



**Mário Jorge Grave
Vieira Henriques**

**Avaliação da vulnerabilidade sísmica de edifícios
escolares**



**Mário Jorge Grave
Vieira Henriques**

**Avaliação da vulnerabilidade sísmica de edifícios
escolares**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Doutor Aníbal Guimarães da Costa, Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e coorientação científica do Doutor Humberto Salazar Amorim Varum, Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e coorientação científica do Doutor Vitor Emanuel Marta da Silva, Investigador do EUCENTRE em Pavia, Itália.

Dedico este trabalho ao meu Avô Joaquim.

Sir Winston Leonard Spencer Churchill

The only guide to a man is his conscience; the only shield to his memory is the rectitude and sincerity of his actions. It is very imprudent to walk through life without this shield, because we are so often mocked by the failure of our hopes and the upsetting of our calculations; but with this shield, however the fates may play, we march always in the ranks of honor.

o júri

presidente

Prof. Doutor Paulo Jorge de Melo Matias Faria de Vila Real
Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Doutor Mário António Lage Alves Marques
Investigador de Pós-Doutoramento da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Professor Doutor Aníbal Guimarães da Costa
Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Terminando finalmente o meu percurso académico quero agradecer a todos os que estiveram comigo desde sempre a apoiarem-me e invariavelmente a todos aqueles que tornaram possível não apenas a realização da minha dissertação mas também a execução deste trabalho de investigação que ganhou esta dimensão verdadeiramente colossal.

Ao professor Humberto Varum, meu orientador, primeiro porque muitos anos antes sequer de atingir o último ano do meu curso superior, mal comecei a ter aulas com o professor, à disciplina de Resistência dos Materiais, fiquei absolutamente fascinado pela inteligência e pela simpatia do professor, esta verdade é um facto absolutamente inegável. Assim que tive a felicidade de ficar a trabalhar com o professor que eu queria, imediatamente fiquei com toda a responsabilidade do universo em cima de mim, mas também tive toda a liberdade para escolher a área em que iria trabalhar, o tema sobre o qual iria investigar e um horário totalmente flexível, durante o dia e durante a noite, para que o cálculo monstruoso surgisse para admiração de tudo e todos mas principalmente para o orgulho maior do professor. O professor nunca deixando absolutamente nada ao acaso, providenciou imediatamente o seu fortíssimo braço direito que é uma pessoa da sua total confiança, o meu orientador Vitor Silva, para que qualquer fatalidade que surgisse neste enorme caminho, fosse imediatamente eliminada. O professor Humberto em todas as situações que eu vacilava, ele imediatamente fornecia a informação absolutamente preciosa e necessária, que eliminava naquele preciso momento qualquer dificuldade. É absolutamente verdade que somos pessoas totalmente opostas, o professor é muito calmo e pacífico e eu sou completamente e extremamente explosivo, em resumo, eu sou um verdadeiro terrorista mas apesar de tudo isso, não há maior prova da nossa grande amizade que é comprovada neste facto, sempre que quero, entro no gabinete do professor apenas para lhe dar um grande abraço. Refiro este pormenor pelo seguinte, inicialmente este trabalho era para ser a uma escala extremamente reduzida mas eu sempre discordei totalmente do professor, porque eu sempre disse, se é para fazer este trabalho é para se fazer à grande. O professor Humberto mais tarde concordou e ajudou a que o seu indomável orientando tivesse mais matéria-prima para fazer um trabalho muito maior, é verdade professor, conseguimos e agora fazemos o que sempre fizemos, damos um grande abraço.

agradecimentos

Ao Vitor Silva, meu orientador, porque desde a nossa primeira reunião imediatamente pela sua inteligência e perspicácia apercebeu-se da minha maneira de trabalhar. Tudo extremamente simples, o meu orientador designava uma tarefa e eu literalmente sem saber sequer quais seriam metade dos passos que teria de executar para alcançar o resultado final, muito simplesmente ele estabelecia um método exatamente igual a uma receita com uma série de indicações que me permitiam alcançar qualquer que fosse o objetivo, por mais difícil que fosse, a partir daquele instante era apenas necessário correr atrás e nessa particularidade ninguém é melhor que eu, porque nisso sou excepcionalmente bom. O meu orientador é uma pessoa extremamente organizada e com uma linha de pensamento extremamente bem definida em relação ao trabalho e mesmo tendo nós apenas pouco mais de meia dúzia de reuniões durante toda a realização desta dissertação, foram as estritamente necessárias porque enquanto eu trabalhava o meu orientador em trabalho percorreu sete vezes o planeta, para além disso, agradeço-lhe sinceramente porque por grande mérito dele consegui ficar com a posse de todos os relatórios inspeção das escolas da zona Norte do parque escolar que cordialmente ele me forneceu quando propositadamente se deslocou à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Ao professor Aníbal Costa, meu magnânimo orientador, porque realmente eu sou mesmo um privilegiado porque graças ao professor consegui ampliar a dimensão do meu estudo que inicialmente se encontrava num nível distrital para passar para um nível nacional. É absolutamente inegável a minha admiração, carinho e amizade pelo professor Aníbal Costa porque o seu nível de conhecimento e sabedoria são absolutamente impressionantes mas para além disso, porque sem este fator estar absolutamente ligado à sua suprema inteligência não valia de absolutamente nada, que é a bondade do seu coração. O professor Aníbal Costa é das melhores pessoas que podemos conhecer. É extremamente comovente ver um grande senhor a ensinar um menino que está imediatamente ao seu lado e estão tão entretidos que parecem duas crianças a brincar, verdade seja dita, formar engenheiros, isso toda a gente forma, agora formar meninos com bons valores para toda a eternidade, não é para todos, apenas para as pessoas realmente especiais. Muito obrigado professor porque a mais importante glória dum professor que ensina é ficar registado para sempre, que aquele professor não apenas ensinou, mas mais importante que tudo, os seus alunos ele sempre motivou.

agradecimentos

Agradeço tremendamente à professora Beatriz Aguado e ao professor Jorge Medina, do Departamento de Geociências, porque graças aos professores consegui identificar todos os tipos de terreno de todas as escolas. Se não fosse pela enorme paciência da professora Beatriz Aguado analisando escola a escola, fazendo correspondência para os tipos de terreno do regulamento sísmico europeu corrente, acreditem nenhum dos cálculos seria possível. Para além disso, tendo a geologia um papel tão importante neste trabalho, o professor Jorge Medina perante tamanha quantidade de informação, acreditem foi mesmo ele que teve a genialidade para elaborar uma estratégia para conseguir falar de toda a informação geológica recolhida, tal passava por falar das unidades estruturais de Portugal Continental, contar a sua história, fazer um correto enquadramento e finalmente os três concordamos em falar dos três grandes grupos de rochas que englobam todos os terrenos encontrados. Neste trabalho Engenharia Civil e Geociências são indissociáveis portanto não posso deixar de agradecer aos meus professores pela sua grande ajuda que sem a qual este trabalho não seria possível.

Profundamente gostaria muito de agradecer à empresa pública Parque Escolar, E.P.E., que proporcionou as condições necessárias para que esta dissertação ganhasse uma dimensão muito maior e consecutivamente, o conhecimento sobre a vulnerabilidade sísmica das escolas secundárias portuguesas fosse muito mais abrangente. Relativamente ao Parque Escolar, E.P.E., quero referir-me particularmente às pessoas responsáveis pela ampliação do meu trabalho, a uma escala nunca antes vista. Agradeço ao engenheiro Luís Martins que muito cordialmente forneceu as escolas da zona Norte do parque escolar ao meu orientador, e posteriormente ao meu pai por ter contactado e insistido bastante com o diretor geral de projetos e gestão de ativos do Parque Escolar, E.P.E., o engenheiro Fernando Militão Gonçalves, que amavelmente forneceu o contato telefónico da coordenadora da equipa de estudos e projetos, a arquiteta Cristina Oliveira, e através da permissão do presidente do conselho de administração do Parque Escolar, E.P.E., o doutor Luís Flores de Carvalho, consegui obter acesso às restantes escolas que faltavam da zona Sul do parque escolar mas agora importa realçar e destacar acima de tudo e de todos, a maravilhosa arquiteta Cristina Oliveira, porque para todos terem a noção da gentileza desta encantadora senhora, contatei-a durante as suas próprias férias no ano passado, falamos ao telefone, durante mesmo muito tempo, para eu puder explicar totalmente o âmbito e a finalidade do meu trabalho, entretanto a certa altura, um nome surge, o nome do professor Aníbal Costa, agora imaginem o valor do professor, imediatamente sorrimos e fizemos elogios ao professor Aníbal Costa, penso que isto é bastante demonstrativo do poder que o professor tem em aproximar as pessoas, ninguém lhe pode tirar o seu grande valor porque é inegável, e imediatamente esta senhora muito amavelmente colocou todo o seu empenho nesta grande empreitada e não descansou enquanto não colocou nas minhas mãos todos os relatórios inspeção das escolas da zona Sul do parque escolar que me faltavam, é verdade, em quinze dias recebi tudo por correio, muito obrigado pelo seu bom coração, arquiteta Cristina Oliveira.

agradecimentos

Agradeço muito à minha mãe, porque é a pessoa que mais me ama no mundo. Ela sempre me ajudou, a portar-me bem, ela sempre me ensinou, agradeço-lhe porque ela sempre me amou e o meu curso inteiramente suportou. Pelo grande carinho que tenho pela minha mãe, apenas digo amo-te muito mãe.

Quero agradecer muito ao meu Avô Joaquim, o grande homem que no caminho do bem me formou, que sempre me amou e sempre muito bem de mim cuidou, que mesmo antes de falecer, ensinou-me tudo o que precisava de saber para qualquer que fosse a dificuldade que tivesse de ultrapassar na vida, possuindo o conhecimento dele, facilmente a pudesse superar. O meu Avô Joaquim é o homem mais honesto, com melhor coração e o mais trabalhador que alguma vez existiu, ele é o meu grande herói e o meu grande exemplo sempre a seguir, porque esta é a grande verdade, todos nós precisamos dum herói.

Agradeço a todos os meus manos, a todos os meus amigos da minha Escola Secundária de Ílhavo e a todos os meus amigos da Universidade de Aveiro, obviamente com total destaque para o meu melhor amigo, o mais importante de todos, o meu mano Luís Torrão porque é exatamente igual a mim, é um menino bom, brincalhão e um verdadeiro terrorista. Fazer asneiras é o nosso passatempo favorito, por isso mesmo, defendemo-nos mutuamente com uma força demolidora, porque adoramos o nosso estilo de vida, porque é aquela base portanto meu grande bandido, mando-te um grande abraço e muito obrigado.

Finalmente quero mostrar ao universo inteiro a origem da força monstruosa que me possibilitou ter conseguido fazer este trabalho que não é possível ser executado por um humano normal ainda mais em circunstâncias normais, obviamente que tinha de existir uma grande motivação por trás deste gigantesco trabalho que não foi por absolutamente nenhuma razão profissional mas sim por uma razão totalmente emocional. Pergunto a todos vocês onde nascem os maiores amores das nossas vidas? Obviamente que nascem nas nossas escolas secundárias e eu na minha Escola Secundária de Ílhavo limitei-me a amar as que sempre geraram dentro de mim, a força gigantesca que sempre controlou toda a minha vida que é o amor, todo esse poder vem da minha grande perdição por mulheres, já mandei rosas para a Bélgica e nunca lá estive e estas rosas são uma mera gota da autêntica fortuna que gastei em rosas e das quinze mulheres que amei na minha vida, sendo elas de todos os tipos que existem, filhas da lua, filhas da terra, filhas do deserto, filhas do fogo, mas também aquelas que sempre foram, são e sempre serão o meu eterno calcanhar de Aquiles, que são as filhas do sol, que são meninas com cabelo amarelo cor do sol e olhos azuis cor do céu, esqueçam, absolutamente esqueçam, eu não me responsabilizo por nada, porque fico completamente perdido, portanto à entidade empregadora que me contratar, na eventualidade de eu conhecer uma linda filha do sol, agradeço a total compreensão da minha derradeira perdição.

Muito obrigado de coração.



Há pessoas que nos falam e nós nem as ouvimos, há pessoas que nos ferem e nem cicatrizes deixam. Mas há pessoas que simplesmente aparecem em nossas vidas e nos marcam para sempre.

Cecília Benevides de Carvalho Meireles



Manami Kon, 4, usa os caracteres japoneses “hiragana” que acabou de aprender para escrever uma carta à sua mãe, desaparecida, na devastada cidade de Miyako, Província de Iwato, a 22 de Março de 2011. “Querida mãe. Espero que estejas viva. Estás bem?” Lendo a carta, que demorou, cerca de uma hora a escrever. Também desaparecido, está o pai e à irmã da pequena menina. (NBCNews.com, 2011)

palavras-chave

Vulnerabilidade, risco sísmico, escolas

resumo

A grande motivação para este trabalho resultou na avaliação da vulnerabilidade sísmica das escolas básicas e secundárias que fazem parte integrante do parque escolar de Portugal Continental. Apesar de até ao momento apenas se terem estudado a vulnerabilidade de algumas escolas em algumas zonas particulares do nosso país, para este trabalho de investigação tivemos uma ambição muito maior e obviamente fizemos um esforço muito maior. Estabelecemos assim como meta, a avaliação de todo o parque escolar.

Embora todo o parque escolar possua na ordem das três centenas de escolas em todo o território nacional e sendo este projeto de reabilitação, um projeto com a duração de 2007 a 2015. Em 2011, por motivos da crise económica, todo o projeto congelou sendo reabilitadas até à data cerca de apenas um terço das escolas. Esta quantidade foi o número de escolas que avaliamos em todo o país.

As escolas, sendo edifícios públicos com uma importância fundamental, tanto pela elevada concentração de jovens, como pela função essencial como centros de aprendizagem para as gerações vindouras, como também pela ameaça que representam na eventualidade dum cenário sísmico pela enorme densidade de utilizadores, e pela vantagem de nesse cenário de catástrofe a importância estrutural ser superior em relação à maior parte dos edifícios correntes, devidamente demonstrado pelos argumentos enumerados, conseqüentemente as escolas podem servir como instalações de proteção civil perante uma catástrofe sísmica para apoio das populações circundantes afetadas. Portanto para cada uma das escolas cordialmente fornecidas pelo Parque Escolar, E.P.E., foi feito um estudo exaustivo e muito individual de cada uma das escolas, onde cada análise foi desenvolvida por uma metodologia simplificada, sendo cada análise sempre individual, e nunca tendo sido aplicada em série, este fator melhora substancialmente a eficácia da avaliação para a quantificação das vulnerabilidades e da determinação do grau de dano e das frações de perda para os requisitos fundamentais de limitação de danos, de não colapso, e de colapso iminente que correspondem a ações com períodos de retorno de 95, 475 e 975 anos.

Este trabalho é fundamental para as entidades competentes terem a consciência da vulnerabilidade das escolas secundárias, para puderem atuar a nível estrutural e diminuir assim a vulnerabilidade sísmica, e mesmo que por impossibilidade económica o poder governamental não intervenha, então pode e principalmente deve, elaborar planos de emergência tanto com engenheiros civis qualificados como com a total colaboração das corporações de bombeiros que fazem parte das forças de operação e socorro da Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC).

keywords

Vulnerability, seismic risk, schools

abstract

The great motivation for this work was based on the assessment of the seismic vulnerability of the preparatory and the secondary schools that make part of the national scholar building stock. Even though until this moment it had only been studied the seismic vulnerability of some schools in some particular areas of Portugal, for this research work we had a much greater ambition and obviously made a much greater effort. We established as goal, the assessment of all the scholar building stock.

Although all the scholar stock has around three hundred schools in all our mainland territory and being this rehabilitation project, a project with the duration that started in 2007 and would end next year, or in another words, it would end in 2015. In 2011, because of the economic crisis all the project was frozen being rehabilitated only one third of all the schools. This amount was the number of schools that were evaluated all over the country.

Being schools, public buildings with a fundamental importance, both by the massive concentration of teenagers, as well by its essential role as learning centers for the coming generations, and also because the menace that they represent in an eventuality of an earthquake scenario because of the enormous density of users but also because the benefit that schools represent in a damage scenario thanks to its greater structural importance compared to the most of the current building existing carefully shown in the arguments previously listed, consequently schools can be used as facilities for civilian risk protection when confronted against a seismic catastrophe to support the surrounding affected population. Therefore, for each schools generously delivered by the public company, Parque Escolar, E.P.E., an exhaustive study and particularly a very individual work for each schools that were attributed was developed, where each analysis was accomplished by a very simplified methodology, being each analysis always individual, and never been applied in a mass production manner, this factor substantially improves the efficiency of the assessment for the quantifications of the vulnerabilities, the damage grades and also the determination of the loss ratios for the fundamental requirements of damage limitation, of not collapse and imminent collapse that are associated to the imposed actions for the return periods of 95, 475 and 975 years.

This study work is fundamental to all the competent entities have the full conscience of the vulnerability of the secondary schools, in order to act properly on a structural level and like this reduce the seismic vulnerability, and even though by economic impossibilities the governmental power take no action, it must and mostly need to elaborate emergency plans not only with qualified civil engineers but also the full collaboration of fire departments that make part of the rescue and operation forces of the National Authority of Civil Protection (NACP).

Índice

Índice	I
Índice de figuras	V
Índice de tabelas	IX
Lista de símbolos.....	XI
Lista de acrónimos.....	XV
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Motivação	3
1.3 Objetivos.....	4
2 Regulamentação sísmica.....	7
2.1 Apresentação cronológica das exigências de segurança sísmica em edifícios de Portugal.....	7
2.2 Regulamento de Segurança das Construções Contra os Sismos (RSCCS) e o Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes (RSEP).....	8
2.3 Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSAEEP).....	11
2.4 Regulamento para projeto de estruturas para resistência aos sismos (Eurocódigo 8)	14
2.5 Análise comparativa dos regulamentos	16
3 Apresentação do parque escolar	23
3.1 Caracterização construtiva e estrutural da rede pública das escolas secundárias... 23	
3.1.1 Edifícios com pavimentos em madeira e paredes portantes de alvenaria, construídos entre o final do século XIX e a década de 1930	23

3.1.2	Edifícios com pavimentos em betão armado e paredes portantes de alvenaria, construídos entre 1930 e o fim da década de 1950	24
3.1.3	Edifícios dos primórdios do uso generalizado do betão armado, anteriores à regulamentação sísmica, construídos entre 1950 e o início da década de 1960.....	24
3.1.4	Edifícios integralmente de betão armado, posteriores à entrada em vigor do RSCCS, de 1958, e anteriores à do RSAEEP, de 1983.....	25
3.1.5	Outros edifícios construídos na década de 1970 por métodos industrializados (pré-fabricados, de betão armado ou aço)	26
3.1.6	Edifícios construídos e projetados depois da entrada em vigor do Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes, do RSAEEP, de 1983 ..	26
4	Aprendizagem sobre sismos passados em edifícios escolares.....	31
4.1	Introdução	31
4.2	Experiências sísmicas nacionais	31
4.2.1	Sismo de 23 de Abril de 1909 em Benavente.....	31
4.2.2	Sismo de 28 de Fevereiro de 1969 no Algarve.....	32
4.2.3	Sismo de 9 de Julho de 1998 no arquipélago dos Açores	33
4.3	Experiências sísmicas internacionais.....	34
4.3.1	Sismo de 31 de Outubro de 2002 em Molise.....	34
4.3.2	Sismo de 12 de Maio de 2008 na China	35
4.3.3	Sismo de 12 de Janeiro de 2010 no Haiti	37
4.3.4	Sismo de 11 de Março de 2011 no Japão	38
5	Metodologia da avaliação da vulnerabilidade sísmica.....	43
5.1	Escala Macrossísmica Europeia (EMS 98).....	43
5.1.1	Índices de vulnerabilidade	43
5.1.2	Avaliação dos índices de vulnerabilidade	44
5.1.3	Índices de vulnerabilidade tipológica	45

5.1.4	Fator modificador de comportamento	46
5.1.5	Fator de vulnerabilidade regional	47
5.1.6	Intervenção da incerteza na avaliação da vulnerabilidade.....	50
5.1.7	Intervenção dos fatores modificadores do solo	51
6	Consideração da amplificação sísmica	57
6.1	Introdução	57
6.2	Enquadramento geológico de Portugal Continental	58
6.2.1	Caraterísticas gerais do Maciço Hespérico.....	61
6.2.2	Caraterísticas gerais da orla mesocenozóica ocidental ou lusitana	62
6.2.3	Caraterísticas gerais da orla mesocenozóica meridional ou do Algarve	62
6.3	Rochas sedimentares	63
6.4	Rochas magmáticas.....	66
6.5	Rochas metamórficas	68
6.6	Caraterização dos diferentes dos tipos de terreno relativamente ao regulamento sísmico (Eurocódigo 8).....	70
6.7	Amplitude da contribuição geológica para a vulnerabilidade sísmica	72
7	Avaliação da vulnerabilidade sísmica	75
7.1	Demonstração da aplicação da metodologia.....	75
7.2	Curva de grau de dano médio do exemplo de avaliação.....	80
7.3	Curvas de fragilidade do exemplo de avaliação	81
7.4	Curva de vulnerabilidade do exemplo de avaliação	83
8	Tipologias construtivas do parque escolar	87
8.1	Apresentação das tipologias construtivas	87
8.2	Curvas de grau de dano médio das tipologias construtivas	89
9	Risco sísmico	97

9.1	Perigosidade sísmica em Portugal Continental.....	97
9.2	Avaliação dos modelos de consequência.....	99
10	Considerações finais	105
10.1	Conclusões	105
10.2	Desenvolvimentos futuros	108
11	Referências bibliográficas.....	113
Anexos.....		119

Índice de figuras

Figura 1 – Regra de cálculo e de distribuição das forças horizontais. Método do coeficiente sísmico, RSCCS. Adaptado (Proença e Gago, 2011).	9
Figura 2 – Mapa de sismicidade do Regulamento de Segurança das Construções Contra os Sismos (RSCCS, 1958).	10
Figura 3 – Zonamento sísmico do Regulamento de Segurança das Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes. Adaptado (RSAEEP, 1983).	12
Figura 4 – Regra de cálculo e de distribuição das forças horizontais. Método simplificado de análise estática, RSAEEP. Adaptado (Proença e Gago, 2011).	13
Figura 5 – Zonamento do EC8: sismo tipo 1 (afastado) e sismo tipo 2 (próximo). Adaptado (Eurocódigo 8, 2010).	15
Figura 6 – Diferenças do coeficiente sísmico RSAEEP-RSCCS/RSEP nos diversos concelhos de Portugal Continental. $\eta = 2,5$, valor máximo de $\beta_0(f)$, média dos tipos de terreno I a III. Adaptado (Proença e Gago, 2011).	17
Figura 7 – Diferenças do coeficiente sísmico EC8-RSAEEP nos diversos concelhos de Portugal Continental em terreno tipo A (I), rocha. $\eta = 2,5$, $q = 2,5$, valor máximo de $\beta_0(f)$, patamar de acelerações constantes de $S_d(T)$, $\lambda = 0,85$, envolvente dos sismos tipo 1 e 2. Adaptado (Proença e Gago, 2011).	18
Figura 8 – Diferenças do coeficiente sísmico EC8-RSAEEP nos diversos concelhos de Portugal Continental em terreno tipo A (I), rocha. $\eta = 2,5$, $q = 2,5$, valor máximo de $\beta_0(f)$, patamar de acelerações constantes de $S_d(T)$, $\lambda = 0,85$, envolvente dos sismos tipo 1 e 2. Adaptado (Proença e Gago, 2011).	19
Figura 9 – Primeiro projeto normalizado (Heitor, 2011).	26
Figura 10 – Projeto Base Técnica (Proença e Gago, 2011).	27
Figura 11 – Pavilhão de salas de aula do Projeto “3 X 3” (Proença e Gago, 2011).	27

Figura 12 – Representação das diferentes escalas de Mercalli registadas no sismo de Benavente de 1909, no mapa geológico da Região do Vale do Tejo (Cabral et al., 2011).	32
Figura 13 – Danos em edifícios na região mais afetada pelo sismo de 1969 (Marecos e Castanheta, 1970).	33
Figura 14 – Microzonamento em San Giuliano: fatores de amplificação. Adaptado (Indirli et al., 2004).	35
Figura 15 – Mapa geológico de Portugal Continental. Adaptado (FLUP, 2010).	57
Figura 16 – Representação das unidades estruturais geológicas de Portugal Continental: Maciço Hespérico e orla mesocenozóica. Adaptado (FLUP, 2010).	58
Figura 17 – Representação das diferentes rochas metamórficas provenientes do Maciço Hespérico de Portugal Continental. Adaptado (FLUP, 2010).	59
Figura 18 – Representação das rochas magmáticas provenientes das unidades geológicas estruturais de Portugal Continental. Adaptado (FLUP, 2010).	60
Figura 19 – Representação das rochas sedimentares e metamórficas da orla mesocenozóica de Portugal Continental. Adaptado (FLUP, 2010).	61
Figura 20 – Planta de implantação (FEUP, 2007).	75
Figura 21 – Corte transversal esquemático do corpo A com identificação dos diferentes níveis (FEUP, 2007).	76
Figura 22 – Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas na cobertura do corpo A (FEUP, 2007).	77
Figura 23 – Marcas das vigotas na laje do teto do ginásio (FEUP, 2007).	77
Figura 24 – Perigosidade sísmica para Portugal Continental; mapas desenhados com a resolução geográfica do concelho (Sotto-Mayor, 2006).	98
Figura 25 – Distribuição geográfica dos parâmetros da distribuição beta e limites de truncatura (Sotto-Mayor, 2006).	99

Figura 26 – Modelos de consequência para a) Itália; b) Grécia; c) Turquia e d) Califórnia.
Adaptado (Silva, 2013)..... 100

Índice de tabelas

Tabela 1 – Evolução temporal dos regulamentos para o projeto de estruturas para a resistência dos sismos. Adaptado (Proença e Gago, 2011).	7
Tabela 2 – Valores do coeficiente de importância γ_I para Portugal Continental. Adaptado (Proença e Gago, 2011).	14
Tabela 3 – Valores dos índices de vulnerabilidade de acordo com as respetivas classes de vulnerabilidade. Adaptado (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).....	44
Tabela 4 – Atribuição das classes de vulnerabilidade para diferentes tipologias construtivas. Adaptado (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).....	45
Tabela 5 – Valores do índice de vulnerabilidade para diferentes tipologias construtivas. Adaptado (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).....	46
Tabela 6 – Valores dos fatores modificadores para edifícios de alvenaria e de betão armado. Adaptado (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).....	47
Tabela 7 – Tipificação dos edifícios de Lisboa. Funções de vulnerabilidade (Oliveira e Victor, 1984).....	49
Tabela 8 – Avaliação do impacto sísmico para três zonas de Lisboa. Adaptado (Oliveira e Victor, 1984).....	50
Tabela 9 – Valores sugeridos para ΔV_f em relação à origem e qualidade dos dados. Adaptado (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).	50
Tabela 10 – Período fundamental T_1 para edifícios de alvenaria e betão armado. Adaptado (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).	51
Tabela 11 – Fatores de multiplicação da PGA (aceleração de ponta do solo) f_{PGA} avaliados para os tipos de solo do EC8 e diferentes categorias de edifícios. Adaptado (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).....	52

Tabela 12 – Incrementos de intensidade ΔI avaliados para os tipos de solo do EC8 e diferentes categorias de edifícios. Adaptado (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).	52
Tabela 13 – Incrementos de vulnerabilidade ΔV avaliados para os tipos de solo do EC8 e diferentes categorias de edifícios. Adaptado (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).	53
Tabela 14 – Tipos de terreno do regulamento sísmico europeu. Adaptado (Eurocódigo 8, 2010).	71
Tabela 15 – Identificação dos danos da escola secundária.	78
Tabela 16 – Resumo da intensidade dos danos não estruturais da escola secundária.....	78
Tabela 17 – Intensidade dos níveis de dano. (FEUP, 2007).	78
Tabela 18 – Valores dos fatores modificadores pertencentes à escola secundária.....	79
Tabela 19 – Modelo de consequência de Itália. Adaptado (Silva, 2013).	84
Tabela 20 – Tipologias construtivas existentes nos edifícios escolares.	89
Tabela 21 – Modelo de consequência usado em desenvolvimento do modelo de vulnerabilidade para o parque imobiliário português de betão armado (Silva, 2013).	101

Lista de símbolos

a_{gr}	Aceleração máxima à superfície de um terreno (EC8);
A_j	Área da unidade j ;
$a_{l,j}$	Área da classe de edifícios com intensidade l , na unidade j ;
a_{pi}	Área em planta;
C	Coefficiente sísmico;
$C_{i,j}$	Valor da construção em metros quadrados, em função da classe i e da localização j ;
D	Grau de dano;
f	Função de filtro (EMS 98);
F_b	Força de corte na base da direção considerada (EC8);
f_{PGA}	Fatores de aceleração de ponta do solo (EMS 98);
g	Aceleração da gravidade;
I	Intensidade macrossísmica (EMS 98);
I'	Transformação da variável da intensidade macrossísmica;
$I_{max,j}$	Parâmetro da distribuição beta que traduz a perigosidade sísmica máxima de um dado local j ;
$I_{min,j}$	Parâmetro da distribuição beta que traduz a perigosidade sísmica mínima de um dado local j ;
I_s	Índice de desempenho sísmico;
m	Massa total do edifício, acima da fundação (EC8);
$N_{i,j}$	Número de edifícios da classe i , na unidade j ;
$P_{j,m}$	Número de pessoas na unidade j , durante o período m ;
q	Coefficiente de comportamento (EC8);

Q	Índice de ductilidade;
R _k	Percentagem do edifício afetado pelo comportamento modificador (EMS 98);
S	Coefficiente do solo (EC8);
S _d (T ₁)	Ordenada do espectro de resposta de cálculo, para o período T ₁ , correspondente ao tipo de sismo considerado (EC8);
S _a (T ₁) _{Soil K}	Aceleração de ponta do solo k (EMS 98);
T ₁	Período fundamental (EMS 98);
T ₁	Período de vibração fundamental do edifício para o movimento lateral na direção considerada (EC8);
V _I	Índice de vulnerabilidade final (EMS 98);
V _I *	Índice de vulnerabilidade dum tipologia construtiva específica (EMS 98);
V _{i,j,k,l}	Vulnerabilidade média para o espectro de resposta em edifícios de classe i, na unidade j, no cenário sísmico k e no solo l;
V _I max	Limite superior do índice de vulnerabilidade dum tipologia específica (EMS 98);
V _I min	Limite inferior do índice de vulnerabilidade dum tipologia específica (EMS 98);
V _{m,k}	Valor modificador do comportamento (EMS 98);
W	Peso total do edifício, acima da fundação (EC8);
α	Coefficiente de sismicidade dependente da zona sísmica (RSAEEP);
α _j	Parâmetro da distribuição beta que traduz a perigosidade sísmica de um dado local j;
β	Coefficiente sísmico (RSAEEP);
β ₀ (f)	Coefficiente sísmico de referência, determinado para o tipo de terreno (I a III) e para a frequência própria de vibração na direção horizontal considerada (RSAEEP);

β_j	Parâmetro da distribuição beta que traduz a perigosidade sísmica de um dado local j ;
γ_I	Coefficiente de importância (EC8);
γ_q	Coefficiente de segurança relativo às ações variáveis (RSAEEP);
λ	Fator de correção, cujo valor é igual à relação entre a massa modal efetiva do modo fundamental na direção considerada e a massa total do edifício acima da fundação (EC8);
μ_D	Grau de dano médio (EMS 98);
χ	Função de pertinência (EMS 98);
η	Coefficiente de comportamento relativo a esforços (RSAEEP);
ΔI	Incrementado de intensidade (EMS 98);
ΔV	Incremento de vulnerabilidade (EMS 98);
ΔV_f	Incerteza na avaliação da vulnerabilidade sísmica (EMS 98);
ΔV_m	Fator modificador de comportamento (EMS 98);
ΔV_R	Fator modificador de comportamento (EMS 98);

Por simplificação da leitura do documento, a definição dos símbolos e dos acrónimos é representada nas listas de símbolos e de acrónimos por ordem alfabética.

Lista de acrónimos

ANPC	Autoridade Nacional de Proteção Civil;
AP	População afetada;
CSR	Conceção sismo resistente;
DCH	Ductilidade alta (EC8);
DCL	Ductilidade baixa (EC8);
DCM	Ductilidade média (EC8);
DL	Densidade de perdas;
DPA	Densidade da população afetada;
EC8	Eurocódigo 8;
EMS 98	Escala Macrossísmica Europeia;
GLF	Função de perda global;
ILF	Função de perda individual;
JBSL	Regulamento de construção japonês;
JCETS	Junta das Construções para o Ensino Técnico e Secundário;
MCS	Escala de intensidade sísmica Mercalli-Cancani-Sieberg;
MM	Escala de intensidade modificada de Mercalli;
MMS	Escala de momento de magnitude;
MOP	Ministério das Obras Públicas;
MOPT	Ministério das Obras Públicas e Transportes;
MOPTC	Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações;
NAPC	National Authority of Civil Protection;
PGA	Aceleração de ponta do solo;
RSAEEP	Regulamento de segurança e ações para estruturas de edifícios e pontes;

RSCCS	Regulamento de segurança das construções contra os sismos;
RSEP	Regulamento de solicitações em edifícios e pontes;
TU	Tempo universal;

Por simplificação da leitura do documento, a definição dos símbolos e dos acrónimos é representada nas listas de símbolos e de acrónimos por ordem alfabética.

Capítulo 1

Introdução

1 Introdução

1.1 Enquadramento

As escolas representam muito mais do que aparentam na realidade, não são meramente locais de ensino, onde crianças e jovens adquirem conhecimentos básicos para a sua vivência. Poderão também ter uma função comunitária, como por exemplo: representações teatrais, reuniões sociais e atividades desportivas. Para além deste carácter lúdico podem ser estratégicas, do ponto de vista da segurança servindo de plataforma de resgate em caso de catástrofes. Os edifícios escolares, tipificam diferentes soluções construtivas dependendo da época em que foram realizados, que tanto podem já ter um longo passado como serem relativamente recentes. Consequentemente é imperativo projetar este género de edificado de maneira segura e com garantias evidentes, que não possam constituir uma ameaça para a vida e um risco para os seus utilizadores.

Países com um eminente risco sísmico têm no seu território, parques escolares que em muitos casos, não cumprem requisitos mínimos de segurança. Por pressuposto, é necessário intervir, e agir no sentido de colmatar falhas estruturais. Com o nível de conhecimento atual, é possível identificar edifícios com resistência deficitária a sismos e determinar prioridades de intervenção. Quando a superestrutura necessita de reabilitação estrutural preventiva, as intervenções implicam elevados custos, e resultam em procedimentos altamente intrusivos (Proença e Gago, 2011).

A modelação de fatalidades provocadas por terremotos é fundamental não apenas para a resposta de meios de emergência mas também para o planeamento estratégico da mitigação e inclusivamente para a elaboração dum correto planeamento de saúde.

De qualquer maneira a literatura sísmica mundial está repleta com inúmeros casos de devastação causada por terremotos (porque um terremoto em médio coloca termo à vida a mais de 5000 pessoas em cada 900 dias decorridos) existe então a preocupação que muito trabalho tem que ser feito neste sentido para uma estimativa mais correta sobre o número de fatalidades provocadas por terremotos (Giovinazzi, 2005).

Como consequência de sismos que levaram ao colapso de edifícios escolares (por exemplo na China em 2008, no Haiti em 2010 e no Japão em 2011) parte destes países criaram condições para eliminar do seu parque escolar, escolas com insuficiente resistência

sísmica e com base nestas experiências bastante dolorosas, impulsionaram a construção de edifícios sísmicamente resistentes.

Pelo passado sísmico que recordamos, e por todas as consequências nefastas que este fenómeno representa, temos um dever para com as gerações futuras, que se resume em criar escolas seguras através da criação de projetos estruturais com especialização sísmica, aprendendo com a experiência e avanços científicos das últimas décadas e concluindo que mesmo que os custos de intervenções preventivas sejam elevados, muito superiores serão na eventualidade dum desastre deste género (Proença e Gago, 2011).

E para terminantemente não enveredar por este caminho, todas as escolas reabilitadas pelo Parque Escolar, E.P.E., foram avaliadas relativamente à sua vulnerabilidade sísmica através duma metodologia simples, denominada da Escala Macrossísmica Europeia (EMS 98) e por resultado do cálculo da vulnerabilidade de cada escola, foram obtidas as curvas de grau de dano médio e também foram geradas as curvas de fragilidade para cada um dos períodos de retorno tidos como de referência sendo de 95, 475 e 975 anos, respetivamente. Juntamente com todos estes fatores e combinando com a perigosidade sísmica determinada para Portugal Continental foi possível calcular o risco sísmico, produto final da utilização desta metodologia, foi sempre feita uma análise individual a cada escola. É absolutamente necessário termos a perfeita consciência que a avaliação da vulnerabilidade das escolas mesmo inseridas na mesma tipologia construtiva não pode ser feita numa análise de produção em massa, ou seja, definir os valores como iguais para escolas que pertencem à mesma tipologia, este pensamento é completamente errado, cada escola tem particularidades específicas, que não podem ser descartadas e tem de ser avaliadas individualmente, caso contrário fazendo uma análise generalizada cometemos um erro profundamente grave.

O produto final de toda esta metodologia permite determinar para cada escola o dano esperado para cada período de retorno de referência, e determinar a percentagem de cada escola exceder o dano ligeiro D_1 , o dano moderado D_2 , o dano severo D_3 , o dano muito severo D_4 e o dano de colapso D_5 e também a fração de perda associada a cada escola determinada pela avaliação da vulnerabilidade sísmica efetuada para todos os períodos de retorno anteriormente enunciados.

