us! A review of the role of education and knowledge in disaster risk reduction*. Consultant for Action Aid, on behalf of the ISDR Inter-Agency Task Force Cluster Group on Education and Knowledge. Disponível em: http://www.unisdr.org/eng/task%20force/working%20groups/knowledge-education/docs/Let-our-Children-Teach-Us.pdf.

Xiao, L. (2008). *Quick reconnaissance report on May 12, 2008 Wenchuan earthquake.*. Consult. 11 Jan. 2010, em: http://peer.berkeley.edu/pdf/Quick%20reconnaissance%20report%20on%20Wenchuan%20Earthquake%20-Xiao.pdf.

Yao, B-H.; Xie, L-L. e Huo, E-J. (2004). A comprehensive study method for lifeline system interaction under seismic conditions. *Acta Seismologica Sinica*. 17(2):211-221, DOI: 10.1007/BF02896935.

Youd, T.L. e Perkins, D.M. (1987). Mapping of Liquefaction Severity Index. *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 118(11): 1374-1392.

Zhao, C e Feng, Q. (1994). *Lifeline earthquake engineering*. Beijing: Seismological Press, 7-23 (in Chinese).

Zhao, C.P.; Chen, Z.L.; Zhou, L.Q.; Li, Z.X. e Kang, Y. (2010), Rupture process of the Wenchuan M8.0 earthquake of Sichuan, China: the segmentation feature. *Chinese Science Bulletin*, 55(3): 284–292, DOI: 10.1007/s11434-009-0425-7.

Zitellini, N.; Rovere, M.; Terrinha, P.; Chierici, F.; Matias, L. e BIGSETS Team (2004). Neogene through quaternary tectonic reactivation of SW Iberian Passive Margin. *Pure and Applied Geophysics*, 161: 567-587.

11.1. Legislação consultada

Decreto n.º 41658, de 31 de Maio de 1958 – primeiro regulamento de estruturas, o Regulamento de Segurança das Construções Contra os Sismos – RSCCS.

Decreto n.º 44041, de 18 de Novembro de 1961 – Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes – RSEP.

Decreto n.º 47723 de 20 de Maio de 1967 – Regulamento de Estruturas de Betão Armado – REBA.

Decreto-Lei nº 235/83 de 31 de Maio de 1983 – Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes – RSAEEP

Decreto-Lei nº 349-C/83 de 30 de Julho de 1983 – Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado – REBAP.

Lei n.º 48/98, de 11 de Agosto, com as alterações introduzidas por Lei n.º 54/2007, de 31 de Agosto – Estabelece as bases da política de ordenamento do território e de urbanismo.

Decreto-Lei n.º 380/99, de 22 de Setembro – Define o regime aplicável aos instrumentos de gestão territorial criados ou reconduzidos ao sistema pela lei de bases.

Decreto-Lei n.º 555/99, de 16 de Dezembro, com as últimas alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 26/2010, de 30 de Março. *Diário da República nº 62/2010 – 1ª Série* – Estabelece o Regime Jurídico da Urbanização e Edificação.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 109/2007, de 20 de Agosto – aprova a Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável e o respectivo Plano de Implementação.

Lei n.º 27/2006, de 3 de Julho. *Diário da República* n.º 126, *Série I* – Revoga as Leis n.ºs 113/91, de 29 de Agosto, e 25/96, de 31 de Julho, os Decretos-Leis n.ºs 477/88, de 23 de Dezembro, e 222/93, de 18 de Junho, e os Decretos Regulamentares n.ºs 18/93, de 28 de Junho, e 20/93, de 3 de Julho. Aprova a Lei de Bases da Protecção Civil.

Lei n.º 58/2007, de 4 de Setembro, Diário da República. Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território – PNPOT.

Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de Agosto - Estabelece o Regime Jurídico da Reserva Ecológica Nacional (REN).

Decreto-Lei n.º 26/2010, de 30 de Março que introduz alterações e republica o Decreto-Lei n.º 555/99, de 16 de Dezembro - Regime Jurídico de Urbanização e Edificação.

Resolução da Assembleia da República nº 102/2010, de 11 de Agosto – Estabelece a adopção de medidas para reduzir os riscos sísmicos.

Recomendação n.º 5/2011, de 20 de Outubro. *Diário da República n.º 202, Série II*, do Ministério da Educação e Ciência - Conselho Nacional de Educação – Estabelece recomendação sobre Educação para o Risco.

GLOSSÁRIO

Desastre – representa um conjunto de problemas e perdas. Segundo o *Centro Regional de Información sobre Desastres* (CRID) (http://educacionygestiondelriesgo.crid.or.cr/inicio) o desastre é uma situação ou processo social que se desencadeia como resultado da manifestação de um fenómeno de origem natural, sócio-natural (intersecção da natureza com a acção humana: desflorestação, inundações urbanas por falta de adequados sistemas de drenagem de águas pluviais, etc.) ou humana que ao encontrar condições propícias de vulnerabilidade numa comunidade, na sua estrutura produtiva e infra-estruturas, causa alterações graves e intensas nas condições normais de funcionamento do país, região, zona ou comunidade, as quais em muitos casos não conseguem ser resolvidas de forma autónoma, utilizando apenas os recursos da unidade social directamente afectada. Estas alterações são representadas de forma diversa e diferenciada, entre várias coisas, por perdas humanas e de saúde da população, destruição, perdas ou inutilização total ou parcial de bens da comunidade e dos indivíduos, ou ainda por danos severos no ambiente; necessitando de uma resposta imediata das autoridades e da comunidade, para atender à população afectada e restabelecer níveis aceitáveis de bem-estar e oportunidades de vida.

Efeitos de sítio – as ondas sísmicas ao propagarem-se por diferentes tipos de solo, e de topografia podem provocar amplificação (concentração de energia em dado local) ou atenuação das suas ondas, em locais específicos, podendo tornar os efeitos mais ou menos destrutivos, consoante se trate de amplificação ou atenuação.

Indicador – Segundo a definição da OCDE, um indicador consiste num valor que indica, fornece informações, descreve um fenómeno, significando no entanto, mais do que se associa directamente ao referido valor.

Índice – corresponde a um nível superior de agregação, onde após aplicado um método de agregação de indicadores e/ou subíndices é obtido um valor final.

Índice de Gini – é uma medida de desigualdade que mede o grau de distribuição da renda (ou em alguns casos os gastos com o consumo) entre os indivíduos em uma economia. Medido com referência ao desvio de uma distribuição perfeita, um índice de Gini zero corresponde à completa igualdade de renda (onde todos têm a mesma renda, enquanto que um índice de 100 corresponde à completa desigualdade (onde uma pessoa tem toda a renda, e as demais nada têm).

