



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS  
Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica  
de Estruturas

Proc. 0305/14/15791

**RELATÓRIO DE ACTIVIDADE DO PROJECTO USUET**  
**“Análise Sistémica do Risco Sísmico: Uma Visão Integrada.**  
**Aplicação a Centros Urbanos nos Açores”**

Lisboa • Outubro de 2007

**I&D** ESTRUTURAS

RELATÓRIO 299/2007 – NESDE



**RELATÓRIO DE ACTIVIDADE DO PROJECTO USuET  
«ANÁLISE SISTÉMICA DO RISCO SÍSMICO:  
UMA VISÃO INTEGRADA.  
APLICAÇÃO A CENTROS URBANOS NOS AÇORES»**

**ACTIVITY REPORT OF THE USuET PROJECT  
«URBAN SYSTEM UNDER EARTHQUAKE THREAT:  
AN INTEGRATED GLOBAL APPROACH.  
APPLICATION TO THE AZORES»**

**RAPPORT D'ACTIVITÉ DU PROJECT USuET  
«SYSTÈMES URBAINS SOUS MENACE SISMIQUE:  
UN ABORDAGE INTEGRÉ.  
APPLICATION AUX AÇORES»**



## ÍNDICE

1	Introdução.....	1
2	Metodologia de análise do risco sísmico.....	3
2.1	Terminologia e definição de conceitos.....	3
2.2	Modelação de perdas em consequência de sismos.....	6
3	Inventário dos elementos em risco.....	9
3.1	Apuramentos efectuados nos Censos 2001.....	9
3.2	Estatísticas dos elementos em risco.....	12
3.3	Distribuição geográfica dos elementos em risco.....	25
3.4	Análise do inventário dos elementos em risco.....	27
3.4.1	Análise das estatísticas dos elementos em risco.....	27
3.4.2	Análise da distribuição geográfica dos elementos em risco.....	30
4	Actualização do Simulador de Cenários Sísmicos para o Arquipélago dos Açores.....	31
4.1	O Simulador de Cenários Sísmicos.....	31
4.1.1	Apresentação.....	31
4.1.2	Dados.....	32
4.1.3	Procedimentos.....	35
4.2	Actualização do Simulador de Cenários Sísmicos.....	41
5	Conclusões e trabalho futuro.....	43
6	Referências.....	47



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Modelação probabilística do risco sísmico [Sousa 2007]. .....	6
Figura 2 – Número de edifícios por época de construção.....	13
Figura 3 – Número de alojamentos por época de construção.....	13
Figura 4 – Número de ocupantes por época de construção.....	14
Figura 5 – Razão entre o número de alojamentos e o número de edifícios, por época de construção.....	14
Figura 6 – Razão entre o número de ocupantes e o número de alojamentos, por época de construção.....	15
Figura 7 – Número de edifícios por tipo de estrutura. ....	17
Figura 8 – Número de edifícios por época de construção e tipo de estrutura. ....	18
Figura 9 – Percentagem de edifícios por tipo de estrutura dada a época de construção. ....	18
Figura 10 – Número de edifícios por número de pavimentos. ....	19
Figura 11 – Número de edifícios por época de construção e número de pavimentos ....	20
Figura 12 – Percentagem de edifícios por número de pavimentos dada a época de construção.....	20
Figura 13 – Número de edifícios por número de pavimentos e tipo de estrutura. ....	21
Figura 14 – Percentagem de edifícios por tipo de estrutura dado o número de pavimentos.....	21
Figura 15 – Número de edifícios por Necessidade de Reparações Na estrutura.....	23
Figura 16 – Número de edifícios por Necessidade de Reparações Na estrutura, dada a época de construção. ....	23
Figura 17 – Densidade de edifícios no grupo Ocidental do Arquipélago dos Açores....	25
Figura 18 – Densidade de edifícios no grupo Central do Arquipélago dos Açores. ....	26
Figura 19 - Densidade de edifícios no grupo Oriental do Arquipélago dos Açores.....	26
Figura 20 – Fluxograma do Simulador (IM = Intensidade Macrossísmica; ER = Espectro de Resposta [Sousa, 2006]. ....	33

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Factores de vulnerabilidade e respectivas modalidades (Censos 2001). ....	11
Quadro 2 – Modalidades das variáveis Necessidade de Reparações e Estado de conservação. ....	12
Quadro 3 – Valores totais das existências dos elementos em risco no Arquipélago dos Açores. ....	12
Quadro 4 – Percentagem de existências em edifícios construídos em data anterior à da entrada em vigor do primeiro regulamento de projecto sismo-resistente. ....	16
Quadro 5 – Existências em edifícios de Betão armado construídos durante a vigência dos regulamentos de projecto sismo-resistente. ....	17
Quadro 6 – Distribuição de elementos em risco por número de pavimentos dos edifícios. ....	19
Quadro 7 – Tipos de estruturas predominantes em cada época de construção dos edifícios do Arquipélago dos Açores. ....	22
Quadro 8 - Quantitativos de edifícios por época de construção, tipo de estrutura e número de pavimentos (Censos 2001). ....	24
Quadro 9 – Conversão de indicadores de dano em perdas económicas. ....	39



**RELATÓRIO DE ACTIVIDADE DO PROJECTO USuET  
«ANÁLISE SISTÉMICA DO RISCO SÍSMICO:  
UMA VISÃO INTEGRADA.  
APLICAÇÃO A CENTROS URBANOS NOS AÇORES»**

## **1 Introdução**

---

O projecto de investigação USuET «Análise sistémica do risco sísmico: uma visão integrada. Aplicação a centros urbanos nos Açores», tem o objectivo de desenvolver o conhecimento sobre o comportamento sísmico de regiões urbanas e mitigar o risco decorrente de sismos no Arquipélago dos Açores. Pretende-se assim analisar possíveis cenários de risco sísmico na região e ter uma percepção integrada do impacto económico e social de sismos neste Arquipélago.

Este projecto é financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, é coordenado pelo Instituto Superior Técnico (IST) e tem como parceiros o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), a Universidade dos Açores (UA) e o Instituto de Engenharia de Estruturas, Território e Construção (ICIST/IST/UTL).

A participação do LNEC neste projecto de investigação visa a actualização do Simulador de Cenários Sísmicos deste Laboratório, para modelar em qualquer parcela do território Açoriano, e recorrendo a um Sistema de Informação Geográfico (SIG), os danos no edificado habitacional, as perdas humanas e as perdas económicas em consequência de um cenário sísmico de ocorrência especificado.

A actividade do LNEC neste projecto teve o seu início efectivo no primeiro semestre de 2006, tendo, desde essa data, sido efectuadas as seguintes tarefas:

1. Recolha da informação necessária para o desenvolvimento do projecto no que toca ao levantamento exaustivo do parque habitacional e seus ocupantes para o Arquipélago dos Açores. Para o efeito, foi formulado um pedido de acesso a dados do Instituto Nacional de Estatística (INE), via Observatório das Ciências e do Ensino Superior, mais concretamente o acesso a informação dos Censos 2001.
2. Alargamento do âmbito geográfico de aplicação do Simulador de Cenários Sísmicos ao Arquipélago dos Açores.
3. Inclusão no Simulador de um modelo publicado recentemente sobre a avaliação de perdas humanas em consequência de sismos [LESSLOSS, 2007].

4. Aferição do Simulador de Cenários Sísmicos relativamente à vulnerabilidade sísmica dos elementos em risco (parque habitacional e seus ocupantes) do Arquipélago dos Açores. Esta tarefa encontra-se actualmente em fase de desenvolvimento e, uma vez cumprida, permitirá avaliar o impacto de sismos sobre regiões urbanas deste Arquipélago, recorrendo ao conceito de cenário sísmico, ao qual se poderá associar uma dada probabilidade de ocorrência. Este tipo de informação é essencial para o desenvolvimento de planos de emergência que contemplem o risco sísmico no Arquipélago dos Açores.

O presente estudo encontra-se organizado em cinco capítulos. Assim, nesta *Introdução* apresenta-se o projecto de investigação USuET, os seus objectivos globais e o objectivo da contribuição do LNEC para o projecto. Resume-se ainda a actividade desenvolvida até à presente data e refere-se a estrutura do relatório.

No capítulo 2, *Metodologias de análise do risco sísmico* apresenta-se a abordagem teórica dos temas tratados e descreve-se a metodologia de análise do risco sísmico que será aplicada no presente projecto. Esta metodologia encontra-se apresentada com maior detalhe no trabalho de Sousa [2006].

No capítulo 3 procede-se ao *Inventário dos elementos em risco* do Arquipélago dos Açores em termos de quantitativos habitacionais e populacionais, adoptando-se a freguesia como unidade de análise elementar. Este levantamento foi efectuado com base na informação estatística dos Censos 2001 [INE, 2003] tendo em consideração a distribuição geográfica dos elementos expostos ao risco sísmico e os factores de vulnerabilidade sísmica possíveis de apurar nestes recenseamentos.

O capítulo 4 trata da *Actualização do Simulador de Cenários Sísmicos para o Arquipélago dos Açores*. Este capítulo inicia-se com a apresentação do Simulador, dos dados necessários à sua operação e com a especificação dos procedimentos disponibilizados por esta ferramenta. Refere-se ainda a forma como o Simulador tem vindo a ser actualizado no contexto do presente projecto.

Finalmente, no capítulo 5 apresentam-se as principais *Conclusões* resultantes da actividade desenvolvida e perspectiva-se o *trabalho futuro* no âmbito do presente projecto.

## 2 Metodologia de análise do risco sísmico

---

### 2.1 Terminologia e definição de conceitos

A definição de conceitos é essencial num estudo de risco sísmico de modo a tornar o texto mais conciso, explícito e matematicamente consistente. Efectivamente, apesar dos principais conceitos já se encontrarem definidos por convenções internacionais eles têm sido utilizados ao longo do tempo com diversos significados, quer em sentido lato quer em sentido estrito [McGuire, 2004], provavelmente devido à interdisciplinaridade da matéria, ao facto do tema ser relativamente recente e de, muitas vezes, os termos técnicos não chegarem a ser formalizados matematicamente.

Os conceitos principais utilizados em trabalhos de avaliação do risco sísmico são também comuns a outros tipos de catástrofes naturais. Os esforços para a harmonização destes conceitos culminaram em 1979, quando um grupo de trabalho patrocinado pelas Nações Unidas estabeleceu uma convenção que inclui um conjunto de definições básicas neste domínio [UNDRO, 1979, citado por Barbat e Pujades, 2004; Caicedo *et al.*, 1994; Coburn *et al.*, 1994 e Sandi, 1986].

Com base nas referências acima mencionadas, mas também em aplicações efectuadas em Portugal no domínio dos fenómenos sísmicos, apresentam-se as principais definições adoptadas neste trabalho aplicáveis ao tema da avaliação do risco de qualquer tipo de fenómeno natural, mas aqui particularizadas para a temática do risco sísmico [Sousa, 2006 e Sousa *et al.*, 2007].

Para clarificar os conceitos anteriormente apresentados, Barbat e Pujades [2004] referem-se à perigosidade, ou ameaça, como sendo um perigo potencial, ou um factor de risco externo aos elementos expostos, enquanto que a vulnerabilidade, consistindo na propensão intrínseca para os elementos em risco serem danificados, é entendida como um factor de risco interno ao sistema em análise.

Seguindo a proposta de Sandi [1986] o primeiro conceito que deve ser definido no âmbito de uma análise de risco sísmico é o de *ambiente ou sistema construído*. Este pode ser composto por estruturas individuais, como edifícios, ou englobar um sistema integrado de estruturas que incluam diversas componentes como as redes de água, energia, comunicações e transportes de uma região urbana. Neste caso, para além de se caracterizar os elementos constituintes do sistema é também necessário localizá-los e identificar a sua função e inter-relações.

Os *elementos em risco* ou *existências* são as entidades que poderão ser afectadas adversamente em caso de sismo, devido ao desempenho do sistema construído. Os habitantes de uma determinada região são exemplo de elementos em risco que podem ser afectados pelos edifícios construídos. Por outro lado, esses edifícios são exemplo de elementos em risco que se confundem com o próprio sistema construído. A definição dos elementos em risco condicionará a forma como é avaliado o risco e terá implicações nas variáveis que o quantificam. Num estudo de risco sísmico é necessário quantificar a *exposição E* desses elementos, ou seja o seu valor. Para o efeito, procede-se a um inventário georeferenciado das existências e do seu valor, evidenciando-se factores capazes de caracterizar a vulnerabilidade dos elementos em risco face à acção sísmica.

A *vulnerabilidade, V*, e a *fragilidade sísmicas* reflectem a capacidade que um determinado elemento em risco tem para resistir, ou para ser afectado, pelo fenómeno natural, sendo condicionada pela acção de um sismo de dada severidade. Os *danos, D*, correspondem aos efeitos físicos adversos causados por um sismo de determinada intensidade sobre o elemento em risco e que podem ser directamente observados num levantamento após a ocorrência do evento [Sandi, 1986]. Importa desde já distinguir o conceito de fragilidade do conceito de vulnerabilidade; assim, uma curva de fragilidade sísmica fornece a probabilidade de um determinado nível de dano ou perda ser igualado ou excedido, condicionado por um dado nível de severidade da acção sísmica, enquanto que uma curva de vulnerabilidade sísmica é definida pelos valores esperados da variável dano ou perda em função da severidade da acção sísmica [Chen e Scawthorn, 2003]. As curvas de fragilidade e vulnerabilidade são normalmente específicas de uma determinada tipologia construtiva.