O resultado final é o completo conhecimento da vulnerabilidade sísmica das escolas secundárias nacionais para que assim as entidades governamentais não possam utilizar mais o argumento demasiadamente gasto, da falta de conhecimento acerca da fragilidade da

capacidade resistente das estruturas escolares do nosso país. Existindo uma necessidade iminente de intervir, então é obrigatório agir, porque a lição absolutamente profunda que quero deixar, fazendo referência ao grande senhor professor José Hermano Saraiva, “o importante não está na verba mas sim no verbo”.

1.2 Motivação

Trabalhos recentes (Ferreira, 2012) apontam para um elevado o risco sísmico existente nas instalações escolares nas zonas de maior sismicidade do país. Mesmo que o sismo ocorra fora do calendário escolar, possivelmente os elevados danos nas instalações escolares poderão originar o encerramento dessas instalações, provocando uma perturbação irreversível no sistema escolar da região afetada. Recorde-se para o efeito que as instalações escolares apresentam, genericamente, um risco sísmico acrescido em consequência dos seguintes fatores:

- São instalações que apresentam uma elevada taxa de ocupação humana. Recorde-se ainda que os ocupantes das mesmas instalações apresentam uma esperança média de vida superior à média geral.
- As instalações escolares desempenham uma função social relevante, por via da instrução e educação dos alunos. Esta função social surge acrescida após a ocorrência de sismos intensos pois estas instalações podem servir de abrigo e de centros de coordenação local das operações de busca e salvamento.
- As instalações escolares apresentam um valor material significativo, nomeadamente no seu conteúdo, por meio dos equipamentos (laboratórios e sistemas mecânicos) e das suas instalações básicas (Ferreira et al., 2007).
- Uma importante fração dos edifícios escolares foram construídos há bastante tempo, o que significa que os mais recentes regulamentos de dimensionamento não foram usados, e consequentemente também poderão não ter o estado de conservação mais adequado;

A escola tem, portanto, 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, pode também ser utilizada como abrigo temporário após o sismo e, serve igualmente para promover a cultura de prevenção e mitigação, através de atividades em conjunto com a comunidade (Ferreira, 2012).

1.3 Objetivos

Para a obtenção de todos os resultados pretendidos foi necessário inicialmente fazer um levantamento de informação sobre os edifícios escolares em Portugal Continental. Seguidamente, à recolha de dados específicos provenientes das diferentes escolas públicas espalhadas pelo território, foi avaliada a vulnerabilidade sísmica dos edifícios através de uma metodologia simplificada de tipologias construtivas, em que após alcançados os resultados finais, permitiu estabelecer as diferenças ao nível do risco sísmico calculado cruzando a vulnerabilidade com a perigosidade sísmica, associado a cada escola, e hierarquizar as que exigem uma maior necessidade de reforço.

Estes resultados serão usados para alertar as autoridades competentes, das escolas que representem uma ameaça, para serem reforçadas e estas sendo tão importantes do ponto de vista pedagógico, social e de auxílio, particularmente em caso de uma eventual calamidade devem assegurar não só o bem-estar dos estudantes como de toda a população envolvente.

Relativamente ao cálculo dos índices de vulnerabilidade, foi utilizada a Escala Macrossísmica Europeia (EMS 98) (Grünthal, 1998), que tendo já sido utilizada em várias escolas do nosso país (Ferreira, 2012), pareceu ser a mais indicada porque o parque escolar não engloba apenas edifícios de alvenaria como também não apenas de betão armado, portanto devido às tipologias construtivas das escolas serem tão distintas, foi escolhido um método que fosse acima de tudo abrangente, englobando as diferentes tipologias construtivas.

Capítulo 2

Regulamentação sísmica

2 Regulamentação sísmica

2.1 Apresentação cronológica das exigências de segurança sísmica em edifícios de Portugal

As soluções construtivas adotadas nos edifícios escolares públicos evoluíram significativamente no decurso do final do século XIX e durante o século XX, acompanhando a evolução no uso dos materiais, observada na construção em geral. Os edifícios escolares construídos sob tutela direta dos diversos organismos do Estado constituem em regra dos melhores exemplos da construção da época, cristalizando o que se considerava serem as soluções e técnicas construtivas mais avançadas e de maior qualidade, refletindo dessa forma os requisitos estabelecidos pela regulamentação contemporânea aplicável ao projeto de edifícios. É interessante neste contexto analisar a evolução temporal da regulamentação nacional para resistência aos sismos e para o dimensionamento das estruturas de betão armado, conforme apresentado na Tabela 1 (Proença e Gago, 2011).

Data	Regulamento	Descrição
- 1755	Inexistente	
1755-1918	Inexistente (?)	Prática construtiva. Construção da gaiola pombalina, posterior ao terramoto de Lisboa, 1755. Sistema estrutural progressivamente aligeirado, tendo dado origem aos edifícios “gaioleiros”.
1918		Regulamento para o Emprêgo do Beton Armado (Decreto nº. 4036, de 28 de Março). Omisso.
1935	RBA	Regulamento de Betão Armado (Decreto nº. 25948, de 16 de Outubro). Omisso.
1958	RSCCS	Regulamento de Segurança das Construções Contra os Sismos (Decreto nº. 41658, de 31 de Maio). Zonamento inicial do território e utilização do método do coeficiente sísmico (análise estática equivalente).
1961	RSEP	Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes (Decreto Nº. 44041, de 18 de Novembro). Revisão do RSCCS mantendo no essencial a mesma abordagem. Inclusão da ação sísmica no contexto das restantes solicitações. Agravamento dos coeficientes sísmicos em terrenos de fundação desfavoráveis ou construções sem elementos não estruturais de travamento.
1967	REBA	Regulamento de Estruturas de Betão Armado (Decreto nº. 47723, de 20 de Maio)
1983	RSAEEP e REBAP	Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (Decreto-Lei nº. 235/83, de 31 de Maio) e Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado (Decreto-Lei nº. 349-C/83, de 30 de Julho). Análise dinâmica ou estática equivalente. Introdução mais objetiva do conceito de ductilidade. Cuidado e diferenciação na pormenorização de estruturas de betão armado. A diferenciação do risco sísmico aceitável não contempla objetivamente as instalações escolares.
2010	EC8	Eurocódigo 8 (NP EN 1998-1:2010). Multiplicação dos métodos de análise, aprofundamento dos estudos de sismicidade, maior diferenciação do risco sísmico tendo em conta a importância das construções (considerando explicitamente as escolas). Introdução da exigência de limitação de danos.

Tabela 1 – Evolução temporal dos regulamentos para o projeto de estruturas para a resistência dos sismos.

Adaptado (Proença e Gago, 2011).

2.2 Regulamento de Segurança das Construções Contra os Sismos (RSCCS) e o Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes (RSEP)

Entre o final da década de 1950 e o início da década de 1960, curiosamente coincidente com a publicação do primeiro regulamento para a resistência aos sismos, o Regulamento de Segurança das Construções Contra os Sismos, o RSCCS (1958), assiste-se à transição brusca para as estruturas integralmente realizadas em betão armado. As alvenarias (geralmente de tijolo furado) subsistem no fecho da envolvente e na separação dos espaços interiores, não apresentando, todavia, funções resistentes.

Do ponto de vista regulamentar, surge o RSCCS, cujas linhas gerais se apresentam de seguida. O objetivo essencial definido por esse regulamento consiste na prevenção do colapso face ao que designa por um “sismo violento”, admitindo a ocorrência de danos significativos nas construções.

As estruturas a construir em zonas de forte e média sismicidade passam a ter de comprovar explicitamente a sua resistência face a um conjunto de forças horizontais, consideradas a atuar simultaneamente com as forças verticais devidas às restantes ações. As forças horizontais são determinadas pelo designado “método do coeficiente sísmico”, ou seja, são calculadas mediante o produto das forças verticais dos elementos (pesos) por um coeficiente – o coeficiente sísmico, aqui identificado pela variável C . No caso de edifícios, o conjunto de forças horizontais aplicadas simultaneamente em todos os pisos é determinado de tal forma que cada uma dessas forças é obtida mediante o produto do peso associado a esse piso pelo coeficiente sísmico. Admite-se, portanto, uma distribuição uniforme em altura das acelerações horizontais. No peso associado ao piso considera-se o contributo dos elementos estruturais e não estruturais, assim como das designadas “sobrecargas permanentes” (Proença e Gago, 2011). Na Figura 1 é apresentado um exemplo de aplicação da regra de distribuição das forças horizontais para um edifício com distância entre pisos e pesos dos pisos constantes.

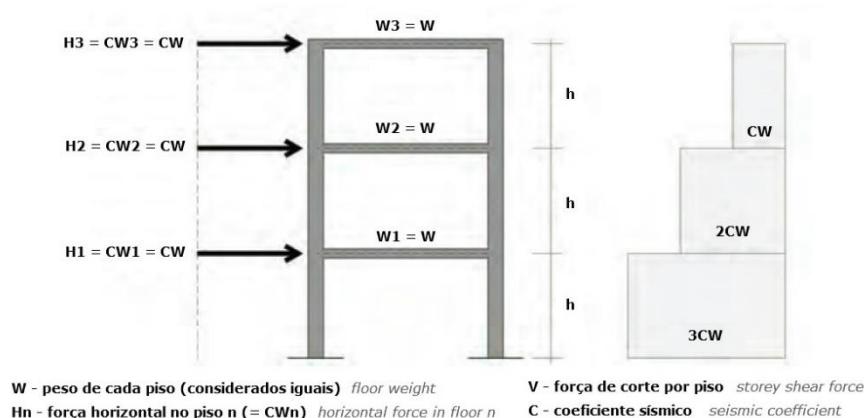


Figura 1 – Regra de cálculo e de distribuição das forças horizontais. Método do coeficiente sísmico, RSCCS.

Adaptado (Proença e Gago, 2011).

Os valores do coeficiente sísmico são estipulados no RSCCS, tendo em conta a zona em que se situa a construção – A (Forte Sismicidade) a B (Média Sismicidade) – e de acordo com o mapa de sismicidade (Figura 2). Existe ainda uma zona C (Fracas Sismicidade) que o regulamento não contempla. Note-se que os contornos das diferentes zonas sísmicas não coincidem com as fronteiras entre concelhos, contrariamente ao que veio posteriormente a ser adotado no RSAEEP e EC8. Chama-se a atenção para o facto de o RSCCS não considerar o efeito do tipo de terreno, nem do tipo de construção, nem das características dinâmicas da estrutura (frequência fundamental), nem do tipo de utilização (importância da construção); embora fosse concedida ao projetista alguma liberdade para considerar valores superiores do coeficiente sísmico sempre que o mesmo julgasse que algum, ou vários, destes aspetos fosse particularmente desfavorável. O RSCCS estipula valores do coeficiente sísmico para as construções em conjunto e para os elementos de construção isolados. Os edifícios escolares são geralmente considerados “edifícios correntes”, pelo que o coeficiente sísmico a adotar para as construções era de 0,10 (10%) ou 0,05 (5%), respetivamente para as zonas A e B (Proença e Gago, 2011).

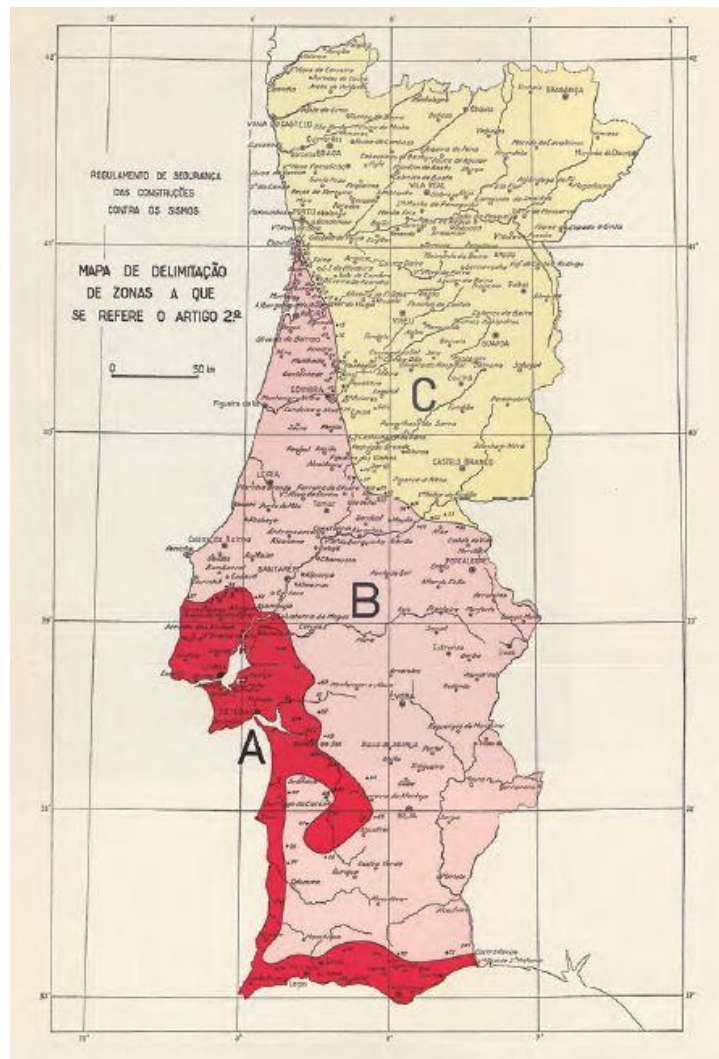


Figura 2 – Mapa de sismicidade do Regulamento de Segurança das Construções Contra os Sismos (RSCCS, 1958).

O RSEP, o Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes, publicado em 1961, procedeu ao enquadramento da ação sísmica no contexto das diferentes ações (então designadas por solicitações). O objetivo fundamental desse regulamento no que se refere à ação sísmica, a sua forma de avaliação e os correspondentes métodos de dimensionamento mantiveram-se iguais aos do RSCCS que o precedeu. Refere-se apenas que, com a entrada em vigor do RSEP, o coeficiente sísmico nos edifícios correntes situados na zona A poderia ser incrementado relativamente aos valores apresentados no RSCCS de 0,10 (10%) para 0,15 (15%), ou mesmo para 0,20 (20%), quando as construções não apresentassem elementos não estruturais de travamento ou quando os terrenos de fundação apresentassem características particularmente desfavoráveis. O agravamento dos valores do coeficiente sísmico nessas

situações particulares terá sido uma consequência da observação dos danos devidos ao sismo de Agadir (Marrocos), ocorrido em 29 de Fevereiro de 1960. Note-se que nenhuma das condições anteriores foi considerada pelos projetistas, pelo que o coeficiente sísmico adotado era genericamente de 0,10 (10%).

Outros dos aspetos que interessa relevar na forma como a ação sísmica é quantificada no RSEP (de forma semelhante ao verificado anteriormente com o RSCCS) consiste no padrão de acelerações horizontais em edifícios que tende para uma distribuição uniforme em altura, em contraste com o padrão triangular invertido posteriormente instituído pelo RSAEEP. Consequentemente, a variante do RSCCS e do RSEP do método do coeficiente sísmico conduz a uma subavaliação dos efeitos da ação sísmica, efeito que se manifesta particularmente nos pisos superiores (Proença e Gago, 2011).

2.3 Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSAEEP)

Em 1983 surge uma nova geração de regulamento – o RSAEEP – que introduz diferenças muito significativas nas regras de quantificação da ação sísmica e nas regras de dimensionamento das estruturas de betão armado. Uma das alterações mais significativas introduzidas pelo RSAEEP relativamente ao RSEP refere-se aos critérios a adotar nas verificações de segurança, que passam a ser realizadas relativamente a estados limites, utilizando coeficientes de segurança aplicados a determinados quantilhos das distribuições de probabilidade dos valores das ações e das propriedades dos materiais. As ações são classificadas em ações permanentes, variáveis e de acidente.

No RSAEEP procede-se à apresentação de um novo zonamento do país em termos de sismicidade, passando a existir quatro zonas – A a D, por ordem decrescente de sismicidade (Figura 3). Passam a coexistir dois cenários sísmicos autónomos – sismo tipo 1, correspondente a um cenário intraplaca, e sismo tipo 2, correspondente a um cenário interplacas – devendo o projetista demonstrar a conformidade da estrutura relativamente a ambos os cenários. Introduzem-se ainda três tipos de terrenos – terrenos I a III, do mais rijo para o mais brando (Proença e Gago, 2011).

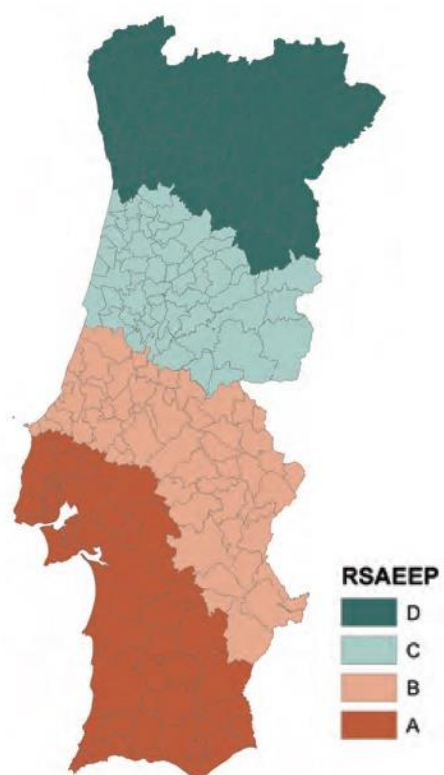


Figura 3 – Zonamento sísmico do Regulamento de Segurança das Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes. Adaptado (RSAEEP, 1983).

Para além do método do coeficiente sísmico, cujo uso em edifícios é aqui circunscrito aos designados “edifícios correntes”, o RSAEEP passa a permitir a avaliação dos efeitos da ação sísmica por métodos de análise dinâmica. O método do coeficiente sísmico – aqui designado por método simplificado de análise estática – apresenta alterações relativamente às versões anteriores (do RSCCS e RSEP). Uma destas alterações refere-se ao padrão de distribuição de acelerações em altura, que passa a ser do tipo linear, originando uma distribuição triangular invertida (Figura 4). Este padrão poderá representar melhor a distribuição de acelerações em altura, que resulta do contributo maioritário do modo fundamental de vibração (Proença e Gago, 2011).

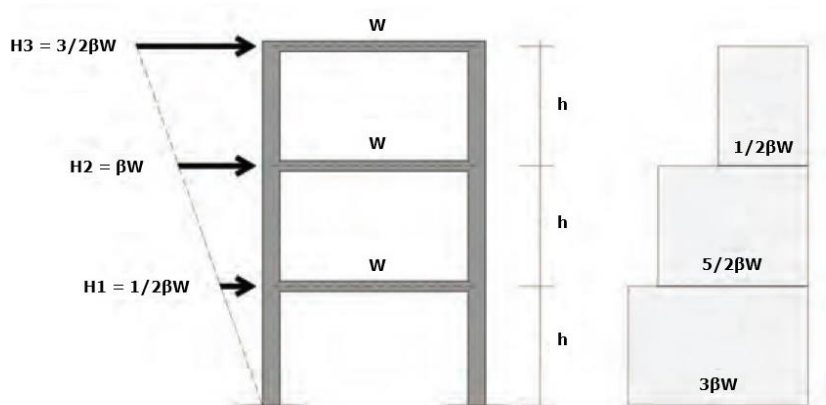


Figura 4 – Regra de cálculo e de distribuição das forças horizontais. Método simplificado de análise estática, RSAEEP. Adaptado (Proença e Gago, 2011).

O coeficiente sísmico passa a depender da zona sísmica, das características dinâmicas da estrutura, do grau de exploração do comportamento não linear e do tipo de terreno. Independentemente do método de análise, os efeitos da ação sísmica passam a depender das frequências da estrutura. No caso do método simplificado de análise estática, o coeficiente sísmico depende explicitamente da frequência fundamental da estrutura, sendo apresentadas expressões empíricas para o cálculo da frequência fundamental em diferentes tipos de edifícios. De acordo com o RSAEEP, o coeficiente sísmico final pode ser determinado pela equação (1) (Proença e Gago, 2011):

$$C = \gamma_q \times \beta_0(f) \times \frac{\alpha}{\eta} \quad (1)$$

Os efeitos da ação sísmica são descritos através das expressões do coeficiente sísmico de referência, $\beta_0(f)$, aplicáveis no método simplificado de análise estática, ou através dos espectros de resposta de acelerações correspondentes à componente horizontal do movimento sísmico, aplicáveis nos métodos de análise dinâmica. As expressões do coeficiente sísmico de referência procuram ser uma envolvente dos efeitos dos dois tipos de sismo em estruturas com valores correntes de amortecimento (5%), apresentando-se expressões distintas para os três tipos de terreno. Os espectros de resposta são indicados para os dois tipos de sismo, três tipos de terreno e três valores do coeficiente de amortecimento (2%, 5% e 10%) (Proença e Gago, 2011).

2.4 Regulamento para projeto de estruturas para resistência aos sismos (Eurocódigo 8)

Mais recentemente, em 2010, é publicado o Eurocódigo 8 que, conjuntamente com os Eurocódigos 2, 3 e 4 (projeto de estruturas de betão, metálicas e mistas aço-betão, respetivamente) irá constituir o novo quadro regulamentar para o projeto de estruturas em Portugal. O EC8 passa a definir os seguintes requisitos fundamentais, cada um com o adequado grau de fiabilidade: requisito de não colapso e requisito de limitação de danos. Numa situação de referência (edifício de importância corrente) os requisitos deverão ser verificados para ações com períodos de retorno de 475 anos e de 95 anos, respetivamente.

É curioso observar-se que o aprofundamento dos conhecimentos sobre a sismicidade do território português, realizado no período entre a publicação do RSAEEP e do EC8, fez com que tenha havido um agravamento da ação a considerar, o que se verificou não obstante a redução do período de retorno da ação correspondente ao requisito de não colapso num edifício de importância corrente. Verifica-se também uma muito maior diferenciação da importância das construções, dando origem a quatro classes de importância – I a IV, por ordem crescente de importância – passando os edifícios escolares a ser explicitamente considerados e enquadrados na classe de importância III (os edifícios correntes correspondem à classe de importância II). A diferenciação da importância dos edifícios é realizada mediante a multiplicação das ações correspondentes a ambos os requisitos por um coeficiente de importância γ_I , conforme é demonstrado na Tabela 2 (Proença e Gago, 2011).

		Ação sísmica	
		Tipo 1	Tipo 2
I	Edifícios de importância menor para a segurança pública, como por exemplo edifícios agrícolas, etc.	0,65	0,75
II	Edifícios correntes, não pertencentes às outras categorias	1,00	1,00
III	Edifícios cuja resistência sísmica é importante tendo em vista as consequências associadas ao colapso, como por exemplo escolas, salas de reunião, instituições culturais, etc.	1,45	1,25
IV	Edifícios cuja integridade em caso de sismo é de importância vital para a proteção civil, como por exemplo hospitais, quartéis de bombeiros, centrais elétricas, etc.	1,95	1,50

Tabela 2 – Valores do coeficiente de importância γ_I para Portugal Continental. Adaptado (Proença e Gago, 2011).

No EC8 apresenta-se um conjunto de novos mapas de sismicidade, distintos para os dois cenários sísmicos considerados (sismos tipo). Neste caso o sismo tipo 1, sismo afastado, corresponde ao cenário interplacas, enquanto o sismo tipo 2, próximo, corresponde ao cenário intraplaca. De forma coerente e em contraste com o verificado no RSAEEP, propõem-se dois zonamentos distintos para estes dois cenários para Portugal Continental, conforme ilustrado na Figura 5. No caso do sismo tipo 1, há a considerar seis zonas sísmicas. De igual forma identificam-se cinco zonas sísmicas para o sismo tipo 2, as duas primeiras zonas existem no arquipélago dos Açores (Proença e Gago, 2011).

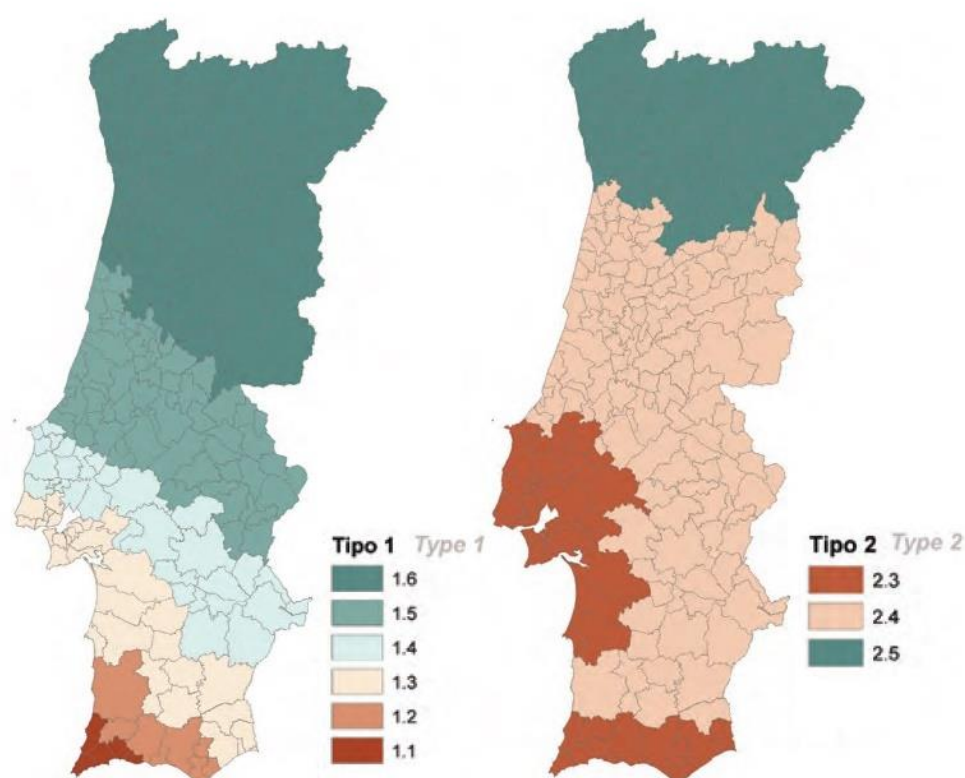


Figura 5 – Zonamento do EC8: sismo tipo 1 (afastado) e sismo tipo 2 (próximo). Adaptado (Eurocódigo 8, 2010).

A sismicidade de cada local (e cenário sísmico) é descrita em termos de a_{gr} , o valor de referência da aceleração máxima à superfície de um terreno do tipo A (rocha, ou equivalente). Este valor é posteriormente afetado de um conjunto de fatores, de que se referem o coeficiente de importância γ_I , atrás descrito, e o coeficiente do solo S , que tem em conta a amplificação que poderá verificar-se na aceleração base à superfície para tipos de terreno, não rochosos (terrenos tipo B e E). A caracterização dos tipos de terreno é realizada

através da descrição geotectónica do perfil estratigráfico, apresentando-se ainda os intervalos de alguns parâmetros geotectónicos suscetíveis de serem obtidos por ensaios. De uma forma geral pode afirmar-se que, comparativamente com o RSAEEP, há uma maior diferenciação dos efeitos tipo de terreno, sobretudo nos terrenos mais brandos.

A diferenciação devida à ductilidade da estrutura e dos seus elementos estruturais é agravada no EC8. Definem-se as seguintes três classes de ductilidade: baixa (DCL, recomendada apenas em zonas de baixa sismicidade); média (DCM) e alta (DCH). Os valores do coeficiente de comportamento q (relativo a esforços) dependem da classe de ductilidade e do tipo estrutural.

À semelhança do verificado na transição do RSCCS para o RSAEEP, verifica-se no EC8 uma maior diversidade de métodos de análise. O método de análise de referência consiste na análise modal por espectro de resposta, considerando um modelo elástico linear da estrutura e o espectro de resposta de cálculo (afetado pelo coeficiente de comportamento relativo a esforços). Num patamar inferior de exigência de cálculo situa-se o método de análise por forças laterais (que consiste numa variante do método do coeficiente sísmico), enquanto num patamar superior se situam os métodos de análise não linear, estática ou dinâmica. Interessa aqui referir que no método de análise por forças laterais se introduz indiretamente o conceito de coeficiente sísmico, aqui interpretado como correspondente ao quociente entre a força de corte na base e o peso total do edifício, acima da fundação. No EC8 este coeficiente pode indiretamente ser determinado pela equação (2) (Proença e Gago, 2011):

$$C = \frac{F_b}{W} = \frac{S_d(T_1) \times m \times \lambda}{m \times g} = \frac{S_d(T_1) \times \lambda}{g} \quad (2)$$

2.5 Análise comparativa dos regulamentos

Interessa agora proceder a uma comparação da severidade dos efeitos da ação sísmica a considerar no dimensionamento de edifícios escolares para as três gerações de regulamentos: RSCCS/RSEP, RSAEEP e EC8. Pelo exposto anteriormente, conclui-se que o único método de análise que subsistiu nestas três gerações de regulamentos corresponde ao que era inicialmente designado por método do coeficiente sísmico. O coeficiente sísmico reduz em

si toda a informação sobre a severidade dos efeitos da ação sísmica, pelo que se optou por conduzir a comparação em termos desse coeficiente. Acresce que as conclusões baseadas na comparação do coeficiente sísmico podem ser extrapoladas para a avaliação da segurança das construções, uma vez que do lado das resistências as diferenças serão menores.

Uma comparação dos coeficientes sísmicos foi realizada por (Proença e Gago, 2011) onde para o presente efeito a Figura 6 representa a diferença entre (RSAEEP-RSCCS/RSEP) dos valores do coeficiente sísmico no dimensionamento de edifícios escolares. Dado que o zonamento do RSCCS/RSEP não coincidia com as fronteiras dos concelhos, procedeu-se aqui à aproximação de considerar que cada concelho estaria situado numa única zona sísmica do RSCCS (A a C), determinada pela localização da sua sede de concelho. No RSAEEP considerou-se a média dos coeficientes sísmicos, calculada para os três tipos de terreno, uma vez que o efeito do tipo de terreno não era explicitamente considerado pelo RSCCS/RSEP (Proença e Gago, 2011).

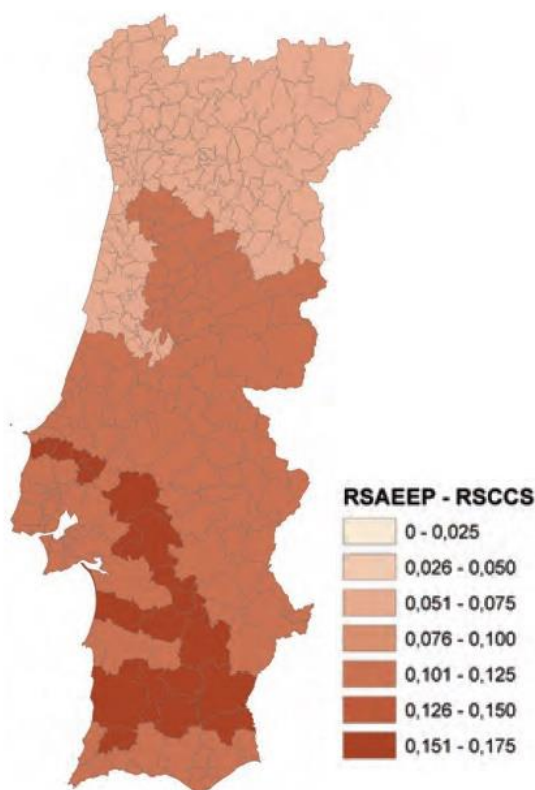


Figura 6 – Diferenças do coeficiente sísmico RSAEEP-RSCCS/RSEP nos diversos concelhos de Portugal Continental. $\eta = 2,5$, valor máximo de $\beta_0(f)$, média dos tipos de terreno I a III. Adaptado (Proença e Gago, 2011).

Comparando agora o EC8 com o RSAEEP, obtêm-se os resultados ilustrados para os terrenos tipo A (I) e E (considerado equivalente ao III), conforme apresentado na Figura 7 e na Figura 8, respetivamente. A comparação para terrenos firmes indica que em média são semelhantes, verificando-se um agravamento sensível num conjunto de concelhos situados no Barlavento Algarvio, assim como, em menor escala, em alguns concelhos do distrito da Guarda. Paralelamente observa-se algum desagravamento em concelhos do Alentejo. Algumas das diferenças observadas devem-se à reclassificação de concelhos (Proença e Gago, 2011).

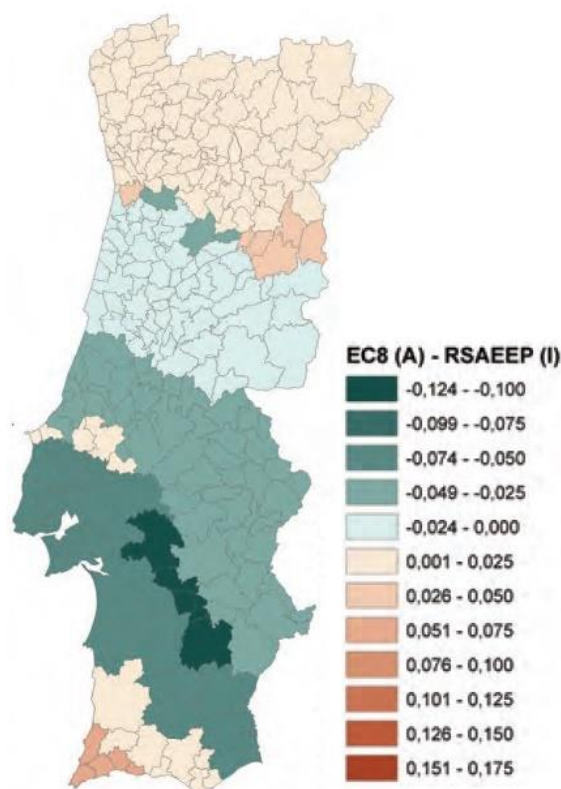


Figura 7 – Diferenças do coeficiente sísmico EC8-RSAEEP nos diversos concelhos de Portugal Continental em terreno tipo A (I), rocha. $\eta = 2,5$, $q = 2,5$, valor máximo de $\beta_0(f)$, patamar de acelerações constantes de $S_d(T)$, $\lambda = 0,85$, envolvente dos sismos tipo 1 e 2. Adaptado (Proença e Gago, 2011).

Procedendo às diferenças EC8-RSAEEP para terrenos mais brandos (exemplificando aqui, considerando os terrenos tipo E e III), verifica-se que o EC8 introduz um agravamento generalizado do coeficiente sísmico. Os concelhos onde esse agravamento é maior situam-se nas zonas do Algarve (Barlavento), embora haja também alguns concelhos dispersos que foram agravados em virtude da reclassificação das zonas sísmicas (Proença e Gago, 2011).

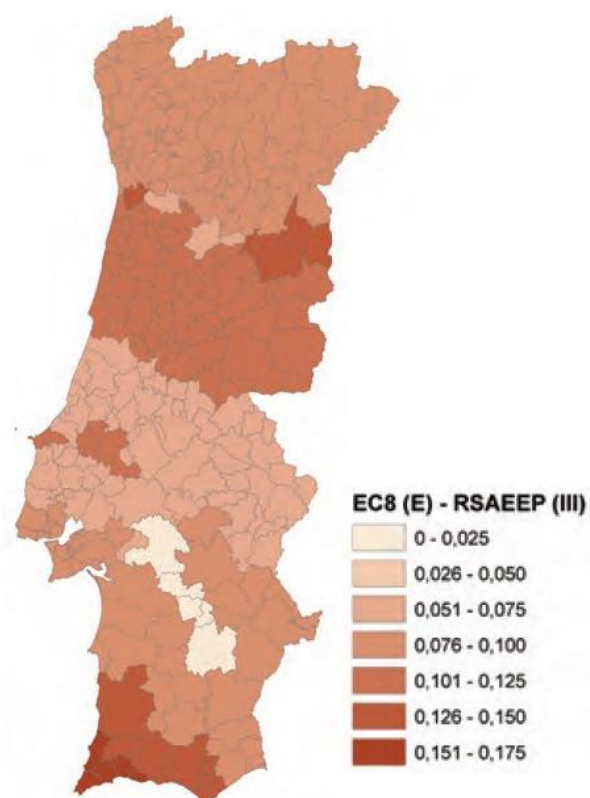


Figura 8 – Diferenças do coeficiente sísmico EC8-RSAEEP nos diversos concelhos de Portugal Continental em terreno tipo A (I), rocha. $\eta = 2,5$, $q = 2,5$, valor máximo de $\beta_0(f)$, patamar de acelerações constantes de $S_d(T)$, $\lambda = 0,85$, envolvente dos sismos tipo 1 e 2. Adaptado (Proença e Gago, 2011).

Capítulo 3

Apresentação do parque escolar

3 Apresentação do parque escolar

3.1 Caracterização construtiva e estrutural da rede pública das escolas secundárias

Os edifícios escolares que integram a rede pública de escolas com ensino secundário constituem um conjunto com grande heterogeneidade marcado por várias tipologias construtivas que refletem as transformações ocorridas em Portugal ao longo do século XX no setor da educação, ao mesmo tempo que traduzem a evolução das tecnologias de construção e os recursos técnicos e financeiros disponíveis para responder às solicitações do momento. Tendo em conta as várias fases de construção de edifícios escolares, a evolução dos métodos construtivos e a publicação dos regulamentos estruturais, que muito influenciaram a conceção estrutural e arquitetónica, os edifícios das escolas secundárias podem agrupar-se nos seguintes seis grupos ou tipologias construtivas:

1. Edifícios com pavimentos em madeira e paredes portantes de alvenaria, construídos entre o final do século XIX e a década de 1930;
2. Edifícios com pavimentos em betão armado e paredes portantes de alvenaria, construídos entre 1930 e o fim da década de 1950;
3. Edifícios dos primórdios do uso generalizado do betão armado, anteriores à regulamentação sísmica, construídos entre 1950 e o início da década de 1960;
4. Edifícios integralmente de betão armado, posteriores à entrada em vigor do RSCCS, de 1958, e anteriores à do RSAEEP, de 1983;
5. Outros edifícios construídos na década de 1970 por métodos industrializados (pré-fabricados, de betão armado ou aço);
6. Edifícios construídos e projetados depois da entrada em vigor do RSAEEP, de 1983 (Proença e Gago, 2011).