Intensidade – é uma medida não instrumental da severidade da acção sísmica em determinado local, expressa em termos da resposta da população, das estruturas, da natureza, ou seja dos danos produzidos pela acção sísmica. Para classificar a intensidade sísmica é usualmente utilizada a escala de Mercalli Modificada (MMI) ou a recente Escala Macrossísmica Europeia (EMS-98), ambas uma escala de 12 níveis de I a XII.

Magnitude local ou de Richter, M_L – é a medida mais antiga de energia libertada num sismo. Hoje só se utiliza até valores de magnitude 6-7, pois a partir daí satura.

Magnitude de momento, M_W – para sismos muito fortes as magnitudes mb e M_s (magnitude de ondas superficiais) saturam, ou seja, as amplitudes deixam de aumentar na mesma proporção com o aumento da energia libertada. (http://www.idl.ul.pt/glossario.htm). A M_W é a magnitude que está directamente relacionada com a física na origem do terremoto. Mw é derivado (com base em considerações teóricas) a partir do momento sísmico. Em teoria, Mw não satura pois o momento sísmico inclui a ruptura completa do sismo.

Magnitude de onda superficial, M_S – é medida a partir das ondas superficiais com períodos de 20 s (em comparação com 1s para a mb), e a saturação só se dá para terramotos muito grandes (magnitude maior do que 8). A velocidade lenta das ondas superficiais é a razão, porque os sismólogos não conseguem distinguir rapidamente entre um sismo forte e muito forte (magnitude> 6).

Magnitude de onda volúmica, mb – é tipicamente registrada para sismos que ocorram a mais de 2000 km de distância da estação. Pode ser calculado relativamente de forma rápida, porque seu valor depende da amplitude da onda P (com períodos de 1s). Para sismos de magnitude maior do que 6, satura, o que significa que mesmo que o tamanho real do sismo seja maior, o valor de mb não aumenta mais.

Perigosidade sísmica (*hazard*) – descreve a exposição de um determinado local a fenómenos naturais relacionados com a ocorrência de sismos tais como, acção sísmica, liquefacção, deslizamentos, tsunami. Quantificado em termos probabilísticos que descrevem a probabilidade de um determinado nível de um parâmetro sísmico (intensidade, aceleração ou velocidade) ser excedido de um determinado nível.

Resiliência – é um processo dinâmico relacionado com a capacidade que um sistema, comunidade ou sociedade tem em lidar com um evento, absorver os seus impactos. Capacidade em resistir, responder, reorganizar-se e recuperar as suas estruturas básicas e funções, quando exposto a uma adversidade, num curto espaço de tempo e de maneira eficiente.

Resistência – conceito utilizado em engenharia estrutural e de materiais que tende a medir o "comportamento da estrutura".

Risco – representa o potencial de perda, a ameaça. Convencionalmente o risco pode ser expresso em função da perigosidade, da vulnerabilidade e da exposição ou valorização dos elementos expostos. Mais do que expressar uma possibilidade de dano físico, é importante reconhecer que os riscos aparecem ou existem dentro de sistemas sociais. É crucial considerar os contextos sociais sobre os quais os riscos ocorrem, pois as várias comunidades não partilham das mesmas percepções do risco ou das suas causas (CRID).

Risco aceitável – é essencialmente o nível de risco que um indivíduo ou sociedade admite estar exposto. Regra geral, é esperado mais reduzido o nível de risco em edifícios públicos como escolas, hospitais, ministérios, do que em outras construções menos críticas à sociedade.

Sismos de referência – os regulamentos estabelecem claramente a maneira de quantificar as características dos sismos que devem ser consideradas na análise sísmica de estruturas. Em primeiro lugar, deve-se ter em consideração que são 4 os sismos de análise e que estão definidos da seguinte maneira:

- Sismo Frequente, que se deve obter para uma vida útil da estrutura de 30 anos com uma probabilidade de excedência de 50%. O período de retorno deste evento é 44 anos. Assim, este sismo ocorre pelo menos uma vez durante a vida útil da estrutura.

- Sismo Ocasional, que se calcula para uma vida útil da estrutura de 50 anos e com uma probabilidade de excedência de 50%. O período de retorno é de 73 anos. Assim, durante a vida útil da estrutura (50 anos) é provável que este sismo se ocorra alguma vez.

- Sismo Raro, também conhecido como Sismo de Projecto, que se obtém para uma vida útil da estrutura de 50 anos e com uma probabilidade de excedência de 10%. Em consequência, é o equivalente a um sismo severo. O seu período de retorno é de 475 anos.

- Sismo Muito Raro, ou Extremo que se calcula para uma vida útil da estrutura de 50 anos com uma probabilidade de excedência de 5%. Este evento tem um período de retorno de 975 anos.

Para cada um destes eventos se define um nível de desempenho da estrutura ou um nível de comportamento global da estrutura.

Sub-índice – constitui uma forma intermédia de agregação entre indicadores e índices.

Vulnerabilidade – hoje em dia o conceito de vulnerabilidade é mais lato que a simples propensão para o colapso físico das estruturas. É o conceito que explica porque, com um determinado nível de exposição física, as pessoas estão mais ou menos em risco. Está comummente relacionada com as consequências da perigosidade. É a característica (potencial, propensão ou susceptibilidade) que um elemento (físico, social, económico ou ambiental) exposto ao risco tem para sofrer determinado dano (por incapacidade de responder à acção imposta), por estar sujeita a uma determinado nível ou grau de acção. Consequentemente pode ser traduzida por uma variável contínua com valores entre 0, para danos nulos e 1, destruição total.

Vulnerabilidade social – as características que uma pessoa ou grupo e a situação em que se encontra, influencia a sua capacidade para antecipar, dominar (*coping*), resistir e recuperar do impacto de um perigo (*hazard*) natural (Wisner et al., 2004). Inclui a combinação de factores que determinam em que patamar as condições de vida, a propriedade e outros recursos estão em risco quando expostos a um evento (ou a uma série de eventos ou à propagação de efeitos em cascata). Wisner desperta a atenção para a extensão do conceito vulnerabilidade (*coping* e recuperação), ou seja, a dificuldade em recuperar de impactos negativos faz parte da vulnerabilidade - a capacidade de lutar, lidar com o problema (*coping*) e a recuperação (do impacto).