*Tipologias* são subconjuntos de sistemas construídos com características idênticas em termos da sua vulnerabilidade à acção sísmica. No caso do sistema construído ser um conjunto de edifícios, o critério empregue na classificação das tipologias de edifícios encontra-se explicado em Costa [1990], que sustenta a distinção das tipologias com base no seu desempenho sísmico, o qual é condicionado basicamente pelas respectivas soluções estruturais. Nesta perspectiva, as classes de edifícios serão também designadas de tipologias estruturais ou de tipologias construtivas.

As *perdas, L*, correspondem aos efeitos económicos e sociais adversos estimados a partir do conhecimento dos níveis da acção sísmica ou dos níveis de dano. Os indicadores de perdas medem a severidade das consequências adversas produzidas pela ocorrência de um sismo sobre os elementos em risco. São exemplos de indicadores de perdas, o número de mortos, feridos ou desalojados, o valor de reposição de danos em edifícios, os custos da interrupção de uma dada actividade económica, os custos da

rotura do funcionamento de uma infra-estrutura, etc., números estes avaliados face a um determinado nível de severidade da acção sísmica.

A análise da *perigosidade sísmica*,  $H$ , consiste na estimativa, para um dado local e período de tempo de exposição, da probabilidade de excedência de um determinado nível da acção sísmica, traduzido geralmente por variáveis que medem o movimento do solo (intensidade macrossísmica, aceleração máxima do solo, etc.), ou a resposta estrutural dos edifícios (espectro de resposta, etc.). Em muitas aplicações a perigosidade sísmica é quantificada, de forma aproximada, não pela probabilidade, mas pela frequência (ou número de eventos por unidade de tempo) com que se espera que valores seleccionados do movimento do solo sejam excedidos [McGuire, 2004].

Finalmente, o *risco sísmico específico*,  $\mathcal{R}_S$ , é definido como a probabilidade de se igualar ou exceder um determinado valor de perdas  $L$ , relativas, em consequência da ocorrência de sismos na região e período de exposição especificados, sendo uma função da perigosidade e da vulnerabilidade sísmicos.

Por outro lado o *risco sísmico* ou risco absoluto,  $\mathcal{R}$ , exprime a probabilidade de se igualar ou exceder um determinado valor de perdas ( $L$ ) absolutas em consequência da ocorrência de sismos na região e num período de tempo de exposição especificado, sendo uma função da perigosidade, da vulnerabilidade e do valor dos elementos em risco (exposição).

Nesta situação, o que distingue a fragilidade sísmica do risco sísmico específico é que a primeira é avaliada pelo grau de dano ou perda resultante de um dado nível da acção sísmica, enquanto que o risco específico integra os danos ou perdas esperadas para todos os níveis da acção sísmica, tendo em consideração a respectiva probabilidade de ocorrência, ou seja, a perigosidade sísmica [Coburn *et al.*, 1994].

Os valores esperados das perdas económicas e humanas (mortos feridos e desalojados) para um intervalo de tempo de exposição e região sísmica são exemplos de indicadores de risco sísmico absoluto correntemente utilizados. Os indicadores de risco sísmico específico resultam da normalização dos indicadores de risco absoluto pelo valor global dos elementos em risco, ou seja, pela exposição.

De acordo com os conceitos atrás definidos a modelação probabilística do risco sísmico recorre à expressão seguinte [Sousa, 2007]:

$$P(L > l) = \int_D \int_H P(L > l | d) P(D > d | h) f_H(h) dh dd \quad (1)$$

Esta expressão é ilustrada graficamente na figura 1 para uma tipologia construtiva de vulnerabilidade  $v$ . Note-se que as cores da figura são consentâneas com as da expressão

anterior, em que, a perigosidade é identificada a verde, a vulnerabilidade e dano a azul e o risco a encarnado.

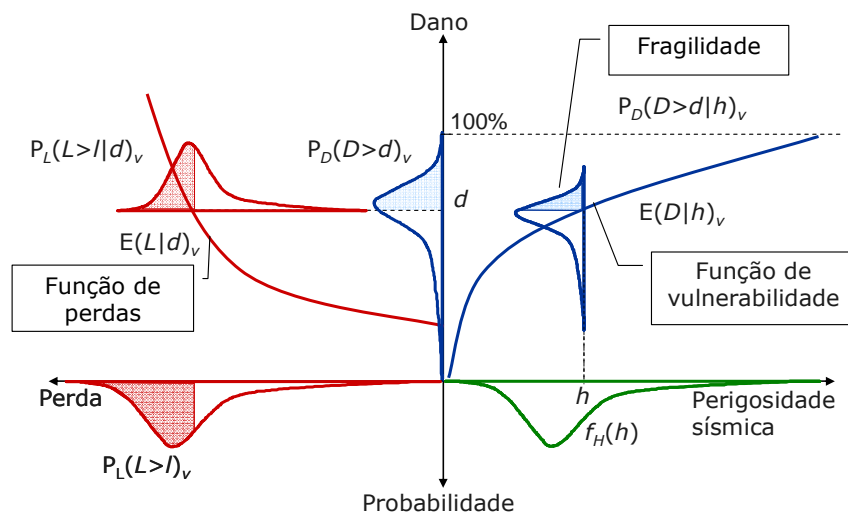


Figura 1 – Modelação probabilística do risco sísmico [Sousa 2007].

## 2.2 Modelação de perdas em consequência de sismos

Nesta secção apresentam-se dois procedimentos possíveis para modelar as perdas em consequência de sismos:

1. A *análise probabilística do risco sísmico*, em que se constrói um modelo probabilístico para avaliação de perdas, que trata muitas das variáveis envolvidas como aleatórias, englobando, nomeadamente, a análise probabilística da perigosidade sísmica e um modelo probabilístico da fragilidade sísmica, tal como se equacionou na secção anterior (expressão 1 e figura 1).
2. A *simulação de perdas a partir de cenários de ocorrência<sup>1</sup> seleccionados deterministicamente*, tais como: (i) eventos descritos por uma acção sísmica semelhante à de sismos ocorridos no passado, (ii) eventos simulados a partir das características da sismicidade da região, ou (iii) sismos ocorridos em tempo quase real. Em rigor, este procedimento não deveria ser apelidado de determinístico, pois apesar da acção sísmica assim o ser, no processo de avaliação das perdas são envolvidas variáveis aleatórias, estando-se perante uma análise probabilística condicionada pela ocorrência de um determinado evento [EERI, 2000].

---

<sup>1</sup> Denominam-se cenários de ocorrência aqueles que caracterizam a acção sísmica num território, sendo assim designados para se distinguirem daqueles que descrevem o impacto dos sismos nesse território, ou seja, os que descrevem os efeitos da acção sísmica e as perdas subsequentes, aqui denominados de cenários de risco sísmico ou de perdas.

O recurso a esta segunda via de modelação de perdas ignora uma das principais vantagens da análise probabilística de perigosidade sísmica que é a de fornecer uma descrição compacta e envolvente de todas as possíveis contribuições da sismicidade para o local em análise. Com efeito, a análise probabilística da perigosidade sísmica integra os efeitos potenciais de todas as fontes sísmicas para estimar a taxa média de excedência de um determinado nível da acção sísmica no local em estudo [McGuire, 1995]. Porém, dada a natureza integradora desta análise, deixa de ser possível caracterizar, com base num único evento, a ameaça sísmica para o local [Bazzurro & Cornell, 1999; Chapman, 1995 e McGuire, 1995], existindo diversas áreas de actuação em que continua a ser imprescindível modelar a acção e as perdas a partir de cenários postulados à partida.

A modelação de perdas a partir de cenários de ocorrência determinísticos constitui uma via possível para contornar dificuldades que surgem, nomeadamente, na avaliação da distribuição de perdas acumuladas numa região, ou no dimensionamento de recursos a afectar a um sistema de gestão de emergência, etc., mas possui a desvantagem de não incluir um critério objectivo para a selecção do cenário.

Uma abordagem possível à resolução do problema de selecção do cenário de ocorrência, passa pela sua identificação com base na desagregação da perigosidade sísmica [Sousa, 2006; Sousa & Carvalho, 2001 e Sousa *et al.*, 2001] passando os cenários de ocorrência assim identificados a serem apelidados de *cenários de perigosidade sísmica*. Este procedimento constitui um compromisso entre a opção por cenários de ocorrência seleccionados *a priori*, de forma determinística, e a opção pela caracterização da acção com base nos resultados da análise probabilística da perigosidade sísmica.

Neste projecto, e conforme previsto no plano de trabalhos, as perdas em consequência de sismos vão ser avaliadas para cenários de ocorrência criteriosamente escolhidos para o Arquipélago dos Açores. Mais concretamente, serão avaliados os danos no parque edificado habitacional, as perdas económicas e as perdas humanas.





### 3 Inventário dos elementos em risco

---

#### 3.1 Apuramentos efectuados nos Censos 2001

No primeiro trimestre de 2006 iniciou-se o processo de recolha de informação dos elementos expostos ao risco sísmico no Arquipélago dos Açores tendo-se formulado o pedido de acesso a dados estatísticos do Instituto Nacional de Estatística, via Observatório das Ciências e do Ensino Superior, nos moldes que a seguir se descrevem.

O inventário dos elementos em risco baseou-se no XIV Recenseamento Geral da População e no IV Recenseamento Geral da Habitação (Censos 2001) realizados pelo Instituto Nacional de Estatística em 2001 [INE, 2002]. Com efeito, os Censos 2001 englobam o único recenseamento exaustivo efectuado sobre o parque habitacional de Portugal.

Neste levantamento adoptou-se a freguesia como unidade geográfica de análise, pois a recolha de informação estatística de um nível mais desagregado, e tendo em conta os cruzamentos solicitados, originaria problemas de confidencialidade estatística.

Pretendeu-se que a recolha efectuada sobre a informação estatística dos Censos 2001 cumprisse três objectivos principais: (i) apurar os quantitativos de edifícios habitacionais e da população residente no Arquipélago dos Açores, (ii) conhecer a distribuição geográfica destes elementos expostos ao risco sísmico e (iii) caracterizar a vulnerabilidade sísmica das tipologias construtivas mais representativas e frequentes do Arquipélago dos Açores.

As unidades estatísticas primárias *edifício*, *alojamento* e *indivíduo*, observadas nos Censos 2001, foram assim identificadas como os elementos em risco sobre os quais se pretende recolher informação para concretizar os objectivos atrás mencionados.

Não se pretendeu apurar os quantitativos globais das unidades estatísticas alojamento e indivíduo pois, face aos objectivos do presente inventário, não é relevante a informação relativa aos *alojamentos do tipo familiar não clássico* (barracas, casas rudimentares de madeira, alojamentos improvisados em construção não destinada à habitação, alojamentos móveis, locais não destinados à habitação) nem a informação relativa aos indivíduos temporariamente presentes nos alojamentos, mas não residentes. Com efeito, a avaliação da população presente para diferentes dias da semana e/ou mês (sazonalidade, etc.) e para diferentes intervalos de tempo (padrões de mobilidade) saem fora do âmbito deste trabalho, pelo que os apuramentos solicitados da população residente têm o fito de fornecer estimativas de perdas humanas, válidas para um período

nocturno em que a maioria dos habitantes do Arquipélago dos Açores se encontram na sua residência.

Foram assim analisados os *Questionários de Edifício, Alojamento e Individual* dos Censos 2001 de forma a identificar as variáveis consideradas pertinentes para a caracterização da vulnerabilidade sísmica dos elementos em risco, a que se chamarão *factores de vulnerabilidade*. Os três questionários referidos e as definições de conceitos associados às unidades estatísticas e variáveis seleccionadas podem ser encontrados em INE [2002].

No quadro 1 reúnem-se as modalidades das variáveis seleccionadas do Questionário de Edifício dos Censos 2001 com o objectivo de se caracterizar a vulnerabilidade sísmica destes elementos em risco. Neste quadro as variáveis são identificadas pelo número respectivo da pergunta deste questionário. Para simplificar a análise, a variável número de pavimentos foi classificada em 7 classes também constantes do quadro 1. Por uma questão de simplificação de linguagem as variáveis *época de construção ou reconstrução do edifício e tipo de estrutura da construção do edifício* passarão a ser designadas simplesmente por *época de construção* ou *época* e por *tipo de estrutura*, respectivamente.

Além das variáveis especificadas no quadro 1, os Censos 2001 também contemplaram novas variáveis pertinentes para a caracterização da vulnerabilidade sísmica do parque habitacional. Listam-se de seguida essas novas variáveis seguindo, mais uma vez, a numeração constante do Questionário de Edifício dos Censos 2001:

8. *Configuração do R/C.*
9. *O edifício é isolado ou é cinco vezes mais alto que os edifícios adjacentes?*
10. *O edifício é de gaveto ou de extremo de banda?*
11. *O edifício é mais alto (mais do que dois pavimentos) do que qualquer dos edifícios adjacentes?*
17. *Necessidade de Reparações:*
  - 17.1. *Na estrutura;*
  - 17.2. *Na cobertura;*
  - 17.3 *Nas paredes e caixilharias exteriores.*

Quadro 1 – Factores de vulnerabilidade e respectivas modalidades (Censos 2001).