É bastante importante referir que as tipologias construtivas discriminadas foram definidas por: (Proença e Gago, 2011).

3.1.1 Edifícios com pavimentos em madeira e paredes portantes de alvenaria, construídos entre o final do século XIX e a década de 1930

Genericamente, as estruturas destes edifícios são constituídas por paredes periféricas e interiores, em alvenaria de pedra e cal e de tijolo maciço, que suportam os pavimentos. As

paredes exteriores, em alvenaria de pedra, são habitualmente muito robustas, com espessuras que podem atingir 1,10m nas suas fundações. As paredes interiores, na maioria dos casos em alvenaria de tijolo, com espessuras máximas que usualmente não ultrapassam 0,30 a 0,40m.

As estruturas dos pavimentos são constituídas por vigamentos de madeira, revestidos por soalho de madeira, ou, normalmente nos pisos térreos, corredores, galerias e zonas húmidas, por perfis metálicos e abobadilhas cerâmicas, sobre as quais era colocado um enchimento constituído por argamassas de areia, cal e pozolana. Os vigamentos de madeira e os perfis metálicos das abobadilhas apoiam-se diretamente nas estruturas de alvenaria ou em vigas metálicas intermédias, usualmente designadas por vigas-mestras, que se apoiam nas paredes de alvenaria (Proença e Gago, 2011).

3.1.2 Edifícios com pavimentos em betão armado e paredes portantes de alvenaria, construídos entre 1930 e o fim da década de 1950

Nestes edifícios, a estrutura resistente é maioritariamente constituída por paredes portantes de alvenaria de pedra (as exteriores, com uma espessura superior a 0,60m), de alvenaria de tijolos cerâmicos ou de blocos de betão (as interiores, menos espessas, com espessuras de 0,25 a 0,30m), que suportam lajes de betão armado (geralmente aligeiradas e armadas unidireccionalmente) e vigas de betão armado. As escadas são, também, em betão armado, mas maciças.

A cobertura destes edifícios é revestida a telha, utilizando-se estruturas de madeira para seu suporte. Nos casos onde existe laje de esteira (a maior parte das vezes com vigas invertidas em betão armado) essas estruturas apoiam-se diretamente sobre a laje (ou sobre as vigas). Quando a laje de esteira é inexistente, a estrutura da cobertura é usualmente constituída por asnas, metálicas ou de madeira, que se apoiam nas paredes externas do edifício (Proença e Gago, 2011).

3.1.3 Edifícios dos primórdios do uso generalizado do betão armado, anteriores à regulamentação sísmica, construídos entre 1950 e o início da década de 1960

O sistema estrutural dos edifícios que formam o corpo principal destinado a salas de aula e serviços administrativos é geralmente constituído por uma estrutura reticulada de betão armado, com pórticos longitudinais de fachada e de corredor, constituídos por pilares e vigas, que suportam as cargas associadas às lajes de piso que são aligeiradas, nas salas de aula, ou

maciças, nos corredores. Os edifícios são fracionados longitudinalmente em corpos de 15m a 25m de comprimento, separados por juntas de dilatação de reduzida espessura.

O dimensionamento dos pilares foi realizado considerando-os sujeitos à compressão simples, sem momentos fletores, e as armaduras são lisas, com uma pormenorização anacrónica que indicia uma reduzida ductilidade.

A disposição das alvenarias, tanto nas fachadas como nas paredes interiores longitudinais (corredor), trava lateralmente os pilares em grande parte da sua altura, o que poderá propiciar o conhecido efeito de coluna curta (Proença e Gago, 2011).

3.1.4 Edifícios integralmente de betão armado, posteriores à entrada em vigor do RSCCS, de 1958, e anteriores à do RSAEEP, de 1983

Primeiro projeto normalizado destinado a escolas industriais e comerciais

A estrutura do edifício principal destinado a salas de aula e serviços administrativos é reticulada de betão armado, com pórticos longitudinais de fachada e corredor, constituídos por pilares e vigas, que suportam as cargas associadas às lajes (Figura 9). As lajes de piso são aligeiradas nas salas de aula e maciças nos corredores. Longitudinalmente o sistema estrutural considerado para a ação sísmica consiste nos referidos pórticos, de fachada e de corredor, que foram dimensionados para as forças horizontais nesse sentido (coeficiente sísmico de 0,10).

Transversalmente os projetistas idealizaram um sistema estrutural mais invulgar, em que a laje de corredor (maciça) é assimilada a uma viga deitada, permitindo recolher as forças de inércia transversais e encaminhá-las para as subestruturas transversais de extremidade (junta), que servem assim de apoios dessa viga.

Nas juntas, a estrutura encontra-se travada transversalmente por diagonais de betão armado existentes em ambas as bandas de salas de aula, permitindo assim encaminhar as resultantes das forças de inércia dos pisos para a fundação (Proença e Gago, 2011).



Figura 9 – Primeiro projeto normalizado (Heitor, 2011)

3.1.5 Outros edifícios construídos na década de 1970 por métodos industrializados (pré-fabricados, de betão armado ou aço)

Nas soluções pré-fabricadas de betão armado referem-se, como exemplos, soluções de pré-fabricação da Imprel, de meados da década de 1970, e a solução de pré-fabricação da Indubel, do final da mesma década. No projeto Imprel a estrutura dos pavilhões é constituída por pilares (moldados no local) e painéis de parede de betão armado (pré-fabricados), que apoiam lajes pré-fabricadas.

Os estudos realizados mostram que se trata duma estrutura muito robusta e rígida, a qual apresenta deficiências de resistência nos elementos de ligação às fundações (que se comportam como pilares curtos quando solicitados pela ação sísmica), assim como em alguns pilares existentes junto de zonas de grandes aberturas nos painéis (Proença e Gago, 2011).

3.1.6 Edifícios construídos e projetados depois da entrada em vigor do Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes, do RSAEEP, de 1983

Projeto Base Técnica

Do ponto de vista estrutural, todos os blocos apresentam uma estrutura reticulada, viga-pilar, em betão armado, que apoia as lajes, também de betão armado, aligeiradas nas zonas das salas de aula e maciças nas escadas e nos acessos (que são varandins em consola).

Nos blocos destinados a atividades letivas, a estrutura reticulada em betão armado é constituída por pórticos nas duas direções, com juntas de dilatação que separam cada um dos

blocos em quatro corpos autónomos, conforme é apresentado na Figura 10 (Proença e Gago, 2011).



Figura 10 – Projeto Base Técnica (Proença e Gago, 2011).

Projeto 3 X 3

O princípio de conceção do projeto-tipo 3 X 3 baseou-se no módulo dimensional da sala de aula de planta quadrada com 50m^2 inserida numa malha regular de $7,20\text{m} \times 7,20\text{m}$, conforme é demonstrado na Figura 11, originando blocos quadrados com a dimensão final de $21,60\text{m} \times 21,60\text{m}$, com um ou dois pisos (ou mesmo três, quando a topografia o exigisse), autónomos e normalizados, com ou sem galerias de ligação.

Numa fase inicial este projeto foi construído através de soluções pré-fabricadas em betão armado (que se descrevem seguidamente) e numa fase posterior, após 1983, por estruturas de pilares e lajes fungiformes aligeiradas ou estruturas porticadas viga-pilar e lajes maciças (Proença e Gago, 2011).



Figura 11 – Pavilhão de salas de aula do Projeto “3 X 3” (Proença e Gago, 2011).

Capítulo 4

*Aprendizagem sobre sismos passados em
edifícios escolares*

4 Aprendizagem sobre sismos passados em edifícios escolares

4.1 Introdução

Ao investigarmos sismos passados em que tenham ocorrido estragos em escolas, podemos observar os danos ocorridos por forma a compreender que tipologias poderão ser mais vulneráveis, compreendemos assim as tipologias que ofereceram um melhor comportamento, nos casos em que se procedeu à avaliação da vulnerabilidade, podendo inclusivamente também mencionar o tipo de reforço das estruturas, caso se tenham utilizado.

Apesar de existirem tipologias construtivas diferentes de escolas de outros países relativamente às nossas tipologias, existem igualmente aprendizagens que se podem retirar como a forma como os edifícios foram avaliados, quais as metodologias aplicadas e formas de reforço. Existem em alguns casos semelhanças construtivas, portanto devido ao nosso passado histórico podemos compreender que estes colapsos poderão também ocorrer em Portugal e saber qual será o seu impacto nas nossas escolas. Importante também será demonstrar que, edifícios devidamente dimensionados, contemplando um regulamento eficiente, comportam-se adequadamente e os que foram construídos anteriormente a um bom regulamento podem obrigatoriamente necessitar de reforço estrutural.

4.2 Experiências sísmicas nacionais

4.2.1 Sismo de 23 de Abril de 1909 em Benavente

O Vale do Tejo (Centro Oeste de Portugal) tem sido afetado ao longo da história por severos terremotos causando graves danos e imensas baixas humanas. A 23 de Abril de 1909, um sismo causou bastante dano e deixou um rasto de morte, numa área localizada de 450 km², alcançado a intensidade máxima de X (escala de intensidade modificada de Mercalli), aproximadamente a 30 km a Nordeste de Lisboa, perto da Vila de Benavente. Através de sismógrafos analógicos de estações sísmicas europeias foi avaliada uma magnitude de 6 (escala de magnitude de Richter) para este evento sísmico (Cabral et al., 2011). Representado na Figura 12 encontram-se as linhas isossistas, que unem pontos de igual intensidade sísmica, para as diferentes intensidades registadas para o sismo de Benavente na Região do Vale do Tejo.

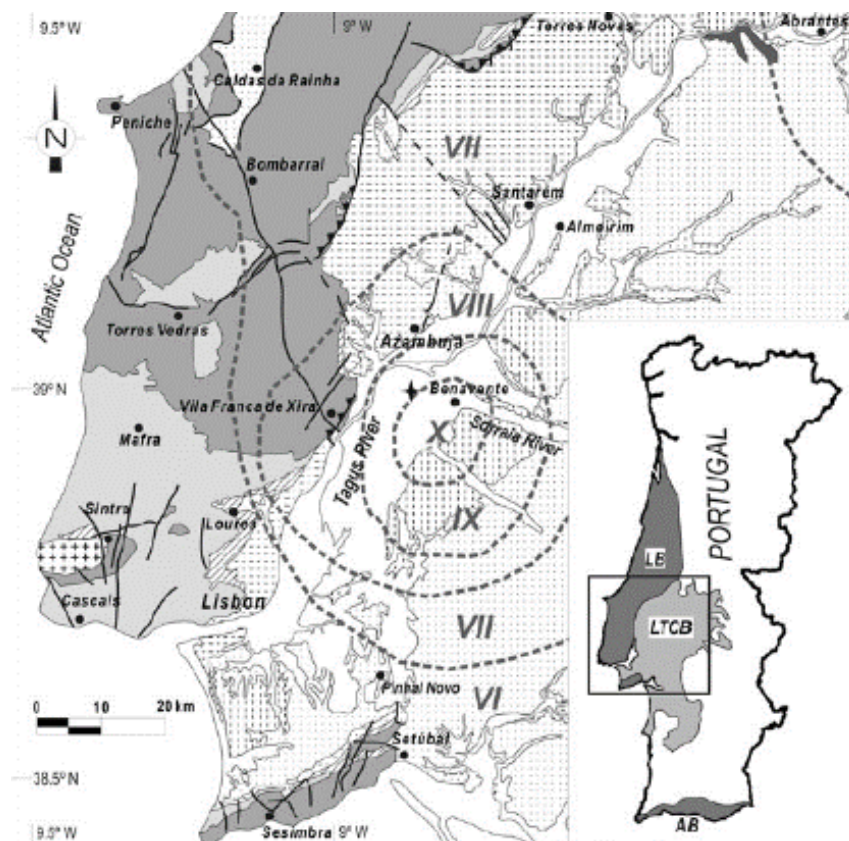


Figura 12 – Representação das diferentes escalas de Mercalli registadas no sismo de Benavente de 1909, no mapa geológico da Região do Vale do Tejo (Cabral et al., 2011).

Em relação ao grau de destruição, a vila de Benavente foi sem dúvida a mais afetada tendo quarenta por cento das suas habitações ficado totalmente destruídas, outras tantas sem condições para voltarem a ser habitadas e apenas vinte por cento recuperáveis, após obras de reparação.

O património religioso foi sem sombra de dúvida o mais afetado, tendo ficado destruídas a Igreja Matriz, a Igreja de Santiago, e a Capela de Nossa Senhora da Paz (Benavente) e bastante danificada a Igreja Matriz de Samora Correia. Dos edifícios públicos, apenas os edifícios públicos da Câmara Municipal e do atual Museu Municipal (Benavente) e o Palácio da Companhia das Lezírias (em Samora Correia) resistiram, mesmo assim com danos relevantes (Câmara Municipal Benavente, 2011).

4.2.2 Sismo de 28 de Fevereiro de 1969 no Algarve

No dia 28 de Fevereiro de 1969, pelas 2H40M (TU), ocorreu um sismo de magnitude 7,3 na escala de Richter, tendo o seu hipocentro sido localizado a Sudoeste do Cabo de São Vicente,

na planície da Ferradura com as coordenadas 36,01° N 10,57° W, e a uma profundidade de 22 km (Fukao, 1973).

Este evento foi aquele que causou danos mais importantes no século XX, em Portugal Continental, depois do sismo de Benavente que ocorreu no início desse século no dia 23 de Abril de 1909. O sismo de 1969 provocou alarme e pânico entre a população, avarias nos telefones, corte no fornecimento de energia elétrica, causando treze vítimas mortais em Portugal Continental, embora apenas duas em consequência de danos diretos causados pelo sismo, sendo as restantes originadas por doenças cardíacas agravadas pela emoção (Quintino, 1970).

Logo após o sismo, no início de Março de 1969, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil promoveu uma missão aos locais mais afetados pelo evento, que visava analisar o desempenho das estruturas face ao sismo, em particular estudar o comportamento de edifícios de grande porte, como estruturas de betão armado (Marecos e Castanheta, 1970).

Pretendia-se assim tirar conclusões sobre o desempenho das estruturas enquadradas pela regulamentação sísmica em vigor à data do sismo, ou seja, o regulamento de segurança das construções contra os sismos; este foi o primeiro regulamento sismo-resistente, com características atuais, que existiu em Portugal (RSCCS, 1958). Como resultado do sismo do Algarve são apresentados os danos na região mais afetada pelo sismo na Figura 13.



Figura 13 – Danos em edifícios na região mais afetada pelo sismo de 1969 (Marecos e Castanheta, 1970).

4.2.3 Sismo de 9 de Julho de 1998 no arquipélago dos Açores

O sismo açoriano de 9 de Julho de 1998 (Faial-Pico) causou a morte de oito pessoas, feriu mais de uma centena, deixando 2500 pessoas sem casa, destruindo um largo número de casas. A crise sísmica, localizada no grupo central do arquipélago, iniciada neste dia durou aproximadamente quatro meses, e cerca de 10600 tremores foram registados. O maior evento ocorrido às 5H19M, com magnitude 6,2 na escala de Richter, impostos às ilhas do Faial e do Pico, embora também na Ilha de São Jorge se tenham registado danos mas em menor

proporção. Este sismo foi precedido por um terramoto premonitório às 5H01M que acordou algumas pessoas em paróquias mais próximas do epicentro e na cidade da Horta. A intensidade máxima registada foi de VIII a Nordeste do Faial.

Pela análise e observação da distribuição de danos em vinte e uma escolas do Faial, primárias e secundárias, percebeu-se que a extensão e o tipo de dano dependiam fortemente da estrutura do edifício. Danos ligeiros foram detetados em todas as escolas, à parte do colapso dum parede exterior dum creche (Salão), e duas escolas que foram consideradas potencialmente perigosas foram demolidas (Espalhafatos e Ribeira Funda). Por causa das férias escolares que acontecem no mês de Julho, os alunos não tiveram a sua educação interrompida, e as escolas foram usadas como abrigos temporários e centros de resposta de emergência. Entre 1998 e 2000, vários investimentos (totalizando quatro milhões de euros) foram aplicados em estabelecimentos de ensino, que incluem trabalhos de remodelação, reparação e expansão, arranjos exteriores e até a construção de uma nova escola na localidade da Vista Alegre (Oliveira et al., 2012).

4.3 Experiências sísmicas internacionais

4.3.1 Sismo de 31 de Outubro de 2002 em Molise

No dia 31 de Outubro de 2002, 11H35M (hora local): um moderado terramoto atacou a Região de Molise (Itália), onde o primeiro abalo (magnitude 5,4) foi seguido de outro (magnitude 5,3) no dia seguinte, de acordo com a escala de Richter, também conhecida como escala de magnitude local. Os maiores danos foram evidentes em San Giuliano di Puglia, uma pequena cidade localizada a 5 km do epicentro, completamente evacuada depois do evento sísmico, ficando inacessível e protegida pela polícia. As imagens da escola primária que colapsou, onde vinte e sete crianças e uma professora morreram, percorreram o mundo.

Além disso, a maioria dos edifícios perto das escolas e para além da rua principal, foram destruídas, causando mais duas vítimas. A intensidade sísmica em San Giuliano foi estimada com dois graus acima na escala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) do que outros municípios próximos do epicentro do sismo.

A área de San Giuliano, fortemente afetada pelo sismo referido, é caracterizada por fatores de amplificação, devido à presença de uma significativa camada granular fina por cima do estrato rochoso resistente, especialmente na zona (que inclui o local desafortunado da escola), conforme é apresentado na Figura 14. De qualquer maneira, levando em conta os

fatores de amplificação estimados pelo microzonamento sísmico, a aceleração máxima à superfície não é superior ao regulamento sísmico italiano. O colapso dos edifícios está então mais conectado à sua vulnerabilidade, devido a materiais e estruturas de qualidade pobre (Indirli et al., 2004).



Figura 14 – Microzonamento em San Giuliano: fatores de amplificação. Adaptado (Indirli et al., 2004).

Toda a informação recolhida na investigação representa uma base de dados de considerável valor refletindo sobre o património escolar. Foram avaliadas 397 escolas, onde 233 foram investigadas ao pormenor. As escolas receberam apoios e aproximadamente 200 escolas receberam obras de reabilitação. Um elevado número de edifícios são em betão armado, aproximadamente metade, enquanto edifícios de alvenaria, com incorporação de elementos naturais, constituem 30% do total.

Considerando uma distribuição por idades da construção e uma classificação histórica da região (a maioria dos municípios foram classificados como potenciais zonas de elevada perigosidade sísmica depois de 1981).

Alguns dos problemas resultantes do estudo feito e das informações demonstradas realçam a preocupação devido às características, vulnerabilidades e riscos dos edifícios. A pesquisa realizada mostra que mais de 50% dos edifícios escolares não apresentam requisitos de segurança sísmica (Martinelli et al., 2008).

4.3.2 Sismo de 12 de Maio de 2008 na China

O grande sismo de Wenchuan de magnitude 8, na escala de Richter, ocorrido a 12 de Maio de 2008, causou danos severos nas maiores cidades da província de Sichuan, na zona central da China. Em três milhões e meio de casas foram declaradas mais de sessenta e nove mil mortes, e oitenta mil desaparecidos, muito devido ao colapso de edifícios. Também foi

revelado que em centenas de escolas, muitas salas de aula se desmoronaram, com o resultado de imensas mortes de professores e alunos.

A investigação de danos sobre a qual se prendeu a pesquisa foi realizada em todos os edifícios escolares nas áreas centrais de Dujiangyan, embora existam mais escolas nas áreas suburbanas. Um total de 78 edifícios em 27 escolas foram analisados, incluindo 3 jardins-de-infância, 18 escolas primárias, 10 escolas preparatórias, 2 escolas de línguas estrangeiras, 2 escolas secundárias e 2 universidades. Algumas escolas não puderam ser avaliadas devido à entrada limitada no local.

Os sistemas estruturais dos edifícios analisados foram estimados e identificados, embora alguns não chegaram a ser reconhecidos. Quarenta edifícios foram identificados como estruturas de alvenaria, onde não existiam pilares de betão armado em torno duma típica sala de aulas, exceto uma parte limitada como escadas e assim adiante. As vigas e as lajes observadas, na sua maioria, apresentaram-se como sendo de betão armado, provavelmente pré-esforçado, nestas estruturas de alvenaria. Em vinte e três edifícios foram identificados pilares de betão armado com tijolos furados ou paredes de alvenaria. Os restantes quinze edifícios permaneceram não identificados. Portanto, mais do que dois terços são estimados como estruturas de alvenaria sem a presença de pilares de betão armado.

As diferenças relacionando o ano de construção e os danos associados estão agrupadas de cinco em cinco anos. Mais de metade dos imóveis construídos entre 1980 e 1985, colapsaram total ou parcialmente, enquanto os danos diminuem de intensidade com a construção recente. Não existiram colapsos a edifícios erigidos depois de 2001, e dois terços apenas tiveram inexistência de danos, ou sofreram pequenas perdas (Kabeyasawa et al., 2008), de acordo conforme o indicado no Gráfico 1.

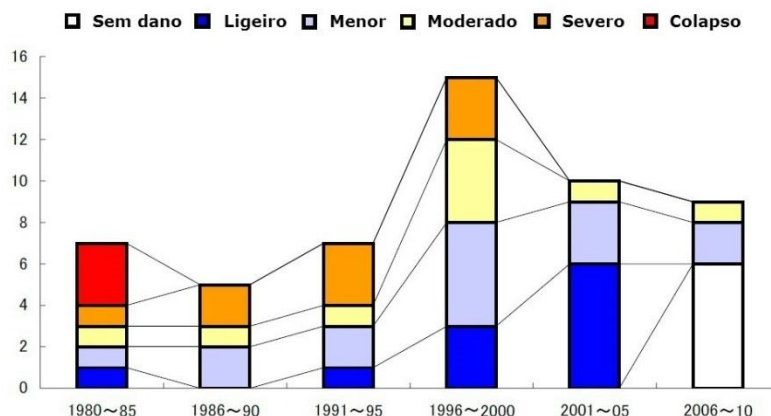


Gráfico 1 – Percentagem de danos relacionados com o ano da construção. Adaptado (Kabeyasawa et al., 2008).

4.3.3 Sismo de 12 de Janeiro de 2010 no Haiti

A 12 de Janeiro de 2010, um sismo de magnitude 7 ocorreu no Haiti, desencadeando um enorme desastre com terríveis perdas humanas e económicas. O Haiti está localizado numa zona sísmica correspondente à fronteira entre a placa das Caraíbas e a placa Norte-Americana. A falha de Enriquillo sofreu uma rotura neste preciso dia às 16H53M, hora local e gerou abalos que duraram cerca de 35 segundos. Com o hipocentro localizado a uma profundidade de 13 km, tratando-se dum sismo superficial. A profundidade dum sismo tem uma influência significativa nos danos que causa. Como o terramoto não teve percussores, foi seguido de cerca de cinquenta réplicas com magnitude 4, durante oito dias, a seguir ao sismo principal.

Embora o epicentro do terramoto tenha sido localizado numa zona rural a 25 km afastada da capital do país, Port-au-Prince, o desastre afetou áreas densamente povoadas (Hou e Shi, 2011).

Com base em informação recolhida, foram calculadas as superfícies médias de escolas que incluíam edifícios escolares que podiam ser claramente identificados em fotografias aéreas. Muitas escolas foram localizadas entre edifícios diferentes e foi difícil atribuir um único edifício para que cada ponto representasse uma escola, um total de trinta e sete escolas foram selecionadas, respetivamente (European Commission (EC) et al., 2010). No Gráfico 2 é apresentada a percentagem de diferentes tipos de dano para escolas de diferentes comunidades haitianas depois do terramoto haitiano.

Danos encontrados nas escolas das comunidades haitianas

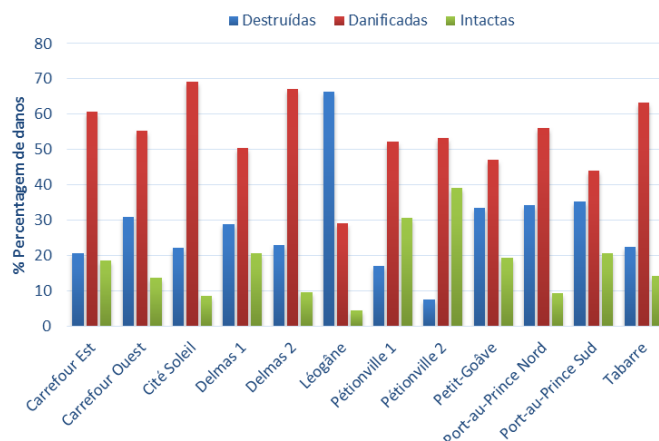


Gráfico 2 – Percentagem de danos encontrados recolhidos das comunidades haitianas após o terremoto de 12 de Janeiro de 2010. Adaptado (European Commission (EC) et al., 2010).

4.3.4 Sismo de 11 de Março de 2011 no Japão

O sismo de magnitude 9, na escala de Richter, ocorreu a 11 de Março de 2011 às 14H46M (hora japonesa), na zona ocidental do Oceano Pacífico a uma profundidade de cerca de 24 km, com uma proximidade de 72 km a Este da Península de Oshika (Maeda et al., 2012).

Foi realizada uma avaliação de danos em edifícios escolares de betão armado em Fukushima, após o terremoto japonês de 2011. Um conjunto de parâmetros foi definido nos edifícios escolares de betão armado de toda a província: 440 edifícios no total e 307 foram construídos antes de 1982, conforme demonstra o Gráfico 3. Os danos foram avaliados em 62 desses edifícios, e definidos como graves, moderados, pequenos, ligeiros, de tsunami e como não constando da avaliação.

A percentagem de danos pequenos até severos no total, onde os edifícios eram basicamente não funcionais foram cerca de 6% no total e 8% nas edificações antes de 1982. Quanto aos edifícios classificados com o grau de dano severo, que foram demolidos e reconstruídos em vez de serem reparados, as percentagens são 1,5% no total e 2,2% antes de 1982. Considerando-se que as intensidades dos movimentos do solo foram muito perto do nível 2, nível muito raro do regulamento de construção japonês (JBSL), na maioria das regiões, pode-se concluir que essas proporções de danos foram relativamente baixas (Kabeyasawa et al., 2012).

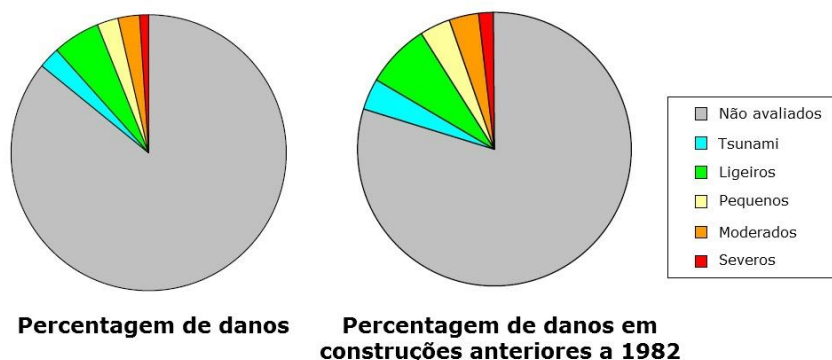


Gráfico 3 – Registo da percentagem de danos para todas as escolas da Província de Fukushima. Adaptado (Kabeyasawa et al., 2012).

Quanto aos índices de desempenho sísmico I_s dos edifícios de betão armado em escolas secundárias e escolas especiais em Fukushima, eles foram classificados nas classes de A a D, como A ($I_s > 0,7$) que não requerem reforço, B ($I_s > 0,7$), B' ($0,6 < I_s < 0,7$), C ($0,3 < I_s < 0,6$) e D ($I_s < 0,3$) exigindo reforço (Gráfico 4). Os valores de I_s de edifícios foram classificados antes e depois do reforço em edifícios construídos a partir de 1981, os quais tendo sido considerados por estar em conformidade com o regulamento de construção corrente, foram classificados como S. O desempenho sísmico dos edifícios construídos depois de 1981, foram considerados como satisfazendo a condição $I_s > 0,7$, não tendo processo de avaliação até agora, embora a avaliação detalhada e rigorosa possa ser necessária no futuro (Kabeyasawa et al., 2012).

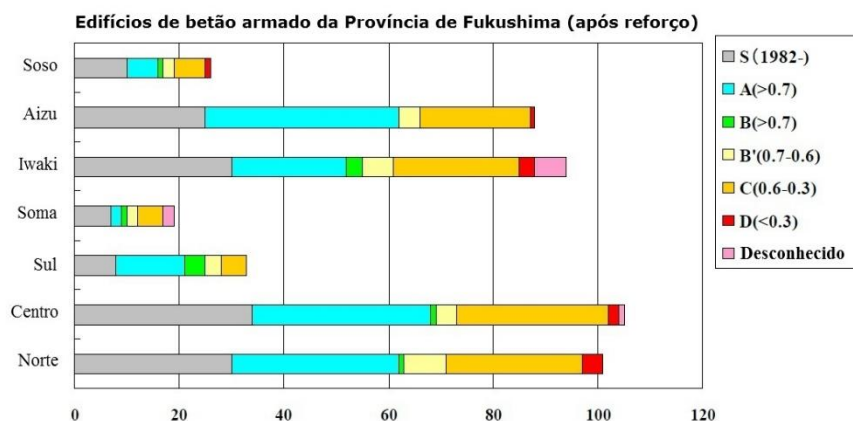


Gráfico 4 – Distribuição regional dos índices de performance sísmica depois de reforçadas as escolas da Província de Fukushima. Adaptado (Kabeyasawa et al., 2012).

Capítulo 5

*Metodologia da avaliação da
vulnerabilidade sísmica*

5 Metodologia da avaliação da vulnerabilidade sísmica

5.1 Escala Macrossísmica Europeia (EMS 98)

A análise do risco sísmico destinada à gestão de situações de emergência e de planeamento de estratégias de proteção requer uma avaliação a uma escala territorial. O método macrossísmico resulta, numa forma concetualmente rigorosa, pelo uso de probabilidades e pela Teoria dos Conjuntos Difusos, considerando definições da Escala Macrossísmica. As matrizes de probabilidade de dano são avaliadas para seis classes de vulnerabilidade considerada pela Escala Macrossísmica Europeia (EMS 98) (Grünthal, 1998); as curvas de vulnerabilidade são desenhadas para essas classes e para diferentes tipologias construtivas.

Uma equação analítica, interpolando as curvas é introduzida como função através de um único parâmetro que é o índice de vulnerabilidade; que correlacionado com um parâmetro de entrada sísmico, em termos de intensidade macrossísmica, com o dano físico, é resumido ao valor médio numa distribuição beta. Um índice de vulnerabilidade médio é associado a cada tipologia, que pode ser refinado com base num fator modificador de comportamento sísmico, e com um fator regional. Uma incerteza diferente é associada com a avaliação da vulnerabilidade pela consequente avaliação de danos disponíveis para esta análise. Pelo uso de correlações estatísticas, cenários de consequência (colapso, edifícios impróprios para uso, mortes e feridos, desalojados) e perdas físicas podem ser estimadas (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).

5.1.1 Índices de vulnerabilidade

Recentemente Giovinazzi e Lagomarsino (2001, 2004) propuseram uma outra metodologia simplificada denominada por Método Macrossísmico, que deriva da definição de funções de probabilidade de dano baseadas na Escala Macrossísmica Europeia (EMS 98) (Grünthal, 1998). A Escala Macrossísmica Europeia 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) (Ferreira, 2012). O Gráfico 5 apresenta as classes de vulnerabilidade de acordo com a (EMS 98), enquanto a Tabela 3 apresenta os valores dos índices de vulnerabilidade associados às respetivas classes de vulnerabilidade.

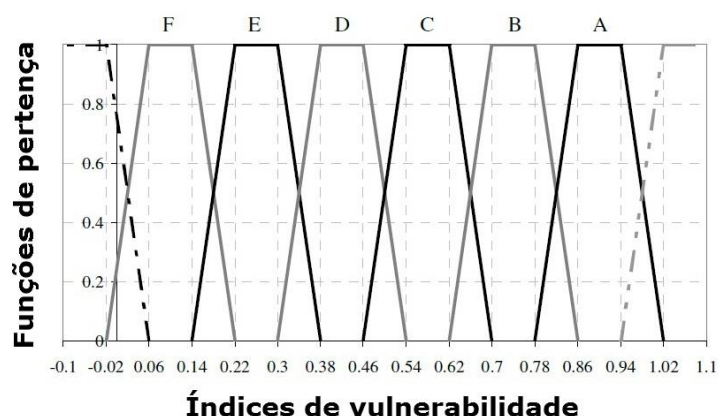


Gráfico 5 – Correspondência entre o índice de vulnerabilidade e as funções de pertinência (χ) para as classes da (EMS 98). Adaptado (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).

	V_{Imin}^c	V_I^c	V_I^{c*}	V_I^{c+}	V_{Imax}^c
A	1,02	0,94	0,90	0,86	0,78
B	0,86	0,78	0,74	0,70	0,62
C	0,70	0,62	0,58	0,54	0,46
D	0,54	0,46	0,42	0,38	0,30
E	0,38	0,30	0,26	0,22	0,14
F	0,22	0,14	0,10	0,06	-0,02

Tabela 3 – Valores dos índices de vulnerabilidade de acordo com as respectivas classes de vulnerabilidade. Adaptado (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).

5.1.2 Avaliação dos índices de vulnerabilidade

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. 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 região como demonstra a equação (3) (Ferreira, 2012). Relativamente à atribuição das classes de vulnerabilidade para as diferentes tipologias construtivas esta correspondência está representada na Tabela 4.

Tipologias		Tipologia construtiva CSR (Conceção sísmo-resistente)	Classes de vulnerabilidade					
			A	B	C	D	E	F
Alvenarias	M1	Alvenaria de pedra irregular e solta	■					
	M2	Adobe	■	■				
	M3	Alvenaria de pedra (aparelhada)	■	■				
	M4	Alvenaria de pedra aparelhada (silhares)	■	■	■			
	M5	Alvenaria de blocos de betão ou tijolo (não reforçada)	■	■	■	■		
	M6	Alvenaria com pavimentos em betão armado	■	■	■	■	■	
	M7	Alvenaria reforçada / Alvenaria confinada	■	■	■	■	■	■
Betão armado	RC1	Estrutura porticada em betão armado sem CSR	■	■	■	■	■	■
	RC2	Estrutura porticada em betão armado com CSR moderado	■	■	■	■	■	■
	RC3	Estrutura porticada em betão armado com CSR elevado	■	■	■	■	■	■
	RC4	Estrutura de paredes de betão armado sem CSR	■	■	■	■	■	■
	RC5	Estrutura de paredes de betão armado com CSR moderado	■	■	■	■	■	■
	RC6	Estrutura de paredes de betão armado com CSR elevado	■	■	■	■	■	■
Aço	S	Estrutura metálica		■	■	■	■	■
Madeira	W	Estrutura de madeira		■	■	■	■	■
Situações:		■	■	■	■	■	■	■
		Classe mais provável	Classe possível	Classe pouco provável (casos excecionais)				

Tabela 4 – Atribuição das classes de vulnerabilidade para diferentes tipologias construtivas. Adaptado (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).

$$V_I = V_I^* + \Delta V_R + \Delta V_m \quad (3)$$

5.1.3 Índices de vulnerabilidade tipológica

Para a função de pertença de cada tipologia, cinco valores representativos de V_I foram definidos através dum processo de difusão: o valor mais provável para cada tipologia construtiva específica V_I (índice de vulnerabilidade tipológico) é calculado como o valor central da função de pertença; V_I^- e V_I^+ , avaliados através duma redução de metade da função de pertença, representando os limites da gama de incerteza de V_I^* para cada tipologia específica. V_{Imin} e V_{Imax} correspondem ao limite superior e inferior dos possíveis valores de V_I , valor final do índice de vulnerabilidade, para cada tipologia; seja qual for a quantidade de parâmetros modificadores e do fator de regionalidade, o valor do índice de vulnerabilidade final deve estar compreendido nesta variação, conforme apresenta a Tabela 5 (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).