ANEXOS

A.1 MANUAL DE PREENCHIMENTO DO PORTAL ESCOLARISCOS

Manual de Preenchimento do Questionário Online www.escolariscos.eu

Jorge Miguel Proença

Mónica Amaral Ferreira

ICIST – Instituto Superior Técnico

COORDENAÇÃO

Jorge Miguel Proença

Mónica Amaral Ferreira

Instituto Superior Técnico

APOIO TÉCNICO

DREALG

Câmaras Municipais do Algarve

I. Introdução e Enquadramento

Com o intuito de desenvolver um estudo sobre o impacto de um sismo na Região do Algarve surgiu a necessidade de caracterizar e analisar a rede escolar da região. Para tal, em 2008 foi criado um portal que neste momento tem o endereço www.escolariscos.eu. Este portal foi criado no âmbito do projecto ERSTA (Estudo do Risco Sísmico de Tsunamis do Algarve) coordenado pela ANPC. O portal foi desenvolvido considerando à partida um universo de mais de 300 equipamentos escolares dos vários níveis de ensino (desde o pré-escolar até ao universitário) e propriedade (público ou privado). Numa primeira fase, em 2008, foram realizadas, por funcionários da DREALG e por elementos do ICIST (Instituto de Engenharia de Estruturas, Território e Construção) do Instituto Superior Técnico, visitas técnicas aos equipamentos escolares públicos com nível de ensino a partir do 2º ciclo até ao ensino secundário.

Pretende-se na segunda fase, presente, estender o estudo aos restantes equipamentos escolares:

- Jardins de Infâncias e Escolas do 1º Ciclo públicas;
- Escolas privadas desde o JI ao Ensino Secundário e
- Escolas do Ensino Superior.

Dado o elevado número de equipamentos escolares existentes na região, a DREALG solicitou a colaboração das Autarquias no levantamento e preenchimento das fichas de caracterização das escolas. A caracterização de cada escola pressupõe o preenchimento *online*, no portal www.escolariscos.eu, do conjunto de fichas que é apresentado neste Manual de Preenchimento.

DREALG, Fevereiro 2009.

II. Manual de Preenchimento

O portal www.escolariscos.eu – Risco Sísmico das Escolas do Algarve - é um questionário *online* constituído por três fichas distintas:
I - ficha de caracterização geral do campus escolar - nesta ficha identifica-se a escola, sua localização, nível de ensino, condições gerais de acesso para acções de emergência, topografia, número de edifícios autónomos, existência de ginásio/pavilhão desportivo, dados sobre ocupação, etc.

II - ficha de caracterização de edifício (tantas quantas o número de edifícios autónomos) - nesta ficha, mais técnica, selecciona-se o tipo de estrutura, de cobertura, de laje de piso, indicando-se adicionalmente o período de construção, área, número de pisos, regularidade estrutural e outros riscos exteriores.

III - ficha de caracterização de ginásios/pavilhões desportivos -trata-se de uma ficha técnica semelhante à anterior mais vocacionada para ginásios e equipamentos desportivos.

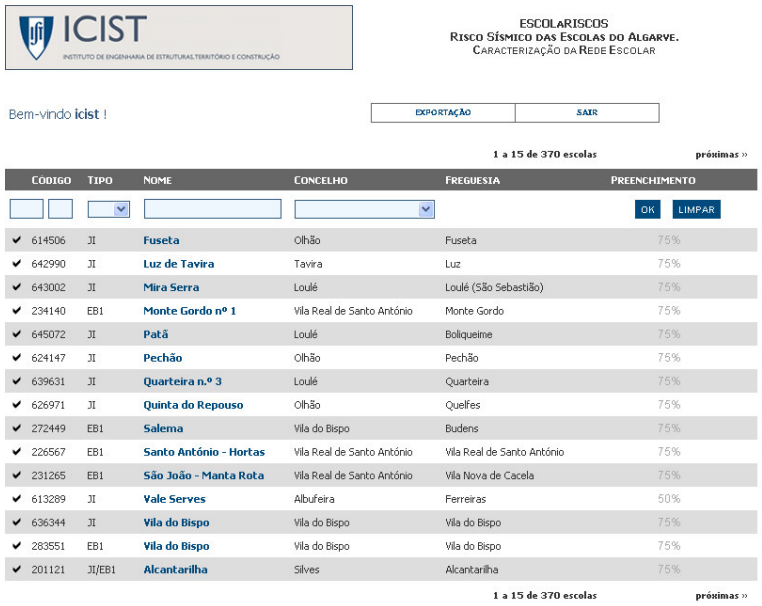
Para um resultado óptimo, sugerimos as especificações seguintes ao Técnico responsável pelo levantamento.

1.1. Registo

Sempre que aceder ao portal www.escolariscos.eu digite o login e password que lhe foi atribuído.

1.2. Listagem de escolas

Após efectuar o *login* é apresentada a lista de escolas registadas no sistema. Para escolher a escola objecto de levantamento basta fazer uma pesquisa por: nível de ensino ("Tipo"), ou nome da escola, ou concelho ou freguesia. Após seleccionada a escola, pode clicar no botão "imprimir" que aparece em cada uma das fichas (I-Campus, II-Edifícios e III-Desportivos) e dar início ao processo de preenchimento enquanto se faz a inspecção visual.



1.3. I - Campus

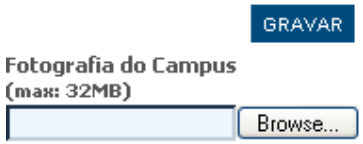
A secção "Campus" é composta por duas partes:

1) Identificação da Escola;
2) Caracterização Geral do Campus Escolar.

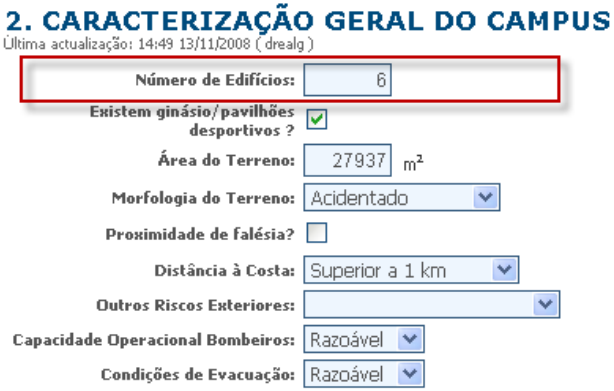
1.3.1 Identificação da Escola

Na "Identificação da Escola" constam os dados relativos a Nível de Ensino, Nome do Estabelecimento, Natureza institucional (privada, pública) e Contactos diversos. Introduza o máximo de informação que obtiver de cada estabelecimento de ensino.

Adicione uma fotografia da escola:



1.3.2 Caracterização Geral do Campus Escolar



Na Caracterização Geral do Campus é importante:
i) introduzir o número de TODOS os edifícios que constituem a escola, só assim se pode passar à secção II. Para cada edifício, é gerada uma ficha, na secção II - Edifício, que deverá ficar preenchida.

ii) sempre que exista uma construção para ginásio ou pavilhão desportivo, seleccionar essa opção; só assim será criada uma ficha na secção III para este fim. Note-se que algumas escolas primárias podem apresentar salas de aula convertidas em "ginásio", nesse caso não considere a opção "existem ginásio/pavilhões desportivos".

iii) verificar se a informação relativa à permanência dos alunos/docentes/não docentes existe e se corresponde à realidade.

iv) ter o cuidado de não deixar campos vazios.