6. Número de pavimentos <sup>2</sup>	13. Época de construção ou reconstrução dos edifícios <sup>3</sup>	14. Tipo de estrutura da construção do edifício <sup>4</sup>
1	Antes de 1919	Estrutura de Betão armado (BA)
2	1919 a 1945	Paredes de alvenaria argamassada, com placa (ACP)
3	1946 a 1960	Paredes de alvenaria argamassada, sem placa (ASP)
4	1961 a 1970	Paredes de adobe, taipa ou de alvenaria de pedra solta (ATAPS)
5 a 7	1971 a 1980	Outros (madeira, metálica, etc.)
8 a 15	1981 a 1985	
+ de 15	1986 a 1990	
	1991 a 1995	
	1996 a 2001	

A estas novas variáveis primárias adicionou-se ainda uma nova variável, derivada (também solicitada ao INE), que traduz o *Estado de conservação* global do edifício, cujas modalidades, apresentadas no quadro 2, são obtidas através da ponderação das respostas da variável Necessidade de Reparações.

É sobejamente conhecido que os factores de vulnerabilidade atrás mencionados condicionam a resposta sísmica das estruturas. Refiram-se por exemplo os trabalhos de Carvalho & Oliveira [1999], Giovinazzi & Lagomarsino [2003 e 2004], Oliveira [1989

<sup>2</sup> *Pavimento* - cada um dos planos habitáveis ou utilizáveis do edifício, qualquer que seja a sua relação com o nível do terreno. São considerados como *pavimento* o rés-do-chão, assim como as caves e águas furtadas habitáveis ou utilizáveis com funções complementares à habitação [INE, 2003].

<sup>3</sup> *Época de construção* - período de construção do edifício propriamente dito, ou o período de construção da parte principal do edifício, isto é, aquela que corresponde à estrutura, quando diferentes partes de um edifício correspondem a épocas distintas, ou o período de reconstrução, para os edifícios que sofreram uma transformação completa [INE, 2003].

<sup>4</sup> *Tipo de estrutura da construção do edifício* - identifica os elementos utilizados na construção ou reconstrução dos edifícios, no que respeita à estrutura que os suporta. Assim, deverão ser identificados os elementos resistentes do edifício, ou seja, os materiais que servem de estrutura à própria construção e que servem de suporte aos pavimentos, independentemente dos materiais empregues nas paredes exteriores [INE, 2003].

a e b] e Tiedemann [1992] que mencionam diversos factores estruturais de agravamento do comportamento sísmico estrutural assimiláveis às novas variáveis dos Censos 2001.

*Quadro 2 – Modalidades das variáveis Necessidade de Reparações e Estado de conservação.*

Necessidade de Reparações	Estado de conservação
Nenhumas	Sem necessidade de reparação
Pequenas	A necessitar de pequenas reparações
Médias	A necessitar de médias reparações
Grandes	A necessitar de grandes reparações
Muito Grandes	Muito degradado

Porém, para o território dos Açores apenas foram obtidas do INE (Censos 2001) as variáveis constantes do quadro 1 e a variável *Necessidade de Reparações* na estrutura.

### 3.2 Estatísticas dos elementos em risco

Na presente secção apresentam-se algumas estatísticas sobre os elementos em risco no território estudado, bem como os cruzamentos das variáveis seleccionadas nos Censos 2001 para caracterizar a sua vulnerabilidade sísmica.

No quadro 3 sintetizam-se as contagens das existências apuradas nos Censos 2001 para o Arquipélago do Açores.

*Quadro 3 – Valores totais das existências dos elementos em risco no Arquipélago dos Açores.*

Elementos em risco	Arquipélago dos Açores
Edifícios	87 585
Alojamentos familiares clássicos + alojamentos colectivos <sup>5</sup>	92 867
Ocupantes	240 309

Nas figuras 2 a 4 apresentam-se, por época de construção, as existências dos elementos em risco, quantificadas em termos absolutos e relativos.

<sup>5</sup> Ao longo do presente trabalho a soma dos alojamentos familiares clássicos com os alojamentos colectivos será chamada simplesmente de *alojamentos*.

Nos histogramas imediatos, a escala vertical mede os quantitativos absolutos de edifícios, alojamentos e ocupantes e a escala horizontal é uma escala ordinal em que essas existências foram classificadas por época.

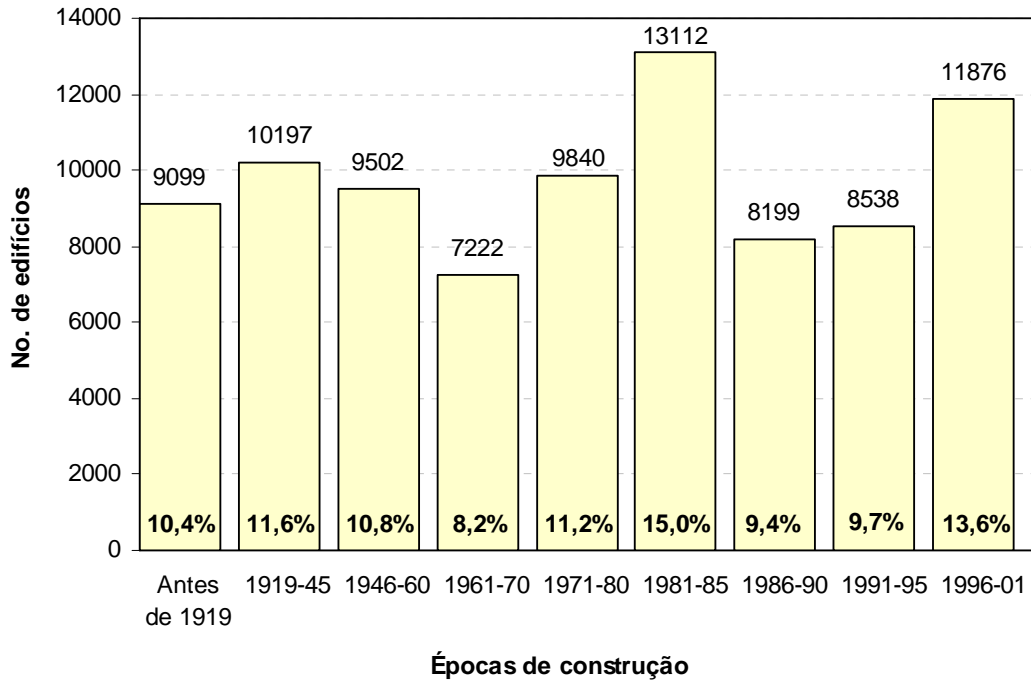


Figura 2 – Número de edifícios por época de construção.

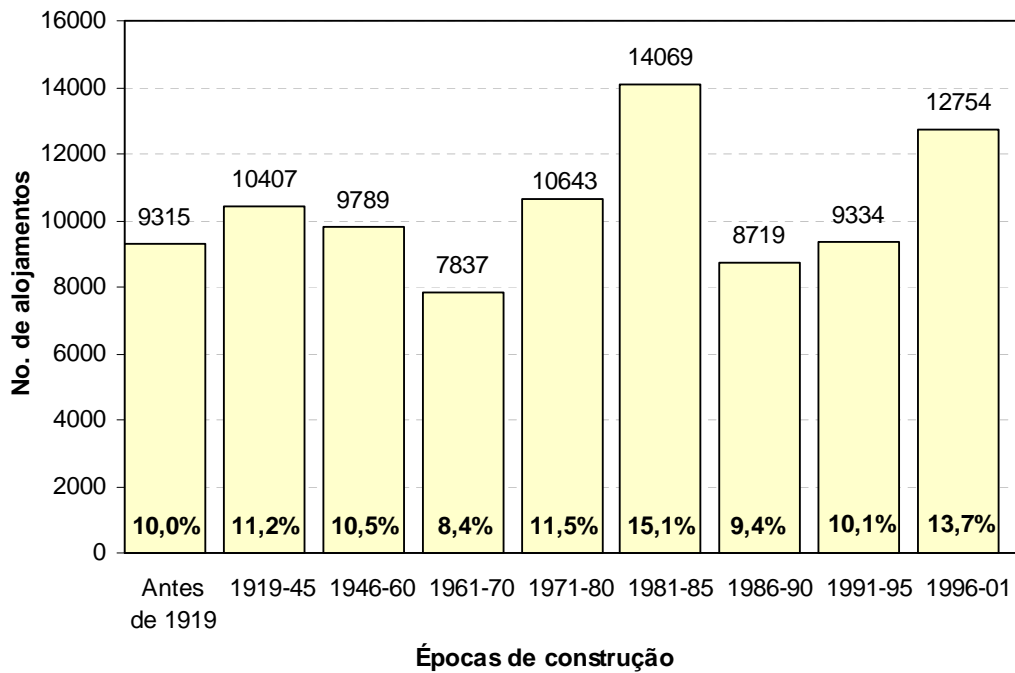


Figura 3 – Número de alojamentos por época de construção.

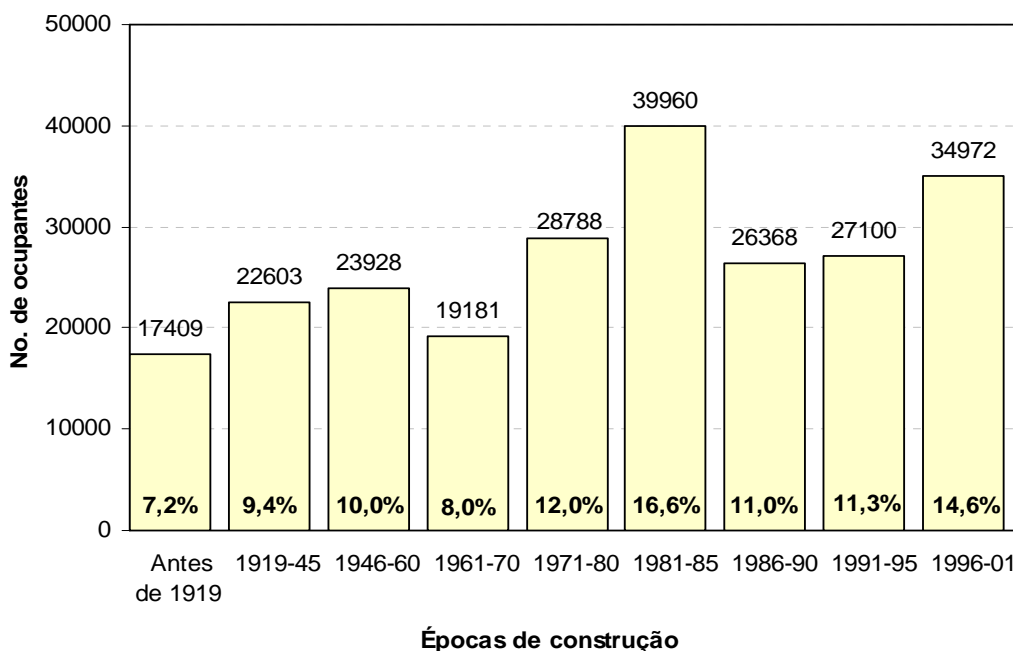


Figura 4 – Número de ocupantes por época de construção.

A figura 5 ilustra, por época de construção, a razão entre o número de alojamentos e o número de edifícios indicando-se do lado direito (em itálico e negrito) a razão dos respectivos valores totais.