Tipologias		Tipologia construtiva CSR (Conceção sísmo-resistente)	Classes de vulnerabilidade				
			V_{\min}^c	V_1^c	V_2^c	V_3^c	V_{\max}
Alvenarias	M1	Alvenaria de pedra irregular e solta	0,62	0,81	0,87	0,98	1,02
	M2	Adobe	0,62	0,69	0,84	0,98	1,02
	M3	Alvenaria de pedra (aparelhada)	0,46	0,65	0,74	0,83	1,02
	M4	Alvenaria de pedra aparelhada (silhares)	0,30	0,49	0,62	0,79	0,86
	M5	Alvenaria de blocos de betão ou tijolo (não reforçada)	0,46	0,65	0,74	0,83	1,02
	M6	Alvenaria com pavimentos em betão armado	0,30	0,49	0,62	0,79	0,86
	M7	Alvenaria reforçada / Alvenaria confinada	0,14	0,33	0,45	0,63	0,70
Betão armado	RC1	Estrutura porticada em betão armado sem CSR	0,30	0,49	0,64	0,80	1,02
	RC2	Estrutura porticada em betão armado com CSR moderado	0,14	0,33	0,48	0,64	0,86
	RC3	Estrutura porticada em betão armado com CSR elevado	-0,02	0,17	0,32	0,48	0,70
	RC4	Estrutura de paredes de betão armado sem CSR	0,30	0,37	0,54	0,67	0,86
	RC5	Estrutura de paredes de betão armado com CSR moderado	0,14	0,21	0,38	0,51	0,70
	RC6	Estrutura de paredes de betão armado com CSR elevado	-0,02	0,05	0,22	0,35	0,54
Aço	S	Estrutura metálica	-0,02	0,17	0,32	0,48	0,70
Madeira	W	Estrutura de madeira	0,14	0,21	0,45	0,64	0,86

Tabela 5 – Valores do índice de vulnerabilidade para diferentes tipologias construtivas. Adaptado (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).

5.1.4 Fator modificador de comportamento

Quanto ao fator modificador de comportamento, o valor do índice de vulnerabilidade tipológico V_I calculado para cada tipologia pode ser aumentado ou diminuído de acordo com os fatores de vulnerabilidade reconhecidos como fazendo parte, dum certo edifício. Se um grupo de edifícios, pertencente a uma certa tipologia, é considerado, o fator modificador ΔV_m é avaliado da seguinte maneira, como demonstra a equação (4) (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004):

$$\Delta V_m = \sum r_k \times V_{m,k} \quad (4)$$

Fazendo referência a edifícios isolados, o fator modificador ΔV_m é simplesmente o somatório dos valores de $V_{m,k}$ para os comportamentos modificadores reconhecidos, onde r_k é a percentagem do edifício afetado pelo comportamento modificador k , caracterizado por um consequente valor modificador $V_{m,k}$. A identificação dos comportamentos modificadores foi feita empiricamente, com base na observação de típicos danos padrões, tendo em conta o que foi sugerido por vários formulários de inspeção e por propostas anteriores. Os valores de $V_{m,k}$ foram atribuídos através de parecer de peritos. Eles foram parcialmente calibrados pela comparação com a avaliação da vulnerabilidade anterior; uma melhor calibração é desejada com base nos danos e dados de vulnerabilidade recolhidos depois de terramotos. Na Tabela 6 os fatores modificadores de comportamento e os respetivos valores estão propostos para edifícios de alvenaria e de betão armado (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).

Fatores modificadores	Alvenaria		Betão armado Regulamentação CSR		
		V_{mk}	Pré/Baixa (< 1960)	Média (1960-1985)	Alta (> 1985)
Estado de conservação	Bom	-0,04	Bom	-	-
	Mau	0,04	Mau	0,04	0
	Baixo (1/2)		Baixo (1/3)	-0,02	-0,02
	Médio (3, 4 ou 5)	0	Médio (4/7)	0	0
	Alto (6 ou mais)	0,04	Alto (8 ou mais)	0,08	0,06
Sistema estrutural	Espessura parede	-			
	Distância parede	0,04/0,04			
	Ligações parede				
Irregularidade em planta	Geometria	0,04	Geometria	0,04	0,02
	Distribuição da massa	0,04	Distribuição da massa	0,02	0,01
Irregularidade vertical	Geometria	0,04	Geometria	0,04	0,02
	Distribuição da massa	0,04	Distribuição da massa	0,04	0,02
Pisos sobrepostos		0,04			
Cobertura	Peso, impulso e ligações	0,04			
Intervenção de reforço		-			
		0,08/0,08			
Dispositivos antisísmicos	Muros de reação, arcos metálicos e contrafortes	-0,04			
Agregado de edifícios: posição	Meio	-0,04	Insuficiente juntas antisísmicas	0,04	0
	Canto	0,04			
	Ponta	0,06			
Agregado de edifícios: elevação	Pisos recuados	0,04			
	Edifícios com diferentes alturas	-			
		0,04/0,04			
Fundações	Diferentes níveis de fundação	0,04	Vigas	-0,04	0
			Vigas ligadas	0	0
			Sapatas isoladas	0,04	0
			Colunas curtas	0,02	0,01
			Janelas de sacada	0,04	0,02

Tabela 6 – Valores dos fatores modificadores para edifícios de alvenaria e de betão armado. Adaptado (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).

A gama compreendida entre V_I^- e V_I^+ é muito grande em ordem a ser representativa duma grande variedade de técnicas de construção usadas ao longo de diferentes países europeus. O fator de vulnerabilidade regional é introduzido para ter em conta a tipificação de algumas tipologias construtivas a nível regional: uma maior ou menor vulnerabilidade pode ser reconhecida devido a algumas técnicas tradicionais de construção duma região.

De acordo com o fator de vulnerabilidade regional, este permite modificar o índice tipológico de vulnerabilidade V_I^* com base numa avaliação de peritos ou com base nos dados históricos disponíveis. O primeiro caso é obtido quando existe informação construtiva, estrutural, tecnológica precisa, atestando um comportamento habitual melhor ou pior, considerando o previsto para os diferentes valores apresentados, do índice de vulnerabilidade para diferentes tipologias construtivas (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).

5.1.5 Fator de vulnerabilidade regional

Foi realizada a avaliação do impacto sísmico de futuros terremotos na área metropolitana de Lisboa que teve como objetivo: a determinação de áreas de maior risco e quantificação das perdas em termos de número de baixas e edifícios danificados, exigindo o desenvolvimento

de diferentes tarefas, as mais importantes lidam com o risco, o microzonamento, a vulnerabilidade dos edifícios e a distribuição da população ao longo do dia, não podendo deixar de considerar o impacto socioeconómico.

Um modelo matemático foi usado para analisar o impacto sísmico e foi desenvolvido através do seguinte: a) Lisboa é dividida em 23 unidades de área ($j = 1, 23$); b) os edifícios foram agrupados em 5 classes de edifícios ($i = 1, 5$) com n_i andares; c) quatro fontes sísmicas de terramotos capazes de gerar cenários ($k = 1, 4$), cada um associado com uma certa probabilidade de ocorrência F_k ; d) seis classes de intensidade da escala devido a razões de microzonamento ($l = 1, 6$); e) cinco períodos durante o dia ($m = 1, 5$).

Se $S_{j,k,l}(w)$ é a resposta ou o espectro de potência na unidade j , solo l , devido à fonte k ; $V_{i,j,k,l}$ é a vulnerabilidade média para $S_{j,k,l}(w)$ em edifícios da classe i com n_i andares e uma área em planta a_{pi} ; $N_{i,j}$ é o número de edifícios da classe i , na unidade j ; $P_{j,m}$ é o número de pessoas na unidade j , no período m ; $C_{i,j}$ é o valor da construção por m^2 em função da classe i e localização j (mais concretamente, $C_{i,j}$ depende de fatores de ordem como a utilização, e a função social e económica); A_j é a área da unidade de área j ; $a_{l,j}$ é a área da classe de intensidade l , na unidade j (Oliveira e Victor, 1984).

O modelo matemático que permite calcular o impacto sísmico é representado pelas seguintes funções desenvolvidas através do trabalho de (Oliveira e Victor, 1984):

- Função da perda individual (ILF), equação (5);
- Função da perda global (GLF), equação (6);
- População afetada (AP), equação (7);
- Densidade das perdas (DL), equação (8);
- Densidade da população afetada (DPA), equação (9);

$$ILF_{i,j,k} = C_{i,j} \times a_{pi} \times n_i \times N_{i,j} \times \sum_l V_{i,j,k,l} \times \frac{a_{l,j}}{A_j} \quad (5)$$

$$GLF_{i,j,k} = \sum_l ILF_{i,j,k} \quad (6)$$

$$AP = \sum_i \sum_l V^P_{i,j,k,l} \times \frac{a_{l,j}}{A_j} \times N_{i,j} \times P_{m,j} \quad (7)$$

$$DL = \frac{GLF_{j,k}}{\sum_i C_{i,j} \times a_{pi} \times n_i \times N_{i,j}} \quad (8)$$

$$DPA = \frac{AP_{j,k,m}}{P_{m,j}} \quad (9)$$

Para além disso ainda são apresentados os valores das funções de vulnerabilidade para cinco diferentes tipologias construtivas, de acordo com diferentes intensidades da escala de intensidade de Mercalli, conforme é demonstrado na Tabela 7 (Oliveira e Victor, 1984).

Para ilustrar o modelo matemático, uma aplicação foi feita para três unidades de área sobre o cenário sísmico de Gorringe, conforme representado na Tabela 8.

	A	B	C	D	E
VII	0,15	0,08	0,10	0,06	0,03
VIII	0,50	0,25	0,30	0,20	0,10
IX	0,80	0,50	0,60	0,40	0,20
X	1,00	0,70	0,85	0,60	0,40

Tabela 7 – Tipificação dos edifícios de Lisboa. Funções de vulnerabilidade (Oliveira e Victor, 1984).

- A. Edifícios de adobe construídos antes de 1880, em mau estado. Frequência > 3Hz;
- B. Edifícios de alvenaria de adobe construídos antes de 1880 com ligações horizontais em bom estado. Frequência > 2,5Hz;
- C. Edifícios de alvenaria de tijolo altos construídos durante 1880-1940. Pisos em madeira. Frequência > 2Hz;
- D. Estruturas duplas com paredes resistentes de alvenaria com lajes de betão armado ou armações de betão armado com momentos resistentes fortemente preenchidas com paredes de alvenaria de tijolos não resistentes. Frequência > 2,5Hz;
- E. Edifícios modernos de betão armado projetados para a mesma carga lateral. Frequência < 2 Hz (Oliveira e Victor, 1984);

Unidade de área	Categoria do edifício	N _{ij}	n _i	a _{pi} (m ²)	ILF X 10 ³	GLF X 10 ³	AP (Habitantes)	DL	DPA
Alcântara População 22600 Edifícios estimados 774 C _{ij} = 1,85	A	108	3	180	29,2	187	2835	0,23	0,125
	B								
	C	442	4	150	104,4				
	D	108	4	130	15,6				
	E	116	6	100	67				
Olivais População 60800 Edifícios estimados 1232 C _{ij} = 1,25	A					227,1	1125	0,20	0,050
	B								
	C	370	2,5	150	77,9				
	D			130					
	E	862	9	100	149,2				
Baixa População 12600 Edifícios estimados 238 C _{ij} = 7,33	A					975,7	22154	0,53	0,980
	B	274	5	180	956,6				
	C	3	5	150	10,5				
	D	3	5	130	6,1				
	E	3	5	100	2,5				

Tabela 8 – Avaliação do impacto sísmico para três zonas de Lisboa. Adaptado (Oliveira e Victor, 1984).

5.1.6 Intervenção da incerteza na avaliação da vulnerabilidade

Particularmente, as avaliações da vulnerabilidade são afetadas por uma incerteza associada com a classificação da parte do parque imobiliário exposto a uma classe de vulnerabilidade ou a uma tipologia construtiva e pela incerteza associada com a atribuição dum comportamento característico da classe de vulnerabilidade ou da tipologia construtiva.

Deve-se notar que a incerteza afetando as tipologias construtivas é maior que as calculadas para as classes de vulnerabilidade; tanto porque o comportamento da tipologia construtiva foi deduzido da observação das classes de vulnerabilidade, como também porque com poucos dados é mais difícil classificar um edifício numa tipologia, do que uma classe de vulnerabilidade.

Mas o conhecimento de informação adicional, como a informação das tipologias, limita a incerteza acerca do comportamento do edifício; é então aconselhável não apenas modificar o valor mais provável de V_I^* , mas também reduzir a incerteza entre V_I^- e V_I^+ . Este objetivo é obtido modificando a função de pertença através duma função de filtro f , centrada no valor mais provável de V_I , dependendo no parâmetro ΔV_f , representando a largura da função de filtro.

A largura de ΔV_f da função de filtro depende da quantidade e da qualidade dos dados. Na Tabela 9 são apresentados dois valores, relacionados com a sua origem (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).

Origem dos dados	ΔV_f
Base de dados existente não especificada	0,08
Dados especificamente pesquisados para avaliação da vulnerabilidade	0,04

Tabela 9 – Valores sugeridos para ΔV_f em relação à origem e qualidade dos dados. Adaptado (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).

5.1.7 Intervenção dos fatores modificadores do solo

Os fatores modificadores de vulnerabilidade, definidos em ordem para ter em consideração os “efeitos locais” foram avaliados tendo por referência o Eurocódigo 8 para a caracterização dinâmica tanto para as tipologias construtivas como os tipos de solo. Em relação ao solo, a referência é feita para a definição do espectro horizontal de resposta elástica proveniente do Eurocódigo 8 para diferentes tipos de solo.

Relativamente a edifícios, o período fundamental T_1 para tipologias de alvenaria e betão armado é avaliado para três diferentes gamas de altura (pequeno, médio e alto) aplicando a expressão proposta pelo Eurocódigo 8 e um valor de 3 metros entre andares, conforme apresentado na Tabela 10 (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).

	A-Baixo	A-Médio	A-Alto	BA-Baixo	BA-Médio	BA-Alto
Andares	2	4	6	3	7	12
T_1	0,19	0,32	0,44	0,39	0,74	1,10

Tabela 10 – Período fundamental T_1 para edifícios de alvenaria e betão armado. Adaptado (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).

Para cada período, um fator multiplicador f_{PGA} , da aceleração de ponta do solo, é avaliado para gerar uma ação sísmica capaz de produzir para um certo tipo de edifício (T_1 fixo) construído num certo tipo de solo, o mesmo efeito caso fosse construído em rocha (tipo de terreno A). No Gráfico 6, o espectro de resposta elástica é apresentado, capaz de reproduzir a mesma ação sísmica sofrida pelas três classes de altura de edifícios de betão armado construído pelo tipo de terreno D (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).

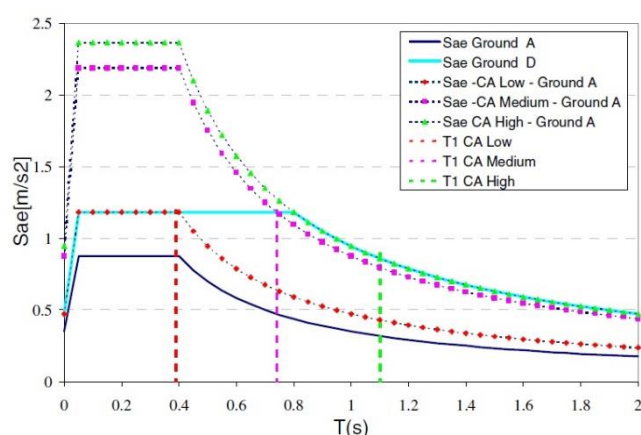


Gráfico 6 – Espectro de resposta elástica do tipo de terreno A capaz de reproduzir a mesma ação sísmica sofrida por três classes de altura de edifícios de betão armado construído num tipo de terreno D (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).

Os fatores de aceleração de ponta do solo f_{PGA} são avaliados então, pela equação (10) e são apresentados os seus valores para os diferentes tipos de solo do Eurocódigo 8 e para as diferentes categorias de edifícios na Tabela 11 (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004):

$$f_{PGA} = \frac{Sa(T_1)_{Soil K}}{Sa(T_1)_{Soil A}} \quad (10)$$

	B/A	C/A	D/A	E/A		B/A	C/A	D/A	E/A
A-Baixo	1,20	1,15	1,35	1,40	BA-Baixo	1,20	1,15	1,35	1,40
A-Médio	1,20	1,15	1,35	1,40	BA-Médio	1,50	1,73	2,50	1,75
A-Alto	1,32	1,27	1,49	1,54	BA-Alto	1,50	1,73	2,7	1,75

Tabela 11 – Fatores de multiplicação da PGA (aceleração de ponta do solo) f_{PGA} avaliados para os tipos de solo do EC8 e diferentes categorias de edifícios. Adaptado (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).

Existe uma correlação entre o fator de aceleração de ponta do solo f_{PGA} para um correspondente incremento de intensidade, (Tabela 12). Para a equação (11), foi aplicada a equação de correlação proposta por Guagenti e Petrini (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004):

$$\Delta I = \frac{\ln(f_{PGA})}{0,602} \quad (11)$$

	B/A	C/A	D/A	E/A		B/A	C/A	D/A	E/A
A-Baixo	0,30	0,23	0,50	0,56	BA-Baixo	0,30	0,23	0,50	0,56
A-Médio	0,30	0,23	0,50	0,56	BA-Médio	0,67	0,91	1,52	0,93
A-Alto	0,46	0,39	0,66	0,72	BA-Alto	0,67	0,91	1,65	0,93

Tabela 12 – Incrementos de intensidade ΔI avaliados para os tipos de solo do EC8 e diferentes categorias de edifícios. Adaptado (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).

O grau de dano médio μ_D é dado em função da intensidade macrossísmica I , apenas dependendo do parâmetro do índice de vulnerabilidade V_I , demonstrado na equação (12) (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004):

$$\mu_D = 2,5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6,25 \times V_I - 13,1}{2,3} \right) \right] \quad (12)$$

Assumindo a equação anterior, proposta para as curvas de vulnerabilidade como elemento de ligação entre intensidade e vulnerabilidade, um incremento de vulnerabilidade

ΔV corresponde a um incremento de intensidade ΔI , demonstrado na equação (13) e sendo representado na Tabela 13 (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004):

$$\Delta V = \frac{\Delta I}{6,25} \quad (13)$$

	B/A	C/A	D/A	E/A		B/A	C/A	D/A	E/A
A-Baixo	0,04	0,03	0,08	0,09	BA-Baixo	0,04	0,03	0,08	0,09
A-Médio	0,04	0,03	0,08	0,09	BA-Médio	0,10	0,15	0,24	0,15
A-Alto	0,07	0,06	0,10	0,12	BA-Alto	0,10	0,15	0,26	0,15

Tabela 13 – Incrementos de vulnerabilidade ΔV avaliados para os tipos de solo do EC8 e diferentes categorias de edifícios. Adaptado (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).

Capítulo 6

Consideração da amplificação sísmica

6 Consideração da amplificação sísmica

6.1 Introdução

Na avaliação da vulnerabilidade sísmica de praticamente todas as escolas secundárias do território nacional, desde Braga até Beja, encontramos uma amostra muito grande de terrenos, muito diferentes e bastante distintos. Avaliando então praticamente toda a geologia de Portugal Continental, foi necessário elaborar uma estratégia para não colocar nenhuma informação de parte. Foi então decidido integrar Portugal Continental nas estruturas geológicas que fazem parte da sua constituição, falando da sua origem e contando a sua história para integrar todos os terrenos nos tipos de rochas que reúnem todas as características dos terrenos encontrados, que resumem-se às rochas sedimentares, às rochas metamórficas e às rochas magmáticas. Em seguida apresentamos a carta geológica de Portugal Continental representado na Figura 15.



Figura 15 – Mapa geológico de Portugal Continental. Adaptado (FLUP, 2010).

6.2 Enquadramento geológico de Portugal Continental

A Península Ibérica apresenta duas unidades estruturais geológicas distintas que são respetivamente o Maciço Hespérico e a orla mesoceno­zóica. O Maciço Hespérico ocupa a parte central e ocidental da Península Ibérica.

A cordilheira central (Maciço Hespérico) está fragmentada em dois blocos onde a cobertura é mantida, especialmente na parte oriental. A Meseta Norte, unidade de relevo da Península Ibérica, é drenada pelo Douro e inclui a bacia do Douro enquanto a Meseta Sul é drenada pelo rio Tejo e Guadiana, e é apresentada como um bloco convexo, é uma superfície assimétrica e permite a individualização de uma bacia oriental, mais ampla e profunda, e uma bacia ocidental, existindo marcas da sua continuidade original (Ribeiro et al., 1979).

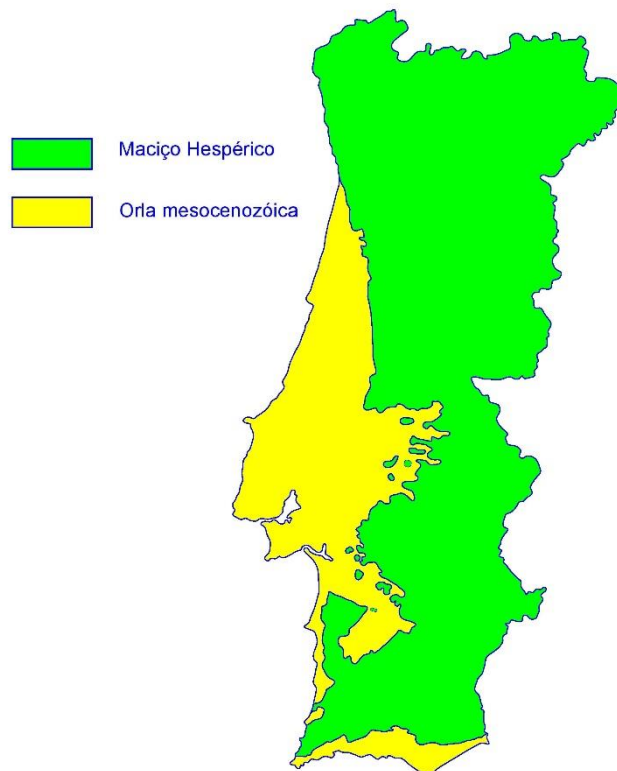


Figura 16 – Representação das unidades estruturais geológicas de Portugal Continental: Maciço Hespérico e orla mesoceno­zóica. Adaptado (FLUP, 2010).

Nas margens do Maciço Hespérico, instalaram-se bacias sedimentares, cujo conteúdo sofreu deformações que foram distinguidas na orla ocidental ou lusitana e na orla meridional ou do Algarve. Em relação ao território português, descrevemos seguidamente as respetivas

unidades geotectónicas: Maciço Hespérico e a orla mesocenozóica, constituída pela orla ocidental e pela orla meridional, conforme apresentado na Figura 16 (Ribeiro et al., 1979).

Na unidade estrutural do Maciço Hespérico existem dois tipos de rochas absolutamente predominantes, estes grupos são as rochas metamórficas e as rochas magmáticas. As rochas metamórficas são as rochas com maior expressão e em maior quantidade no Maciço Hespérico existente em Portugal, durante a era Paleozóica existiram várias intrusões metamórficas com uma muito pequena extensão geográfica no território nacional, muito bem definidas com uma inclinação proveniente do período Ordovícico (Figura 17).

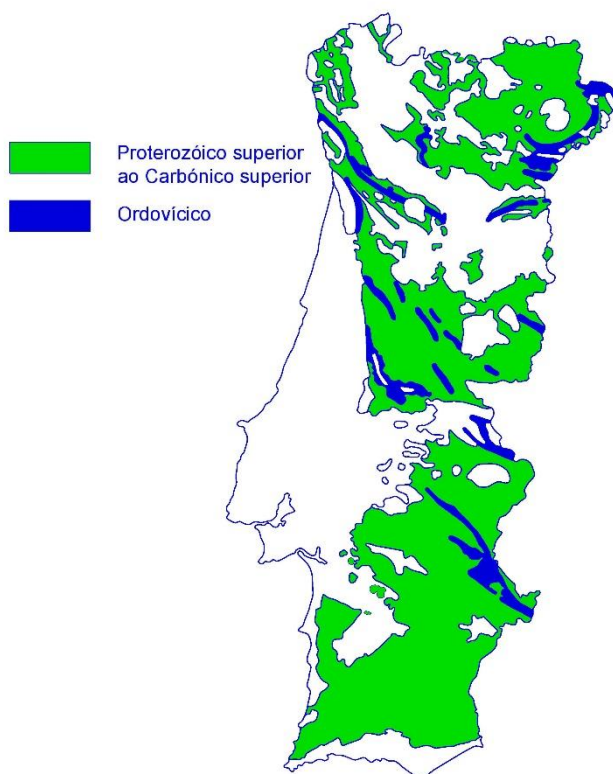


Figura 17 – Representação das diferentes rochas metamórficas provenientes do Maciço Hespérico de Portugal Continental. Adaptado (FLUP, 2010).

Portanto pelo que foi anteriormente enunciado, a restante parte do Maciço Hespérico é caracterizado por rochas magmáticas designadamente granitos e granodioritos. É extremamente importante referir que todas as rochas enunciadas acerca do Maciço Hespérico

são rochas antigas formadas há muito mais tempo do que as rochas pertencentes à orla mesocenozóica, tanto a orla ocidental como a meridional (Figura 18).

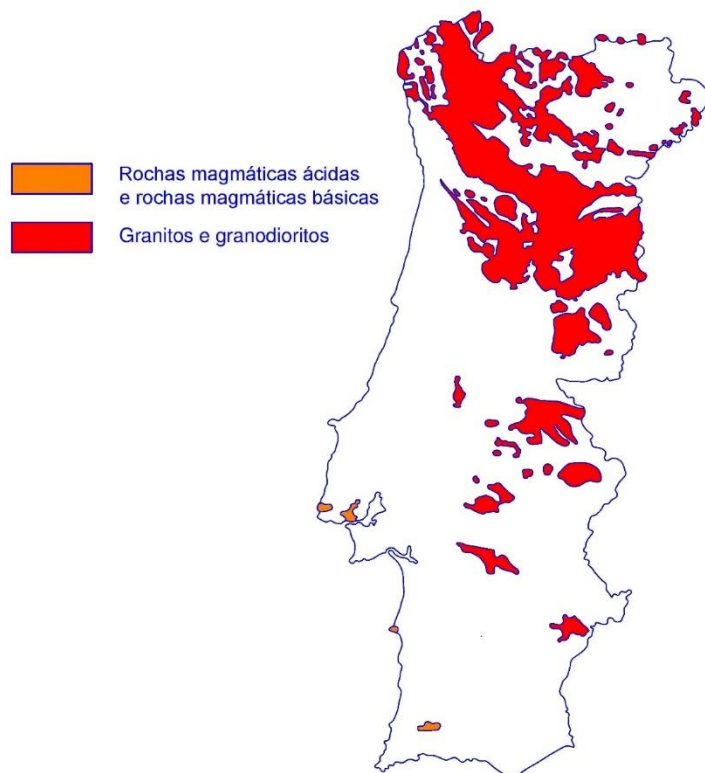


Figura 18 – Representação das rochas magmáticas provenientes das unidades geológicas estruturais de Portugal Continental. Adaptado (FLUP, 2010).

A orla mesocenozóica apesar de ser individualizada através de diferentes designações, sendo a orla ocidental e a orla meridional respetivamente, estas unidades correspondem à mesma unidade estrutural. A diferenciação apenas é baseada na diferente posição geográfica porque geologicamente estas unidades são exatamente iguais tanto em constituição como em idade de formação.

Dentro da orla mesocenozóica podemos encontrar rochas sedimentares e rochas metamórficas fazendo parte da sua constituição mas relativamente às rochas metamórficas do Maciço Hespérico estas rochas são recentes em completa oposição com as rochas do Maciço Hespérico que são rochas bastante antigas.

Enquanto as rochas sedimentares da orla mesocenozóica correspondem ao período Terciário e Quaternário da era Cenozóica da escala do tempo geológico, e consecutivamente

a períodos mais recentes do tempo geológico, as rochas metamórficas correspondem a períodos mais antigos, com origem no período Triássico, Jurássico e Cretácico, conforme é demonstrado na Figura 19.

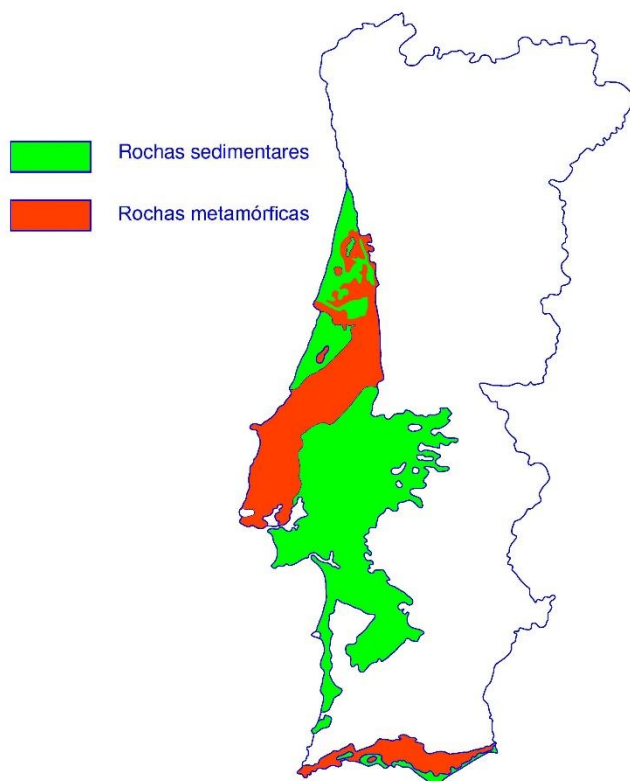


Figura 19 – Representação das rochas sedimentares e metamórficas da orla mesocenozóica de Portugal Continental. Adaptado (FLUP, 2010).

6.2.1 Características gerais do Maciço Hespérico

O Maciço Hespérico é o fragmento mais marcante do Hercíniano, período orogénico da última fase da era Paleozóica, na Europa e uma das principais características do segmento deformado é dado pelo estilo tectónico, pelo magmatismo e pelo metamorfismo.

A orogenia, processo de formações de cadeias montanhosas, do Maciço Hespérico é caracterizado por uma primeira diferenciação por razões de ordem interna onde a deformação é mais intensa, e o magmatismo e o metamorfismo é mais difundido e as duas regiões exteriores onde a deformação é menos intensa e mais tarde o magmatismo e o metamorfismo foram menos pronunciados (Ribeiro et al., 1979).

6.2.2 Caraterísticas gerais da orla mesocenozóica ocidental ou lusitana

Durante o Mesozóico, fica na fronteira lusitana, o vale lusitano, onde os sedimentos apresentam uma espessura máxima. As contribuições são do Maciço Hespérico a Este, mas também de uma área de terra localizada a Oeste e cujo arquipélago das Berlengas é a única testemunha que existe. A existência desse continente ocidental é demonstrada por exemplo, com a presença de calcários, arenitos e conglomerados. A sedimentação é frequentemente de espessura reduzida nas margens enquanto no centro é de grande espessura.

Uma grande parte dos sedimentos do Mesozóico eram remoções na área costeira e, em seguida, foram gravadas todas as oscilações do nível do mar, que resultam em variações laterais bruscas. O estilo tectónico da fronteira ocidental ou lusitana é caracterizada pela presença de famílias de acidentes de direções variadas, correspondente em grande parte a repetições de uma rede de fraturas posteriores à orogenia Herciniana, correspondente ao período Carbonífero superior, onde ao longo dos dobramentos Hercinianos, a cobertura foi poderosamente distorcida por falhas e dobras (Ribeiro et al., 1979).

6.2.3 Caraterísticas gerais da orla mesocenozóica meridional ou do Algarve

Na fronteira do Algarve, a paleogeografia, que representa o estudo da geografia física do passado geológico, afirma a existência de uma inclinação. Do ponto de vista estrutural, existem duas áreas principais que foram fletidas. A Norte da primeira linha de flexão de Sagres, existe a linha de acidentes de Albufeira.

A estrutura do Algarve, embora bastante simples, provavelmente resulta de uma evolução tectónica. Assim, a Norte a flexão é baseada no dobramento Herciniano enquanto a uma curta distância toda a restante área subjacente corresponde ao período Triássico.

A atividade tectónica continua depois do Cretácico inferior e médio, que é dobrado e inclinado, especialmente ao longo das linhas de maior flexão. O Miocénico, quarta época da era geológica, é afetado através de uma forte discordância angular na zona de Albufeira mas também ao longo das principais dobras.

A estrutura geral do Algarve, que resulta numa flexão monoclinal bastante simples, foi explicada apenas pelo desprendimento da cobertura superior do complexo evaporítico e pelo deslizamento por gravidade para Sul. Também podemos explicar o quadro geral de falhas inversas que estão de acordo como o limite da proximidade da placa Europeia e da placa Africana durante o Neogénico e o Quaternário (Ribeiro et al., 1979).

6.3 Rochas sedimentares

A formação das rochas sedimentares ocorre à superfície do globo ou próximo dela, em regra, em interação com a hidrosfera, a atmosfera e a biosfera. Os processos que levam à sua formação decorrem após a subida até à superfície de rochas originadas em profundidade, por exemplo, durante a formação de cadeias montanhosas e antes do retorno desses materiais ao interior da geosfera, devido à subducção.

A gênese das rochas sedimentares implica duas etapas fundamentais: a sedimentogênese consiste num processo de elaboração dos materiais que as vão constituir até à sua deposição, enquanto a diagênese baseia-se na evolução posterior dos sedimentos, conduzindo à formação de rochas consolidadas. Na formação de rochas sedimentares intervêm diferentes processos geológicos. A meteorização de rochas superficiais, o transporte dos materiais resultantes dessa meteorização, a sedimentação posterior e a evolução que os sedimentos experimentam são alguns desses processos.

A história das rochas sedimentares começa com a elaboração dos materiais que vão entrar na sua constituição. Esses constituintes são, basicamente, de três categorias: sedimentos detríticos, sedimentos de origem química, sedimentos de origem biogénica.

Qualquer tipo de rocha é produto do ambiente físico-químico em que foi gerada quando as condições ambientais se alteram, as rochas experimentam mudanças: por exemplo, quando uma rocha que se forma em profundidade através de movimentos tectónicos da crosta e quando ocorre remoção das camadas suprajacentes podem colocar as rochas a descoberto e, por isso, elas afloram à superfície. Nestas circunstâncias, as rochas ficam expostas à ação de agentes variados, tais como a água, o ar, o vento, as mudanças de temperatura e os próprios seres vivos. Estes agentes, atuando sobre as rochas, provocam a sua alteração física e química, fenómeno que é designado por meteorização. Assim, os minerais que constituem essas rochas, minerais primários, ficam em desequilíbrio, com as novas condições ambientais, experimentando alterações profundas. Em consequência da meteorização, as rochas superficiais vão sendo alteradas e desagregadas. Os materiais resultantes da meteorização podem ser removidos do local, quer por ação da gravidade quer pela água, pelo vento ou pelo gelo, sendo essa remoção denominada erosão.

As rochas de um modo geral, quando expostas aos agentes de geodinâmica externa, experimentam, simultaneamente, dois tipos de transformações: uma alteração química, em

que certos minerais se transformam noutros mais estáveis nas novas condições ambientais, e uma desagregação mecânica ou meteorização física.

Os mecanismos de alteração química são extraordinariamente complexos, podendo destacar-se como processos mais importantes: a hidrólise, a oxidação e a carbonatação.

A hidrólise consiste em reações de alteração química que envolvem água, em relação à carbonatação as águas acidificadas podem reagir, por exemplo, com a calcite (carbonato de cálcio), mineral que faz parte dos calcários, formando produtos solúveis. Assim, os calcários são alterados e destruídos por um processo químico designado por carbonatação, agora quanto à oxidação esta ocorre pela presença de oxigénio que é muito importante na meteorização química, provocando oxidações.

Os materiais resultantes da meteorização das rochas podem ficar acumuladas no local de origem, formando depósitos residuais, mas na maior parte dos casos são transportados, principalmente, pela água e pelo vento, para outros locais. Alguns são transportados em solução e outros sob a forma de detritos ou clastos de dimensões variáveis. Durante o transporte, os materiais sólidos experimentam sucessivas alterações. De entre as modificações experimentadas pelos detritos durante o transporte, destacam-se o arredondamento e a grano seleção.

Nas rochas detríticas, os depósitos são inicialmente constituídos por materiais soltos, cuja granulometria é diferente de situação para situação. Após a deposição, geralmente os sedimentos experimentam uma evolução mais ou menos complexa, em que intervêm processos físico-químicos diversos, que no conjunto constituem a diagénese. Através dos processos diagenéticos, os sedimentos transformam-se em rochas sedimentares com diferentes graus de evolução.

Enunciando alguns processos que ocorrem durante a diagénese, podemos referir a compactação onde à medida que a sedimentação prossegue, novas camadas se vão sobrepondo, o que vai aumentar a pressão a que as camadas inferiores ficam mais próximas, diminuindo, por isso, o volume da rocha, que se torna progressivamente mais compacta e mais densa.

Outro processo resultante da diagénese é a cimentação onde os espaços vazios entre os detritos podem ser preenchidos por materiais de neoformação, resultantes da precipitação de substâncias dissolvidas na água de circulação. Estes materiais constituem um cimento que liga os detritos, formando uma rocha consolidada.

Em consequência da diversidade de materiais e de processos intervenientes na formação das rochas sedimentares, qualquer classificação é sempre algo artificial, pois não existem grupos estanques, verificando-se pelo contrário, uma gradação sucessiva entre os diferentes grupos. A aplicação de uma classificação que pretenda aproximar-se da realidade não pode abstrair-se da presença de todos os termos de transição. Existem diferentes classificações baseadas em critérios variados.

Com todas estas reservas e tendo em consideração a origem da fração predominante, nas rochas sedimentares podem considerar-se três grupos: rochas detríticas, rochas quimiogénicas e rochas biogénicas.

As rochas sedimentares detríticas são predominantemente constituídas por sedimentos de origem detrítica, ou seja, sedimentos resultantes do processo de meteorização e erosão de rochas preexistentes.

Em relação às rochas conglomeráticas, estas rochas são constituídas por detritos, onde geralmente, os detritos de maiores dimensões são fragmentados de rochas constituídas por vários minerais: os fragmentos de dimensões mais pequenas podem ser constituídos por um único mineral.