Caso o Técnico tenha feito um esboço do Campus ou a escola disponha de uma figura do Campus com a localização dos edifícios, essa informação pode ser adicionada em "Documentos Anexos".

Para passar à Secção II - Edifícios sem perder o trabalho que já realizou, clique num dos botões GRAVAR.

1.4. II – Edifícios

A figura seguinte apresenta a secção II.

Caracterização Geral:
i) após introduzido (na Secção I – Campus) o número de edifícios que existe em cada campus escolar, são geradas várias fichas como a que se visualiza acima, em que aparece a seguinte descrição: EDIFÍCIO #1, EDIFÍCIO #2, EDIFÍCIO #3, etc.
A cada edifício é pedido um "Nome", ou seja, uma identificação decidida pelo Técnico que efectua o levantamento e que pode ser: 1, A, Cantina, Sala de aula, Principal, entre outros.

ii) introduzir o número de pisos (não enterrados) de cada edifício.

iii) o campo "Área Total do Edifício" engloba todo o edifício, somando-se os pisos.

iv) no "Tipo de projecto de arquitectura" escolher a opção caso o edifício se enquadre numa das tipologias listadas.

Seguem-se alguns exemplos das tipologias de projecto existentes:

Exemplo de Escola do Plano Centenário (anos 40 a 60).

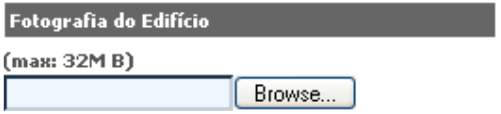
MOP
(Projecto dos antigos liceus)

3x3 Compacto

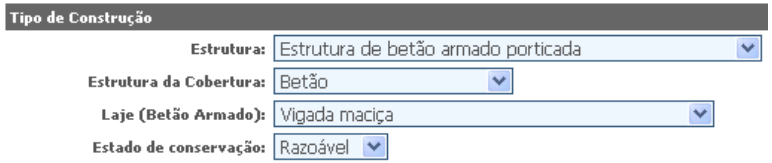
Base Técnica

Compacto com pernas variáveis

A cada ficha do edifício pode ser adicionada uma fotografia do mesmo.



Tipo de Construção:



Consoante a época de construção de cada edifício podem identificar-se diferentes sistemas construtivos:

i) Estrutura:

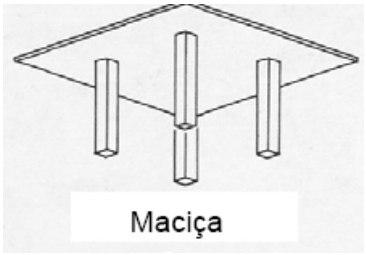
- Paredes de alvenaria com pavimento de madeira;
- Paredes de alvenaria com pavimento de betão armado;
- Estrutura de betão armado com paredes resistentes;
- Estrutura de betão armado porticada;
- Pré-fabricado ligeiro de madeira;
- Pré-fabricado de BA com painéis de fachada;
- Pré-fabricado pesado de BA com painéis de fachada;
- Outras (ATAPS - Adobe, Taipa, Pedra solta).

ii) Estrutura da Cobertura:

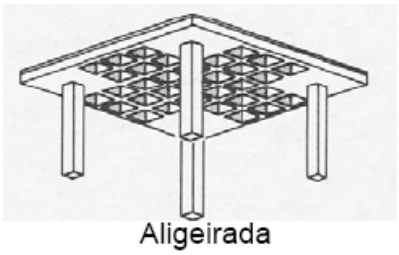
- Madeira;
- Mista (madeira e betão);
- Betão .

iii) Laje (de Betão armado):

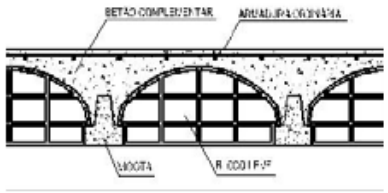
- Vigada maciça;
- Vigada com vigotas;
- Fungiforme maciça;
- Fungiforme aligeirada (cocos ou blocos perdidos).



Fungiforme maciça



Fungiforme aligeirada



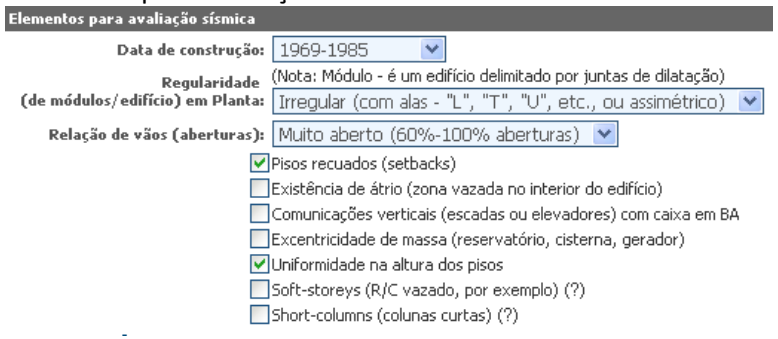
Vigada com vigotas

Fonte: http://www.dec.fct.unl.pt/seccoes/S_Estruturas/Betao_armado_II/downloads/2Lajes-Introducao-print.pdf

iv) Estado de Conservação:

- Bom;
- Mau;
- Razoável.

Elementos para Avaliação Sísmica:



i) consoante a Data de Construção de um edifício consideram-se diferentes regulamentos sismo-resistentes (o RSCS, em 1958, o RSEP/REBA em 1968 e o RSA/REBAP em 1983). Assim, os períodos a escolher são:

Anterior a 1960;
1960-1969;
1969-1985;
1985-

ii) Regularidade em planta:

Regular;
Irregular (C", "E","L", "T", "U", "X" e assimétricas - nas suas duas direcções -).

iii) Relação de vãos:

Diz respeito à % de aberturas (portas e janelas na fachada)

Muito aberto (≥ 60% de aberturas);
Equilibrado (20% < < 60%);
Muito fechado (≤ 20% aberturas).

iv) Pisos recuados (setbacks):

Assinalar com ☑ sempre que o edifício apresente pisos superiores recuados uma vez que a sua existência pode conduzir a um agravamento do comportamento da estrutura.

v) Existência de átrio:

Assinalar com ☑ sempre que o edifício apresente átrios ou espaços abertos no seu interior.

vi) Comunicações verticais:

Assinalar com ☑ sempre que o edifício apresente caixas de escada e/ou de elevadores em betão armado. Se a sua localização for centrada em relação ao edifício contribui como um factor de desagravamento da vulnerabilidade do edifício.

vii) Excentricidade de massa:

Assinalar com ☑ a existência de massas adicionais em dada zona da estrutura, como reservatórios, cisternas, gerador, equipamento pesado. Sobretudo se essas massas forem excêntricas e localizadas nos pisos mais elevados do edifício.