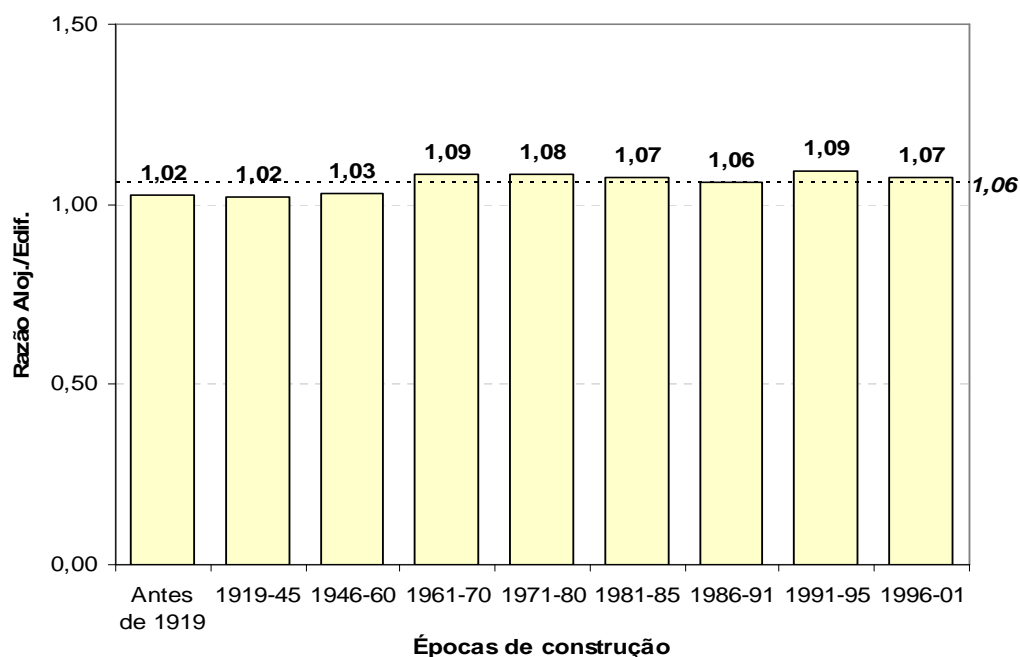
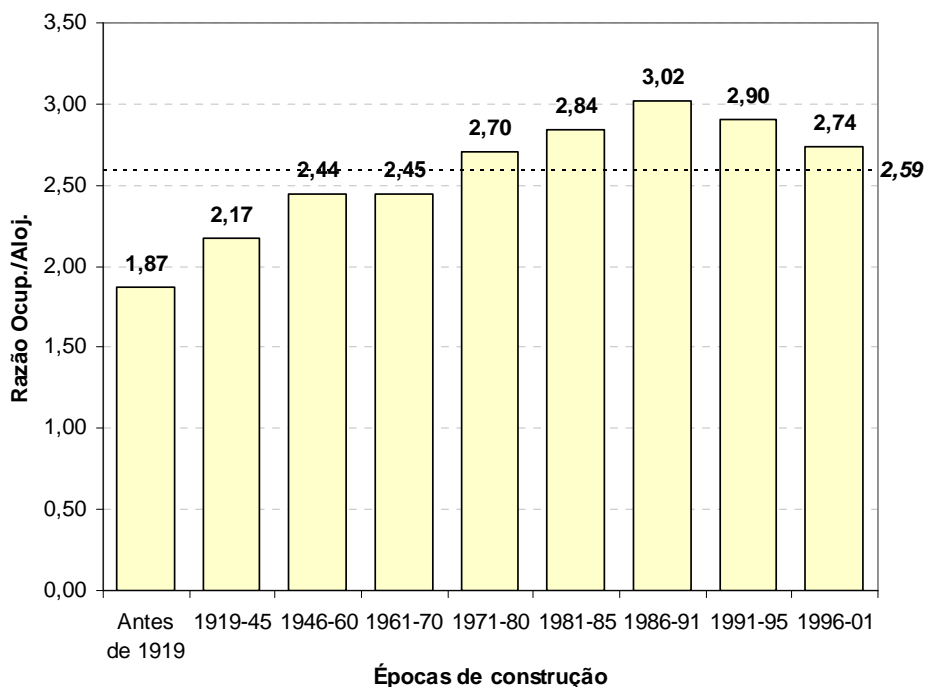


Figura 5 – Razão entre o número de alojamentos e o número de edifícios, por época de construção.

Na figura 6 ilustra-se, igualmente por época de construção, a razão entre o número de ocupantes e o número de alojamentos, indicando-se do lado direito (em itálico e negrito) o indicador de ocupação global para o Arquipélago dos Açores.



*Figura 6 – Razão entre o número de ocupantes e o número de alojamentos, por época de construção.*

Analisa-se, de seguida, a relação entre os quantitativos de elementos em risco e as datas de entrada em vigor dos regulamentos de projecto sismo-resistente Portugueses, de forma a se apresentar um primeiro indicador de vulnerabilidade do parque habitacional do Arquipélago dos Açores.

O primeiro, o Regulamento de Segurança das Construções contra os Sismos, data de 1958 [RSCCS, 1958], tendo sido parcialmente revogado em 1961 pelo Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes [RSEP, 1961]; o regulamento actualmente em vigor, denominado a Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes, data de 1983 [RSA, 1983].

Para o efeito de contabilização de existências e respectiva vulnerabilidade atendeu-se às datas de entrada em vigor dos regulamentos e aos períodos de transição da sua aplicação, assumindo-se que (i) nas épocas de construção anteriores a 1960 os edifícios não sofreram dimensionamento sismo-resistente, (ii) entre 1961 e 1985 os edifícios não

dispensados de dimensionamento para as acções sísmicas terão sido projectados segundo as disposições do RSCCS e RSEP e (iii) nas épocas posteriores a 1985 terão sido projectados de acordo com o disposto no RSA. De realçar que esta hipótese poderá ser demasiado optimista face ao panorama construtivo do parque habitacional de Portugal.

No quadro 4 apresentam-se as percentagens de edifícios construídos em data anterior à entrada em vigor do primeiro regulamento, assim como as percentagens de alojamentos e ocupantes residentes nesses edifícios à data dos Censos 2001. Comparam-se os quantitativos apurados com os valores apurados em estudos anteriores para Portugal Continental [Sousa, 2006].

*Quadro 4 – Percentagem de existências em edifícios construídos em data anterior à da entrada em vigor do primeiro regulamento de projecto sismo-resistente.*

Elementos em risco (<= 1960)	Arquipélago dos Açores	Portugal Continental
Edifícios [%]	32,9	30,2
Alojamentos [%]	31,8	24,2
Ocupantes [%]	26,6	19,6

No quadro 5 reúnem-se as existências em edifícios de Betão armado construídos durante a vigência dos regulamentos de projecto sismo-resistente. Os valores percentuais constantes da terceira coluna deste quadro são relativos aos quantitativos totais de cada elemento em risco no Arquipélago dos Açores. Na quarta coluna desse quadro, reúnem-se, para efeitos comparativos, os quantitativos dos elementos em risco existentes em Portugal Continental.

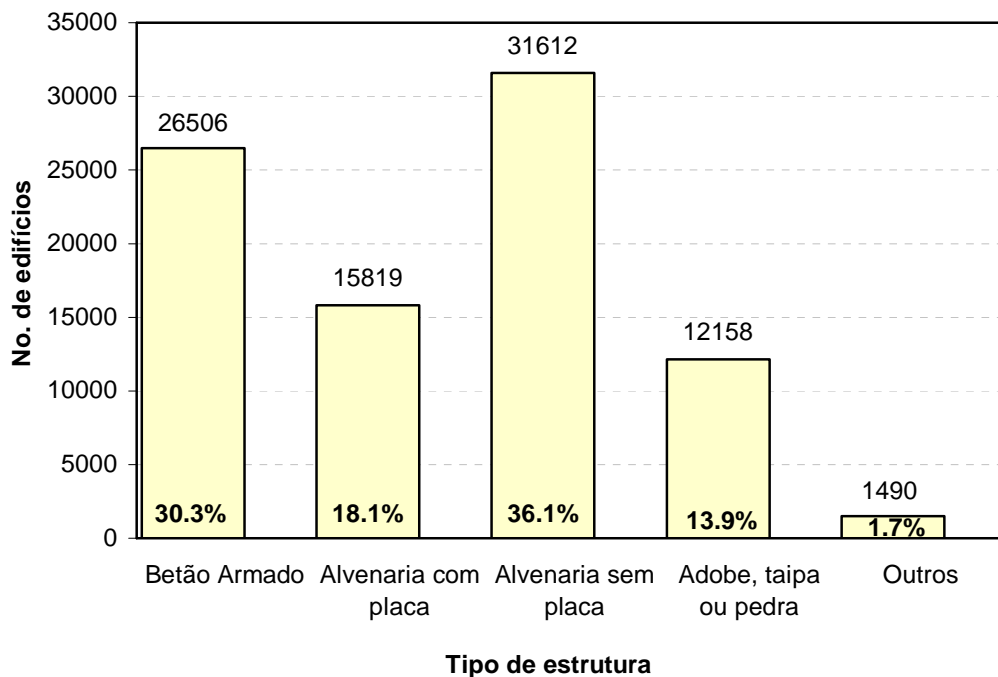
As restantes figuras desta secção incidem fundamentalmente sobre a unidade estatística edifício, de forma a ser possível analisar estatisticamente os respectivos factores de vulnerabilidade que condicionarão o risco sísmico dos restantes elementos expostos, ou seja, os alojamentos e os ocupantes existentes no território Açoriano.

Na figura 7 ilustra-se a distribuição do número de edifícios por tipo de estrutura. Na figura 8 apresenta-se a distribuição do número de edifícios por tipo de estrutura e por época de construção. A frequência relativa do número de edifícios, por tipo de estrutura, condicionada pela época de construção é ilustrada na figura 9.



*Quadro 5 – Existências em edifícios de Betão armado construídos durante a vigência dos regulamentos de projecto sísmo-resistente.*

Época de construção	Elementos em risco	Arquipélago dos Açores	Portugal Continental
1961-85 (RSCCS, 1958 RSEP, 1961)	Edifícios	10 410 (11,9%)	451 875 (15,1%)
	Alojamentos	12 119 (13,1%)	1 104 766 (22,8%)
	Ocupantes	34 574 (14,4%)	2 397 584 (24,5%)
1986-2001 RSA, 1983	Edifícios	14 298 (16,3%)	377 062 (12,6%)
	Alojamentos	16 015 (17,2%)	1 019 653 (21,0%)
	Ocupantes	46 416 (19,3%)	2 079 699 (21,2%)



*Figura 7 – Número de edifícios por tipo de estrutura.*

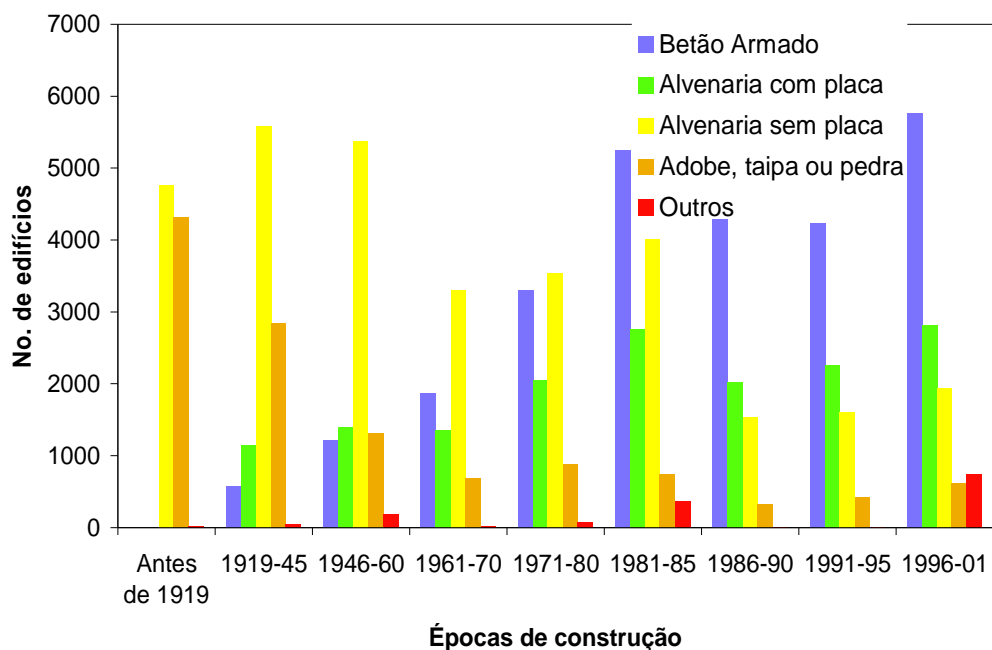


Figura 8 – Número de edifícios por época de construção e tipo de estrutura.

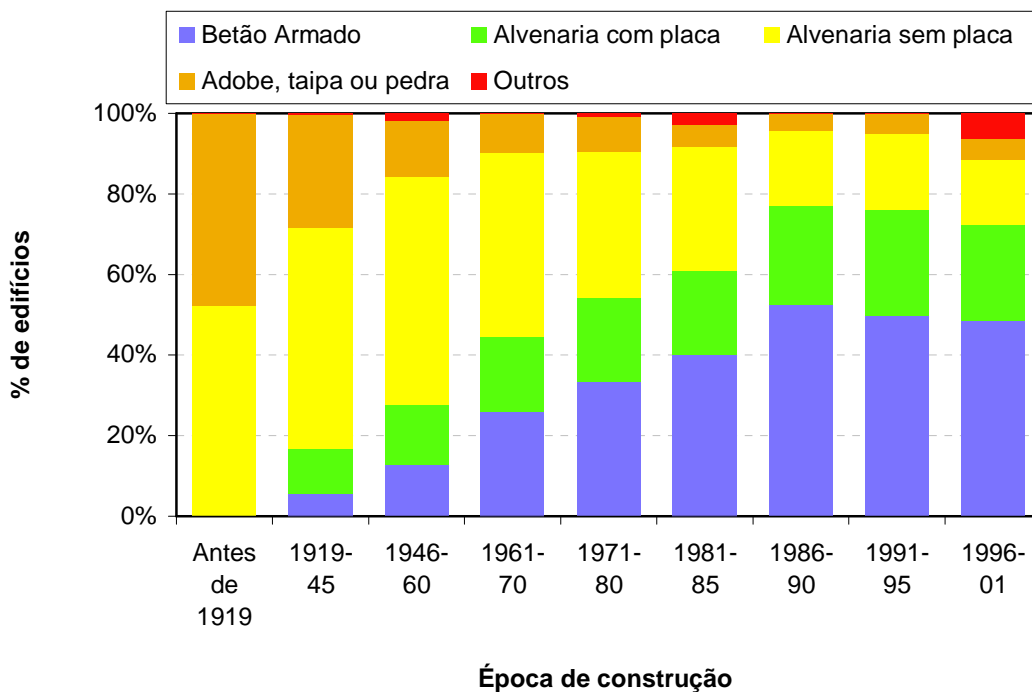
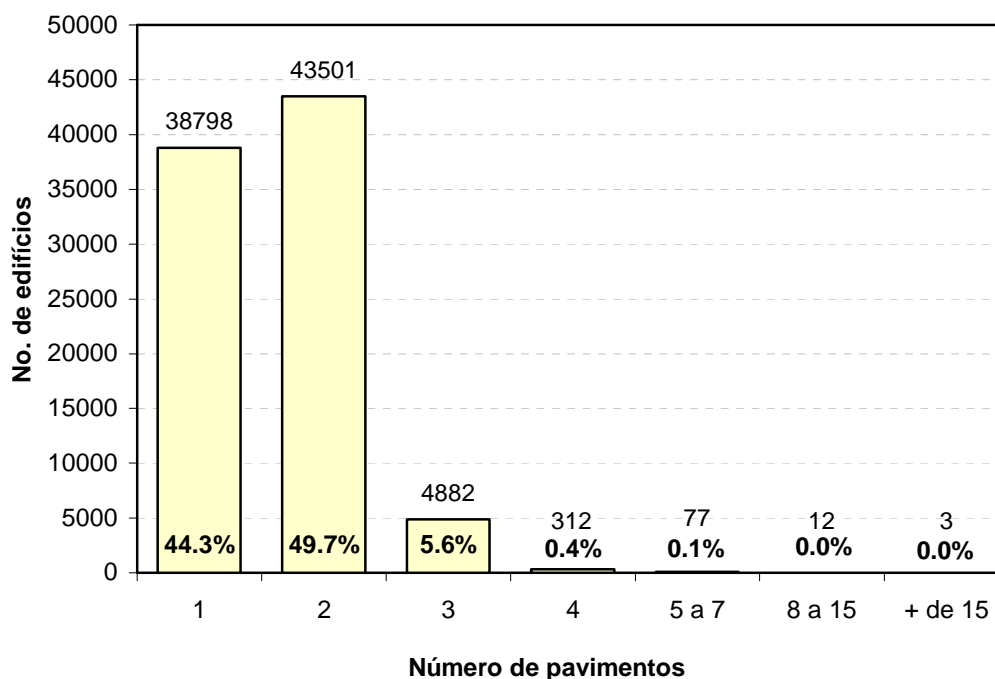