Falando agora das rochas areníticas, estas são rochas desagregadas que podem ser observadas em diferentes ambientes: rios e respetivas margens, nas praias, nas zonas litorais e nos desertos. Atendendo à sua composição e ao aspeto que apresentam, as areias podem dar muitas indicações sobre a fonte dos materiais que as constituem e sobre as condições ambientais em que se formaram.

Quando muitas vezes se formam rochas, em que há mistura de siltes e de argilas, predominando minerais de silte estamos na presença de rochas silticas, enquanto tendo rochas com predominância de minerais de argila fazemos referência a rochas argilosas.

Quanto às rochas quimiogénicas estas são formadas, essencialmente, por materiais resultantes da precipitação de substâncias em solução. Essa precipitação deve-se a processos físico-químicos. Entre esses processos pode destacar-se a evaporação da água onde as substâncias estão dissolvidas, o que leva à formação de cristais que se acumulam, constituindo os evaporitos.

Finalmente falando da última categoria de rochas sedimentares, referindo as rochas biogénicas, mais concretamente, nestas rochas os sedimentos que compõem as rochas

biogénicas podem ser constituídos por detritos orgânicos ou por materiais resultantes de uma ação bioquímica (Silva et al., 2013).

6.4 Rochas magmáticas

As rochas magmáticas ou ígneas estão bem representadas em Portugal. Em Portugal Continental, são sobretudo os granitos que afloram em extensas áreas localizadas, essencialmente, a Norte do rio Tejo. Os basaltos são as rochas que mais abundam nos arquipélagos dos Açores e da Madeira. As restantes rochas magmáticas aparecem em pequenos afloramentos dispersos pelo país.

A formação de rochas magmáticas está, em grande parte, relacionada com a mobilidade da litosfera e ocorre, em regra, nos limites convergentes e divergentes das placas litosféricas. Estes limites correspondem a regiões onde as condições de pressão e de temperatura permitem a fusão parcial das rochas da crosta e do manto superior, originando magmas. Por consolidação desses magmas, são geradas rochas intrusivas, ou plutónicas, e rochas extrusivas, ou vulcânicas, conforme o magma consolida, respetivamente, em profundidade ou à superfície.

Em regiões tectonicamente e vulcanicamente ativas, o aumento da temperatura com a profundidade é muito rápido, ou seja, na base da crosta terrestre. Além das temperaturas elevadas, outras condições podem contribuir para a fusão de materiais constituintes do manto e da crosta, como a diminuição da pressão e a hidratação desses materiais.

Quer a diminuição de pressão resultante do movimento divergente das placas que ocorre nas zonas de rifte, que são zonas de fratura acompanhadas por um afastamento em direções opostas da superfície terrestre, quer a diminuição de pressão que se verifica nas plumas térmicas, ao atingirem níveis mais superficiais, conduzem à fusão das rochas, originando magmas.

No caso da fusão por hidratação, a temperatura de fusão da rocha, baixa devido à presença de água, apesar de os materiais constituintes do manto permanecerem à mesma temperatura e profundidade.

Há diferentes tipos de rochas magmáticas. Os nomes dessas rochas baseiam-se na textura e na composição que apresentam. Estas propriedades refletem o modo como se formaram, no entanto, todas elas provêm de três tipos fundamentais de magmas: basáltico, andesítico e riolítico.

Os magmas basálticos são os magmas expelidos, principalmente, ao longo dos riftes e dos pontos quentes, tendo-se originado a partir de rochas do manto.

Admite-se que o magma basáltico resulta da fusão parcial de uma rocha constituinte do manto, o peridotito. Este tem uma composição próxima da do basalto, mas mais rica em minerais ferromagnesianos.

Nos pontos quentes, situados nos oceanos, por vezes, fluem grandes quantidades de magma basáltico. Nestas zonas ascendem plumas quentes oriundas do manto profundo, talvez terrestre, que ao subirem devido à descompressão podem originar magma que atravessa a placa litosférica, alimentando vulcões de pontos quentes.

Quando a velocidade de ascensão do magma é superior à de arrefecimento, o magma pode chegar à superfície sem ter consolidado e, neste caso, verificam-se erupções de lava que, por solidificações, originam rochas vulcânicas.

Muitas vezes, essas rochas são basaltos cuja textura revela duas fases de formação: uma durante a ascensão, que possibilita a génese de cristais em desenvolvimento, e outra mais rápida, já à superfície ou próximo dela, conducente à formação de cristais microscópicos e, por vezes, mesmo de algum material não cristalizado.

Relativamente aos magmas andesíticos formam-se, em especial, nas zonas de subducção e relacionam-se com zonas vulcânicas. A composição dos magmas andesíticos depende da quantidade do material do fundo oceânico subductado. Este material inclui água, sedimentos, e uma mistura de material com origem quer na crosta oceânica quer na crosta continental.

Os sedimentos têm água retida nos poros e são ricos em minerais de argila que contêm água na sua estrutura cristalina.

Em relação aos magmas riolíticos admite-se que se originam a partir da fusão parcial das rochas constituintes da crosta continental. Estes magmas tendem a ser muito ricos em gases, porque resultam da fusão das rochas da crosta continental, ricas em água e dióxido de carbono.

Durante a fusão das rochas continentais, os gases concentram-se no magma. Estas teorias foram apoiadas por experiências feitas em laboratório com materiais de composição igual à composição média da crosta continental e submetidos às condições de pressão e de temperatura provavelmente existentes em zonas do interior da crosta terrestre. Verificou-se que a fusão parcial desses materiais produzia um magma de natureza riolítica.

As zonas da terra onde parecem existir as condições de pressão, de temperatura e de percentagem de água adequadas à génese de magmas riolíticos situam-se na crosta terrestre em locais onde se verifica o choque de placas, dando origem a cadeias montanhosas. Nessas regiões, a crosta terrestre deforma-se devido à ação de tensões tectónicas, aumentando de espessura com conseqüente aumento de pressão e temperatura, criando as condições necessárias ao metamorfismo e, muitas vezes, também à fusão parcial das rochas da crosta. Parece ser esta a origem dos magmas riolíticos (Silva et al., 2013).

6.5 Rochas metamórficas

O processo geológico que consiste num conjunto de transformações mineralógicas, químicas e estruturais que ocorrem no estado sólido, em rochas sujeitas a estados de tensão, a temperatura e pressão diferentes da sua génese, denomina-se metamorfismo. O metamorfismo ocorre em certos contextos tectónicos, como, por exemplo, nas zonas de subducção, em cadeias orogénicas ou na proximidade da instalação de um magma no seio de rochas preexistentes.

Os processos metamórficos ocorrem quando as rochas preexistentes são submetidas a condições termodinâmicas diferentes das existentes na altura da sua formação. Como resposta às novas condições, os materiais geológicos instáveis modificam-se gradualmente até alcançarem um estado de equilíbrio compatível com o novo ambiente. A maioria das modificações induzidas durante o processo metamórfico depende da atuação de um conjunto de fatores de metamorfismo. As tensões, o calor e a composição dos fluidos atuando em enormes intervalos de tempo são fatores que condicionam o metamorfismo.

Quando se aplica uma força numa determinada área, diz-se que um material fica sujeito a um estado de tensão. Os materiais geológicos no decurso da sua evolução em profundidade são sujeitos à atuação de diferentes tipos de tensão.

O metamorfismo é um processo geológico intimamente ligado à geodinâmica interna. As rochas metamórficas são deformadas a diferentes profundidades. À medida que as rochas aumentam de profundidade na crosta terrestre, são sujeitas a campos de tensões quer devido ao peso exercido pela coluna de material suprajacente quer devido aos movimentos tectónicos.

A tensão exercida resultante do peso da massa rochosa suprajacente é designada por tensão litostática. A ação da tensão litostática é exercida de igual modo em todas as direções,

o que origina a diminuição do volume dos materiais rochosos quando sujeitos a este tipo de tensão, aumentando, por conseguinte, a sua densidade.

A maioria das rochas metamórficas exhibe, contudo, o efeito de um outro tipo de tensão, uma vez que as forças não são exercidas de igual modo em todas as direções. Esta tensão é designada por tensão não litostática ou dirigida. Este tipo de tensão tem implicações ao nível do aspeto macroscópico e microscópico de uma rocha metamórfica, uma vez que produz uma orientação preferencial de certos minerais, que tendem a ficar alinhadas perpendicularmente à direção da força.

As rochas, quando são sujeitas à ação de tensões dirigidas, podem ser comprimidas ou estiradas consoante a tensão atuante seja do tipo compressivo ou trativo, respetivamente. Os processos metamórficos ocorrem em regiões do globo terrestre que não estão ao alcance do ser humano, ao contrário do que acontece com alguns processos, como, por exemplo, na sedimentogénese e no vulcanismo.

Um fator que tem uma influência determinante nos processos metamórficos é o calor. O calor afeta de forma significativa a mineralogia e a textura de uma rocha, tendo uma grande importância no processo de formação das rochas metamórficas. É de conhecimento geral que existe um aumento da temperatura com a profundidade. Os materiais geológicos, à medida que se aprofundam no interior da litosfera, ficam assim sujeitos a temperaturas elevadas, que, mesmo não sendo suficientes para os fundir, provocam alterações importantes nos seus minerais constituintes. Deste modo, a rocha ajusta-se aos novos valores de temperatura, estabelecendo-se novas ligações atómicas, surgindo novas redes cristalinas e, conseqüentemente aparecem outros minerais, mais estáveis segundo as novas condições.

Outra fonte de calor importante nos processos metamórficos provém do contacto entre rochas e intrusões magmáticas. Muitas das alterações químicas e mineralógicas que ocorrem durante o processo de metamorfismo devem-se a fluidos que circulam nas rochas que estão sujeitas a estes processos. Entre os fluidos, pode considerar-se que a água aquecida e com elevadas pressões pode transportar vários iões em solução. Também os fluidos que são libertados durante a instalação de um corpo magmático são importantes para desencadear ou acelerar processos de metamorfismo.

Estas soluções vão reagir com as rochas, alterando a sua composição química e mineralógica, substituindo, por vezes totalmente, certos minerais, existentes na rocha.

No decurso do processo metamórfico, a água que existe em certos minerais hidratados pode também ser libertada, constituindo assim um fluido capaz de induzir transformações nas rochas.

Os fenómenos relacionados com o metamorfismo são extremamente lentos, sendo, por isso, também de considerar o tempo como um dos fatores relevantes para a formação de rochas metamórficas.

Tendo em conta as condições de pressão e de temperatura que estiveram presentes na formação de uma dada rocha metamórfica, pode considerar-se: metamorfismo de baixo grau, metamorfismo de médio grau e metamorfismo de alto grau. As diferentes zonas metamórficas são delimitadas por superfícies de igual metamorfismo, chamadas isógradadas.

São habitualmente definidos vários tipos de metamorfismo, dos quais se destacam: o metamorfismo regional e o metamorfismo de contato.

O metamorfismo regional é um tipo de metamorfismo que afeta extensas áreas na crosta terrestre, tendo origem em processos que envolvem, por vezes, uma sequência de fenómenos relacionados com a formação de cadeias montanhosas.

O metamorfismo regional está intimamente ligado a processos relacionados com a convergência de placas, contexto tectónico onde podem ocorrer condições de elevadas temperaturas e condições de elevadas temperaturas e condições de tensão que variam de moderadas a altas.

Neste tipo de metamorfismo podem formar-se diferentes tipos de rochas. Quando as condições de tensão e de temperatura ultrapassam determinados valores, ocorrem processos de fusão parcial, iniciando-se a transição do metamorfismo para o magmatismo.

O metamorfismo de contato ocorre nas zonas próximas da instalação de rochas intrusivas. Antes de consolidar, o calor e os fluidos libertados pelo magma, ao propagarem-se às rochas encaixantes, vão alterar os minerais existentes nessas rochas (Silva et al., 2013).

6.6 Caracterização dos diferentes dos tipos de terreno relativamente ao regulamento sísmico (Eurocódigo 8)

Obrigatoriamente sobre as escolas que foi feita a avaliação da sua vulnerabilidade sísmica, é necessário saber a que tipos de terreno do Eurocódigo 8 correspondem, para se aplicar a metodologia da Escala Macrossísmica Europeia (EMS 98) (Grünthal, 1998), método selecionado para a avaliação da vulnerabilidade. Esta situação apenas seria possível,

possuindo dentro dos relatórios inspeção, os respetivos projetos de estabilidade das escolas, com os ensaios de campo feitos nos respetivos locais das construções dos edifícios escolares, para assim se identificar o tipo de terreno que melhor se adequava à atual regulamentação sísmica.

Em consequência da informação relativa aos ensaios de campo não integrar os relatórios inspeção disponibilizados, foi elaborada uma solução alternativa que passaria pela análise das cartas geológicas de Portugal Continental onde estariam localizadas as diversas escolas, e a partir da sua localização e o tipo de solo que cada carta geológica apresentava, seria possível estabelecer uma relação com a melhor aproximação possível da realidade para tentar alcançar a identificação mais correta, na medida das possibilidades. Para a esmagadora maioria das escolas secundárias analisamos cartas geológicas à escala 1/50000, enquanto noutros casos usamos excepcionalmente cartas geológicas à escala 1/200000 e também a carta geológica à escala 1/500000 porque infelizmente, nem todo o território nacional foi publicado nas cartas geológicas à escala 1/50000, porque interromperam o estudo geológico de Portugal Continental portanto, foi necessário identificar os tipos de terreno com uma incerteza muito maior, para completar o cálculo da vulnerabilidade sísmica. Na Tabela 14 são representados os tipos de terrenos definidos pela nova regulamentação sísmica implementada, fazendo referência ao Eurocódigo 8, respetivamente.

Tipo de terreno	Descrição do perfil estratigráfico
A	Rocha ou outra formação geológica de tipo rochoso, que inclua no máximo, 5m de material mais fraco à superfície.
B	Depósitos de areia muito compacta, de seixo (cascalho) ou de argila muito rija, com uma espessura de, pelo menos, várias dezenas de metros, caracterizados por um aumento gradual das propriedades mecânicas com a profundidade.
C	Depósitos profundos de areia compacta ou medianamente, de seixo (cascalho) ou de argila rija com uma espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros.
D	Depósitos de solos não coesivos de compacidade baixa a média (com ou sem alguns estratos de solos coesivos moles), ou de solos predominantemente coesivos de consistência mole a dura.
E	Perfil de solo com um estrato aluvionar superficial com valores de v_s do tipo C ou D e uma espessura entre cerca de 5m e 20m, situado sobre um estrato mais rígido com $v_s > 800$ m/s.
(Velocidade média das ondas de corte $v_{8,30}$)	

Tabela 14 – Tipos de terreno do regulamento sísmico europeu. Adaptado (Eurocódigo 8, 2010).

Apresentado nos anexos encontram-se tanto a apresentação das cartas geológicas de Portugal Continental à escala 1/50000 publicadas, como os diferentes tipos de solo encontrados para as diferentes escolas que foram fornecidas para este estudo, onde para cada

tipo de terreno encontrado, foi retirada toda a informação relativa da notícia explicativa da localização em causa, onde se reuniram informações das características geológicas que nos permitiram estabelecer a relação entre o terreno encontrado a partir da localização geográfica das escolas secundárias e os tipos de terrenos definidos pelo Eurocódigo 8, para ser possível o cálculo da vulnerabilidade dos edifícios escolares através dos relatórios inspeção das escolas secundárias disponibilizados.

6.7 Amplitude da contribuição geológica para a vulnerabilidade sísmica

Na avaliação da vulnerabilidade sísmica, a componente geológica demonstra ter uma importância fundamental para o incremento da vulnerabilidade das estruturas conforme é demonstrado pela aplicação da Escala Macrossísmica Europeia. Para além disso, fazendo uma análise rigorosa do mapa de sismicidade do primeiro regulamento sísmico (RSCCS), apresentado na Figura 2, facilmente é possível perceber que a perigosidade sísmica foi definida de acordo com as unidades estruturais geológicas existentes em Portugal Continental, ou seja, os limites entre o Maciço Hespérico e a orla mesocenozóica são a verdadeira razão para o zonamento da perigosidade sísmica do (RSCCS/RSEP) não coincidir com as fronteiras dos concelhos. Sendo assim, devido à importância da geologia para a avaliação da vulnerabilidade sísmica dos edifícios escolares foi elaborado este capítulo nesta dissertação, pela sua enorme responsabilidade no agravamento da vulnerabilidade.

Capítulo 7

Avaliação da vulnerabilidade sísmica

7 Avaliação da vulnerabilidade sísmica

7.1 Demonstração da aplicação da metodologia

A tipologia construtiva desta escola enquadra-se na categoria RC2, da Escala Macrossísmica Europeia (EMS 98), que afirma ser, uma estrutura porticada em betão armado com CSR (conceção sismo resistente) moderada (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004), compreendida durante o período de 1960-1985, no nosso país (Ferreira, 2012).

A Escola Secundária foi projetada em 1966 e inaugurada em 1970. A escola, que possui uma área de aproximadamente de 15000 m², é composta por dois edifícios: um corpo de aulas (A) mais a Sudeste de implantação retangular com a fachada a desenvolver-se ao longo de cerca de 80m sendo a maior profundidade de cerca de 18m, e um corpo de ginásio (G) que se localiza a Nordeste também de implantação retangular com cerca de (40X15) m², conforme apresentado na Figura 20. A unir estes corpos existe uma passagem exterior coberta. Na área exterior situam-se o recreio e os campos desportivos (FEUP, 2007).

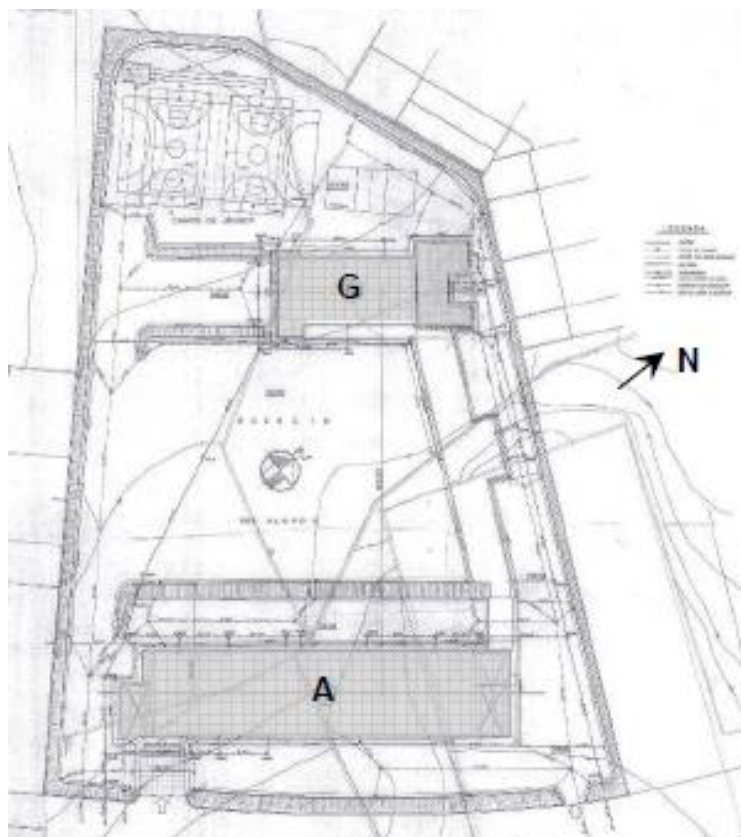


Figura 20 – Planta de implantação (FEUP, 2007).

Ambos os corpos, A e G, são constituídos por uma estrutura porticada de pilares e vigas de betão armado onde se apoiam as lajes de piso e de cobertura e que ligam ao exterior através de fundações diretas constituídas por sapatas isoladas, unidas entre si por lintéis.

O corpo A possui duas juntas de dilatação ao longo dos 80m, que dividem o edifício em três corpos com cerca de 26m, e os restantes com 27m. À cota do rés-do-chão, devido à topografia do terreno, existem zonas em que o piso é constituído por massame de betão e outras em que o piso é executado por lajes aligeiradas. Na Figura 21 apresenta-se um corte com a identificação dos diferentes níveis no corpo A correspondentes aos definidos em projeto (FEUP, 2007).

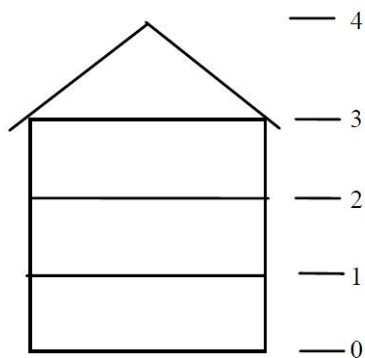


Figura 21 – Corte transversal esquemático do corpo A com identificação dos diferentes níveis (FEUP, 2007).

Nos níveis 1, 2 e 3, a estrutura de betão é bastante regular excetuando-se as zonas laterais onde se situam as caixas de escada existindo algumas variações. O nível 4 corresponde à laje de cobertura sendo aqui, também, a estrutura muito regular.

De acordo com o projeto todas as lajes são aligeiradas, no entanto as correspondentes aos níveis 1, 2 e 3 são nervuradas com blocos de aligeiramento. Já na execução das lajes do nível 4 e nas existentes no nível 0 encontra-se previsto o uso de vigotas pré-esforçadas, de acordo relativamente ao que é demonstrado na Figura 22 (FEUP, 2007).



Figura 22 – Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas na cobertura do corpo A (FEUP, 2007).

Todos os pavimentos do rés-do-chão do corpo G são executados por um massame de betão. O teto do ginásio é executado por lajes aligeiradas de vigotas com um vão de 3m assentes em vigas que vencem o vão de 13m. A laje de cobertura é constituída por uma estrutura porticada de betão onde assenta uma grelha também de betão, onde apoiam diretamente as telhas, à semelhança do que era usualmente usado em estruturas de madeira. A secção dos pilares é variável em altura (FEUP, 2007).

Na Figura 23 são identificadas a marca das vigas pré-esforçadas na laje do ginásio, enquanto na Tabela 15 são identificados os danos não estruturais desta escola secundária.



Figura 23 – Marcas das vigotas na laje do teto do ginásio (FEUP, 2007).

DANOS NÃO ESTRUTURAIIS	
D1	Manchas de humidade
D2	Degradação do material das juntas de dilatação
D3	Degradação dos blocos cerâmicos de aligeiramento
D4	Fissuração das alvenarias de tijolo
D5	Degradação das telhas da cobertura
D6	Degradação da impermeabilização da cobertura

Tabela 15 – Identificação dos danos da escola secundária.

Para além disso foi relacionada a ocorrência de danos em cada edifício que constitui a escola e a sua intensidade. A intensidade varia entre 1 e 5, consoante se considere pouco ou muito intensa, como se apresenta. Pretende-se desta forma simplificada e sem qualquer pretensão científica atribuir uma classificação da intensidade de degradação de cada bloco face aos danos não estruturais (Tabela 16).

	D1	D2	D3	D4	D5
Corpo A	3	2	2	1,5	-
Corpo G	3	-	-	-	2

Tabela 16 – Resumo da intensidade dos danos não estruturais da escola secundária.

Nível de dano	Tipo
1	Irrelevante
2	Ligeiro
3	Moderado
4	Severo
5	Muito Severo

Tabela 17 – Intensidade dos níveis de dano. (FEUP, 2007).

Com base nestas informações recolhidas, podemos calcular os valores dos fatores modificadores, conforme apresentado na Tabela 18, para calcular o valor da vulnerabilidade desta escola secundária enquadrada na tipologia construtiva RC2, que afirma ser, uma estrutura porticada em betão armado com CSR moderada de acordo com as classificações da Escala Macrossísmica Europeia (EMS 98) (Grünthal, 1998).

No modelo matemático apresentado por (Oliveira e Victor, 1984), foi feita uma aplicação para três unidades de área sobre um cenário sísmico com fonte no banco de Gorringe: as duas primeiras, Alcântara e Olivais são representativas, de construção antiga e construção nova, respetivamente, ou seja, uma caracteriza a construção de adobe, enquanto a última representa construção de betão armado. Neste caso, foi utilizado o valor referente a Olivais.

$$V_I^* = 0,484$$

$$\Delta V_m = -0,0092$$

$$\Delta V_r = 0,05$$

$$\Delta V_{Soil\ K/Soil\ A\ EC8} = 0,00$$

$$V_l = 0,52$$

$$\Delta V_f = 0,08$$

		r_k	V_{mk}	$\Sigma r_k \cdot V_{mk}$
Estado de conservação	Alvenaria Bom			0
	Mau			0
Estado de conservação	Betão armado Bom			0
	Mau	0,33	0,02	0,007
Número de pisos	Alvenaria Baixo (1/2)	0,95	-0,02	-0,019
	Médio (3,4 ou 5)			0
	Alto (6 ou mais)			0
Número de pisos	Betão armado Baixo (1/3)			0
	Médio (4/7)			0
	Alto (8 ou mais)			0
Sistema estrutural	Alvenaria Espessura parede			0
	Distância parede			0
	Ligações parede			0
Irregularidade em planta	Alvenaria Geometria	0,16	0,02	0,003
	Distribuição da massa			0
Irregularidade em planta	Betão armado Geometria			0
	Distribuição da massa			0
Pisos sobrepostos	Alvenaria			0
Cobertura	Alvenaria			0
Intervenção de reforço	Alvenaria			0
Dispositivos antissísmicos	Alvenaria			0
Agregado de edifícios: posição	Alvenaria Meio			0
	Canto			0
	Ponta			0
Agregado de edifícios: posição	Betão armado Insuficiente juntas antissísmicas			0
Agregado de edifícios: elevação	Alvenaria Pisos recuados			0
	Edifícios com diferentes alturas			0
Fundações	Alvenaria Diferentes níveis de fundação			0
	Betão armado Vigas			0
Fundações	Vigas isoladas			0
	Sapatas isoladas			0
	Betão armado Colunas curtas			0
	Janelas de sacada			0

Tabela 18 – Valores dos fatores modificadores pertencentes à escola secundária.

Apresentado nos anexos, encontram-se todos os valores obtidos para os índices de vulnerabilidade, como também todos os valores obtidos para os graus de dano, para a percentagem da fração de perda e para a percentagem entre os diferentes graus de dano definidos pela Escala Macrossísmica Europeia (EMS 98) (Grünthal, 1998) para os três períodos de retorno de referência para todos os edifícios escolares. Para além disso, ainda aparecem representados graficamente os índices de vulnerabilidade e os graus de dano calculados para os três períodos de retorno de referência igualmente para todas as escolas.

7.2 Curva de grau de dano médio do exemplo de avaliação

O Método Macrossísmico permite a avaliação da vulnerabilidade para diferentes tipos de edifícios, como a avaliação da vulnerabilidade dum edifício único. A vulnerabilidade é medida em termos do índice de vulnerabilidade V e de um índice de ductilidade Q , tanto avaliando a tipologia construtiva, como as suas características construtivas.

O risco é descrito em termos da intensidade macrossísmica, de acordo com a Escala Macrossísmica Europeia (EMS 98) (Grünthal, 1998), que é considerada, no enquadramento da abordagem macrossísmica, como um parâmetro contínuo avaliado, respeitando a condição de rigidez do solo; possíveis efeitos de amplificação devido a diferentes condições de solo são contabilizados no parâmetro da vulnerabilidade V .

Para danos físicos do edifício, os graus de dano da (EMS 98) (Grünthal, 1998) foram considerados, descrevendo os danos observados para componentes estruturais e não estruturais. Cinco graus de danos foram identificados D_k ($k = 0 / 5$): D_1 pequeno, D_2 moderado, D_3 forte, D_4 muito forte e D_5 destruição, como também a ausência de dano D_0 . A correlação entre a intensidade sísmica e o dano esperado, como função da vulnerabilidade avaliada, é expressa em termos das curvas de vulnerabilidade descritas pela função analítica, onde I é a intensidade sísmica fornecida pela intensidade macrossísmica, e V e Q , são respetivamente, a vulnerabilidade e o índice de ductilidade, que neste caso é $Q = 2,3$, demonstrado pela equação (14) e para além disso, no Gráfico 7 é representada a curva de grau de dano médio (Giovinazzi e Lagomarsino, 2006):

$$\mu_D = 2,5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6,25 \times V_I - 13,1}{2,3} \right) \right] \quad (14)$$

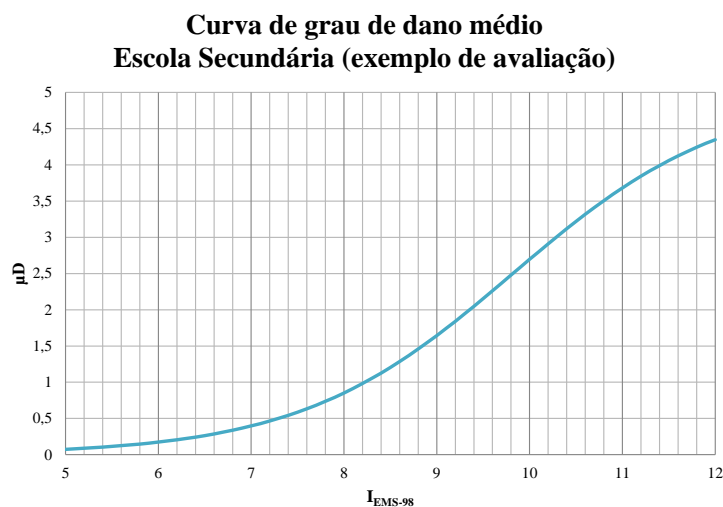


Gráfico 7 – Curva de grau de dano médio (exemplo de avaliação)

7.3 Curvas de fragilidade do exemplo de avaliação

O dano físico sofrido por edifícios devido a sismos é apenas uma pequena parte do montante total das perdas induzidas, mas tem um papel-chave nas perdas e na avaliação das consequências que podem ser consideradas a raiz da causa de muitas outras perdas.

No conceito, pelo menos, quando a distribuição de dano físico está disponível, as consequências nos edifícios, pessoas e perdas económicas podem ser estimadas empiricamente pelo uso de correlações baseadas nos dados observados depois dum terremoto passado (Giovinazzi, 2005).

A avaliação probabilística, tanto em termos das distribuições de dano e como das curvas de fragilidade, para o valor de grau de dano médio μD avaliado de acordo com a equação anterior, é obtido assumindo uma distribuição binomial. Portanto, a probabilidade p_k de ter cada grau de dano D_k ($k = 0 / 5$), para cada grau de dano médio μD , demonstrado na equação (15) (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004), é avaliado de acordo com a função de probabilidade de massa (PMF) da distribuição binomial, onde (!) indica o operador fatorial, demonstrado na equação (16) (Giovinazzi e Lagomarsino, 2006).

As curvas de fragilidade para esta escola secundária, representativa da tipologia construtiva mais comum em Portugal Continental, falando mais concretamente de escolas integralmente de betão armado, posteriores ao RSCCS e anteriores ao RSAEEP, são apresentadas nos gráficos seguintes.

$$\mu_D = \sum_{K=0}^5 p_k \times k \tag{15}$$

$$PMF: p_k = \frac{5!}{k!(5-k)!} \times \left(\frac{\mu_D}{5}\right)^k \times \left(1 - \frac{\mu_D}{5}\right)^{5-k} \tag{16}$$

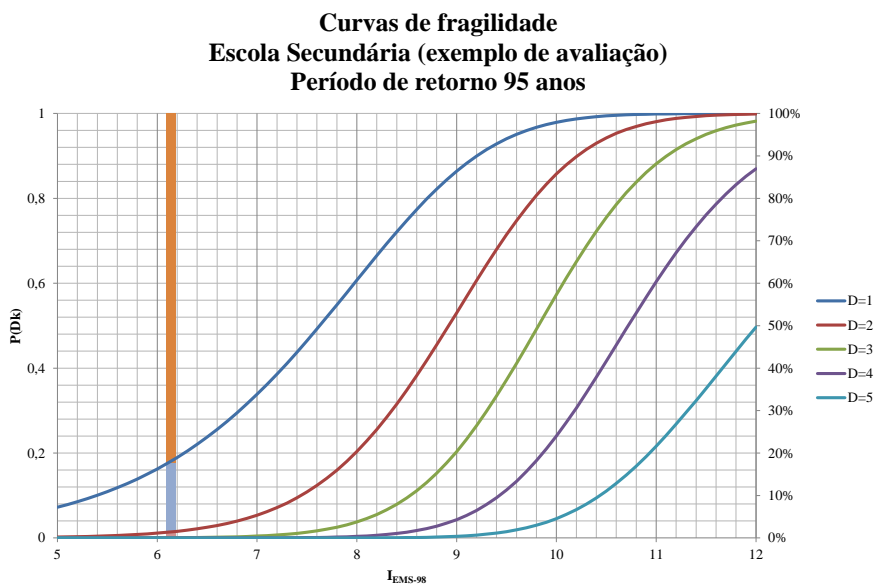


Gráfico 8 – Curvas de fragilidade para o período de retorno 95 anos

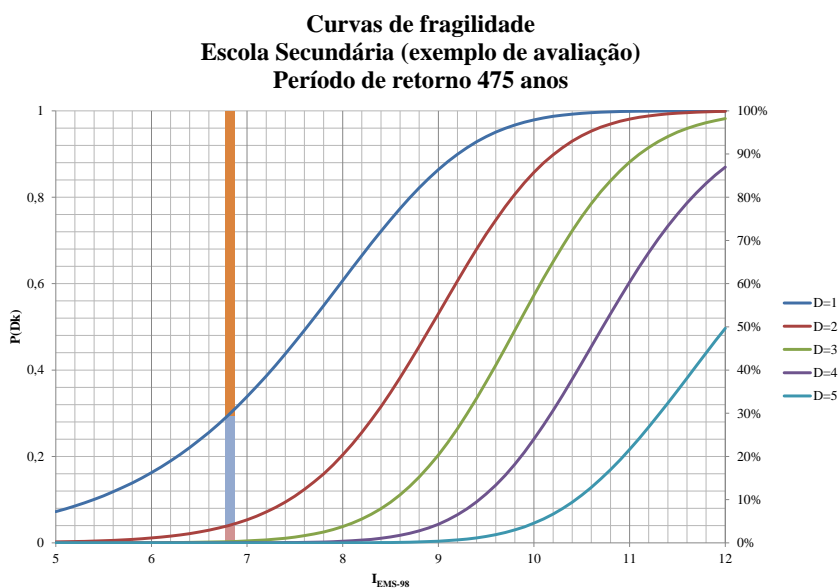


Gráfico 9 – Curvas de fragilidade para o período de retorno 475 anos

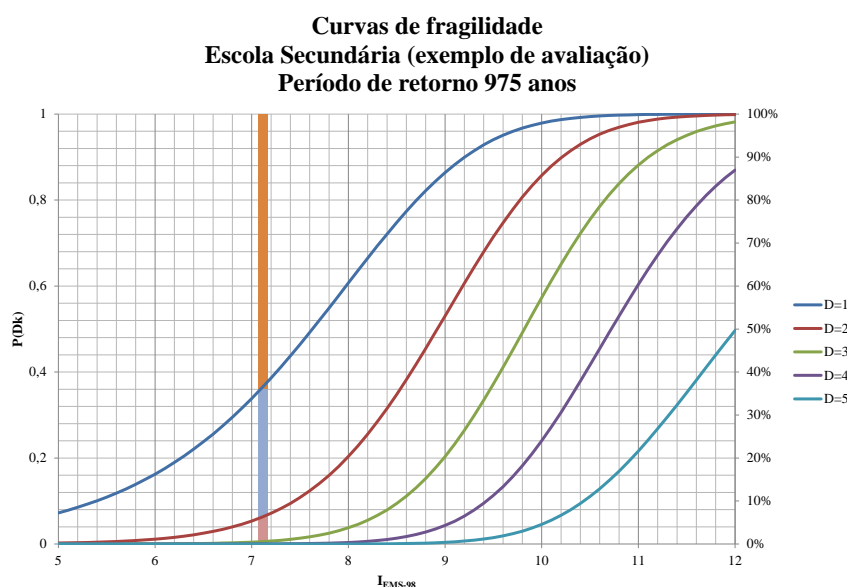


Gráfico 10 – Curvas de fragilidade para o período de retorno 975 anos

7.4 Curva de vulnerabilidade do exemplo de avaliação

Um modelo de fragilidade (isto é uma coleção de curvas descrevendo a probabilidade de exceder um número de estados limite para um conjunto de níveis de intensidade medidos) pode ser convertido para modelos de vulnerabilidade (ou seja, a fração de perda média e o correspondente coeficiente de variação para um conjunto de níveis de intensidade medidos) através da utilização dum modelo de consequência (isto é a percentagem entre o custo de reparação e o custo de substituição para cada grau de dano). Quando aplicada esta abordagem para obter um conjunto de funções de vulnerabilidade, existem quatro grandes aspetos que fortemente afetam os resultados:

1. A modelação estrutural das tipologias construtivas;
2. O critério utilizado para os graus de dano;
3. A seleção dos registos de aceleração do solo;
4. Os modelos de consequência utilizados para converter curvas de fragilidade em curvas de vulnerabilidade (Silva, 2013).

Neste trabalho foi utilizado o modelo de consequência de Itália (Silva, 2013), adaptado à realidade portuguesa conforme demonstra a Tabela 19. Por resultado da utilização deste modelo acima mencionado foi obtido a curva de vulnerabilidade representado no Gráfico 11.

Estado do dano	Fração do dano
Ligeiro	0,05
Moderado	0,10
Severo	0,50
Muito Severo	0,80
Colapso	1,00

Tabela 19 – Modelo de consequência de Itália. Adaptado (Silva, 2013).