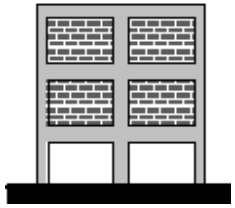
viii) Uniformidade na altura dos pisos:

Assinalar com ☑ sempre que o edifício apresente alturas dos pés-direitos uniformes (com a mesma medida).

ix) Soft-storeys (R/C vazado):

Assinalar com ☑ sempre que há um piso vazado, geralmente o 1º. Quando a rigidez de um piso é particularmente reduzida, as deformações horizontais do edifício tendem a concentrar-se nesse

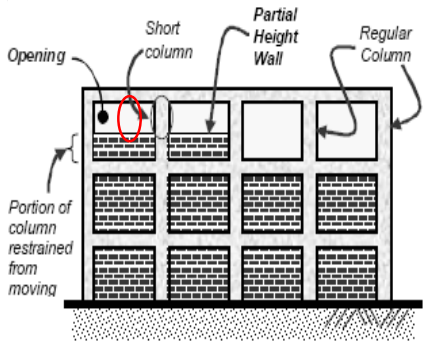
piso, originando a localização dos danos e colapso prematuro da estrutura.



Exemplo de edifício com piso vazado.

x) Short-columns (colunas curtas):

Assinalar com ☑ sempre que existam paredes de alvenaria incompletas, devido à presença de aberturas a todo o comprimento dos vãos para instalação de janelas. Assinalar apenas quando esta situação se verifique de uma forma generalizada em todo o piso.



Exemplo de edifício com colunas curtas (short-columns).

Danos existentes e Riscos interiores e exteriores:

Danos Existentes

- ☑ Problemas nas fundações/assentamentos
- ☐ Deformações de vigas
- ☐ Deformações de lajes
- ☐ Fendilhação em paredes
- ☐ Deformações em pavimentos
- ☐ Deformação em caixilharias
- ☐ Deformação em vãos de portas
- ☐ Infiltrações

Risco interior:

- ☑ Tectos falsos
- ☑ Iluminações suspensas
- ☑ Estantes/Armários altos
- ☑ Ares condicionados

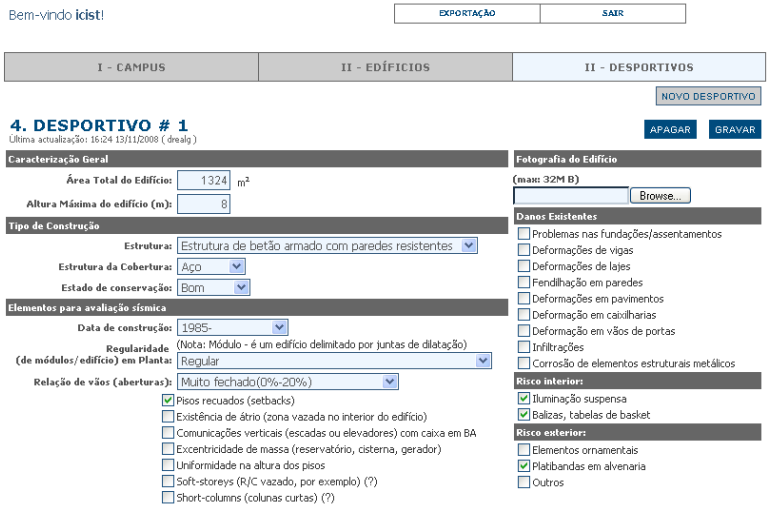
Risco exterior:

- ☐ Elementos ornamentais
- ☐ Platibandas em alvenaria
- ☐ Outros

Assinalar com ☑ sempre que se verificar a existência de danos no edifício ou a presença de elementos que oferecem risco às pessoas no interior e/ou exterior do edifício. Campo de escolha múltipla.

1.5. III – Desportivos

A figura seguinte apresenta a secção III.



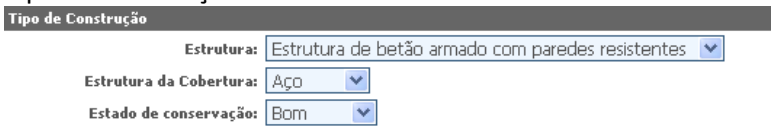
Caracterização Geral:

i) após assinalado (na Secção I – Campus) o campo "Existem ginásio/pavilhões desportivos" , é gerada uma ficha como a que se visualiza acima, em que aparecem os campos:

Área Total do edifício;

Altura máxima do edifico.

Tipo de Construção:



Tal como na secção II – Edifícios são apresentadas várias opções.

i) Estrutura das paredes resistentes:

Paredes de alvenaria;
Estrutura de betão armado com paredes resistentes;
Estrutura de betão armado com pilares;
Pré-fabricado de BA com painéis de fachada;
Pré-fabricado pesado de BA com painéis de fachada;
Outras (ATAPS);
Estrutura metálica.

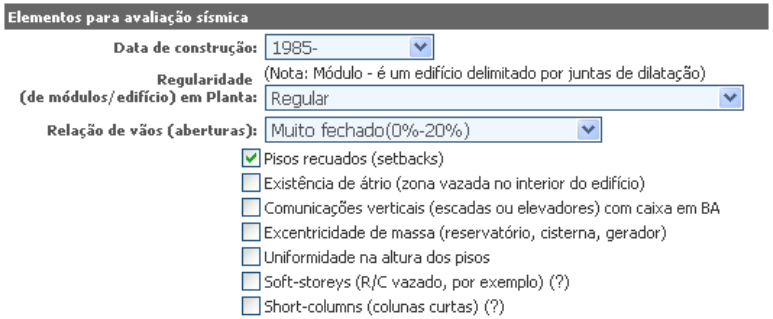
ii) Estrutura da cobertura:

Madeira;
Aço;
Betão.

iii) Estado de Conservação:

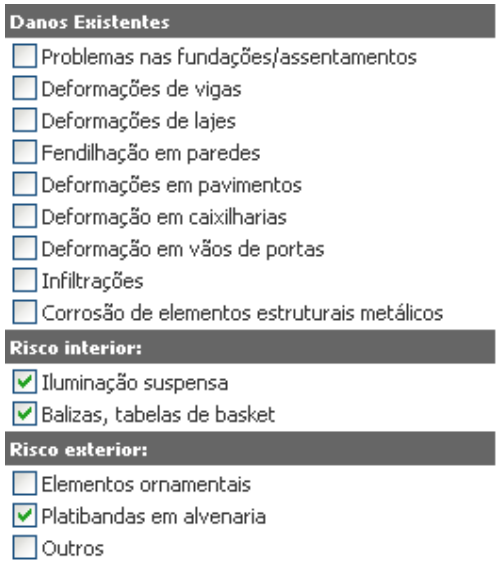
Bom;
Mau;
Razoável.