Figura 9 – Percentagem de edifícios por tipo de estrutura dada a época de construção.

No quadro 6 apresenta-se a distribuição dos elementos em risco por número de pavimentos dos edifícios. Na figura 10 ilustra-se a distribuição do número de edifícios pelo respectivo número de pavimentos.

*Quadro 6 – Distribuição de elementos em risco por número de pavimentos dos edifícios.*

Pavimentos	Edifícios		Alojamentos		Ocupantes	
	[#]	[%]	[#]	[%]	[#]	[%]
1	38 798	44,3	39 117	42,1	92 541	38,5
2	43 501	49,7	45 456	48,9	125 657	52,3
3	4 882	5,6	6 181	6,7	17 770	7,4
4	312	0,4	1 180	1,3	2 713	1,1
5-7	77	0,1	546	0,6	1 011	0,4
8-15	12	0,0	261	0,3	495	0,2
+ de 15	3	0,0	126	0,1	122	0,1
Total	87 585	100	92 867	100	240 309	100



*Figura 10 – Número de edifícios por número de pavimentos.*

Nas figuras 11 e 12 ilustram-se os apuramentos relativos aos cruzamentos das variáveis número de pavimentos e época de construção dos edifícios.

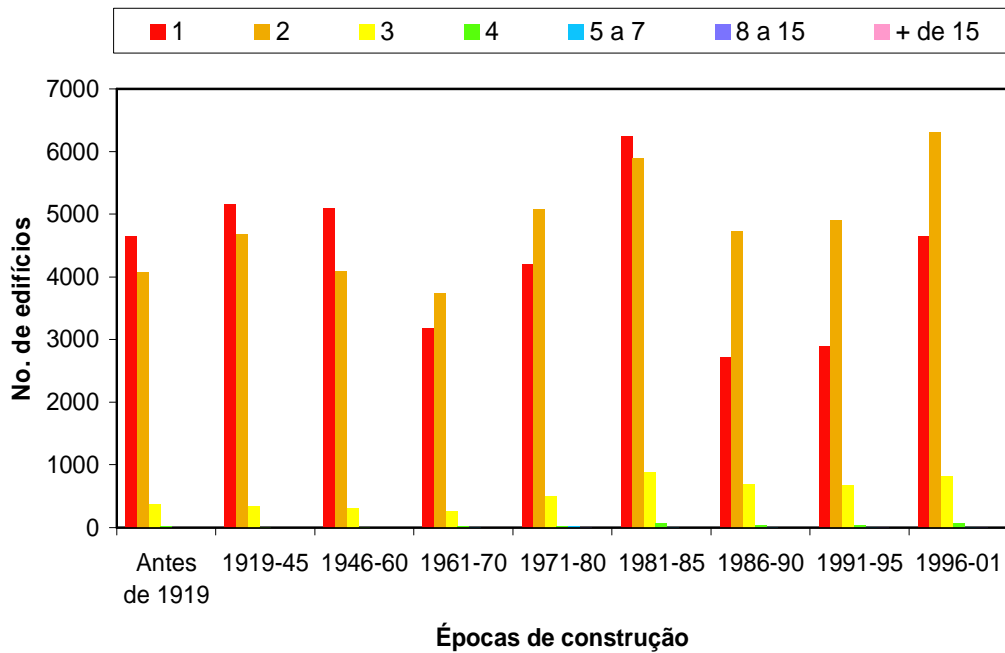


Figura 11 – Número de edifícios por época de construção e número de pavimentos

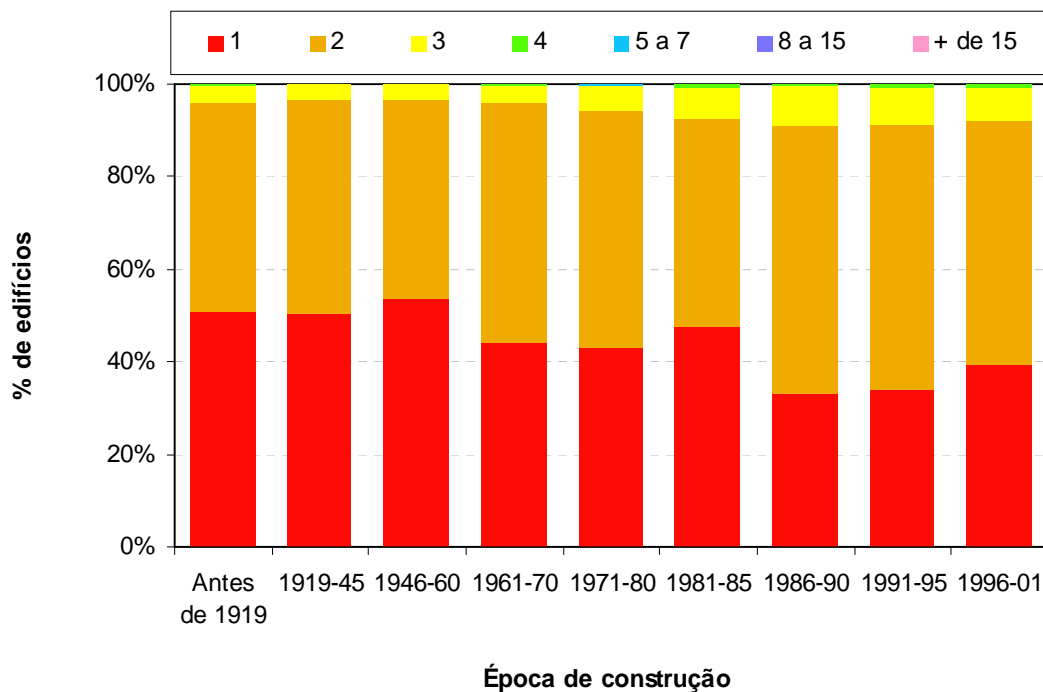


Figura 12 – Percentagem de edifícios por número de pavimentos dada a época de construção.

Os cruzamentos das variáveis número de pavimentos e tipo de estrutura permitiram obter os quantitativos de edifícios, os quais são ilustrados nas figuras 13 e 14.

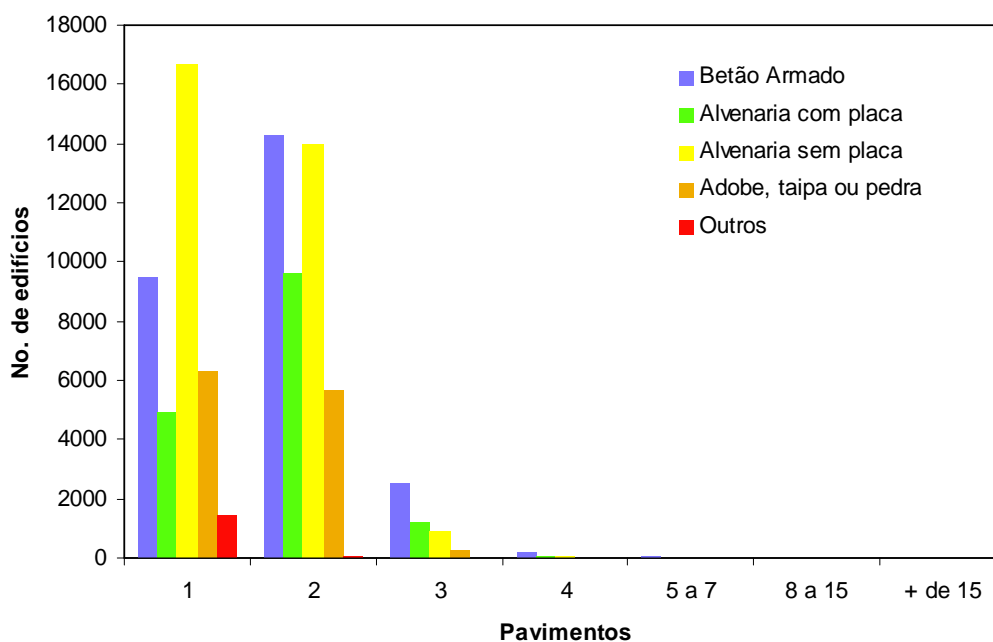


Figura 13 – Número de edifícios por número de pavimentos e tipo de estrutura.

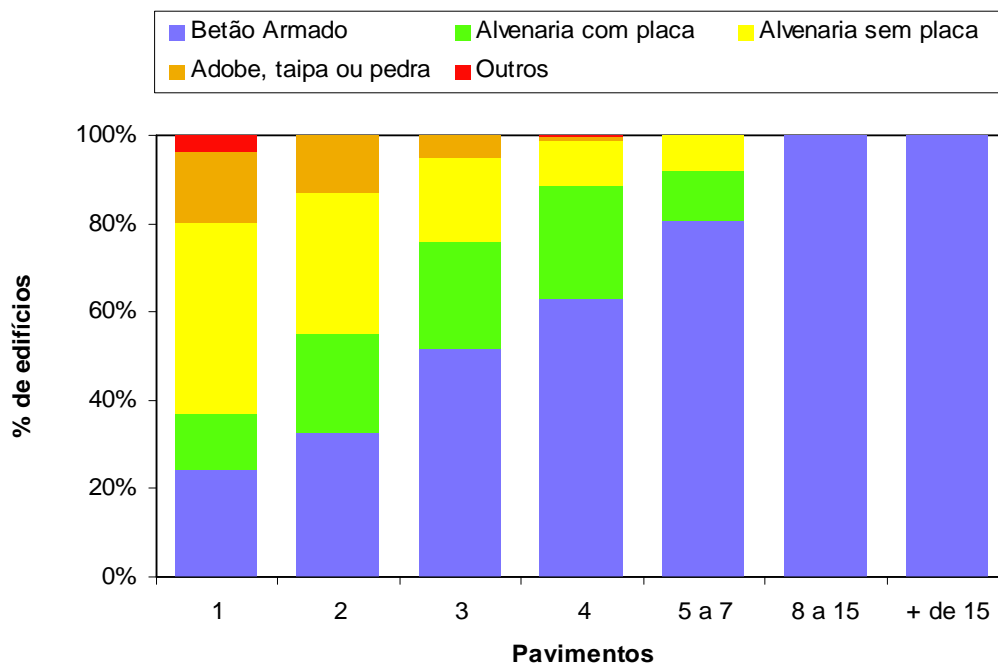


Figura 14 – Percentagem de edifícios por tipo de estrutura dado o número de pavimentos.

No quadro 7 são identificados os dois tipos de estrutura mais representativos de cada época de construção, em que as percentagens apresentadas são relativas às existências globais de edifícios no território analisado.

*Quadro 7 – Tipos de estruturas predominantes em cada época de construção dos edifícios do Arquipélago dos Açores.*

Época de construção	Tipo mais frequente		2º Tipo mais frequente	
	Tipo de estrutura	Edifícios [%]	Tipo de estrutura	Edifícios [%]
Antes de 1919	ASP	5,4	ATAPS	4,9
1919 a 1945	ASP	6,4	ATAPS	3,2
1946 a 1960	ASP	6,1	ACP	1,6
1961 a 1970	ASP	3,8	BA	2,1
1971 a 1980	ASP	4,0	BA	3,8
1981 a 1985	BA	5,9	ASP	4,6
1986 a 1990	BA	4,9	ACP	2,3
1991 a 1995	BA	4,8	ACP	2,6
1996 a 2001	BA	6,6	ACP	3,2

Na figura 15 apresentam-se o número de edifícios em função da variável Necessidades de Reparações Na estrutura, cujas modalidades foram agrupadas em duas grandes classes. A primeira classe agrupa as duas primeiras modalidades desta variável (ou seja, *Sem necessidade de reparação* e *A necessitar de pequenas reparações*, ver quadro 2) e a segunda classe agrupa as restantes modalidades dessa variável. Na figura 16 ilustra-se o número de edifícios em função da variável Necessidades de Reparação Na estrutura, por época de construção.