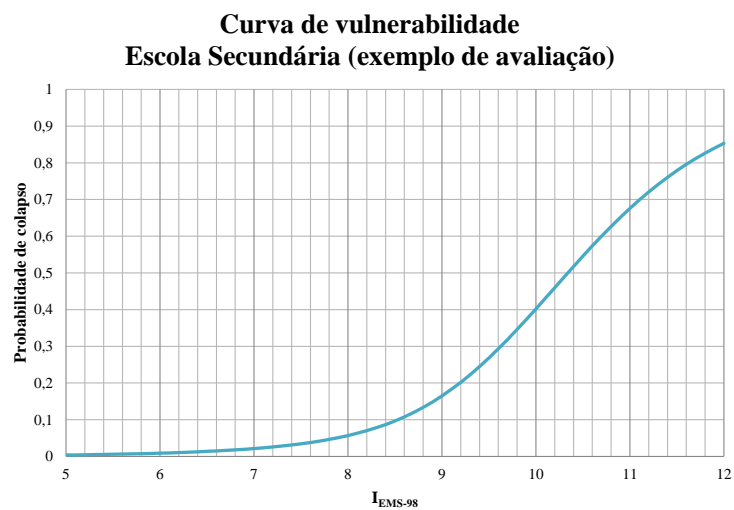


Gráfico 11 – Curva de vulnerabilidade (exemplo de avaliação)

Capítulo 8

Tipologias construtivas do parque escolar

8 Tipologias construtivas do parque escolar

8.1 Apresentação das tipologias construtivas

O período compreendido entre o final do século XIX e a década de 1930 é sobretudo marcado pela produção dos edifícios escolares destinados ao ensino liceal. Embora diminuta, esta produção surge vinculada a modelos importados, inicialmente a partir de França. Respondendo a situações específicas, os programas adotados conciliam preocupações de natureza pedagógica e funcional.

Visando a melhoria das condições de habitabilidade dos espaços de aprendizagem, é abandonado o modelo de edifício conventual e são experimentadas novas configurações em extensão. Com isto o edifício deixa de ser um volume compacto, para se estruturar em função de eixos ortogonais com função distribuidora. No programa de espaços evidencia-se o investimento no ensino experimental e na prática do exercício físico. Os laboratórios organizam-se em núcleos autonomizados relativamente às salas de aula aos quais se associam espaços de anfiteatro permitindo a aula magistral. Ao ginásio, nalguns casos complementado por uma piscina, é conferido um papel central na organização global da escola e uma valorização da sua espacialidade. Ainda associado às preocupações com a saúde e a higiene escolar, são introduzidas novas funcionalidades como é o caso do gabinete médico, do balneário e do recreio coberto.

A partir do final da década de 1930, e ao longo das três décadas seguintes, sob a responsabilidade do Ministério das Obras Públicas, observa-se uma viragem nas estratégias adotadas na produção dos edifícios destinados ao ensino liceal e técnico, visando uma maior eficácia e controlo das fases de conceção e de construção.

A par da criação de um corpo técnico próprio constituído por arquitetos, engenheiros e técnicos de apoio inserido na Junta das construções para o Ensino Técnico e Secundário (JCETS), são introduzidos instrumentos de normalização e recomendação técnica que enquadram as linhas gerais de conceção, de acordo com um programa-tipo no caso dos liceus, e de anteprojetos no caso das escolas técnicas. A disciplina construtiva e a sobriedade formal a que os edifícios foram submetidos são reflexo das estratégias adotadas.

A persistência de um modelo educativo de matriz expositiva, vinculado a princípios de ordem e disciplina, traduziu-se em modelos espaciais de grande rigidez funcional, em que

a sala de aula surge como o elemento base dessa mesma organização e os espaços complementares são reduzidos ao elementar ou conjugados noutros espaços.

No início da década de 1960 surgem os primeiros sinais de mudança. Em causa estava a discussão iniciada no final da década anterior sobre a rede escolar pública, manifestamente insuficiente em dimensão e desajustada face às orientações pedagógicas emergentes. É então que os modelos experimentados noutros países, apoiados em sistemas pré-fabricados, apontando um modo de construir mais rápido e económico, se tornam referências que se procuram adaptar à realidade nacional. De forma gradual, e já sob a responsabilidade partilhada do Ministério da Educação altera-se o programa de espaços.

Recorre-se à tipologia pavilhonar e à coordenação modular e pré-fabricação cuja aplicação se torna recorrente a partir da década de 1970. O programa de espaços, ao tornar-se mais exigente justificou a incorporação de novas valências e relações de funcionalidade facilitadas pela adoção da tipologia pavilhonar. A par da especialização de espaços letivos em pavilhões próprios, são incrementadas as áreas de apoio à atividade letiva, como é o caso dos sectores administrativo e de direção e dos núcleos de apoio sócio educativo. As zonas de convivialidade estendem-se ao interior do edifício escolar e adquirem lugar próprio. A biblioteca adquire maior centralidade e assume-se como um espaço de trabalho letivo. O crescente protagonismo e especialização dos espaços destinados à educação física transforma o ginásio em pavilhão gimnodesportivo. A sala de aula, apesar de se manter como o elemento base da organização do espaço escolar, abandona a estrutura rígida anteriormente adotada, experimenta a forma quadrada e aumenta a área, permitindo maior flexibilidade.

Na década de 80, face ao aumento da escolaridade obrigatória e da população escolar, são desenvolvidos novos projetos-tipo de estrutura pavilhonar visando soluções mais eficazes e rápidas com custos de construção reduzidos, evitando situações de rotura. O investimento dos projetistas é então dirigido para os procedimentos de coordenação modular e de racionalização da construção. A complexidade programática presente nos projetos anteriores é abreviada, assistindo-se de novo a uma redução dos espaços especializados. A célula base da organização espacial destes novos pavilhões é a sala de aula de configuração quadrada que, apoiada na modulação estrutural, permite ser ampliada ou reduzida e deste modo acolher diferentes funções e atividades (Alegre et al., 2010).

Na Tabela 20 estão representadas as tipologias construtivas que melhor definem os diferentes tipos de construções escolares realizadas em Portugal desde a criação dos Liceus Nacionais em meados do século XIX.

TIPOLOGIAS CONSTRUTIVAS ESCOLAS SECUNDÁRIAS	
1	Edifícios com pavimentos em madeira e paredes portantes de alvenaria, construídos entre o final do século XIX e a década de 1930
2	Edifícios com pavimentos em betão armado e paredes portantes de alvenaria, construídos entre 1930 e o fim da década de 1950
3	Edifícios dos primórdios do uso generalizado do betão armado, anteriores à regulamentação sísmica, construídos entre 1950 e o início da década de 1960
4	Edifícios integralmente de betão armado, posteriores à entrada em vigor do RSCCS, de 1958, e anteriores à do RSAEEP, de 1983
5	Outros edifícios construídos na década de 1970 por métodos industrializados (pré-fabricados, de betão armado ou aço)
6	Edifícios construídos e projetados depois da entrada em vigor do RSAEEP, de 1983

Tabela 20 – Tipologias construtivas existentes nos edifícios escolares.

8.2 Curvas de grau de dano médio das tipologias construtivas

Posteriormente a terem-se reunido estas diferentes tipologias construtivas, correspondendo a cada uma delas, um conjunto de propriedades comuns dum determinado número de estruturas, tendo assim representado um género de edifícios escolares com as mesmas características, foram então feitos cálculos para as diferentes escolas agrupadas nesta fase do trabalho e não feitos cálculos individualmente, em conformidade com as tipologias construtivas anteriormente enumeradas.

Invariavelmente chegamos aos valores médios de vulnerabilidade e também aos respetivos desvios-padrão das diferentes tipologias onde todo o processo de cálculo ganha dimensão na representação gráfica das diferentes curvas de grau de dano médio das diferentes tipologias existentes e assim é possível analisar graficamente quanto as curvas de grau de dano médio se aproximam ou se afastam da curva média das tipologias construtivas especificadas. As curvas de grau de dano médio para as diferentes tipologias construtivas existentes em Portugal Continental são apresentadas nos gráficos seguintes:

Curva de grau de dano médio Tipologia Construtiva 1

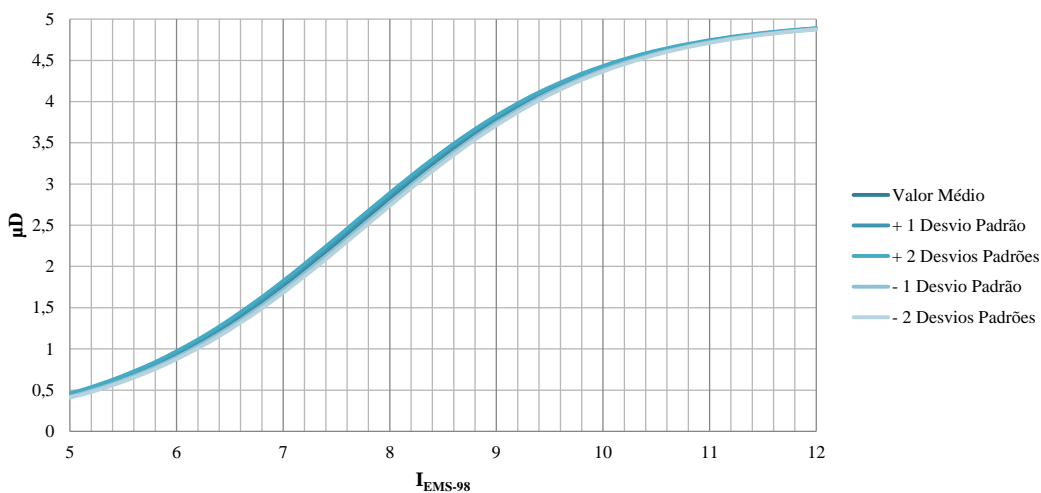


Gráfico 12 – Curva de grau de dano médio para a tipologia construtiva 1.

Curva de grau de dano médio Tipologia Construtiva 2

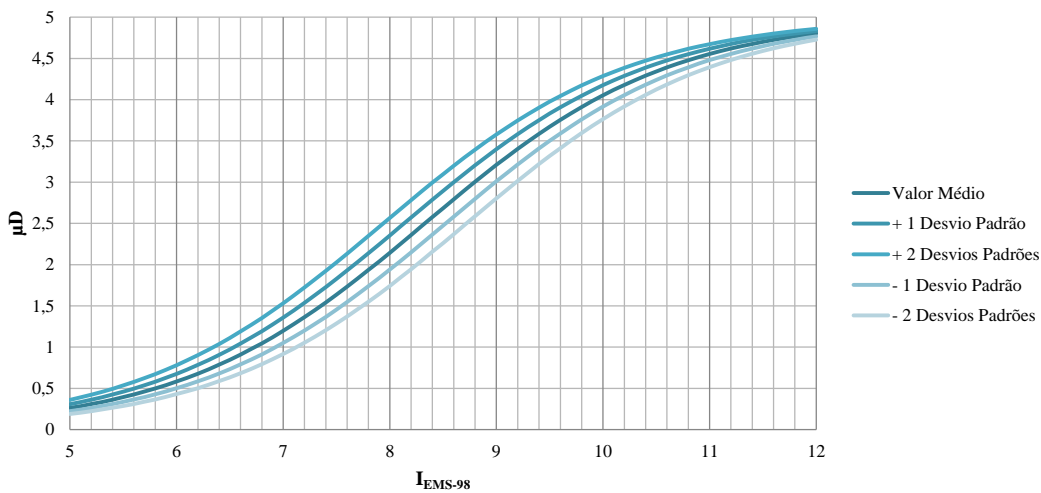


Gráfico 13 – Curva de grau de dano médio para a tipologia construtiva 2.

Curva de grau de dano médio Tipologia Construtiva 3

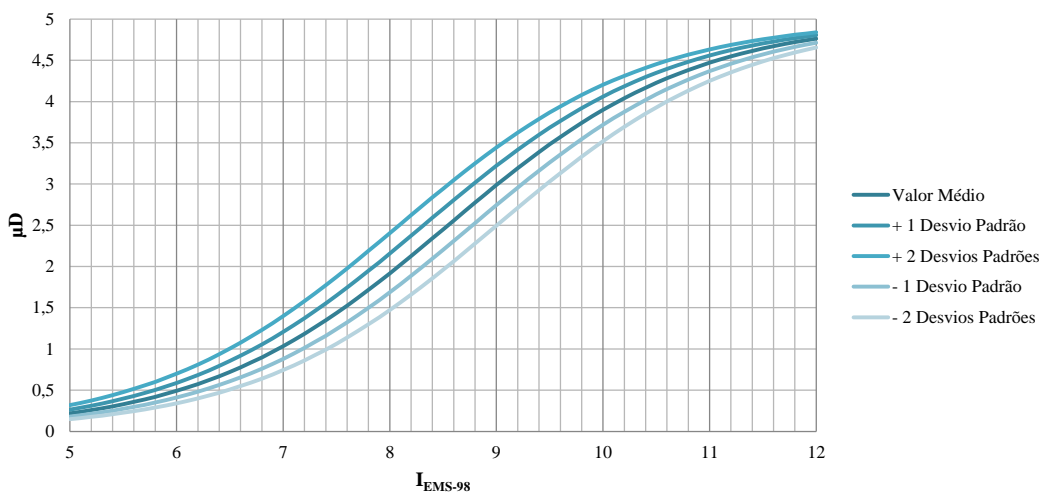


Gráfico 14 – Curva de grau de dano médio para a tipologia construtiva 3.

Curva de grau de dano médio Tipologia Construtiva 4

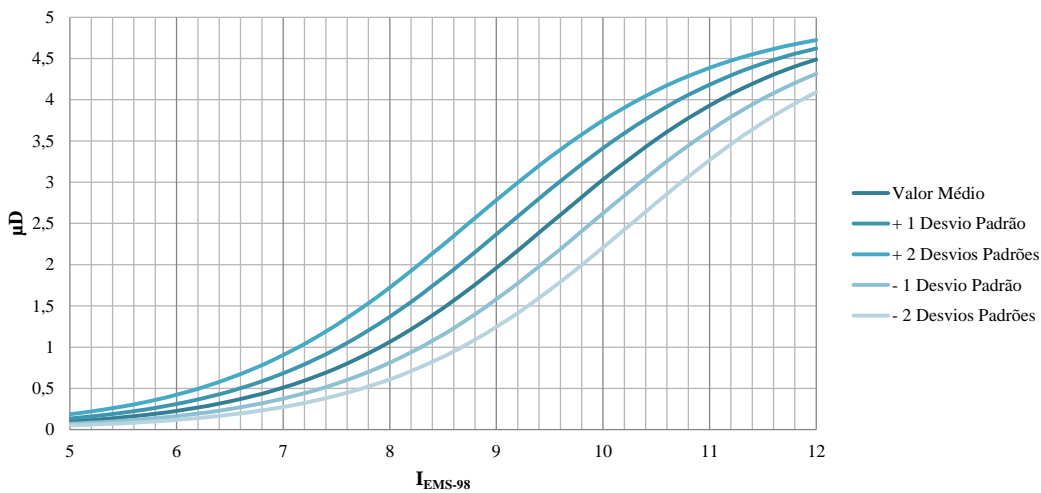


Gráfico 15 – Curva de grau de dano médio para a tipologia construtiva 4.

Curva de grau de dano médio Tipologia Construtiva 5

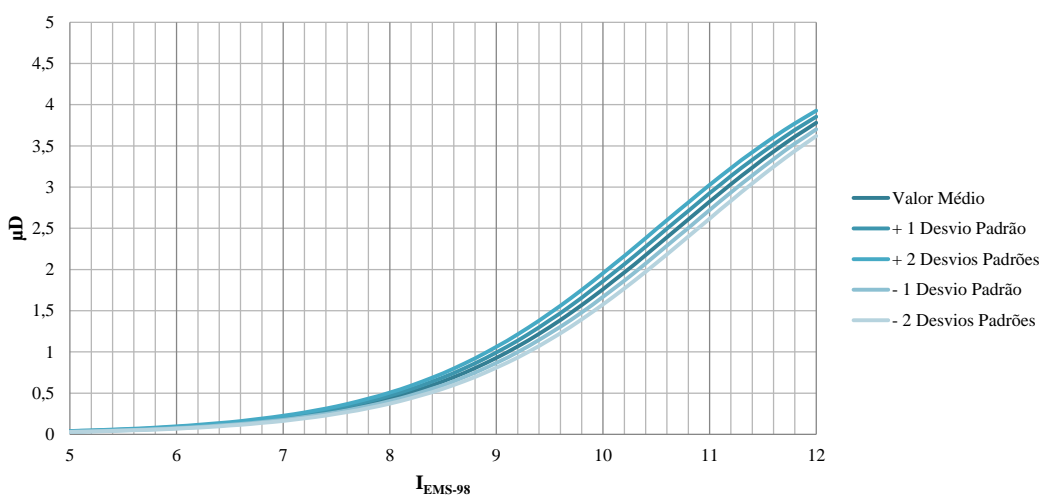


Gráfico 16 – Curva de grau de dano médio para a tipologia construtiva 5.

Curva de grau de dano médio Tipologia Construtiva 6

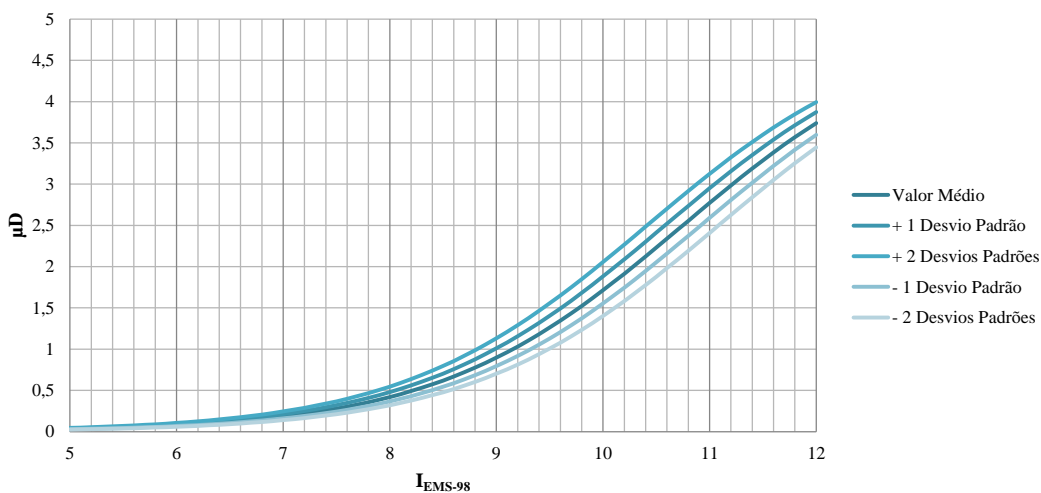


Gráfico 17 – Curva de grau de dano médio para a tipologia construtiva 6.

Apresentado nos anexos, encontram-se os resultados obtidos para as diferentes tipologias construtivas definidas no âmbito deste trabalho tanto para os graus de dano como para as percentagens de fração de perda para as localizações de Lisboa, Porto e Sagres, respetivamente, para os três períodos de retorno de referência.

Estes valores foram obtidos depois das escolas disponibilizadas serem agrupadas nas tipologias anteriormente definidas e com base nos valores médios obtidos foi possível

analisar o comportamento daquelas tipologias em particular e tendo como ponto de partida, os mapas de perigosidade sísmica referenciados no trabalho de investigação de (Sotto-Mayor, 2006), foi determinada a vulnerabilidade e o risco sísmico das tipologias construtivas referidas naquelas localizações de Portugal Continental.

As localizações de Lisboa, Porto e Sagres foram escolhidas propositadamente porque representam do ponto de vista da perigosidade sísmica, os locais de Portugal Continental com a solitação sísmica mais poderosa, no caso de Sagres, com uma solitação sísmica intensa, fazendo agora referência a Lisboa e com uma solitação sísmica reduzida, como é de facto, a cidade do Porto, para então se realizar uma comparação de resultados.

Capítulo 9

Risco sísmico

9 Risco sísmico

9.1 Perigosidade sísmica em Portugal Continental

A perigosidade sísmica pode ser entendida como a probabilidade de se exceder um determinado nível de movimento do solo devido a eventos sísmicos, em um dado local. Como tal, é importante identificar o tipo de solo da área em estudo e a sua localização de modo a chegar a resultados o mais próximo da realidade possíveis (Lourenço, 2012).

Portugal devido à sua localização, junto à fronteira das placas Euro-Asiática e Africana designada por fratura Açores-Gibraltar, o território de Portugal Continental e Insular é caracterizado por uma zona de sismicidade assinalável. Na zona mais ocidental da fratura Açores-Gibraltar encontra-se a junção tripla dos Açores onde se junta a placa Americana, fazendo a Crista Média-Atlântica a separação desta com as placas Euro-Asiática e Africana. Nos Açores a sismicidade está ainda associada à atividade vulcânica e ao movimento da microplaca dos Açores, onde se localizam todas as ilhas, à exceção das Flores e Corvo que se encontram na placa Americana (Ferreira, 2012).

Fixaram-se três períodos de retorno para ilustrar o mapeamento dos resultados obtidos. Foram escolhidos os períodos de retorno de 95, 475 e 975 anos, ou seja, adotaram-se as probabilidades de excedência (PE) de, respetivamente, 10%, num intervalo de tempo de exposição de 10 anos, 10% em 50 anos e 5% em 50 anos. O valor de 95 anos é o indicado no Eurocódigo 8 para o período de retorno da ação sísmica correspondente ao “requisito de limitação de danos”. O valor de 475 anos é o indicado no Eurocódigo 8 para período de retorno da ação sísmica correspondente ao “requisito de não ocorrência de colapso”. Por outro lado, a ação sísmica especificada no RSA corresponde ao período de retorno de 975 anos. Na Figura 24 exibe-se a distribuição geográfica da perigosidade sísmica no território continental, permitindo concluir que a perigosidade sísmica decresce de Sudoeste para Nordeste deste território, o que é concordante com os resultados de estudos publicados no passado para esta região (Sotto-Mayor, 2006).

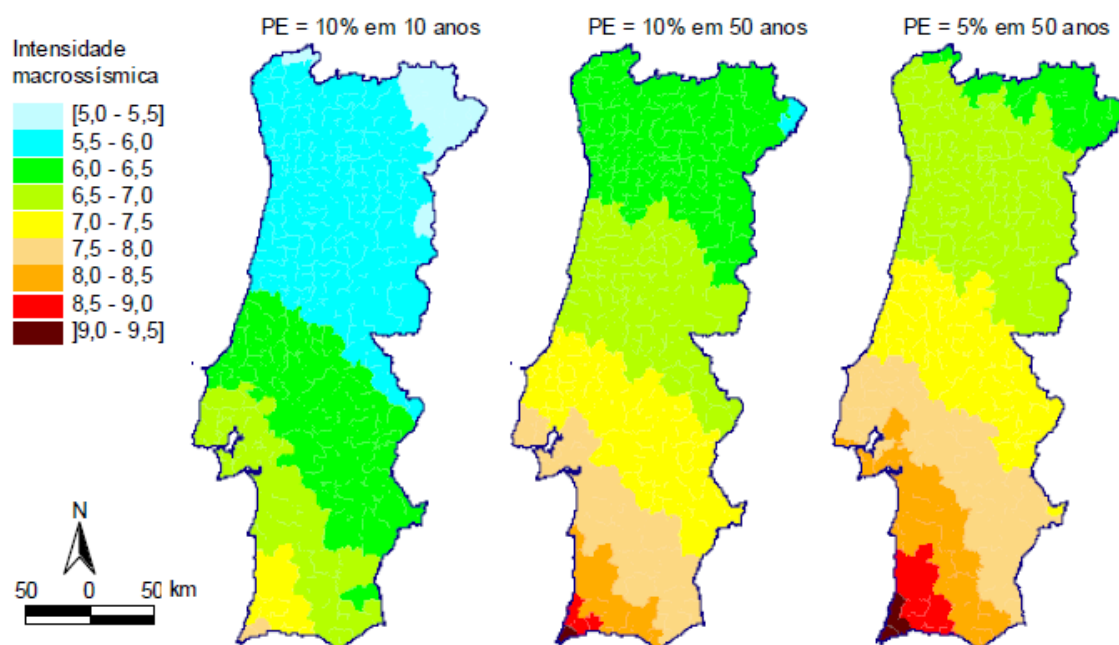


Figura 24 – Perigosidade sísmica para Portugal Continental; mapas desenhados com a resolução geográfica do concelho (Sotto-Mayor, 2006).

Na linha de estudos anteriores de perigosidade sísmica, ajustaram-se funções cumulativas de distribuição do tipo beta, às curvas de perigosidade sísmica anual dos 278 concelhos de Portugal Continental. A descrição analítica da perigosidade sísmica assim obtida é fundamental para a avaliação probabilística do risco sísmico e dos valores anuais esperados das perdas em consequência de sismos, nomeadamente para obtenção da função de densidade de probabilidade da perigosidade sísmica a partir da respetiva função cumulativa de distribuição.

Para efetuar o ajuste foi necessário proceder a uma transformação de variável, I' , tal que, $0 \leq I' \leq 1$, de forma a se obter uma distribuição beta padrão, descrita pelos parâmetros α_j e β_j (Sotto-Mayor, 2006), em que o índice j identifica o concelho, demonstrado na equação (17) (Giovinazzi e Lagomarsino, 2006):

$$I'_j \sim \text{beta} \left(\frac{I - I_{\min_j}}{I_{\max_j} - I_{\min_j}}, \alpha_j, \beta_j \right) \quad (17)$$

Na Figura 25 representa-se a distribuição geográfica dos valores das quatro grandezas α_j , β_j , I_{minj} , e I_{maxj} obtidas por ajuste simultâneo a cada um dos 278 concelhos (Sotto-Mayor, 2006).

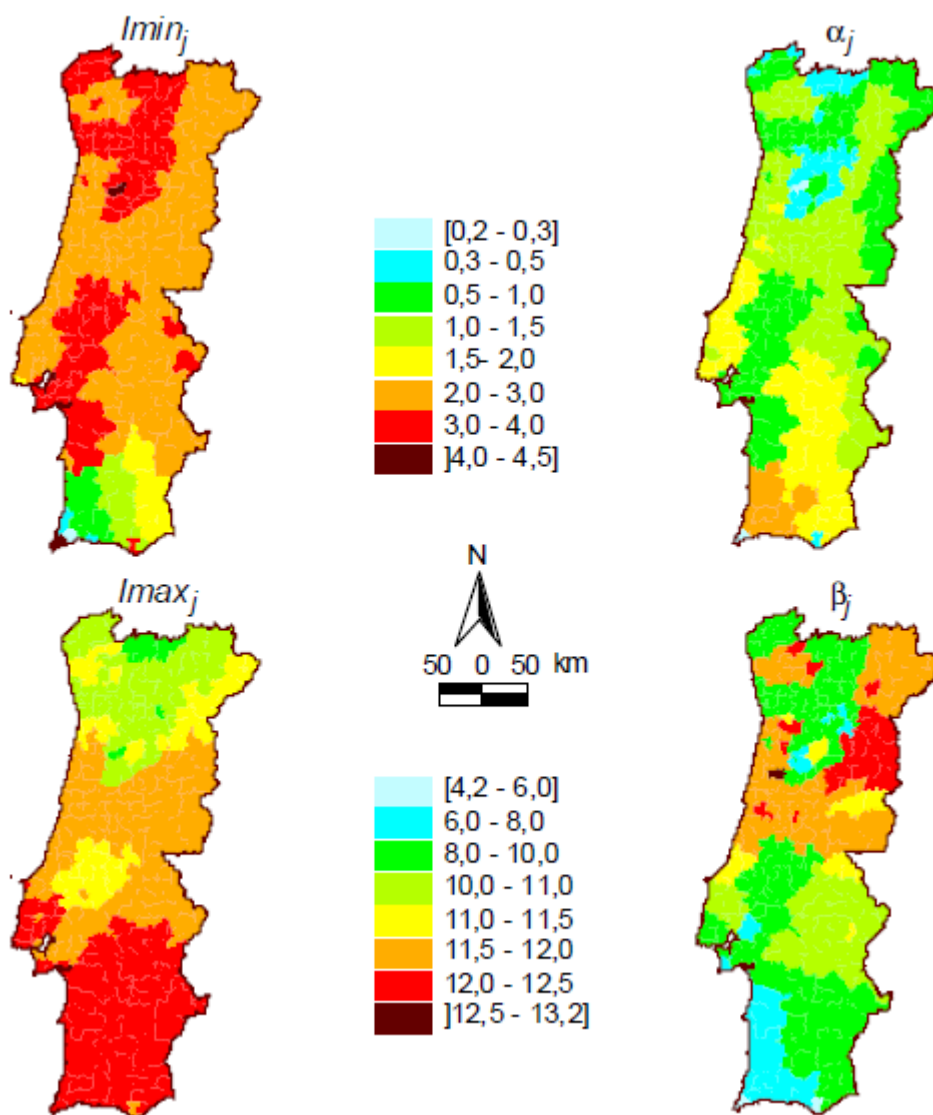


Figura 25 – Distribuição geográfica dos parâmetros da distribuição beta e limites de truncatura (Sotto-Mayor, 2006).

9.2 Avaliação dos modelos de consequência

Os modelos de consequência podem ser usados para converter um conjunto de curvas de fragilidade (probabilidade de exceder um conjunto de estados limite contra um conjunto de níveis de intensidade medidos) em curvas de vulnerabilidade (fração de perda média e o

respetivo coeficiente de variação contra os níveis de intensidade medidos), tendo assim um impacto direto no último parâmetro de saída. Um modelo descrevendo a distribuição da fração de custo (também conhecida por grau de dano) para um conjunto de estados de dano não parece atualmente existir em Portugal. Tais modelos são geralmente obtidos e baseados na informação que respeita os custos de reparação reclamados pelos proprietários das casas após a ocorrência de um terramoto, onde dificulta o desenvolvimento dos modelos de consequência para países como Portugal, onde terremotos não são frequentes. Por esta razão, os modelos de consequência desenvolvidos para outras regiões (Itália, Grécia, Turquia e Califórnia) foram usados, como representada na Figura 26 (Silva, 2013).

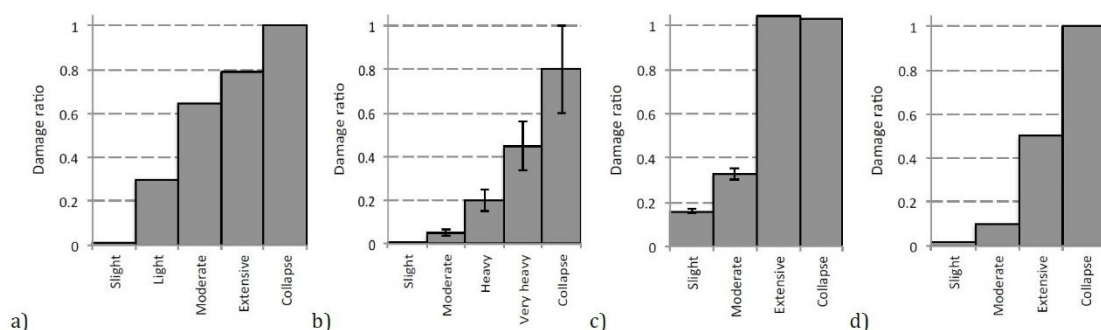


Figura 26 – Modelos de consequência para a) Itália; b) Grécia; c) Turquia e d) Califórnia. Adaptado (Silva, 2013).

Estes modelos podem apresentar diferentes escalas de dano e cada percentagem de dano pode ser influenciado não apenas pelo nível de dano da estrutura, mas também pela política local. Por exemplo, a legislação turca impõe que um edifício tendo um extenso grau de dano não deve ser reparado, mas deve ser antes demolido. Os quatro modelos acima demonstrados foram usados para estimar um modelo de consequência para ser usado no desenvolvimento de curvas de vulnerabilidade para o parque imobiliário português de edifícios de betão armado. Para o fazer, foi feita a média entre os custos de reparação entre os estados de dano equivalentes em relação aos danos que foram estimados. O grau de dano para danos extensos no modelo de consequência turco foi negligenciado, como o critério por trás deste valor é necessário salientar que, não é válido para Portugal. A resultante distribuição de grau de dano usado para este estudo está descrito na Tabela 21 (Silva, 2013).

Estado do dano	Fração do dano
Ligeiro	0,10
Moderado	0,30
Severo	0,60
Colapso	1,00

Tabela 21 – Modelo de consequência usado em desenvolvimento do modelo de vulnerabilidade para o parque imobiliário português de betão armado (Silva, 2013).

Capítulo 10

Considerações finais

10 Considerações finais

10.1 Conclusões

Na presente dissertação é fundamental salientar que todas as avaliações da vulnerabilidade sísmica efetuadas às escolas que abrangem todo o território continental cordialmente disponibilizadas pelo Parque Escolar, E.P.E., resultam dum enorme esforço realizado mas que demonstra ser bastante gratificante porque agora existe finalmente à disponibilidade do público, a avaliação completa da fragilidade estrutural das instalações escolares de Portugal Continental para a garantia da preservação das vidas humanas que ocupam estas instalações, como também perante outra razão extremamente importante, que é garantir a continuidade do sistema educativo, trabalhando sem interrupções. Como a razão do objetivo da educação escolar é transmitir para todas as novas gerações toda a sabedoria que a Humanidade alcançou e acumulou ao longo de toda a sua existência desde a sua formação em domínios do conhecimento tão distintos, que abrangem toda a Ciência Humana, como as áreas científicas, as áreas linguísticas e as áreas artísticas, é portanto uma obrigação a preservação dos edifícios escolares pela grande importância da sua existência.

Todos os relatórios inspeção recebidos foram realizados antes mesmo de todas as escolas serem reabilitadas, quer estruturalmente, quer sísmicamente, portanto todos os resultados obtidos apresentam valores de vulnerabilidade mais elevados que existem atualmente nas escolas reabilitadas ao longo do processo de requalificação das infraestruturas escolares desenvolvida pela empresa pública Parque Escolar, E.P.E., sendo assim estamos perante um dos vários aspetos conservativos do cálculo da vulnerabilidade.

Neste documento foram enumeradas as diferentes tipologias construtivas existentes de todas as categorias que se podem encontrar em Portugal. Em diversas situações foram encontradas diversas tipologias em diferentes blocos de ensino da mesma escola, então perante esta indeterminação, o critério para a decisão da escolha da tipologia representativa da escola que estava a ser avaliada foi sempre pela escolha da tipologia mais desfavorável relativamente à vulnerabilidade sísmica, sendo assim demonstrando mais um aspeto conservativo na análise deste cálculo sísmico.

Obrigatoriamente outro assunto que forçava a uma tomada de decisão para o cálculo final da vulnerabilidade era no momento de definir o tipo de terreno, de acordo com os tipos

de terrenos definidos pelo regulamento sísmico que se encontra em vigor, fazendo referência mais concretamente ao Eurocódigo 8, imediatamente depois de ser identificado nas cartas geológicas de Portugal, o tipo de terreno, sabendo pelo regulamento sísmico europeu, as características paramétricas definidas para cada um dos terrenos enumerados, fazendo então a correta correspondência, o critério da decisão foi sempre optar pelo tipo de terreno mais desfavorável, conseqüentemente o tipo de terreno menos resistente numa situação de dúvida, desta maneira acrescentamos mais um aspeto conservativo no desenvolvimento da análise deste processo de cálculo.

Para além de todos estes aspetos, que definitivamente têm bastante peso no momento da avaliação da vulnerabilidade é absolutamente importante a existência dum regulamento sísmico eficiente durante a fase de projeto. Em Portugal, a partir do grande terramoto de Lisboa começaram a existir boas práticas de construção, mas apenas a partir do ano de 1958, passou a existir uma regulamentação sísmica em Portugal com o (RSCCS), devidamente atualizada três anos depois com a introdução do (RSEP), publicado em 1961. Mesmo o regulamento base tendo sido atualizado, apoiava-se em princípios extremamente simples e não permitiam à estrutura uma forte capacidade resistente perante um violento abalo sísmico. No dia 28 de Fevereiro de 1969, todas as estruturas foram colocadas à prova pelo sismo do Algarve, sentindo-se as ondas de choque praticamente no país inteiro, portanto depois dos engenheiros estruturais se terem reunido em 1960, para melhorarem o regulamento sísmico, e como as estruturas não tiveram a melhor resposta perante este terramoto, os engenheiros estruturais correram atrás do prejuízo. A aprendizagem para qualquer engenheiro civil é apenas esta, é sempre necessário atuar com um caráter preventivo, ou seja, facultar à infraestrutura todas as capacidades resistentes que necessite para que perante uma inevitável tragédia sejam preservadas ao máximo as vidas humanas, é importante também executar uma imposição da funcionalidade operacional do edifício para evitar possíveis perdas económicas devido à inoperacionalidade das construções depois dum terramoto. Portanto impondo um caráter construtivo preventivo é urgente eliminar um caráter construtivo negligente. Perante lições aprendidas a um preço demasiado doloroso, em 1983, finalmente Portugal passou a orgulhar-se de finalmente ter um regulamento eficiente, seguro e sólido.