Elementos para Avaliação Sísmica:



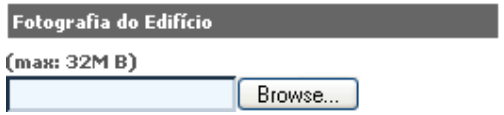
Ver Secção II – Edifícios.

Danos existentes e Riscos interiores e exteriores:



Assinalar com ☑ sempre que se verificar a existência de danos no edifício ou a presença de elementos que oferecem risco às pessoas no interior e/ou exterior do edifício. Campo de escolha múltipla.

A cada ficha do edifício desportivo pode ser adicionada uma fotografia do mesmo.



Para terminar o preenchimento do questionário clique em GRAVAR.

Para iniciar a caracterização de um novo estabelecimento de ensino clique no topo da página em:

Agradecemos ter colaborado na caracterização das escolas do seu Concelho.
Em caso de dúvida ou algum esclarecimento por favor contactar:

Mónica Amaral Ferreira
Email: monicaf@civil.ist.utl.pt
Tlf: 218418222

A. 2 INDICADORES DE RISCO DE DESASTRE E DE GESTÃO DE RISCOS

Em 2001, Omar Cardona chama a atenção para a avaliação do risco sísmico de acordo com uma visão holística, ou seja, medir o risco tendo em conta não só os danos físicos, as vítimas e perdas económicas, mas também factores sociais, organizacionais e institucionais. O seu trabalho não entra em consideração com interdependências funcionais mas com factores de fragilidade social, onde os desequilíbrios sociais e económicos traduzem-se numa deterioração da qualidade urbana, na pobreza, na segregação social, aumentando assim a vulnerabilidade da população e diminuindo a sua resiliência. Cardona perspectiva assim a resiliência e a capacidade adaptativa como uma dimensão do conceito de vulnerabilidade.

Em 2005, em virtude do Programa financiado pelo Inter-American Development Bank para 12 países da América Latina e Caribe, Cardona (2005) propõe um conjunto complexo de indicadores que comparam o risco dos diferentes países membros em termos de avaliação e gestão do risco. Este sistema de indicadores tenciona representar o risco não só a um nível nacional mas também à escala urbana, possibilitando a identificação das condições socioeconómica, análise às decisões políticas, investimentos e acções eficazes realizadas para cada país ao longo do tempo. Os quatro indicadores são: Índice de Deficit por Desastre (IDD), Índice de Desastres Locais (IDL), Índice de Vulnerabilidade Prevalecente (IVP) e Índice de Gestão de Risco (IGR). Cada índice é composto por indicadores e sub-indicadores que perfazem mais de 50 indicadores.

A2.1. ÍNDICE DE DEFICIT POR DESASTRE (IDD)

O Índice de Deficit por Desastre (IDD) reflecte o risco do país em termos macroeconómicos e financeiros perante um evento catastrófico e, quais os recursos necessários para atender à situação. Ou seja, é uma relação entre as perdas económicas directas do sector público e a resiliência económica presente de cada sector (fundos internos ou externos a que o Estado possa aceder).

Para calcular a resiliência económica o autor propõe o uso da soma de 7 sub-indicadores: i) pagamento de seguros e resseguros, ii) fundos de reservas para desastres, iii) possíveis ajudas ou doações, iv) novos impostos em caso de desastre, v) crédito externo que podem ser obtidos no mercado de capitais, vi) crédito interno que o país pode obter junto ao banco central e vii) reafectação orçamental.

Um IDD maior que 1 significa incapacidade económica do país em fazer face ao desastre. Quanto maior o IDD maior é o seu deficit, i.e., maior a distância entre as perdas e a capacidade do país em solucioná-las. O autor sustenta que este indicador permite aos decisores conhecerem a dimensão do problema e quais as implicações em termos orçamentais, caso o país se deparasse com um desastre. Estes resultados substanciam a necessidade de propor políticas públicas que minimizem o impacto económico de um evento de determinada intensidade.

A2.2. ÍNDICE DE DESASTRES LOCAIS (IDL)

O Índice de Desastres Locais (IDL), indica quão propenso é um país à exposição a fenómenos pouco frequentes (sismos, inundações, secas, incêndios florestais, deslizamentos, avalanches, erupções vulcânicas e tempestades) e qual o impacto cumulativo que este tipo de eventos causa a nível local. O IDL resulta então da soma de 3 sub-indicadores de nível municipal, obtidos da base de dados DesInventar (LA RED, The Network of Social Studies on Disaster Prevention in Latin América, http://www.desinventar.net/), e são eles o número de mortos (K), o número de pessoas afectadas (A) e as perdas (L) registadas para cada tipo de evento e que constam da base de dados. A Figura A2. ilustra esquematicamente como se obtém o IDL de um país, com base na informação existente em cada município sobre os eventos.

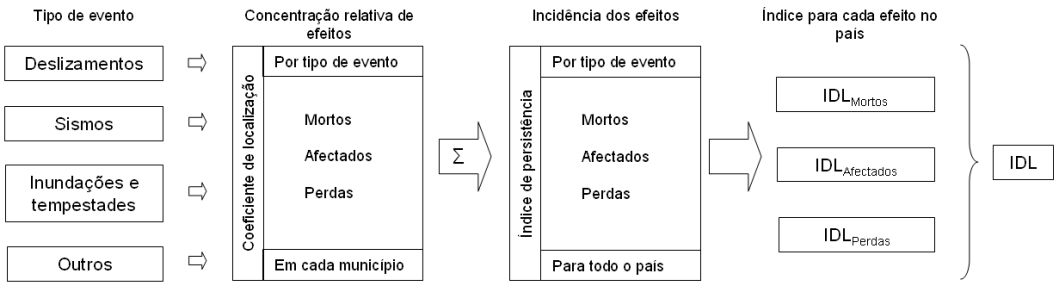


Figura A2.2.1 – Esquema para calcular o indicador IDL [baseado em Cardona, 2005]

Os sub-indicadores locais de desastre para cada tipo de variável (K, A, L) são obtidos através da seguinte equação:

$$LDI(_{K,A,L}) = \left(1 - \sum_{e=1}^{E}\left(\frac{PI_e}{PI}\right)^2\right)\lambda\,|_{(K,A,L)}$$

onde o Índice de Persistência (PI) é calculado com base em $PI_{(K,A,L))} = \sum_{e=1}^{E} PI_{e(K,A,L)}$.