Por fim, no quadro 8 condensa-se toda a informação, resultante dos apuramentos efectuados nos Censos 2001, evidenciando os quantitativos de edifícios obtidos dos cruzamentos dos factores de vulnerabilidade analisados. Como já foi referido foram contempladas 9 modalidades da variável, *épocas de construção*, por 7 classes da variável de *número de pavimentos* e por 5 modalidades da variável *tipo de estrutura*.

De acordo com estes cruzamentos ( $9 \times 7 \times 5$ ) deveriam ter sido apurados os quantitativos de edifícios pertencentes a 315 tipologias construtivas, e que se denominam neste trabalho de tipologias Censos 2001. Porém, algumas destas tipologias não possuem existências no parque habitacional do Arquipélago dos Açores, sendo

assinaladas pelo fundo cinzento das respectivas células, tendo como consequência a redução do número de tipologias representadas nos Censos 2001 de 315 para 178.

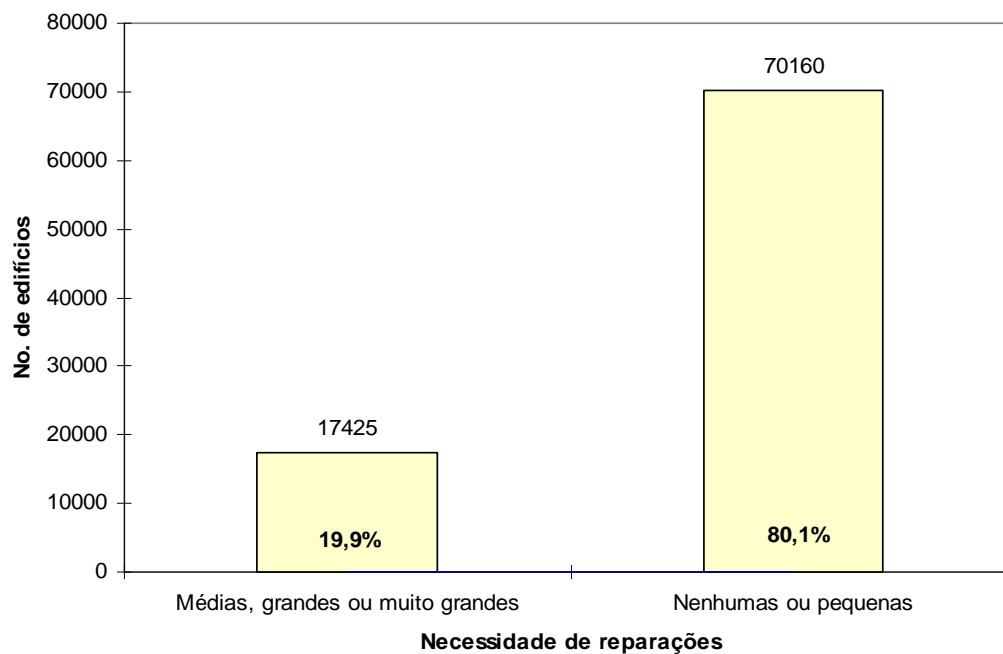


Figura 15 – Número de edifícios por Necessidade de Reparações Na estrutura.

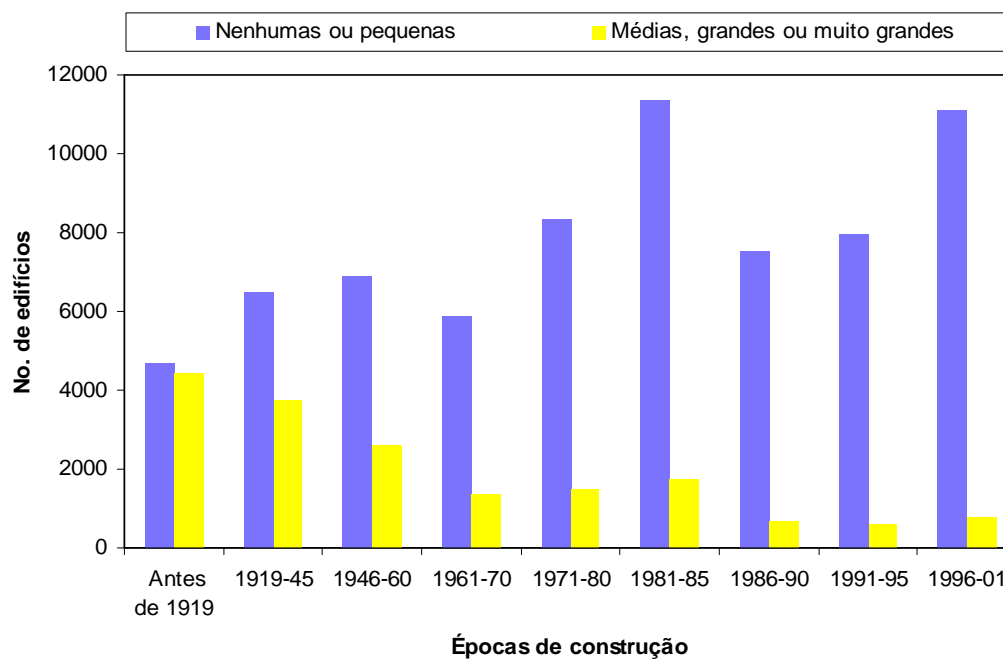


Figura 16 – Número de edifícios por Necessidade de Reparações Na estrutura, dada a época de construção.

Quadro 8 - Quantitativos de edifícios por época de construção, tipo de estrutura e número de pavimentos (Censos 2001).

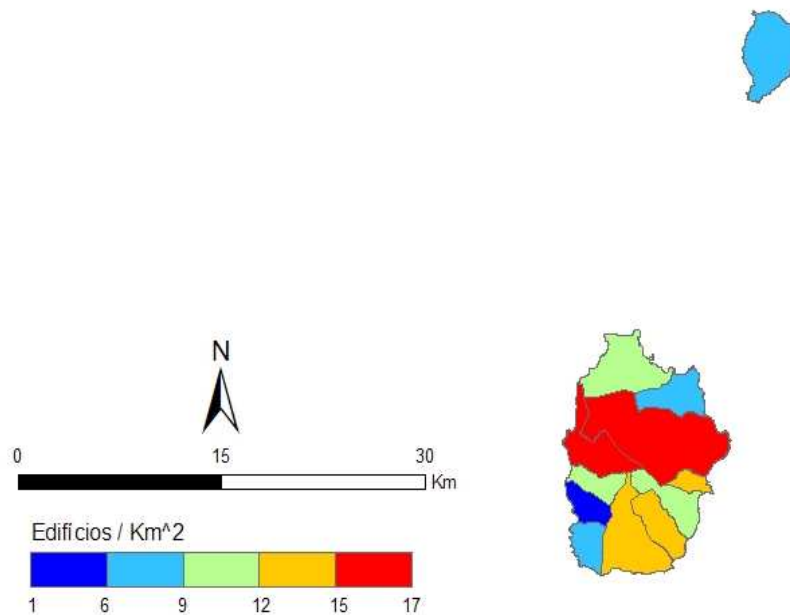
Época	Nº pavimentos	Betão	ACP	ASP	ATAPS	Outros
Antes de 1919	1	0	0	2352	2281	9
	2	0	0	2149	1912	9
	3	0	0	240	125	1
	4	0	10	9	0	0
	5 a 7	0	0	2	0	0
	8 a 15	0	0	0	0	0
	+ de 15	0	0	0	0	0
	<b>Total = 9099</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>4752</b>	<b>4318</b>	<b>19</b>
1919 a 1945	1	250	498	2700	1676	31
	2	270	586	2685	1127	18
	3	52	57	190	39	4
	4	3	2	8	0	1
	5 a 7	0	0	0	0	0
	8 a 15	0	0	0	0	0
	+ de 15	0	0	0	0	0
	<b>Total = 10197</b>	<b>575</b>	<b>1143</b>	<b>5583</b>	<b>2842</b>	<b>54</b>
1946 a 1960	1	688	542	2983	700	178
	2	477	755	2254	596	9
	3	54	101	133	21	2
	4	3	3	2	0	0
	5 a 7	31	0	0	0	0
	8 a 15	0	0	0	0	0
	+ de 15	0	0	0	0	0
	<b>Total = 9502</b>	<b>1223</b>	<b>1401</b>	<b>5372</b>	<b>1317</b>	<b>189</b>
1961 a 1970	1	786	379	1666	333	18
	2	958	867	1560	347	3
	3	98	99	67	6	0
	4	18	4	1	2	0
	5 a 7	9	1	0	0	0
	8 a 15	0	0	0	0	0
	+ de 15	0	0	0	0	0
	<b>Total = 7222</b>	<b>1869</b>	<b>1350</b>	<b>3294</b>	<b>688</b>	<b>21</b>
1971 a 1980	1	1263	649	1839	393	68
	2	1723	1251	1627	474	4
	3	271	135	69	19	0
	4	19	8	4	0	0
	5 a 7	14	2	2	0	0
	8 a 15	4	0	0	0	0
	+ de 15	2	0	0	0	0
	<b>Total = 9840</b>	<b>3296</b>	<b>2045</b>	<b>3541</b>	<b>886</b>	<b>72</b>
1981 a 1985	1	2099	973	2451	357	363
	2	2558	1532	1444	365	2
	3	522	240	108	12	0
	4	52	14	3	1	0
	5 a 7	12	1	1	0	0
	8 a 15	1	0	0	0	0
	+ de 15	1	0	0	0	0
	<b>Total = 13112</b>	<b>5245</b>	<b>2760</b>	<b>4007</b>	<b>735</b>	<b>365</b>
1986 a 1990	1	1301	514	769	127	13
	2	2467	1329	729	201	1
	3	492	173	32	4	1
	4	30	7	1	0	0
	5 a 7	5	2	0	0	0
	8 a 15	1	0	0	0	0
	+ de 15	0	0	0	0	0
	<b>Total = 8199</b>	<b>4296</b>	<b>2025</b>	<b>1531</b>	<b>332</b>	<b>15</b>
1991 a 1995	1	1293	570	830	191	11
	2	2425	1514	734	227	1
	3	477	171	33	6	0
	4	33	9	1	0	0
	5 a 7	8	1	0	0	0
	8 a 15	3	0	0	0	0
	+ de 15	0	0	0	0	0
	<b>Total = 8538</b>	<b>4239</b>	<b>2265</b>	<b>1598</b>	<b>424</b>	<b>12</b>
1996 a 2001	1	1784	805	1096	236	733
	2	3374	1771	787	370	9
	3	550	220	47	10	1
	4	39	22	3	0	0
	5 a 7	13	2	1	0	0
	8 a 15	3	0	0	0	0
	+ de 15	0	0	0	0	0
	<b>Total = 11876</b>	<b>5763</b>	<b>2820</b>	<b>1934</b>	<b>616</b>	<b>743</b>
<b>Totais</b>	<b>Tipo de estrutura</b>	<b>26506</b>	<b>15819</b>	<b>31612</b>	<b>12158</b>	<b>1490</b>
<b>1 pavimento</b>	<b>2 pavimentos</b>	<b>3 pavimentos</b>	<b>4 pavimentos</b>	<b>5 a 7 pavimentos</b>	<b>8 a 15 pavimentos</b>	<b>+ de 15 pavimentos</b>
<b>38798</b>	<b>43501</b>	<b>4882</b>	<b>312</b>	<b>77</b>	<b>12</b>	<b>3</b>



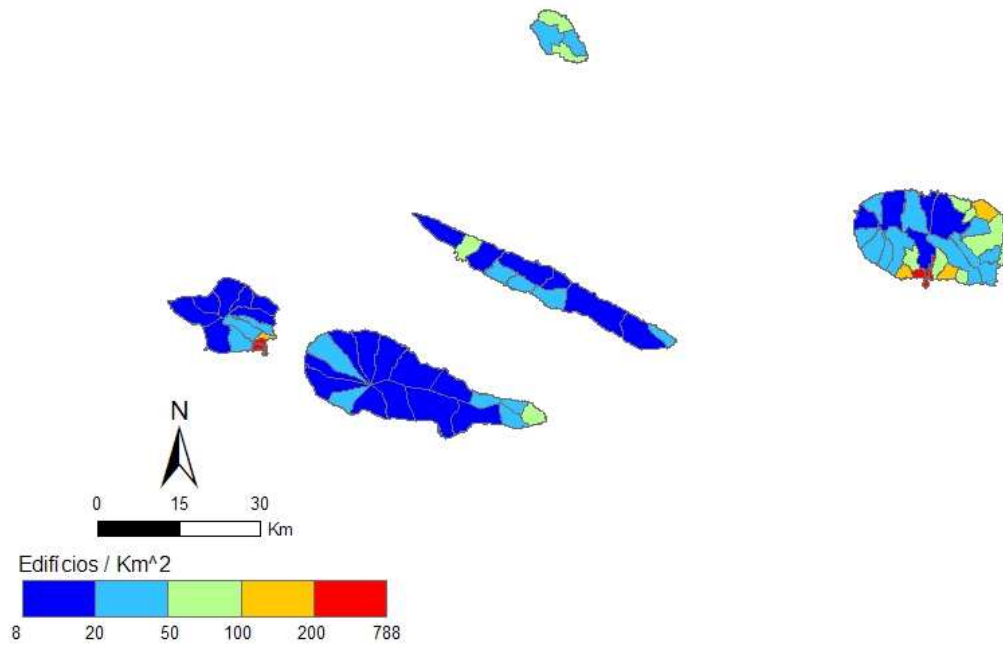
### 3.3 Distribuição geográfica dos elementos em risco

Para analisar a forma como os elementos em risco se distribuem geograficamente, foram elaborados mapas de densidades de edifícios, alojamentos e ocupantes, por unidade geográfica da freguesia do Arquipélago dos Açores.