Para todos termos a noção do peso da importância dum bom regulamento, reparem no exemplo do Chile, no dia 27 de Fevereiro de 2010, este país latino-americano foi vítima dum sismo de magnitude 8,8 onde morreram 723 pessoas, apesar de tudo isto, depois de terem

passado apenas quatro curtos anos, o Chile foi novamente atacado por um violento terramoto de magnitude 8,2 no dia 1 de Abril de 2014, duas pessoas morreram por ataque cardíaco enquanto as restantes quatro morreram por esmagamento provocado pelos escombros. Parece mentira mas é verdade. Algo bastante importante referir é que segundo a escala de momento de magnitude (MMS) criada por Hiroo Kanamori por atualização da escala de magnitude de Richter criada na década de 30 do século XX, cada grau de magnitude aumentado um valor acima corresponde a um aumento de energia trinta vezes superior ao necessário para gerar aquele sismo. Tomemos como exemplo, um sismo de magnitude 3, este sismo segundo a escala de momento de magnitude, tem novecentas vezes menos energia, que um sismo de magnitude 5. Portanto o terramoto do Chile de 2014 tem apenas dezoito vezes menos energia que o sismo de 2010. Concluindo assim que a constante atualização dum regulamento sísmico permite enfrentar com facilidade um terramoto com uma extrema agressividade. Ganha o Homem e perde a Natureza, não tenham absolutamente dúvida nenhuma, realmente é mesmo esse o objetivo.

Não nos podemos esquecer que a litologia do terreno tem um papel absolutamente fundamental para o acréscimo exponencial do aumento da vulnerabilidade sísmica dum edifício construído. Em algumas situações até mesmo a estrutura com a melhor resistência estrutural e tendo sido executada com o melhor regulamento disponível pode ter um enorme acréscimo da sua vulnerabilidade sísmica, porque perante uma estrutura de alvenaria de adobe mesmo tendo esta sido desprovida, de qualquer regulamento sísmico no momento da sua idealização em fase de projeto, esta estrutura perante o peso da contribuição da geologia pode ser extremamente mais resistente que uma estrutura de betão armado recentemente construída estando melhor preparada ao nível regulamentar, para enfrentar uma catástrofe.

Terminado o estudo da avaliação da vulnerabilidade sísmica de uma centena de escolas do parque escolar reabilitado e fornecido pela empresa pública Parque Escolar, E.P.E., criada para melhorar as infraestruturas escolares em Portugal, é sem sombra de dúvida, de salientar, a perfeita evidência de que as construções escolares mais vulneráveis se encontram na Região da Grande Lisboa e na Região Sul de Portugal Continental.

É extremamente importante afirmar para todas as pessoas, para todos terem esta perfeita noção, principalmente os arquitetos, que a vulnerabilidade dos edifícios é criada em duas fases, uma na fase embrionária ou de projeto e outra numa fase de utilização durante o seu período de vida útil, existindo falta de manutenção estrutural ao edifício escolar. Porque

pormenores como a enorme importância da regularidade das estruturas em altura, como a regularidade em planta, são essenciais para não agravar a vulnerabilidade, tal e qual, como também as reparações das patologias de elementos estruturais e não estruturais presentes em alvenarias, como em betão armado como também em coberturas de madeira.

Encerrando definitivamente este trabalho espero que todos possamos guardar este pensamento extremamente simples mas profundamente complexo, a força poderosa que permitiu terminar este gigantesco trabalho foi apenas a seguinte, quem salva uma vida, salva um mundo inteiro, agora imaginem quem salva muitas vidas, obviamente que salva o universo inteiro.

10.2 Desenvolvimentos futuros

É muito importante referir que todas as escolas avaliadas relativamente à vulnerabilidade sísmica foram avaliadas com base em relatórios inspeção anteriores à reabilitação sísmica e estrutural dos edifícios escolares em causa, portanto invariavelmente os valores dos índices de vulnerabilidade dessas mesmas escolas serão inferiores, depois da execução dum competente projeto de reabilitação e consecutivamente dum correta execução em obra, porque as instalações escolares estarão estruturalmente muito melhor preparadas para a eventualidade dum cenário sísmico que possa existir em Portugal Continental.

É absolutamente fundamental para uma avaliação da vulnerabilidade sísmica dos edifícios escolares ter acesso aos projetos de estabilidade das escolas, respetivamente ao nível das fundações porque assim conseguimos descobrir o tipo de terreno corretamente, porque a geologia do terreno tem um peso extremamente importante na amplificação da vulnerabilidade sísmica e quanto menor for o grau de incerteza associada à identificação do tipo de terreno existente ao nível das fundações das escolas, maior será a fiabilidade dos valores calculados da vulnerabilidade sísmica dos edifícios escolares.

Obviamente que este trabalho alcançaria a perfeição se não fosse avaliada apenas uma terça parte das escolas mas a totalidade das escolas preparatórias e secundárias nacionais, referindo-me assim, às três centenas de escolas que pertencem a todo o parque escolar, mesmo assim este trabalho de investigação alcançou uma dimensão nunca antes consumada portanto são realmente enormes as potencialidades deste trabalho porque nenhuma escola deve ficar de fora do âmbito desta avaliação e todas as escolas que pertencem ao parque escolar deveriam ser corretamente avaliadas relativamente à sua vulnerabilidade sísmica

porque tendo Portugal Continental um passado sísmico com tamanha brutalidade, nunca nos devemos esquecer desta grande lição, que é uma lição para todos, quem se esquece da sua História está condenado a repeti-la.

Capítulo 11

Referências bibliográficas

11 Referências bibliográficas

Alegre, A.; Heitor, T.; Cotrim, H.; Vaz, D.; Silva, J.; Silva, J. (2010). "*Parque Escolar - Liceus, Escolas Técnicas e Secundárias*", Parque Escolar, EPE.

Cabral, J.; Moniz, C.; Batlló, J.; Figueiredo, P.; Carvalho, J.; Matias, L.; Teves-Costa, P.; Dias, R.; Simão, N. (2011). "*The 1909 Benavente (Portugal) earthquake: search for the source*", Natural Hazards.

Câmara Municipal Benavente (2011). "*Terramoto de 1909*", disponível em <http://www.cm-benavente.pt/conhecer-benavente/historia/terramoto-de-1909>

Eurocódigo 8, Laboratório Nacional Engenharia Civil (2010). "*Eurocódigo 8 - Projeto de estruturas para resistência aos sismos*", Instituto Português da Qualidade.

European Commission (EC); Joint Research Centre (JRC); United Nations Institute for Training and Research (UNITAR); Operational Satellite Applications Programme (UNOSAT); World Bank; Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR); Centre National Information Géographique-Spatial (CNIGS) (2010). "*Building Damage Assessment Report: Haiti earthquake 12 January 2010*", Earthquake Engineering Research Institute.

Ferreira, M. (2012). "*Risco sísmico em sistemas urbanos*", Lisboa, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.

Ferreira, M.; Proença, J.; Oliveira, C.; Andonov, A. (2007). "*Avaliação do risco sísmico das instalações escolares na Área Metropolitana de Lisboa. Uma metodologia baseada na EMS 98: 7º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica*", Faculdade Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

FEUP (2007). "*Escola Secundária Soares dos Reis, Porto (Relatório de inspeção e diagnóstico estrutural)*", Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Universidade do Porto.

FLUP (2010). "*Cartografia Geológica*", Faculdade de Letras da Universidade do Porto, disponível em <http://web.letras.up.pt/oficinadomapa/default.aspx?l=1&m=2&s=54&n=0>

Fukao, Y. (1973). *"Thrust faulting at a lithosphere plate boundary. The Portugal Earthquake of 1969"*, Earth and Planet Scientific Letters. Volume 18, (205-216).

Giovinazzi, S. (2005). *"The vulnerability assessment and the damage scenario in seismic risk analysis"*, Lanciano, Italy, University of Florence.

Giovinazzi, S.; Lagomarsino, S. (2004). *"A Macroseismic method for the vulnerability assessment of buildings: 13th WCEE World Conference on Earthquake Engineering"*, Vancouver, Canadá.

Giovinazzi, S.; Lagomarsino, S. (2006). *"Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings: Springer Science"*, Bull Earthquake Engineering: Springer.

Grünthal, G. (1998). *"European Macroseismic Scale"*, Centre Européen de Géodynamique et de Seismologie. Volume 15, Luxembourg.

Heitor, T. (2011). *"Parque Escolar (2007-2011 - Intervenção em 106 Escolas)"*, Parque Escolar, EPE.

Hou, L.; Shi, P. (2011). *"Haiti 2010 Earthquake - How to Explain Such Huge Losses?"*, International Journal of Disaster Risk Science. Volume 2, (25-33).

Indirli, M.; Clemente, P.; Spadoni, B. (2004). *"The reconstruction of San Giuliano di Puglia after the October 31st 2002 earthquake: 13th WCEE World Conference on Earthquake Engineering"*, Vancouver, Canadá.

Kabeyasawa, T.; Kabeyasawa, T.; Kusunoki, K.; Li, K. (2008). *"An outline of damages to school buildings in Dujiangyan by the Wenchuan earthquake on May 12, 2008: 14th WCEE World Conference on Earthquake Engineering"*, Pequim, China.

Kabeyasawa, T.; Kusunoki, K.; Tasai, A.; Ichinose, T.; Kato, D. (2012). *"Damage survey on reinforced concrete school buildings in Fukushima after the 2011 East Japan earthquake: 15th WCEE World Conference on Earthquake Engineering"*, Lisboa, Portugal.

LNEG (2010). "*Carta Geológica de Portugal, na escala de 1/50000*", Laboratório Nacional de Engenharia Geológica, disponível em <http://www.lneg.pt/servicos/127/>

Lourenço, D. (2012). "*Avaliação do risco sísmico em Portugal*", Aveiro, Universidade de Aveiro.

Maeda, M.; Takahashi, K.; Alwashali, H.; Tasai, A.; Shiohara, H.; Kitayama, K.; Kono, S.; Nishida, T. (2012). "*Damage Survey on Reinforced Concrete School Buildings in Miyagi after the 2011 East Japan Earthquake: 15th WCEE World Conference on Earthquake Engineering*", Lisboa, Portugal.

Marecos, J.; Castanheta, M. (1970). "*Estudo do comportamento de estruturas sob a acção do sismo de 28 de Fevereiro de 1969*", LNEC, Laboratório Nacional Engenharia Civil.

Martinelli, A.; Mannella, A.; Milano, L.; Cifani, G.; Lemme, A.; Miozzi, C.; Mancini, C. (2008). "*The seismic vulnerability of school buildings in Molise (Italy): The "Safe School Project", from seismic vulnerability studies to an intervention classification: 14th WCEE World Conference on Earthquake Engineering*", Pequim, China.

NBCNews.com (2011). "*Japan's evacuees annoyed at compensation offer*", disponível em http://www.msnbc.msn.com/id/42617357/ns/world_news-asia_pacific/t/japans-evacuees-annoyed-compensation-offer/

Oliveira, C.; Ferreira, M.; Sá, F. (2012). "*The concept of a disruption index: application to the overall impact of the July 9, 1998 Faial earthquake (Azores islands)*", Bull Earthquake Engineering. Volume 10, (7-25).

Oliveira, C.; Victor, L. M. (1984). "*Prediction of seismic impact in a metropolitan area based on hazard analysis and microzonation (Methodology for the town of Lisbon): 8th WCEE World Conference on Earthquake Engineering*", California, EUA.

Proença, J.; Gago, A. (2011). "*Parque Escolar - Reforço sísmico de edifícios escolares*", Parque Escolar, EPE.

Quintino, J. (1970). "*O sismo de 28 de Fevereiro de 1969. Algumas informações geofísicas deduzidas do seu estudo*", Lisboa, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Ribeiro, A.; Antunes, M.; Ferreira, M.; Rocha, R.; Soares, A.; Zbyszewski, G.; Almeida, F.; Carvalho, D.; Monteiro, J. (1979). *"Introduction à la géologie générale du Portugal"*, Lisboa.

RSAEEP, (1983). *"Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes"*, Lisboa, Porto Editora.

RSCCS (1958). *"Regulamento de Segurança das Construções Contra os Sismos"*, Imprensa Nacional.

Silva, A.; Santos, M.; Gramaxo, F.; Mesquita, A.; Baldaia, L.; Félix, J. (2013). *"Terra, Universo de Vida"*, Lisboa, Porto Editora.

Silva, V. (2013). *"Development of open-source tools for seismic risk assessment: application to Portugal"*, Aveiro, Universidade de Aveiro.

Sotto-Mayor, M. (2006). *"Risco Sísmico em Portugal Continental"*, Lisboa, Instituto Superior Técnico.

Anexos

Anexos

Tipologia construtiva	Escola Secundária	Grau de dano (D _k)			Fração de perda (%)		
		95 anos	475 anos	975 anos	95 anos	475 anos	975 anos
Tipologia construtiva 1	Lisboa	1,720	2,537	2,816	21,084	38,639	45,310
	Porto	0,904	1,397	1,679	7,604	15,221	20,325
	Sagres	2,817	3,658	3,976	45,301	66,844	75,339
Tipologia construtiva 2	Lisboa	1,233	1,967	2,240	12,601	26,049	31,884
	Porto	0,595	0,970	1,199	4,164	8,740	12,097
	Sagres	2,239	3,152	3,543	31,831	53,748	63,987
Tipologia construtiva 3	Lisboa	1,084	1,775	2,041	10,358	22,223	27,603
	Porto	0,509	0,844	1,053	3,362	7,113	9,933
	Sagres	2,040	2,959	3,369	27,538	48,874	59,462
Tipologia construtiva 4	Lisboa	0,575	1,048	1,252	4,131	9,882	12,957
	Porto	0,246	0,431	0,557	1,334	2,794	3,955
	Sagres	1,250	2,073	2,514	12,881	28,287	38,209
Tipologia construtiva 5	Lisboa	0,232	0,465	0,578	1,306	3,112	4,176
	Porto	0,092	0,169	0,224	0,452	0,904	1,254
	Sagres	0,576	1,110	1,457	4,138	10,756	16,314
Tipologia construtiva 6	Lisboa	0,223	0,449	0,558	1,249	2,968	3,981
	Porto	0,089	0,162	0,215	0,452	0,865	1,198
	Sagres	0,556	1,078	1,419	3,945	10,285	15,654

Tabela A. 1 – Resultados obtidos dos graus de dano e da percentagem da fração de perda para as diferentes tipologias construtivas definidas no parque escolar respetivamente para as localizações de Lisboa, Porto e Sagres.

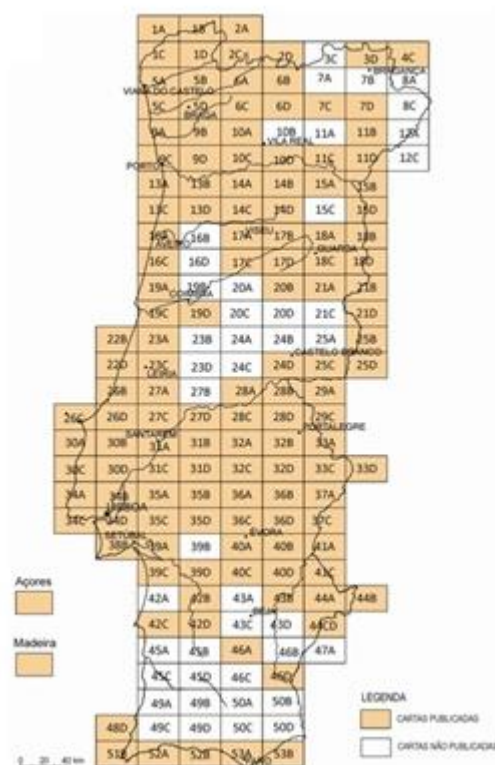


Figura A. 1 – Cartas geológicas de Portugal Continental existentes à escala de 1/50000. Adaptado (LNEG, 2010).

Escola Secundária	Localização Secundária	Tipologia construtiva (EMS 98)	Vulnerabilidade	Grau de dano (D _k)			Fração de perda (%)		
				95 anos	475 anos	975 anos	95 anos	475 anos	975 anos
Escola Secundária 1	Guarda	RC2	0,56	0,240	0,404	0,516	1,308	2,571	3,568
Escola Secundária 2	Viseu	M6	0,77	0,624	1,025	1,234	4,457	9,508	12,643
Escola Secundária 3	Viseu	M6	0,75	0,577	0,956	1,156	3,995	8,570	11,448
Escola Secundária 4	Santa Maria da Feira	RC2	0,57	0,245	0,440	0,552	1,325	2,865	3,907
Escola Secundária 5	Oliveira de Azeméis	RC3	0,36	0,080	0,151	0,195	0,390	0,800	1,067
Escola Secundária 6	Aveiro	M6	0,80	0,762	1,185	1,405	5,970	11,843	15,430
Escola Secundária 7	Ovar	RC2	0,77	0,618	1,021	1,230	4,364	9,426	12,564
Escola Secundária 8	Águeda	RC2	0,68	0,456	0,775	0,948	2,618	5,677	7,685
Escola Secundária 9	São João da Madeira	RC2	0,52	0,193	0,351	0,445	1,006	2,147	2,920
Escola Secundária 10	Espinho	RC2	0,68	0,418	0,720	0,885	2,570	5,639	7,652
Escola Secundária 11	Valadares	RC2	0,54	0,205	0,363	0,472	1,079	2,241	3,166
Escola Secundária 12	Paredes	RC2	0,37	0,085	0,156	0,208	0,415	0,829	1,148
Escola Secundária 13	Lousada	RC3	0,36	0,079	0,146	0,194	0,385	0,768	1,061
Escola Secundária 14	Espinho	RC2	0,77	0,632	1,041	1,253	4,506	9,715	12,930
Escola Secundária 15	Penafiel	RC2	0,53	0,195	0,347	0,461	1,018	0,461	3,071
Escola Secundária 16	Figueira da Foz	RC2	0,53	0,236	0,439	0,630	1,291	2,871	4,704
Escola Secundária 17	Porto	M6	0,79	0,670	1,077	1,322	4,924	10,238	14,051
Escola Secundária 18	Porto	RC2	0,52	0,191	0,340	0,442	0,995	2,058	2,903
Escola Secundária 19	Vila Nova de Gaia	M6	0,77	0,613	0,996	1,229	4,344	9,099	12,568
Escola Secundária 20	Porto	M6	0,77	0,614	0,997	1,230	4,349	9,109	12,582
Escola Secundária 21	Gondomar	RC3	0,40	0,098	0,179	0,237	0,480	0,963	1,337
Escola Secundária 22	Porto	M6	0,75	0,552	0,906	1,125	3,747	7,901	10,987
Escola Secundária 23	Porto	RC2	0,57	0,237	0,416	0,538	1,276	2,668	3,776
Escola Secundária 24	Matosinhos	M6	0,79	0,659	1,061	1,304	4,805	10,005	13,750
Escola Secundária 25	Porto	RC2	0,53	0,191	0,340	0,443	0,997	2,063	2,910

Tabela A. 2 – Resultados obtidos dos índices de vulnerabilidade, dos graus de dano e da percentagem da fração de perda em percentagem para as escolas avaliadas do Parque Escolar, E.P.E.

Escola Secundária	Localização Secundária	Tipologia construtiva (EMS 98)	Vulnerabilidade	Grau de dano (D _k)			Fração de perda (%)		
				95 anos	475 anos	975 anos	95 anos	475 anos	975 anos
Escola Secundária 26	Porto	M6	0,74	0,532	0,877	1,092	3,567	7,534	10,498
Escola Secundária 27	Porto	RC2	0,57	0,264	0,461	0,594	1,294	2,708	3,832
Escola Secundária 28	Porto	RC3	0,44	0,121	0,219	0,288	0,599	1,212	1,691
Escola Secundária 29	Vila Nova de Gaia	RC2	0,60	0,276	0,480	0,617	1,531	3,224	4,566
Escola Secundária 30	Maia	RC2	0,57	0,235	0,389	0,487	1,263	2,442	3,291
Escola Secundária 31	Guimarães	RC3	0,36	0,076	0,128	0,169	0,364	0,665	0,905
Escola Secundária 32	Guimarães	M6	0,71	0,457	0,715	0,891	2,868	5,563	7,719
Escola Secundária 33	Braga	M3	0,87	0,879	1,273	1,551	7,196	13,111	17,933
Escola Secundária 34	Braga	RC2	0,53	0,185	0,301	0,397	0,950	1,761	2,519
Escola Secundária 35	Braga	RC1	0,71	0,434	0,672	0,856	2,672	5,083	7,282
Escola Secundária 36	Braga	RC2	0,53	0,186	0,302	0,398	0,953	1,765	2,525
Escola Secundária 37	Barcelos	RC2	0,61	0,273	0,436	0,568	1,494	2,815	4,051
Escola Secundária 38	Vila do Conde	RC2	0,53	0,188	0,310	0,400	0,968	1,829	2,540
Escola Secundária 39	Póvoa de Varzim	RC2	0,53	0,188	0,310	0,400	0,967	1,827	2,537
Escola Secundária 40	Paços de Ferreira	RC2	0,53	0,196	0,328	0,412	1,024	1,964	2,639
Escola Secundária 41	Bragança	M6	0,71	0,309	0,602	0,646	1,598	4,333	4,801
Escola Secundária 42	Viana do Castelo	RC2	0,61	0,252	0,372	0,539	1,342	2,276	3,775
Escola Secundária 43	Famalicão	RC2	0,54	0,192	0,317	0,408	0,992	1,876	2,605
Escola Secundária 44	Lisboa	RC2	0,56	0,533	0,980	1,176	3,718	8,945	11,780
Escola Secundária 45	Lisboa	M6	0,81	1,471	2,256	2,535	16,545	32,224	38,588
Escola Secundária 46	Lisboa	M6	0,77	1,269	2,012	2,287	13,175	26,990	32,921
Escola Secundária 47	Lisboa	M6	0,83	1,542	2,338	2,618	17,798	34,062	40,537
Escola Secundária 48	Lisboa	M6	0,76	1,208	1,936	2,208	12,221	25,418	31,186
Escola Secundária 49	Lisboa	M6	0,74	1,129	1,834	2,103	11,019	23,377	28,906
Escola Secundária 50	Lisboa	M3	0,86	1,689	2,503	2,782	20,501	37,850	44,495

Tabela A. 3 – Resultados obtidos dos índices de vulnerabilidade, dos graus de dano e da percentagem da fração de perda em percentagem para as escolas avaliadas do Parque Escolar, E.P.E.

Escola Secundária	Localização Secundária	Tipologia construtiva (EMS 98)	Vulnerabilidade	Grau de dano (D _k)			Fração de perda (%)		
				95 anos	475 anos	975 anos	95 anos	475 anos	975 anos
Escola Secundária 51	Benavente	RC1	0,78	1,241	1,889	2,160	12,704	24,463	30,132
Escola Secundária 52	Beja	M6	0,74	0,986	1,819	2,087	8,956	23,066	28,561
Escola Secundária 53	Portalegre	RC2	0,53	0,235	0,470	0,627	1,285	3,150	4,675
Escola Secundária 54	Póvoa de Santo Adrião	RC3	0,39	0,234	0,468	0,581	1,315	3,133	4,204
Escola Secundária 55	Lisboa	M6	0,74	1,142	1,852	2,121	11,220	23,725	29,296
Escola Secundária 56	Lisboa	M6	0,77	1,278	2,023	2,298	13,321	27,225	33,180
Escola Secundária 57	Lisboa	RC2	0,53	0,470	0,878	1,061	3,140	7,600	10,071
Escola Secundária 58	Lisboa	RC2	0,53	0,467	0,874	1,056	3,117	7,546	10,001
Escola Secundária 59	Évora	RC2	0,53	0,345	0,717	0,933	2,089	5,650	8,307
Escola Secundária 60	Seixal	RC2	0,61	0,673	1,198	1,420	5,145	12,112	15,715
Escola Secundária 61	Lisboa	RC2	0,55	0,524	0,967	1,161	3,637	8,758	11,544
Escola Secundária 62	Coimbra	RC2	0,61	0,343	0,620	0,869	2,035	4,590	7,482
Escola Secundária 63	Leiria	RC2	0,52	0,312	0,610	0,700	1,843	4,494	5,468
Escola Secundária 64	Almada	S	0,40	0,251	0,464	0,618	1,428	3,098	4,586
Escola Secundária 65	Lisboa	RC2	0,78	1,321	2,076	2,353	14,020	28,346	34,406
Escola Secundária 66	Lisboa	M6	0,77	0,590	0,903	1,109	4,061	7,816	10,725
Escola Secundária 67	Lisboa	RC2	0,60	0,655	1,170	1,389	4,948	11,686	15,193
Escola Secundária 68	Amadora	RC2	0,57	0,563	1,028	1,230	4,007	9,603	12,608
Escola Secundária 69	Bombarral	RC2	0,56	0,397	0,758	0,983	2,500	6,123	8,978
Escola Secundária 70	Alcácer do Sal	RC2	0,56	0,503	0,995	1,337	3,432	9,140	14,337
Escola Secundária 71	Loures	RC2	0,60	0,644	1,155	1,372	4,840	11,451	14,905
Escola Secundária 72	Marinha Grande	M6	0,82	1,110	1,810	1,987	10,663	22,891	26,472
Escola Secundária 73	Beja	M6	0,76	1,062	1,924	2,197	10,015	25,182	30,929
Escola Secundária 74	Elvas	RC2	0,54	0,269	0,535	0,708	1,520	3,743	5,552
Escola Secundária 75	Leiria	M6	0,73	0,788	1,369	1,525	6,406	14,846	17,554

Tabela A. 4 – Resultados obtidos dos índices de vulnerabilidade, dos graus de dano e da percentagem da fração de perda em percentagem para as escolas avaliadas do Parque Escolar, E.P.E.

Escola Secundária	Localização Secundária	Tipologia construtiva (EMS 98)	Vulnerabilidade	Grau de dano (D _k)			Fração de perda (%)		
				95 anos	475 anos	975 anos	95 anos	475 anos	975 anos
Escola Secundária 76	Almada	M6	0,80	1,417	2,100	2,471	15,619	28,851	37,095
Escola Secundária 77	Alcobaça	RC2	0,57	0,414	0,787	0,869	2,647	6,468	7,474
Escola Secundária 78	Coimbra	M6	0,80	0,804	1,318	1,718	6,492	13,970	21,104
Escola Secundária 79	Tomar	M6	0,73	0,857	1,313	1,628	7,267	13,918	19,415
Escola Secundária 80	Mafra	RC3	0,36	0,182	0,376	0,437	0,983	2,351	2,862
Escola Secundária 81	Montemor-O-Velho	RC3	0,36	0,096	0,186	0,277	0,477	1,011	1,616
Escola Secundária 82	Ourém	RC2	0,55	0,356	0,687	0,787	2,175	5,320	6,464
Escola Secundária 83	Queluz	RC2	0,57	0,555	1,015	1,216	3,929	9,427	12,387
Escola Secundária 84	Pombal	RC1	0,71	0,638	1,081	1,365	4,687	10,341	14,784
Escola Secundária 85	Ponte de Sôr	RC3	0,40	0,164	0,311	0,392	0,869	1,860	2,486
Escola Secundária 86	Vila Viçosa	RC2	0,57	0,326	0,592	0,780	1,930	4,310	6,383
Escola Secundária 87	Caldas da Rainha	RC2	0,57	0,380	0,728	0,832	2,361	5,779	7,015
Escola Secundária 88	Lisboa	RC2	0,61	0,664	1,184	1,404	5,045	11,897	15,452
Escola Secundária 89	Estremoz	RC2	0,56	0,324	0,589	0,776	1,916	4,279	6,337
Escola Secundária 90	Vila Franca de Xira	RC2	0,56	0,501	0,873	1,055	3,411	7,526	9,984
Escola Secundária 91	Santarém	M6	0,71	0,899	1,448	1,693	7,797	16,196	20,644
Escola Secundária 92	Salvaterra de Magos	RC2	0,61	0,617	1,048	1,253	4,542	9,887	12,972
Escola Secundária 93	Sintra	RC2	0,52	0,422	0,781	0,892	2,698	6,381	7,752
Escola Secundária 94	Barreiro	RC2	0,56	0,533	0,920	1,176	3,718	8,140	11,780
Escola Secundária 95	Portalegre	M6	0,74	0,588	1,136	1,506	4,120	11,142	17,215
Escola Secundária 96	Setúbal	RC1	0,78	1,374	1,958	2,603	14,896	25,872	40,200
Escola Secundária 97	Oeiras	M6	0,77	1,243	1,979	2,253	12,761	26,313	32,176
Escola Secundária 98	Abrantes	RC1	0,70	0,759	1,182	1,479	6,095	11,850	16,749
Escola Secundária 99	Santo Tirso	RC1	0,69	0,410	0,647	0,810	2,488	4,827	6,718
Escola Secundária 100	Lisboa	RC2	0,55	0,510	0,944	1,135	3,506	8,455	11,160

Tabela A. 5 – Resultados obtidos dos índices de vulnerabilidade, dos graus de dano e da percentagem da fração de perda em percentagem para as escolas avaliadas do Parque Escolar, E.P.E.

Escola Secundária	Localização Secundária	Carta geológica	Escala	Símbolo terreno	Tipo do terreno (carta geológica)	Tipo do terreno (Eurocódigo 8)
Escola Secundária 1	Guarda	18C	1/50000	gpg	Granito de grão grosseiro, não porfiróide, ou seja, granito monzonítico	Terreno A
Escola Secundária 2	Viseu	17A	1/50000	gpmg	Monzogranito biotítico-moscovítico, porfiróide (Granito de Mangualde)	Terreno A
Escola Secundária 3	Viseu	17A	1/50000	gpmg	Monzogranito biotítico-moscovítico, porfiróide (Granito de Mangualde)	Terreno A
Escola Secundária 4	Santa Maria da Feira	13C	1/50000	X _{YZ}	Migmatitos, gnaisses, micaxistos e luzentes	Terreno B
Escola Secundária 5	Oliveira de Azeméis	13D	1/50000	O _{IV}	Micaxistos às vezes granatíferos e meta-grauvaques (Formação de São João de Ver)	Terreno A
Escola Secundária 6	Aveiro	16A	1/50000	C ⁵	Arenitas e argilas de Aveiro	Terreno B
Escola Secundária 7	Ovar	13C	1/50000	Ad	Areias de duna	Terreno D
Escola Secundária 8	Águeda	-	1/500000	TJ	Grés de Silves	Terreno C
Escola Secundária 9	São João da Madeira	13D	1/50000	O _{IV}	Micaxistos às vezes granatíferos e meta-grauvaques (Formação de São João de Ver)	Terreno A
Escola Secundária 10	Espinho	13A	1/50000	a	Aluviões atuais	Terreno C
Escola Secundária 11	Valadares	13A	1/50000	gpg	Granito de grão grosseiro, não porfiróide (Granito da Madalena)	Terreno A
Escola Secundária 12	Paredes	9D	1/50000	gpm	Granitos monzoníticos porfiróides, de duas micas, essencialmente biotíticos	Terreno A
Escola Secundária 13	Lousada	9D	1/50000	gpg	Granitos porfiróides, de duas micas, essencialmente biotíticos	Terreno A
Escola Secundária 14	Espinho	13A	1/50000	Q _P	Formação areno-pelítica de cobertura	Terreno D
Escola Secundária 15	Penafiel	9D	1/50000	gpg	Granitos porfiróides, de duas micas, essencialmente biotíticos	Terreno A
Escola Secundária 16	Figueira da Foz	19C	1/50000	C ₁₋₂	Arenitas de Carrascal	Terreno C
Escola Secundária 17	Porto	9C	1/50000	gm	Granitos alcalinos, de grão fino a médio, mesocrata, de duas micas	Terreno A
Escola Secundária 18	Porto	9C	1/50000	gm	Granitos alcalinos, de grão fino a médio, mesocrata, de duas micas	Terreno A
Escola Secundária 19	Vila Nova de Gaia	9C	1/50000	X _{YZ}	Migmatitos, gnaisses, micaxistos e luzentes	Terreno B
Escola Secundária 20	Porto	9C	1/50000	gm	Granitos alcalinos, de grão fino a médio, mesocrata, de duas micas	Terreno A
Escola Secundária 21	Gondomar	9C	1/50000	X _{YZ}	Migmatitos, gnaisses, micaxistos e luzentes	Terreno B
Escola Secundária 22	Porto	9C	1/50000	gm	Granitos alcalinos, de grão fino a médio, mesocrata, de duas micas	Terreno A
Escola Secundária 23	Porto	9C	1/50000	X _{YZ}	Migmatitos, gnaisses, micaxistos e luzentes	Terreno B
Escola Secundária 24	Matosinhos	9C	1/50000	Q ³	Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais, entre 30/40 metros	Terreno D
Escola Secundária 25	Porto	9C	1/50000	gm	Granitos alcalinos, de grão fino a médio, mesocrata, de duas micas	Terreno A

Tabela A. 6 – Terrenos identificados para as diferentes escolas através do uso de cartas geológicas e a respetiva correspondência com os tipos de terrenos definidos no Eurocódigo 8.

Escola Secundária	Localização Secundária	Carta geológica	Escala	Símbolo terreno	Tipo do terreno (carta geológica)	Tipo do terreno (Eurocódigo 8)
Escola Secundária 26	Porto	9C	1/50000	gm	Granitos alcalinos, de grão fino a médio, mesocrata, de duas micas	Terreno A
Escola Secundária 27	Porto	9C	1/50000	XYZ	Migmatitos, gnaisses, micaxistos e luzentes	Terreno B
Escola Secundária 28	Porto	9C	1/50000	Q ₁	Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais, entre 80/90 metros	Terreno D
Escola Secundária 29	Vila Nova de Gaia	9C	1/50000	Q ₁	Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais, entre 80/90 metros	Terreno D
Escola Secundária 30	Maia	9C	1/50000	XYZ	Migmatitos, gnaisses, micaxistos e luzentes	Terreno B
Escola Secundária 31	Guimarães	5D	1/50000	gf	Granito não porfiróide de grão fino	Terreno A
Escola Secundária 32	Guimarães	9B	1/50000	gpg	Granitos de Guimarães e Santo Tirso: monzongraníticos biotíticos	Terreno A
Escola Secundária 33	Braga	5D	1/50000	gpm	Granito porfiróide de grão médio a fino	Terreno A
Escola Secundária 34	Braga	5D	1/50000	gpm	Granito porfiróide de grão médio a fino	Terreno A
Escola Secundária 35	Braga	5D	1/50000	gpm	Granito porfiróide de grão médio a fino	Terreno A
Escola Secundária 36	Braga	5D	1/50000	gpm	Granito porfiróide de grão médio a fino	Terreno A
Escola Secundária 37	Barcelos	5C	1/50000	Qa ¹	Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais, entre 15/25 metros	Terreno D
Escola Secundária 38	Vila do Conde	9A	1/50000	gm	Granitos alcalinos de grão fino a médio, mesocrata de duas micas	Terreno A
Escola Secundária 39	Póvoa de Varzim	9A	1/50000	gm	Granitos alcalinos de grão fino a médio, mesocrata de duas micas	Terreno A
Escola Secundária 40	Paços de Ferreira	9D	1/50000	gpm	Granitos monzoníticos porfiróides, de duas micas, essencialmente biotíticos	Terreno A
Escola Secundária 41	Bragança	-	1/200000	-	Rochas metabásicas, blasto miloníticas básicas	Terreno A
Escola Secundária 42	Viana do Castelo	5A	1/50000	Qb ¹	Depósitos de praias antigas e terraços fluviais, incluindo os depósitos de Alvarães	Terreno D
Escola Secundária 43	Famalicão	9D	1/50000	gpg	Granitos porfiróides, de duas micas, essencialmente biotíticos	Terreno A
Escola Secundária 44	Lisboa	34D	1/50000	MX _a	Argilas de Xabregas	Terreno C
Escola Secundária 45	Lisboa	34D	1/50000	β ₁	Complexo Vulcânico de Lisboa	Terreno B
Escola Secundária 46	Lisboa	34D	1/50000	M _{FR}	Argilas de forno de tijolo	Terreno C
Escola Secundária 47	Lisboa	34D	1/50000	M _{PM}	Areias com placuna miocénica	Terreno D
Escola Secundária 48	Lisboa	34D	1/50000	M _{PR}	Argilas de Prazeres	Terreno C
Escola Secundária 49	Lisboa	34D	1/50000	C ₃ B ₁	Formação da bica, contendo calcários com rudistas	Terreno A
Escola Secundária 50	Lisboa	34D	1/50000	M _{PR}	Argilas de Prazeres	Terreno C

Tabela A. 7 – Terrenos identificados para as diferentes escolas através do uso de cartas geológicas e a respetiva correspondência com os tipos de terrenos definidos no Eurocódigo 8.