Para se calcular o PI_e (índice de persistência dos efeitos K, A e L causados pelos eventos *e*) devem-se calcular as duas equações que se seguem:

$$PI_{e(K,A,L))} = 100\sum_{m=1}^{M} LC_{em(K,A,L)}$$

em que, LC_{em} corresponde ao Coeficiente de Localização dos efeitos X (K, A, L) causados por cada tipo de evento *e* em cada município *m*, como estabelecido na equação:

$$LC_{em(K,A,L))} = \frac{X_{em}X_{eC}}{X_m X_C}\eta\,|_{(K,A,L)}$$

onde os valores da variável X correspondentes a K, A ou L são:

X_{em}: valor de X causado pelo evento *e* no município *m;*

X_m: soma total de X causado por todos os eventos considerados em cada município *m;*

X_{eC}: valor de X causado para o evento *e* para o país;

X_C: soma total de X causado para o país*;*

η: relação entre todos os eventos E e o número de municípios M do país em que tenham sido registados alguns efeitos.

A Figura A2.2 2 mostra um exemplo dos resultados obtidos do IDL para os países da América Latina e Caribe no período 1996-2000. Este índice pretende captar a incidência (concentração) ou persistência dos efeitos causados por diferentes fenómenos a uma escala municipal; um IDL muito grande significa uma maior regularidade e distribuição dos efeitos por todos os municípios, devido aos diferentes tipos de fenómenos que os originam. Um menor valor de IDL significa baixa distribuição espacial dos efeitos entre os municípios onde os eventos ocorreram.

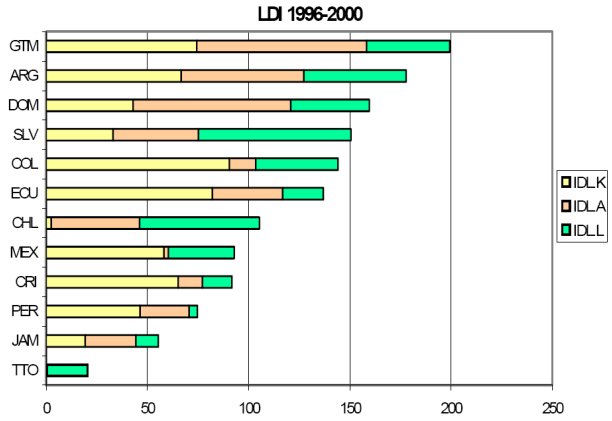


Figura A2.2.2 – Índice de Desastres Locais (IDL) para a América Latina e Caribe, período 1996-2000

Fonte: Cardona, 2005

A2.3. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE PREVALECENTE (IVP)

O terceiro índice proposto pelo autor, Índice de Vulnerabilidade Prevalecente (IVP) caracteriza as condições de vulnerabilidade predominantes num país, i.e., que favorecem o impacto físico directo (exposição/susceptibilidade) e indirecto (fragilidade socioeconómica e falta de resiliência). O IVP é assim um indicador composto pela média de 3 sub-indicadores:

$$IVP = \left(IVP_{ES} + IVP_{FS} + IVP_{FR}\right)/3$$

onde;

ES: Indicador de Exposição e Susceptibilidade

SF: Indicador de Fragilidade Socioeconómica

FR: Indicador de Falta de Resiliência

Para cada sub-indicador foi postulado um conjunto de critérios que melhor descrevem, segundo o autor a essência de cada um deles, conforme exposto nos Quadros seguintes (Quadro A2.3.1, Quadro A2.3.2 e Quadro A2.3.3):

Quadro A2.3.1 – Descritores do sub-indicador IVP_{ES} [baseado em Cardona, 2005]

Descrição	Indicador	Peso
Crescimento populacional anual (%)	ES1	W_1
Crescimento urbano anual (%)	ES2	W_2
Densidade populacional por área (5 km^2)	ES3	W_3
Percentagem população pobre (US$ 1/dia)	ES4	W_4
Stock de capital em milhões de US$/1000 km^2	ES5	W_5
Valor de importações e exportações de bens e serviços em % de PIB	ES6	W_6
Investimento público em % do PIB	ES7	W_7
Terra arável e cultivos permanentes em % da área do solo	ES8	W_8

Surge-nos porém uma questão, um aumento de infra-estruturas/investimentos num país tornam-no mais ou menos vulnerável? Por um lado, a exposição e o número de perdas com o aumento de investimento/capital aumentam. Por outro lado, nas sociedades ricas verificam-se grandes perdas de capital, mas que se traduzem numa baixa perda económica em proporção ao PIB (Dilley et al., 2005) e em poucas perdas humanas. O Japão, por exemplo, é um país muito ou pouco vulnerável? O impacto do sismo e tsunami de 2011 e os seus efeitos com o desastre nuclear, que se propagarão durante décadas, talvez respondam a esta questão.

Quadro A2.3.2 – Descritores do sub-indicador IVP_{FS} [baseado em Cardona, 2005]

Descrição	Indicador	Peso
Índice de pobreza humana (HPI-1)	SF1	W_1
Dependência da população vulnerável da população em condições de trabalhar (15-64)	SF2	W_2
Desigualdade social, concentração do rendimento medido usando o índice de Gini	SF3	W_3
Desemprego (%)	SF4	W_4
Inflação, em % anual	SF5	W_5
Dependência do crescimento do PIB na agricultura, em % anual	SF6	W_6
Dívida pública, em % de PIB	SF7	W_7
Degradação antropogénica do solo (GLASOD, Global Assessment of Soil Deterioration)	SF8	W_8

Como factor de vulnerabilidade a falta de resiliência (IVP_{FR}), pode representar-se em cada nível após o tratamento complementar ou invertido[1] de um vasto número de indicadores

[1] Utiliza-se o símbolo [inv] para assinalar o tratamento complementar ou invertido (⌐R=1-R)

relacionados com o desenvolvimento humano, despesas sociais e pensões, a governabilidade ou a preparação para enfrentar situações de crise, no Quadro A2., identificada como "Camas hospitalares por cada 1000 habitantes". Note-se que este último indicador, por exemplo, pode não captar bem a capacidade para recuperar ou absorver o impacto como pretendido. Como se sabe, muitos hospitais são desactivados após um sismo, devido à inviabilidade dos acessos causada pela destruição ou, como registado no sismo e tsunami do Japão (2011), onde hospitais sem qualquer dano, os pacientes tiveram de ser transferidos para outros locais, devido à falta de medicamentos (paragem da indústria e/ou dificuldade na distribuição). Consequentemente, o uso destes tipos de indicadores e pesos associados deverão ser repensados, há que ter presente a interdependência associada a cada função.