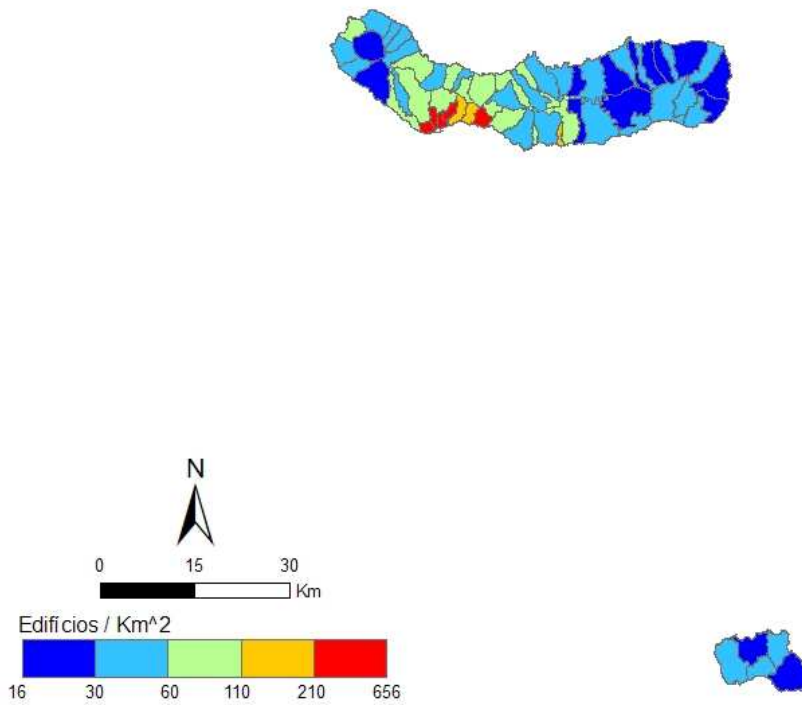
Com o objectivo de se apresentar uma visão de maior pormenor da distribuição geográfica das densidades anteriormente mencionadas, os mapas são apresentados para os grupos Ocidental, Central e Oriental do Arquipélago dos Açores (figuras 17 a 19).



*Figura 17 – Densidade de edifícios no grupo Ocidental do Arquipélago dos Açores.*



*Figura 18 – Densidade de edifícios no grupo Central do Arquipélago dos Açores.*



*Figura 19 - Densidade de edifícios no grupo Oriental do Arquipélago dos Açores.*

### **3.4 Análise do inventário dos elementos em risco**

#### *3.4.1 Análise das estatísticas dos elementos em risco*

Da análise das figuras e quadros da secção 3.2 é possível tecer as seguintes considerações sobre o parque habitacional do Arquipélago dos Açores e dos seus ocupantes, tendo como base os registos dos Censos 2001:

1. Os valores globais dos elementos expostos analisados situam-se em 87 585 de edifícios de habitação, contendo 92 867 alojamentos (familiares clássicos e colectivos) e albergando 240 309 habitantes (quadro 3), o que representa, respectivamente, 3%, 2% e 2% de edifícios, alojamentos e ocupantes do parque habitacional de Portugal.
2. Nas figuras 2 a 4 é possível verificar que as existências com mais de quarenta anos à data dos Censos 2001, ou seja, anteriores à época de 1961-1970, representam 33% dos edifícios, 32% dos alojamentos (familiares clássicos e colectivos) e albergam 27% da população. Verifica-se ainda que, no parque habitacional recenseado em 2001, a percentagem de edifícios construídos nas duas últimas décadas do século XX é muito superior à dos períodos anteriores. Assim, 24% do parque habitacional de 2001 foi construído na década de 80 e 23% na de 90, contrastando com os restantes 53% do parque que foi construído antes da década de 1980.
3. O número médio de alojamentos por edifício (figura 5) manteve-se próximo da unidade para os edifícios construídos até à década de 60, verificando-se um crescimento para valores próximos de 1,1 alojamentos por edifício no caso de edifícios construídos em data posterior. Globalmente, o valor médio da razão alojamento/edifício situa-se próximo de 1,06, notando-se que nos edifícios construídos depois da década de 60 essa razão é ligeiramente superior à média. Tal facto indica uma tendência para a construção de edifícios de maior porte em épocas mais recentes o que é consentâneo com o aumento, com a época de construção, do número de edifícios com 2 e mais pavimentos (ver figuras 11 e 12). No que diz respeito à razão ocupantes / alojamento, o seu valor médio global situa-se próximo de 2,59 (figura 6), notando-se que esta razão apresenta uma tendência de crescimento com a época de construção do edifício, exceptuando no que toca aos edifícios construídos na década de 90 em que essa tendência se inverte.
4. O quadro 4 permite constatar que as existências de edifícios construídos em data anterior à da entrada em vigor do primeiro regulamento de projecto sísmo-resistente representavam 33% do parque habitacional Açoriano. Repara-se

também que as percentagens de alojamentos e ocupantes residentes nestes edifícios são ligeiramente inferiores, atingindo os valores de 32% e 27%, respectivamente. No quadro 5 observa-se que a percentagem de edifícios com estrutura de Betão armado construídos durante a vigência dos dois regulamentos é próxima, com uma diferença de quatro pontos percentuais a favor das épocas mais recentes. Note-se porém, que o primeiro regulamento cobre um período de cerca de 25 anos, enquanto que o regulamento actualmente em vigor cobre um período de apenas 15 anos. Comparativamente com o Continente, os Açores têm uma percentagem superior de edifícios construídos em data anterior da entrada em vigor do primeiro regulamento (30% no Continente 33% nos Açores).

5. Relativamente à distribuição do número de edifícios por tipo de estrutura da construção (figura 7), verifica-se que os edifícios com o tipo de estrutura de Paredes de alvenaria argamassada, sem placa, são os que têm maior peso no parque habitacional do Arquipélago dos Açores, representando 36% deste parque, sendo seguidos pelos edifícios com estrutura de Betão armado e com Paredes de alvenaria argamassada, com placa, representando cerca de 30% e 18% do parque habitacional, respectivamente. Os restantes edifícios, ou seja, os com estrutura do tipo Paredes de adobe, taipa ou de alvenaria de pedra solta e Outros representam cerca de 16% do parque habitacional.

No parque habitacional do Arquipélago dos Açores a percentagem de edifícios de Betão armado é semelhante à do parque habitacional de Portugal Continental (30%), enquanto que a classe modal da estrutura de edifícios neste território é, como foi referido, o tipo de Paredes de alvenaria argamassada sem placa que contrasta com uma incidência consideravelmente mais reduzida no Continente (17% face aos 36% do Arquipélago dos Açores). Também a percentagem de edifícios com estrutura do tipo Paredes de adobe, taipa ou de alvenaria de pedra solta é superior nos Açores (14%) à existente no território do Continente (11%).

6. As figuras 8 e 9 permitem concluir que os edifícios com tipo de estrutura de Paredes de alvenaria argamassada, com placa e Betão armado têm, progressivamente, um maior peso nas existências de edifícios construídos em épocas de construção mais recentes. No que diz respeito aos edifícios com estrutura do tipo Paredes de alvenaria argamassada, sem placa e Paredes de adobe, taipa ou de alvenaria de pedra solta verifica-se o inverso, embora estes edifícios estejam sempre representados em todas as épocas de construção. No Continente este padrão é diferente na medida em que os edifícios de alvenaria com placa têm uma representatividade muito superior nas épocas de construção mais recentes [Sousa, 2006].

7. Os edifícios com um pavimento (quadro 6 e figura 10) representam cerca de 44% do parque habitacional Açoriano, enquanto que a representação dos edifícios com dois pavimentos é da ordem dos 50%. Apenas 6% dos edifícios do parque habitacional do Arquipélago dos Açores apresentam mais de dois pavimentos, valor bastante inferior aos 15% do Continente [Sousa, 2006]. No quadro 6 verifica-se que a percentagem de edifícios com um e dois pavimentos (94%) é superior às percentagens de alojamentos e de ocupantes em edifícios de um e dois pavimentos (91%). Verifica-se ainda (figuras 11 e 12) que em épocas de construção mais recentes ocorre um decréscimo da percentagem de edifícios com um pavimento, passando de uma incidência de 52% nas épocas mais antigas para 38% na época de 1996 a 2001.
8. Nas figuras 13 e 14 observa-se que as Paredes de alvenaria argamassada, sem placa é o tipo de estrutura maioritária nos edifícios com 1 pavimento. Nos edifícios com 2 pavimentos o tipo de estrutura anterior tem igual incidência ao de Betão armado. De notar que o Betão armado assume um papel preponderante na estrutura dos edifícios com 4 ou mais pavimentos, sendo o único tipo de estrutura observada em edifícios com 8 ou mais pavimentos.
9. Tendo em conta o quadro 7, verifica-se que, à data dos Censos 2001, as Paredes de alvenaria argamassada, sem placa eram o tipo de estrutura predominante nos edifícios construídos em épocas anteriores a 1980. Nos edifícios construídos em data posterior a 1980, a estrutura de Betão armado passou a ser a mais frequente. Por outro lado, as Paredes de adobe, taipa ou de alvenaria de pedra solta são o segundo tipo de estrutura mais frequente nos edifícios construídos até 1945. Nas épocas posteriores o segundo tipo de estrutura mais frequente alternou entre as Paredes de alvenaria argamassada, com placa (1946 a 1960 e 1986 a 2001), o Betão armado (1961 a 1980) e as Paredes de alvenaria argamassada, sem placa (1981 a 1985).
10. Sobre os novos factores de vulnerabilidade apurados no Questionário de Edifício dos Censos 2001, e no que diz respeito às Necessidades de Reparações Na estrutura verifica-se, na figura 15, que cerca de 20% dos edifícios do parque habitacional necessitam de obras de reparação na estrutura, o que contrasta com os 80% de edifícios que não necessitam de reparações, ou necessitam de pequenas reparações na estrutura. Verifica-se que este panorama é muito semelhante ao que ocorre, à data dos Censos 2001, no parque habitacional de Portugal Continental. Na figura 16 constata-se que estas Necessidades de Reparações se correlacionam com a idade dos edifícios, sendo os edifícios mais antigos os que, naturalmente, necessitam de maiores reparações.

### *3.4.2 Análise da distribuição geográfica dos elementos em risco*

Da análise dos mapas constantes da secção 3.3 é possível efectuar as seguintes observações sobre o parque habitacional do Arquipélago dos Açores e seus ocupantes, à data dos Censos 2001:

1. As freguesias com maior densidade de edifícios de habitação, alojamentos e ocupantes situam-se nos principais centros urbanos dos grupos Central e Oriental do Arquipélago dos Açores. No grupo Central destacam-se as freguesias da cidade da Horta (ilha do Faial) e da cidade de Angra do Heroísmo (ilha Terceira). No grupo Oriental destacam-se as freguesias da cidade de Ponta Delgada (ilha de S. Miguel). Verifica-se também que as freguesias litorais são as que apresentam a maior densidade de elementos em risco. É sabido que, regra geral, no Arquipélago dos Açores, e reportando às freguesias não urbanas, as maiores densidades dos elementos em risco se concentram numa faixa litoral dessas freguesias, embora a análise agora efectuada com a desagregação geográfica da freguesia não permita chegar a esta conclusão.
2. O grupo Ocidental é aquele que apresenta uma menor densidade de edifícios, de alojamentos e de ocupantes de todo o Arquipélago. Nos restantes grupos, é a ilha de Santa Maria no grupo Oriental e as ilhas de S. Jorge, Graciosa e Pico no grupo Central que apresentam uma menor densidade dos referidos elementos em risco.

## 4 Actualização do Simulador de Cenários Sísmicos para o Arquipélago dos Açores

---

### 4.1 O Simulador de Cenários Sísmicos

#### 4.1.1 Apresentação

O programa de simulação de cenários sísmicos desenvolvido no LNEC [Sousa, 1996] encontra-se integrado num Sistema de Informação Geográfica (SIG), constituindo uma ferramenta privilegiada para modelar, numa qualquer parcela do território Português, a acção sísmica, os danos no edificado, as perdas humanas e as perdas económicas em consequência de um cenário sísmico de ocorrência especificado. O programa de simulação de cenários sísmicos será aqui designado de *Simulador de Cenários Sísmicos* ou simplesmente de *Simulador*.