Escola Secundária	Localização Secundária	Carta geológica	Escala	Símbolo terreno	Tipo do terreno (carta geológica)	Tipo do terreno (Eurocódigo 8)
Escola Secundária 51	Benavente	31C	1/50000	A	Aluviões	Terreno D
Escola Secundária 52	Beja	-	1/500000	G	Gabros de Beja	Terreno A
Escola Secundária 53	Portalegre	32B	1/50000	gp _g	Granitos calco-alcalinos, porfiróides	Terreno A
Escola Secundária 54	Póvoa Santo Adrião	34B	1/50000	f	Conglomerados, arenitos e argilas da Calçada de Carriche	Terreno C
Escola Secundária 55	Lisboa	34D	1/50000	C ₃ B ₁	Formação da bica, contendo calcários com rudistas	Terreno A
Escola Secundária 56	Lisboa	34D	1/50000	M _{PR}	Argilas de Prazeres	Terreno C
Escola Secundária 57	Lisboa	34D	1/50000	β ₁	Complexo Vulcânico de Lisboa	Terreno B
Escola Secundária 58	Lisboa	34D	1/50000	MX _a	Argilas de Xabregas	Terreno C
Escola Secundária 59	Évora	40A	1/50000	Z	Leptinitos	Terreno A
Escola Secundária 60	Seixal	34D	1/50000	P _{SM}	Formação de Santa Marta, constituída por areias	Terreno D
Escola Secundária 61	Lisboa	34D	1/50000	MX _a	Argilas de Xabregas	Terreno C
Escola Secundária 62	Coimbra	19D	1/50000	Q _{ET}	Areias vermelhas de estádio	Terreno D
Escola Secundária 63	Leiria	23C	1/50000	J _{1a-b}	Calcários dolomíticos e margas de Dagorda	Terreno A
Escola Secundária 64	Almada	34D	1/50000	Q _{BE}	Conglomerados de Belverde	Terreno C
Escola Secundária 65	Lisboa	34D	1/50000	M _{PM}	Areias com placuna miocénica	Terreno D
Escola Secundária 66	Lisboa	34D	1/50000	β ₁ ^P	Complexo Vulcânico de Lisboa: rochas piroclásticas	Terreno C
Escola Secundária 67	Lisboa	34D	1/50000	A	Aluviões e/ou aterros	Terreno D
Escola Secundária 68	Amadora	34D	1/50000	β ₁	Complexo Vulcânico de Lisboa	Terreno B
Escola Secundária 69	Bombarral	30B	1/50000	J ₅	Camadas do Freixial (Portlandiano)	Terreno C
Escola Secundária 70	Alcácer do Sal	39C	1/50000	M ₃₋₄	Conglomerados, biocalcarenitos mais ou menos grosseiros	Terreno C
Escola Secundária 71	Loures	34B	1/50000	a	Aluviões	Terreno D
Escola Secundária 72	Marinha Grande	22D	1/50000	P	Plio-Plistocénico Indiferenciado	Terreno D
Escola Secundária 73	Beja	-	1/500000	G	Gabros de Beja	Terreno A
Escola Secundária 74	Elvas	37A	1/50000	Y	Gabros anfibólicos e piroxénicos	Terreno A
Escola Secundária 75	Leiria	23C	1/50000	J _{1a-b}	Calcários dolomíticos e margas de Dagorda	Terreno A

Tabela A. 8 – Terrenos identificados para as diferentes escolas através do uso de cartas geológicas e a respetiva correspondência com os tipos de terrenos definidos no Eurocódigo 8.

Escola Secundária	Localização Secundária	Carta geológica	Escala	Símbolo terreno	Tipo do terreno (carta geológica)	Tipo do terreno (Eurocódigo 8)
Escola Secundária 76	Almada	34D	1/50000	M _{CB}	Aréolas de cabo ruivo e aréolas braço de prata indiferenciado	Terreno D
Escola Secundária 77	Alcobaça	26B	1/50000	J ₃₋₄	Grés superiores com vegetais e dinossáuros	Terreno B
Escola Secundária 78	Coimbra	19D	1/50000	Q _{ET}	Areias vermelhas de estádio	Terreno D
Escola Secundária 79	Tomar	-	1/500000	M _{ST}	Calcários de Santarém e Almofter	Terreno A
Escola Secundária 80	Mafra	34A	1/50000	C ₁ H _{BA}	Calcários recifais e calcários	Terreno A
Escola Secundária 81	Montemor-O-Velho	19C	1/50000	C ₂₋₃	Calcários apinhoados da Costa de Arnes	Terreno A
Escola Secundária 82	Ourém	27A	1/50000	C _{2-3CA}	Conglomerados da Caranguejeira	Terreno C
Escola Secundária 83	Queluz	34C	1/50000	β ₁	Complexo Vulcânico de Lisboa	Terreno B
Escola Secundária 84	Pombal	23A	1/50000	C ₁₋₂	Cenomaniano inferior, albiano e aptiano e neocomiano	Terreno A
Escola Secundária 85	Ponte de Sôr	32A	1/50000	M _P	Arenitos, argilas e conglomerados	Terreno B
Escola Secundária 86	Vila Viçosa	36B	1/50000	C _{B1}	Xistos, quartzitos e grauvaques fossilíferos	Terreno B
Escola Secundária 87	Caldas da Rainha	26D	1/50000	P	Complexo Astiano de Nadadouro e Águas Santas	Terreno C
Escola Secundária 88	Lisboa	34D	1/50000	M _{QB}	Areias de Quinta do Bacalhau	Terreno D
Escola Secundária 89	Estremoz	36B	1/50000	C _{B1}	Xistos, quartzitos e grauvaques fossilíferos	Terreno B
Escola Secundária 90	Vila Franca de Xira	30D	1/50000	J ₄	Complexo Pterociano, incluindo as camadas com lima pseudo-alternicosta	Terreno B
Escola Secundária 91	Santarém	31A	1/50000	P ₂	Calcários de Santarém	Terreno A
Escola Secundária 92	Salvaterra de Magos	31C	1/50000	A _S	Areias Superficiais de Vales e Terraços	Terreno D
Escola Secundária 93	Sintra	34A	1/50000	J ₄₋₅	Calcários margosos, margas e calcários com corais e oncólitos	Terreno A
Escola Secundária 94	Barreiro	34D	1/50000	Q _{MF}	Formação de marco furado com argilitos e conglomerados	Terreno C
Escola Secundária 95	Portalegre	32B	1/50000	gp _G	Granitos calco-alcalinos, porfiróides	Terreno A
Escola Secundária 96	Setúbal	38B	1/50000	Q _A	Aluviões	Terreno D
Escola Secundária 97	Oeiras	34C	1/50000	C _{2AC}	Calcários e margas	Terreno A
Escola Secundária 98	Abrantes	27D	1/50000	P _C	Migmatitos e gnaisses	Terreno A
Escola Secundária 99	Santo Tirso	9B	1/50000	gp _G	Granitos de Guimarães e Santo Tirso: monzongraníticos biotíticos	Terreno A
Escola Secundária 100	Lisboa	34D	1/50000	f _{BF}	Formação de Benfica contendo conglomerados, arenitos e argilitos	Terreno C

Tabela A. 9 – Terrenos identificados para as diferentes escolas através do uso de cartas geológicas e a respetiva correspondência com os tipos de terrenos definidos no Eurocódigo 8.

Escola Secundária	Localização Secundária	Período de retorno 95 anos						Período de retorno 475 anos						Período de retorno 975 anos					
		(Dk<1)	(1<Dk<2)	(2<Dk<3)	(3<Dk<4)	(4<Dk<5)	(Dk>5)	(Dk<1)	(1<Dk<2)	(2<Dk<3)	(3<Dk<4)	(4<Dk<5)	(Dk>5)	(Dk<1)	(1<Dk<2)	(2<Dk<3)	(3<Dk<4)	(4<Dk<5)	(Dk>5)
Escola Secundária 1	Guarda	79,365	18,773	1,776	0,084	0,002	0,000	65,909	28,655	4,983	0,433	0,019	0,000	58,584	33,062	7,463	7,463	0,048	0,001
Escola Secundária 2	Viseu	52,720	36,006	9,836	1,344	0,092	0,003	32,629	40,960	20,567	5,163	0,648	0,033	24,404	39,765	25,918	8,446	1,376	0,090
Escola Secundária 3	Viseu	55,741	34,559	8,570	1,063	0,066	0,002	35,823	40,823	18,608	4,241	0,483	0,022	27,368	40,483	23,953	7,086	1,048	0,062
Escola Secundária 4	Santa Maria da Feira	77,984	19,883	2,028	0,103	0,003	0,000	63,894	29,942	5,613	0,526	0,025	0,000	56,324	34,262	8,337	1,014	0,062	0,002
Escola Secundária 5	Oliveira de Azeméis	92,532	7,238	0,226	0,004	0,000	0,000	86,784	12,478	0,718	0,021	0,000	0,000	83,257	15,539	1,160	0,043	0,001	0,000
Escola Secundária 6	Aveiro	44,503	39,111	13,749	2,417	0,212	0,007	27,334	40,476	23,975	7,101	1,051	0,062	19,662	37,795	29,059	11,171	2,147	0,165
Escola Secundária 7	Ovar	52,841	35,951	9,784	1,331	0,091	0,002	32,754	40,960	20,489	5,124	0,641	0,032	24,518	39,800	25,842	8,390	1,362	0,088
Escola Secundária 8	Águeda	64,072	29,831	5,555	0,517	0,024	0,000	45,388	38,840	13,295	2,275	0,195	0,007	36,674	40,738	18,101	4,021	0,447	0,020
Escola Secundária 9	São João da Madeira	82,443	16,228	1,278	0,050	0,001	0,000	70,517	25,513	3,692	0,267	0,010	0,000	63,834	29,979	5,632	0,529	0,025	0,000
Escola Secundária 10	Espinho	66,422	28,319	4,829	0,412	0,018	0,000	48,289	37,841	11,861	1,859	0,146	0,005	39,617	40,298	16,396	3,336	0,339	0,014
Escola Secundária 11	Valadares	81,201	17,266	1,469	0,062	0,001	0,000	68,639	26,826	4,194	0,328	0,013	0,000	61,680	31,292	6,350	0,644	0,033	0,001
Escola Secundária 12	Paredes	91,987	7,748	0,261	0,004	0,000	0,000	85,859	13,292	0,823	0,025	0,000	0,000	82,118	16,502	1,326	0,053	0,001	0,000
Escola Secundária 13	Lousada	92,532	7,238	0,226	0,004	0,000	0,000	86,784	12,478	0,718	0,021	0,000	0,000	83,257	15,539	1,160	0,043	0,001	0,000
Escola Secundária 14	Espinho	51,943	36,353	10,177	1,424	0,100	0,003	31,831	40,946	21,069	5,421	0,697	0,036	23,675	39,532	26,404	8,818	1,472	0,098
Escola Secundária 15	Penafiel	82,066	16,545	1,334	0,054	0,001	0,000	69,944	25,919	3,842	0,285	0,011	0,000	63,175	30,388	5,847	0,562	0,027	0,001
Escola Secundária 16	Figueira da Foz	78,893	19,154	1,860	0,090	0,002	0,000	65,217	29,103	5,195	0,464	0,021	0,000	52,427	36,138	9,964	1,374	0,095	0,003
Escola Secundária 17	Porto	49,070	37,544	11,490	1,758	0,135	0,004	31,760	40,944	21,114	5,444	0,702	0,036	23,611	39,510	26,447	8,851	1,481	0,099
Escola Secundária 18	Porto	82,443	16,228	1,278	0,050	0,001	0,000	70,517	25,513	3,692	0,267	0,010	0,000	63,834	29,979	5,632	0,529	0,025	0,000
Escola Secundária 19	Vila Nova de Gaia	52,634	36,045	9,874	1,352	0,093	0,003	35,408	40,857	18,858	4,352	0,502	0,023	26,978	40,408	24,210	7,252	1,086	0,065
Escola Secundária 20	Porto	52,600	36,060	9,889	1,356	0,093	0,003	35,372	40,860	18,879	4,362	0,504	0,023	26,945	40,402	24,232	7,267	1,090	0,065
Escola Secundária 21	Gondomar	90,820	8,830	0,343	0,007	0,000	0,000	83,898	14,992	1,072	0,038	0,001	0,000	79,713	18,490	1,716	0,080	0,002	0,000
Escola Secundária 22	Porto	56,688	34,074	8,192	0,985	0,059	0,001	36,855	40,717	17,994	3,976	0,439	0,019	28,341	40,643	23,314	6,687	0,959	0,055
Escola Secundária 23	Porto	80,019	18,241	1,663	0,076	0,002	0,000	66,874	28,020	4,696	0,394	0,016	0,000	57,084	33,867	8,037	0,954	0,057	0,001
Escola Secundária 24	Matosinhos	49,776	37,265	11,159	1,671	0,125	0,004	32,469	40,959	20,667	5,214	0,658	0,033	24,258	39,720	26,016	8,520	1,395	0,091
Escola Secundária 25	Porto	82,409	16,257	1,283	0,051	0,001	0,000	70,465	25,550	3,706	0,269	0,010	0,000	63,775	30,017	5,651	0,532	0,025	0,000

Tabela A. 10 – Resultados obtidos para as percentagens entre os diferentes graus de dano existentes e os respetivos três períodos de retorno de referência.

Escola Secundária	Localização Secundária	Período de retorno 95 anos						Período de retorno 475 anos						Período de retorno 975 anos					
		(Dk<1)	(1<Dk<2)	(2<Dk<3)	(3<Dk<4)	(4<Dk<5)	(Dk>5)	(Dk<1)	(1<Dk<2)	(2<Dk<3)	(3<Dk<4)	(4<Dk<5)	(Dk>5)	(Dk<1)	(1<Dk<2)	(2<Dk<3)	(3<Dk<4)	(4<Dk<5)	(Dk>5)
Escola Secundária 26	Porto	58,000	33,379	7,684	0,884	0,051	0,001	38,307	40,521	17,145	3,627	0,384	0,016	29,724	40,813	22,416	22,416	0,845	0,046
Escola Secundária 27	Porto	76,527	21,031	2,312	0,127	0,003	0,000	61,804	31,218	6,308	0,637	0,032	0,001	54,004	35,409	9,287	1,218	0,080	0,002
Escola Secundária 28	Porto	88,746	10,723	0,518	0,013	0,000	0,000	80,469	17,871	1,588	0,071	0,002	0,000	75,558	21,782	2,512	0,145	0,004	0,000
Escola Secundária 29	Vila Nova de Gaia	76,893	20,745	2,239	0,121	0,003	0,000	62,326	30,906	6,130	0,608	0,030	0,001	51,839	36,399	10,223	1,436	0,101	0,003
Escola Secundária 30	Maia	79,847	18,381	1,692	0,078	0,002	0,000	68,828	26,696	4,142	0,321	0,012	0,000	61,896	31,163	6,276	0,632	0,032	0,001
Escola Secundária 31	Guimarães	93,128	6,678	0,192	0,003	0,000	0,000	88,746	10,723	0,518	0,013	0,000	0,000	84,516	14,460	0,990	0,034	0,001	0,000
Escola Secundária 32	Guimarães	64,338	29,663	5,470	0,504	0,023	0,000	48,573	37,734	11,725	1,822	0,142	0,004	39,908	40,243	16,232	3,274	0,330	0,013
Escola Secundária 33	Braga	40,854	40,049	15,704	3,079	0,302	0,012	23,998	39,638	26,189	8,651	1,429	0,094	16,793	36,005	30,879	13,241	2,839	0,243
Escola Secundária 34	Braga	83,127	15,650	1,179	0,044	0,001	0,000	73,524	23,323	2,959	0,188	0,006	0,000	67,322	27,721	4,566	0,376	0,015	0,000
Escola Secundária 35	Braga	65,304	29,047	5,168	0,460	0,020	0,000	49,741	37,279	11,176	1,675	0,126	0,004	41,109	39,993	15,563	3,028	0,295	0,011
Escola Secundária 36	Braga	83,094	15,678	1,183	0,045	0,001	0,000	73,476	23,359	2,970	0,189	0,006	0,000	67,266	27,758	4,582	0,378	0,016	0,000
Escola Secundária 37	Barcelos	75,625	21,730	2,498	0,144	0,004	0,000	65,362	29,010	5,150	0,457	0,020	0,000	55,322	34,768	8,740	1,099	0,069	0,002
Escola Secundária 38	Vila do Conde	83,274	15,525	1,158	0,043	0,001	0,000	73,738	23,163	2,910	0,183	0,006	0,000	67,572	27,553	4,494	0,366	0,015	0,000
Escola Secundária 39	Póvoa de Varzim	83,290	15,511	1,155	0,043	0,001	0,000	73,761	23,145	2,905	0,182	0,006	0,000	67,599	27,534	4,486	0,365	0,015	0,000
Escola Secundária 40	Paços de Ferreira	83,061	15,706	1,188	0,045	0,001	0,000	71,463	24,836	3,453	0,240	0,008	0,000	67,210	27,795	4,598	0,380	0,016	0,000
Escola Secundária 41	Bragança	72,971	23,734	3,088	0,201	0,007	0,000	54,174	35,328	9,215	1,202	0,078	0,002	51,422	36,580	10,409	1,481	0,105	0,003
Escola Secundária 42	Viana do Castelo	77,569	20,212	2,107	0,110	0,003	0,000	70,049	25,845	3,814	0,281	0,010	0,000	58,293	33,221	7,573	0,863	0,049	0,001
Escola Secundária 43	Famalicão	82,929	15,817	1,207	0,046	0,001	0,000	73,237	23,537	3,026	0,194	0,006	0,000	66,986	27,945	4,663	0,389	0,016	0,000
Escola Secundária 44	Lisboa	58,648	33,026	7,439	0,838	0,047	0,001	36,131	40,794	18,424	4,160	0,470	0,021	27,657	40,534	23,763	6,965	1,021	0,060
Escola Secundária 45	Lisboa	17,653	36,596	30,345	12,581	2,608	0,216	5,887	22,432	34,188	26,053	9,927	1,513	3,211	15,881	31,418	31,078	15,371	3,041
Escola Secundária 46	Lisboa	24,128	39,680	26,102	8,585	1,412	0,093	7,946	26,201	34,558	22,790	7,515	0,991	5,522	21,668	34,008	26,687	10,471	1,643
Escola Secundária 47	Lisboa	17,907	36,761	30,186	12,393	2,544	0,209	4,964	20,432	33,639	27,691	11,398	1,876	2,640	14,107	30,148	32,215	17,212	3,678
Escola Secundária 48	Lisboa	26,372	40,281	24,610	7,518	1,148	0,070	9,173	28,092	34,412	21,077	6,455	0,791	6,475	23,596	34,395	25,068	9,135	1,332
Escola Secundária 49	Lisboa	29,515	40,792	22,551	6,233	0,861	0,048	11,027	30,556	33,869	18,770	5,201	0,577	6,655	23,936	34,439	24,776	8,912	1,282
Escola Secundária 50	Lisboa	14,126	33,839	32,424	15,534	3,721	0,357	3,452	16,580	31,853	30,597	14,695	2,823	1,746	10,887	27,149	33,851	21,104	5,263

Tabela A. 11 – Resultados obtidos para as percentagens entre os diferentes graus de dano existentes e os respetivos três períodos de retorno de referência

Escola Secundária	Localização Secundária	Período de retorno 95 anos					Período de retorno 475 anos					Período de retorno 975 anos							
		(Dk<1)	(1<Dk<2)	(2<Dk<3)	(3<Dk<4)	(4<Dk<5)	(Dk>5)	(Dk<1)	(1<Dk<2)	(2<Dk<3)	(3<Dk<4)	(4<Dk<5)	(Dk>5)	(Dk<1)	(1<Dk<2)	(2<Dk<3)	(3<Dk<4)	(4<Dk<5)	(Dk>5)
Escola Secundária 51	Benavente	25,109	39,968	25,449	8,102	1,290	0,082	9,992	29,233	34,212	20,020	5,857	0,686	5,929	22,517	34,206	34,206	9,868	1,499
Escola Secundária 52	Beja	35,697	40,834	18,684	4,274	0,489	0,022	11,329	30,918	33,753	18,423	5,028	0,549	6,869	24,334	34,483	24,432	8,655	1,227
Escola Secundária 53	Portalegre	78,992	19,074	1,842	0,089	0,002	0,000	62,994	30,499	5,907	0,572	0,028	0,001	52,600	36,060	9,889	1,356	0,093	0,003
Escola Secundária 54	Póvoa Santo Adrião	79,130	18,963	1,818	0,087	0,002	0,000	63,205	30,369	5,837	0,561	0,027	0,001	55,557	34,651	8,645	1,078	0,067	0,002
Escola Secundária 55	Lisboa	28,961	40,728	22,910	6,444	0,906	0,051	10,688	30,138	33,991	19,169	5,405	0,610	6,416	23,482	34,378	25,165	9,211	1,348
Escola Secundária 56	Lisboa	23,804	39,575	26,318	8,751	1,455	0,097	7,776	25,919	34,560	23,041	7,680	1,024	5,391	21,386	33,932	26,919	10,678	1,694
Escola Secundária 57	Lisboa	62,964	30,518	5,917	0,574	0,028	0,001	38,235	40,532	17,187	3,644	0,386	0,016	32,469	40,959	20,667	5,214	0,658	0,033
Escola Secundária 58	Lisboa	63,145	30,406	5,857	0,564	0,027	0,001	38,453	40,498	17,061	3,594	0,378	0,016	32,683	40,960	20,533	5,147	0,645	0,032
Escola Secundária 59	Évora	71,939	24,491	3,335	0,227	0,008	0,000	47,112	38,266	12,433	2,020	0,164	0,005	38,416	40,504	17,082	3,602	0,380	0,016
Escola Secundária 60	Seixal	49,670	37,307	11,209	1,684	0,126	0,004	26,810	40,374	24,321	7,325	1,103	0,066	19,205	37,543	29,356	11,477	2,244	0,175
Escola Secundária 61	Lisboa	59,227	32,706	7,224	0,798	0,044	0,001	36,783	40,725	18,036	3,994	0,442	0,020	28,272	40,633	23,359	6,714	0,965	0,055
Escola Secundária 62	Coimbra	70,101	25,808	3,801	0,280	0,010	0,000	53,013	35,872	9,710	1,314	0,089	0,002	38,707	40,457	16,915	3,536	0,370	0,015
Escola Secundária 63	Leiria	72,630	23,985	3,168	0,209	0,007	0,000	53,697	35,554	9,417	1,247	0,083	0,002	48,111	37,907	11,947	1,883	0,148	0,005
Escola Secundária 64	Almada	77,694	20,113	2,083	0,108	0,003	0,000	63,476	30,202	5,748	0,547	0,026	0,000	53,150	35,809	9,650	1,300	0,088	0,002
Escola Secundária 65	Lisboa	22,306	39,029	27,316	9,559	1,672	0,117	7,009	24,590	34,506	24,210	8,493	1,192	4,808	20,070	33,512	27,980	11,680	1,950
Escola Secundária 66	Lisboa	55,423	34,718	8,699	1,090	0,068	0,002	38,380	40,510	17,103	3,610	0,381	0,016	29,794	40,820	22,371	6,130	0,840	0,046
Escola Secundária 67	Lisboa	50,794	36,847	10,692	1,551	0,113	0,003	27,896	40,574	23,606	6,867	0,999	0,058	20,155	38,053	28,738	10,851	2,049	0,155
Escola Secundária 68	Amadora	56,655	34,091	8,205	0,987	0,059	0,001	33,933	40,940	19,757	4,767	0,575	0,028	25,605	40,099	25,119	7,868	1,232	0,077
Escola Secundária 69	Bombarral	68,122	27,180	4,338	0,346	0,014	0,000	44,738	39,041	13,628	2,378	0,208	0,007	36,022	40,804	18,489	4,189	0,474	0,021
Escola Secundária 70	Alcácer do Sal	60,590	31,931	6,731	0,709	0,037	0,001	35,444	40,854	18,836	4,342	0,500	0,023	21,806	38,823	27,648	9,845	1,753	0,125
Escola Secundária 71	Loures	51,422	36,580	10,409	1,481	0,105	0,003	28,513	40,668	23,202	6,619	0,944	0,054	20,699	38,322	28,380	10,509	1,946	0,144
Escola Secundária 72	Marinha Grande	30,282	40,863	22,056	5,952	0,803	0,043	11,504	31,123	33,682	18,226	4,931	0,534	8,330	26,817	34,535	22,237	7,159	0,922
Escola Secundária 73	Beja	32,256	40,956	20,801	5,282	0,671	0,034	9,364	28,366	34,372	20,825	6,309	0,764	6,624	23,880	34,432	24,824	8,949	1,290
Escola Secundária 74	Elvas	76,046	21,405	2,410	0,136	0,004	0,000	58,584	33,062	7,463	0,842	0,048	0,001	47,648	38,076	12,171	1,945	0,155	0,005
Escola Secundária 75	Leiria	42,963	39,543	14,558	2,680	0,247	0,009	20,790	38,366	28,320	10,452	1,929	0,142	18,421	37,083	29,860	12,022	2,420	0,195

Tabela A. 12 – Resultados obtidos para as percentagens entre os diferentes graus de dano existentes e os respetivos três períodos de retorno de referência.

Escola Secundária	Localização Secundária	Período de retorno 95 anos					Período de retorno 475 anos					Período de retorno 975 anos							
		(Dk<1)	(1<Dk<2)	(2<Dk<3)	(3<Dk<4)	(4<Dk<5)	(Dk>5)	(Dk<1)	(1<Dk<2)	(2<Dk<3)	(3<Dk<4)	(4<Dk<5)	(Dk>5)	(Dk<1)	(1<Dk<2)	(2<Dk<3)	(3<Dk<4)	(4<Dk<5)	(Dk>5)
Escola Secundária 76	Almada	19,234	37,559	29,337	11,457	2,237	0,175	6,685	23,993	34,446	24,727	8,875	1,274	3,717	17,318	32,273	32,273	14,010	2,611
Escola Secundária 77	Alcobaça	66,874	28,020	4,696	0,394	0,016	0,000	43,108	39,505	14,481	2,654	0,243	0,009	40,199	40,185	16,069	3,213	0,321	0,013
Escola Secundária 78	Coimbra	42,019	39,782	15,066	2,853	0,270	0,010	22,464	39,092	27,211	9,471	1,648	0,115	13,488	33,237	32,760	16,145	3,978	0,392
Escola Secundária 79	Tomar	39,326	40,351	16,561	3,399	0,349	0,014	22,653	39,165	27,085	9,365	1,619	0,112	15,664	35,153	31,556	14,164	3,179	0,285
Escola Secundária 80	Mafra	83,257	15,539	1,160	0,043	0,001	0,000	69,707	26,085	3,904	0,292	0,011	0,000	65,275	29,066	5,177	0,461	0,021	0,000
Escola Secundária 81	Montemor-O-Velho	91,190	8,488	0,316	0,006	0,000	0,000	83,257	15,539	1,160	0,043	0,001	0,000	75,558	21,782	2,512	0,145	0,004	0,000
Escola Secundária 82	Ourém	71,184	25,037	3,522	0,248	0,009	0,000	48,892	37,612	11,574	1,781	0,137	0,004	43,145	39,495	14,462	2,648	0,242	0,009
Escola Secundária 83	Queluz	57,183	33,815	7,999	0,946	0,056	0,001	34,508	40,915	19,405	4,601	0,546	0,026	26,138	40,228	24,765	7,623	1,173	0,072
Escola Secundária 84	Pombal	51,665	36,475	10,300	1,454	0,103	0,003	31,548	40,937	21,248	5,514	0,716	0,037	20,912	38,424	28,240	10,378	1,907	0,140
Escola Secundária 85	Ponte de Sôr	85,113	13,943	0,914	0,030	0,000	0,000	72,752	23,895	3,139	0,206	0,007	0,000	68,639	26,826	4,194	0,328	0,013	0,000
Escola Secundária 86	Vila Viçosa	71,437	24,855	3,459	0,241	0,008	0,000	54,784	35,034	8,961	1,146	0,073	0,002	43,507	39,396	14,270	2,584	0,234	0,008
Escola Secundária 87	Caldas da Rainha	69,416	26,288	3,982	0,302	0,011	0,000	46,467	38,488	12,752	2,112	0,175	0,006	40,673	40,088	15,805	3,116	0,307	0,012
Escola Secundária 88	Lisboa	50,233	37,080	10,948	1,616	0,119	0,004	27,351	40,480	23,964	7,093	1,050	0,062	19,677	37,803	29,050	11,162	2,144	0,165
Escola Secundária 89	Estremoz	71,589	24,745	3,421	0,237	0,008	0,000	54,986	34,934	8,878	1,128	0,072	0,002	43,725	39,336	14,155	2,547	0,229	0,008
Escola Secundária 90	Vila Franca de Xira	60,716	31,858	6,687	0,702	0,037	0,001	38,489	40,492	17,040	3,585	0,377	0,016	32,718	40,960	20,511	5,135	0,643	0,032
Escola Secundária 91	Santarém	39,944	40,236	16,212	3,266	0,329	0,013	18,335	37,030	29,915	12,083	2,440	0,197	14,052	33,770	32,464	15,604	3,750	0,360
Escola Secundária 92	Salvaterra de Magos	53,081	35,841	9,680	1,307	0,088	0,002	33,004	40,959	20,333	5,047	0,626	0,031	24,747	39,867	25,690	8,277	1,333	0,086
Escola Secundária 93	Sintra	64,721	29,421	5,350	0,486	0,022	0,000	43,290	39,456	14,385	2,622	0,239	0,009	37,472	40,640	17,631	3,824	0,415	0,018
Escola Secundária 94	Barreiro	58,648	33,026	7,439	0,838	0,047	0,001	39,035	40,402	16,727	3,463	0,358	0,015	27,657	40,534	23,763	6,965	1,021	0,060
Escola Secundária 95	Portalegre	54,919	34,968	8,906	1,134	0,072	0,002	29,273	40,765	22,708	6,325	0,881	0,049	16,711	35,946	30,929	13,306	2,862	0,246
Escola Secundária 96	Setúbal	20,608	38,278	28,440	10,565	1,963	0,146	8,800	27,540	34,478	21,582	6,755	0,846	2,731	14,400	30,375	32,037	16,895	3,564
Escola Secundária 97	Oeiras	25,076	39,959	25,471	8,118	1,294	0,082	8,454	27,013	34,523	22,061	7,049	0,901	5,915	22,488	34,200	26,006	9,887	1,504
Escola Secundária 98	Abrantes	44,630	39,074	13,684	2,396	0,210	0,007	27,453	40,498	23,897	7,051	1,040	0,061	17,457	36,465	30,468	12,729	2,659	0,222
Escola Secundária 99	Santo Tirso	65,391	28,991	5,141	0,456	0,020	0,000	52,634	36,045	9,874	1,352	0,093	0,003	44,123	39,223	13,946	2,479	0,220	0,008
Escola Secundária 100	Lisboa	60,181	32,167	6,877	0,735	0,039	0,001	37,871	40,585	17,398	3,729	0,400	0,017	29,307	40,769	22,685	6,312	0,878	0,049

Tabela A. 13 – Resultados obtidos para as percentagens entre os diferentes graus de dano existentes e os respetivos três períodos de retorno de referência.

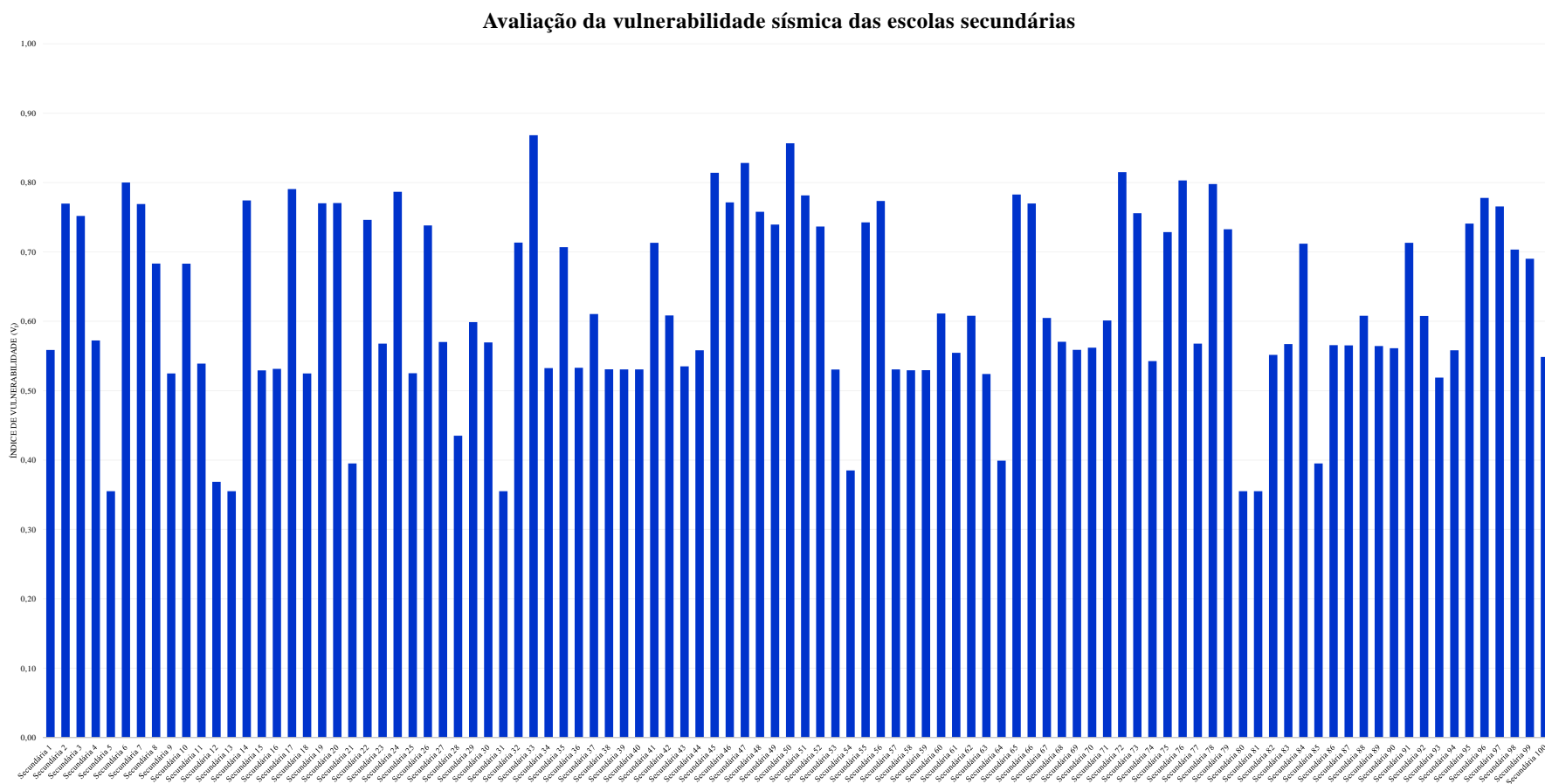


Gráfico A. 1 – Representação gráfica dos resultados obtidos dos índices de vulnerabilidade para as diferentes escolas disponibilizadas pelo Parque Escolar, E.P.E.

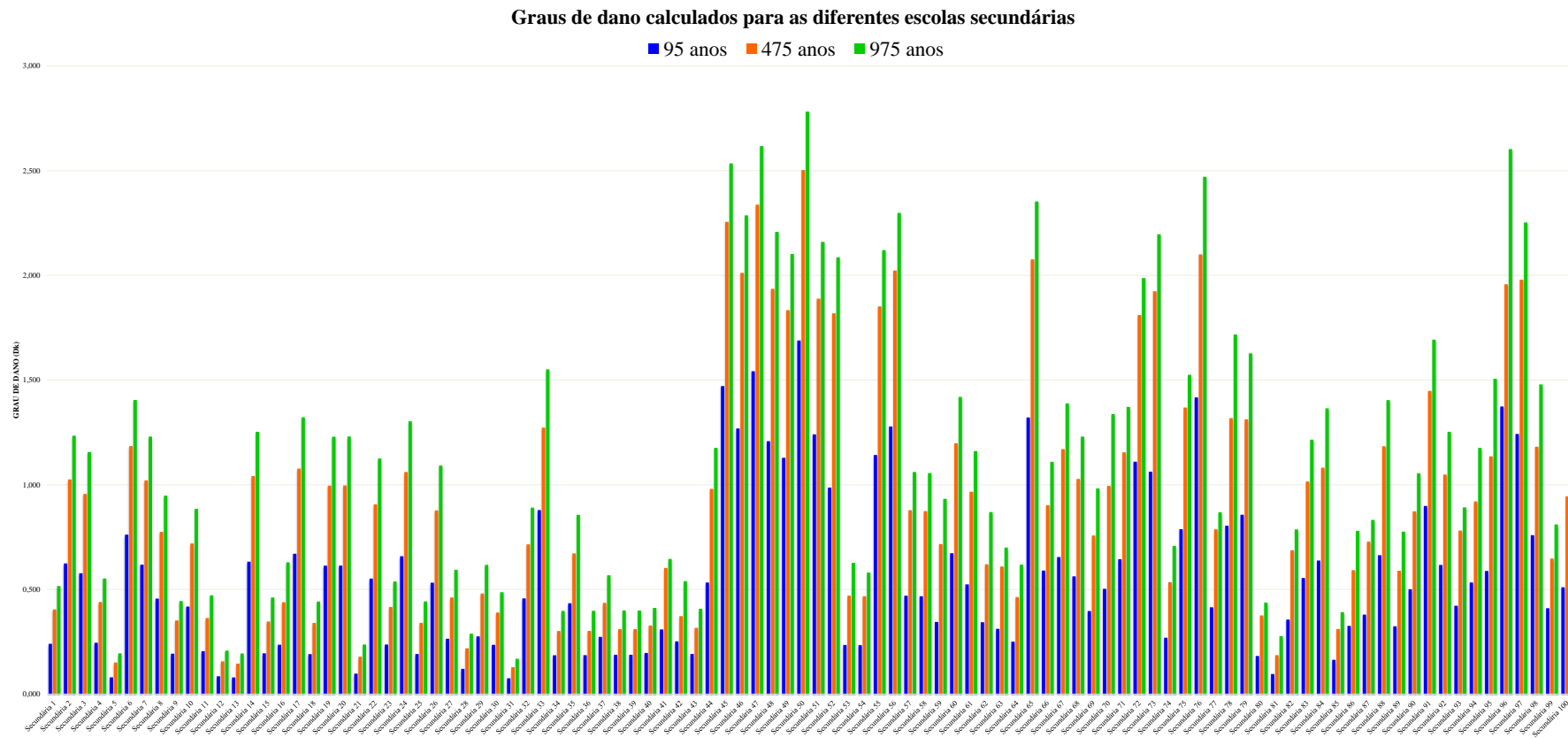


Gráfico A. 2 – Representação gráfica dos resultados obtidos dos graus de dano calculados relativamente aos três períodos de retorno de referência para as diferentes escolas disponibilizadas pelo Parque Escolar, E.P.E.