Quadro A2.3.3 – Descritores do sub-indicador IVP_{FR} [baseado em Cardona, 2005]

Descrição	Indicador	Peso
Índice de desenvolvimento humano (HDI) [inv]	FR1	W_1
Índice de desenvolvimento de acordo com o género (GDI) [inv]	FR2	W_2
Gastos sociais: na saúde, pensões e educação, em % do PIB [inv]	FR3	W_3
Índice de Governação, modificado de Kaufmann [inv]	FR4	W_4
Seguros de habitação e infra-estruturas, em % PIB [inv]	FR5	W_5
Televisões por cada 1000 habitantes [inv]	FR6	W_6
Camas hospitalares por cada 1 000 habitantes [inv]	FR7	W_7
Índice de sustentabilidade ambiental, ESI [inv]	FR8	W_8

O cálculo de cada sub-indicador (ES, FS e FR) é obtido através da equação:

$$IVP^{t}_{c(ES,FS,FR)} = \frac{\sum_{i=1}^{N} w_i I^{t}_{ic}}{\sum_{i=1}^{N} w_i} |_{(ES,FS,FR)}$$

onde,

w_i: peso designado para cada indicador;

I^{t}_{ic} : indicador normalizado através das seguintes equações:

$$I^{t}_{ic} = \frac{x^{t}_{ic} - \min\left(x^{t}_{i}\right)}{rank\left(x^{t}_{i}\right)}$$, para os sub-indicadores ES e FS

$$I^{t}_{ic} = \frac{\max\left(x^{t}_{i}\right) - x^{t}_{ic}}{rank\left(x^{t}_{i}\right)}$$, para o sub-indicador FR

em que:

x^{t}_{ic} : dados originais para a variável do país *C* durante o tempo *t*;

x_i^t : variável considerada em conjunto para todos os países;

$\min(x_i^t)$: valor mínimo definido para a variável no período *t*.

Segundo o autor os indicadores utilizados para descrever a exposição, a fragilidade socioeconómica e a falta de resiliência explicam a razão dos impactos nefastos na economia, sociedade e no ambiente (Cardona, 2005).

A2.4. ÍNDICE DE GESTÃO DE RISCOS (IGR)

O último índice proposto pelo autor, denominado Índice de Gestão de Riscos (IGR), propõe medir o desempenho ou performance da gestão do risco num país, a partir de um grupo de sub-indicadores que se descrevem a seguir:

$$IGR = (IGR_{IR} + IGR_{RR} + IGR_{MD} + IGR_{PF})/4$$

em que:

IGR_{IR} : indicador de Identificação do Risco

IGR_{RR} : indicador de Redução do Risco

IGR_{MD} : indicador de Gestão de Desastres

IGR_{PF} : indicador de Protecção Financeira

Para cada sub-indicador foi identificado um conjunto de critérios, que melhor representam cada um deles, conforme se verificam nos Quadros seguintes:

Quadro A2.1.1 - Descritores do sub-indicador IGR_{IR} [baseado em Cardona, 2005]

Descrição	Indicador	Peso
Inventário sistemático de desastres e perdas	IR1	W_1
Monitorização da perigosidade e prognóstico	IR2	W_4
Avaliação da perigosidade e representação em mapas	IR3	W_5
Avaliação da vulnerabilidade e risco	IR4	W_6
Informação pública e participação da comunidade	IR5	W_7
Treino e educação em gestão de riscos	IR6	W_8

Os descritores do sub-indicador redução do risco (IGR_{RR}) envolvem medidas de prevenção e mitigação (Quadro A2.4.2), enquanto que os de gestão de desastres (IGR_{MD}) introduzem medidas de prevenção e recuperação (Quadro A2.4.3).

Quadro A2.4.2 - Descritores do sub-indicador IGR_{RR} [baseado em Cardona, 2005]

Descrição	Indicador	Peso
Integração do risco na definição de usos do solo e no planeamento	RR1	W_1
Intervenção nas bacias hidrográficas e protecção ambiental	RR2	W_4
Implementação de técnicas de controlo da perigosidade e de fenómenos	RR3	W_5
Renovação da habitação e relocalização da população de zonas com risco	RR4	W_6
Actualização e controlo na aplicação das normas e regulamentos	RR5	W_7
Recuperação e reforço de bens públicos e privado	RR6	W_8

Quadro A2.4.3 - Descritores do sub-indicador IGR_{MD} [baseado em Cardona, 2005]

Descrição	Indicador	Peso
Organização e coordenação de operadores de emergência	MD1	W_1
Planeamento da resposta em caso de emergência e sistemas de alerta	MD2	W_4
Existência de equipas, ferramentas e infra-estruturas	MD3	W_5
Simulacros e actualizações	MD4	W_6
Preparação e treino da comunidade	MD5	W_7
Planeamento para a reabilitação e reconstrução	MD6	W_8

Por fim o Quadro A2.4 4refere que a governabilidade e a protecção financeira (IGR_{PF}) mede o grau de institucionalização e de transferência de risco de um país.

Quadro A2.4.4 - Descritores do sub-indicador IGR_{PF} [baseado em Cardona, 2005]

Descrição	Indicador	Peso
Organização interinstitucional, multissectorial e descentralizada	PF1	W_1
Fundos de reserva para fortalecimento institucional	PF2	W_4
Localização e mobilização de recursos	PF3	W_5
Implementação de redes e fundos de seguro	PF4	W_6
Seguros e estratégias de transferência de perdas de activos públicos	PF5	W_7
Cobertura de seguros e resseguros da habitação e do sector privado	PF6	W_8

Os cálculos de cada sub-indicador (IR, RR, MD, PF) são obtidos através da equação:

$$IGR^{t}_{e(IR,RR,MD,PF)} = \frac{\sum_{i=1}^{N} w_i I^{t}_{ic}}{\sum_{i=1}^{N} w_i} \Big|_{(IR,RR,MD,PF)}$$

onde:

w_i: peso designado para cada indicador

I_{ic}^{t} : sub-indicador normalizado

IGR_{e}^{t} : cada sub-indicador (IR, RR, MD, PF) de cada unidade territorial *c* num período de tempo *t*.

O indicador IGR é então baseado nos seis componentes qualitativos, cuja avaliação é feita por especialistas de cada país. Países com um elevado IGR estarão melhor preparados para gerir a catástrofe. O IGR mostra por exemplo, o Chile, Costa Rica, Jamaica e México com valores elevados em oposição aos baixos valores que inclui a República Dominicana, Equador e Argentina.

A técnica de ponderação utilizada no cálculo dos pesos para obter os indicadores foi o Processo Analítico Hierárquico.