O Simulador de Cenários Sísmicos é constituído por um pacote de rotinas, desenvolvidas na linguagem de programação FORTRAN 90 e integrado num Sistema de Informação Geográfica (SIG), que permite estimar a acção sísmica no substracto rochoso e à superfície, os danos estruturais no edificado, as perdas humanas e as perdas económicas para um cenário sísmico de ocorrência pré-definido ou fornecido pelo utilizador.

Optou por se desenvolver as rotinas de cálculo científico em FORTRAN 90 devido à complexidade de algumas delas, à possibilidade de utilização de rotinas do compilador e à rapidez da sua execução. A rotina principal, que invoca cerca de 50 subrotinas, foi compilada como *Dynamic Link Library* (DLL) o que permite a sua invocação dinâmica por qualquer aplicação desenvolvida para plataformas WINDOWS, no presente caso o ArcView GIS 3.2 comercializado pela ESRI. A integração da aplicação externa (DLL) no SIG exigiu o desenvolvimento de rotinas adicionais codificadas em Avenue, que constitui a linguagem de programação orientada por objectos incluída no ArcView 3.2.

O Simulador possui uma grande versatilidade em termos de metodologias e dados, devido à sua estrutura modular, facilidade de actualização e integração num SIG. O Simulador beneficia de um vasto leque de potencialidades disponibilizadas pelo SIG, nomeadamente a possibilidade de agregar informação georeferenciada a bases de dados de informação alfanumérica e imagens, e a capacidade de utilização de várias ferramentas de visualização e análise espacial.

Os elementos em risco, que constituem dados de entrada para o Simulador, encontram-se armazenados em bases de dados que incluem a informação apurada nos Censos 91 e 2001 sobre o edificado residencial e seus ocupantes. A informação está

organizada em função das variáveis relevantes para a caracterização da vulnerabilidade dos elementos em risco e referenciada geograficamente.

A unidade elementar de análise do programa de Simulação era qualquer freguesia, da região de Portugal Continental. No âmbito do projecto USuET a área geográfica de aplicação do Simulador foi estendida ao Arquipélago dos Açores.

A figura 20 representa o diagrama de fluxo do Simulador em que se evidencia a sua estrutura organizada em cinco módulos principais, os dados necessários à sua operação, os modelos e os resultados que fornece. Estes cinco módulos funcionam de forma estanque e sequencial, no sentido em que: (i) os dados e os modelos subjacentes a cada módulo podem ser actualizados independentemente e (ii) os resultados de um determinado módulo alimentam o módulo seguinte, podendo, em algumas situações, ser armazenados obviando serem recalculados.

#### *4.1.2 Dados*

O Simulador utiliza duas categorias de dados de entrada, os fornecidos pelo utilizador e os dados internos à aplicação.

O utilizador necessita apenas de fornecer a magnitude e o epicentro do cenário sísmico de ocorrência que pretende modelar. Alternativamente, não desejando simular a acção sísmica deverá fornecer a magnitude, o epicentro do cenário de ocorrência e as intensidades macrossísmicas nas freguesias da região em análise. O utilizador deverá ainda responder a diversas questões sobre os dados e as opções a utilizar nos diferentes módulos do Simulador.

Descriminam-se de seguida os dados internos ao Simulador de Cenários Sísmicos incluídos em cada módulo.

#### ***Módulo da acção sísmica no substrato rochoso***

São dados internos ao Simulador os parâmetros de cenários sísmicos de ocorrência predefinidos (cenário de 1531, 1755, 1858, 1909 e 1969 do Continente e 1980 e 1998 do Arquipélago dos Açores), tais como a magnitude, o hipocentro e o instante de ocorrência. O Simulador também inclui as zonas de geração sísmica delineadas por Sousa [1996] para Portugal Continental e a profundidade média dos hipocentros em cada zona de geração.



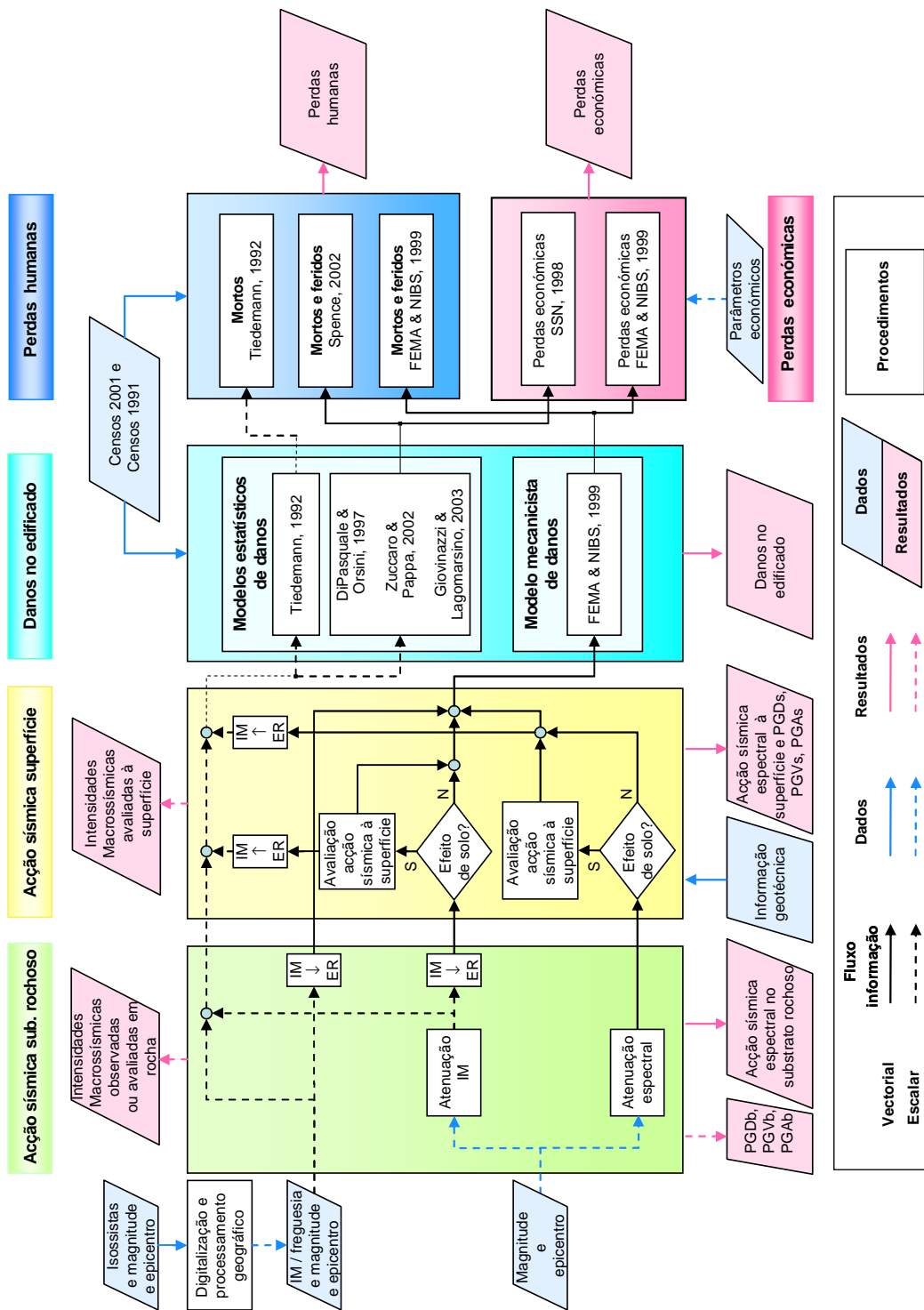


Figura 20 – Fluxograma do Simulador (IM = Intensidade Macro sísmica; ER = Espectro de Resposta [Sousa, 2006]).

### ***Módulo da acção sísmica à superfície***

Este módulo inclui duas bases de dados:

1. Uma base de dados de intensidades macrossísmicas relativa a diversos «eventos» sísmicos armazenando a respectiva acção sísmica estimada para cada uma das freguesias de Portugal Continental e do Arquipélago dos Açores. A construção desta base de dados exigiu um pré-processamento de informação exterior ao Simulador, tendo-se estabelecido um procedimento automático que aproveita as capacidades de análise de imagem e de análise espacial disponibilizadas pelo *ArcView SIG*. Para o efeito, as intensidades macrossísmicas por freguesia foram estimadas a partir das isossistas de sismos do passado, de cartas de perigosidade sísmica e de intensidades avaliadas em localidades em que esses eventos se fizeram sentir [Choffat & Bensaúde, 1913; Moreira, 1984; Nunes *et al.*, 1999; Oliveira, 1992; Paula, 1996; Pereira de Sousa, 1919-1932 e Sousa & Oliveira, 1991]. Foram ainda adicionados «eventos» com intensidade macrossísmica constante em todas as freguesias de Portugal para permitir estudar a vulnerabilidade sísmica dos elementos em risco de qualquer região deste território.
2. Uma base de dados que armazena o conjunto de parâmetros de natureza geotécnica necessários à caracterização de perfis geotécnicos. Estes perfis são utilizados para simular as alterações na acção sísmica à superfície induzidas pela presença de formações superficiais recentes do ponto de vista geológico [Carvalho *et al.*, 2002]. Esta informação geotécnica encontra-se disponível no Simulador apenas para 277 freguesias da Área Metropolitana de Lisboa e concelhos limítrofes pretendendo-se actualizar o Simulador com informação semelhante para o Arquipélago dos Açores.

### ***Módulo dos danos no edificado***

Este módulo recorre a uma base de dados com os quantitativos habitacionais (edifícios, alojamentos familiares e colectivos) apurados nos Censos 91 e 2001 para todas as freguesias de Portugal Continental e do Arquipélago dos Açores, discriminados pelos factores de vulnerabilidade identificados nos Censos (ver capítulo 3). O utilizador poderá ainda optar por simular os danos no edificado escolhendo duas alternativas: (i) os quantitativos habitacionais apurados nos Censos 2001 ou (ii) os mesmos quantitativos habitacionais, mas assumindo a hipótese de que todos pertencem a uma tipologia única seleccionada. Esta última opção foi construída para permitir a aferição do Simulador para cenários históricos, possibilitando a escolha da tipologia mais vulnerável do parque de 2001.

### ***Módulo das perdas humanas***

Este módulo utiliza uma base de dados com os quantitativos populacionais apurados nos Censos 91 e 2001, para todas as freguesias de Portugal Continental e do Arquipélago dos Açores, discriminados pelos factores de vulnerabilidade dos edifícios em que residem os indivíduos em risco.

### ***Módulo das perdas económicas***

São dados internos do Simulador os parâmetros necessários ao funcionamento das rotinas de avaliação de perdas económicas, nomeadamente a superfície média dos alojamentos e o seu valor de reposição para efeitos de monetarização das perdas. A superfície média dos pavimentos dos alojamentos em risco foi recolhida com um nível de análise geográfica das NUTS II [INE, 2001]. Para valores de reposição tomaram-se os preços indicativos da construção estabelecidos pela Portaria nº 1062-C/2000 de 31 de Outubro que assume os valores de 461,4, 509,3 e 582,6 Euros/m<sup>2</sup> para o ano de 2001. Estes valores distintos correspondem a três zonas do País que agrupam determinados concelhos, de acordo com o referido no nº 2 do artigo 7º do Decreto-Lei nº13/86 de 23 de Janeiro. Os concelhos com o preço de construção mais elevado correspondem às sedes de distrito e a alguns concelhos das Áreas Metropolitanas de Lisboa e Porto.

#### ***4.1.3 Procedimentos***

### ***Módulo da acção sísmica no substracto rochoso***

Este módulo contempla três opções de modelação:

1. Os modelos de atenuação de intensidade macrossísmica desenvolvidos por Sousa [1996] a partir da informação macrossísmica de sismos históricos severos e de sismos instrumentais que afectaram o Continente Português. Com estes modelos o Simulador estima a intensidade macrossísmica nas sedes de freguesia de Portugal Continental, assumindo condições locais semelhantes a rocha. No caso particular dos cinco cenários de ocorrência pré-definidos para Portugal Continental não se utilizaram as leis de atenuação desenvolvidas por Sousa [1996] para as zonas de geração em que a autora dividiu o território Continental. Alternativamente, optou por se desenvolver leis de atenuação específicas para cada um dos cinco cenários de ocorrência pré-definidos, de forma a ser possível reproduzir uma acção macrossísmica tão próxima quanto possível da ocorrida nos sismos em que se baseiam estes cenários.
2. A segunda opção constitui a alternativa necessária para o caso do utilizador pretender modelar o efeito dos solos. Nesta opção a acção sísmica é modelada espectralmente e os resultados do Simulador incluem os espectros de potência de acelerações, os espectros de resposta e os valores de pico do movimento sísmico em deslocamento, velocidade e aceleração, estimados ao nível do substracto

rochoso da sede de cada freguesia. São dois os modelos utilizados para avaliar a acção sísmica de forma espectral:

- a) O modelo de atenuação espectral, proposto por Bommer *et al.* [1998] e Bommer & Elnashai [1999], baseado em dados instrumentais Europeus de movimentos sísmicos intensos, considerados representativos dos processos de atenuação no nosso território, no caso de cenários sísmicos de ocorrência próximos e de magnitude baixa a moderada.
  - b) A acção sísmica modelada em intensidades macrossísmicas [Sousa, 1996] convertidas posteriormente em espectros de resposta pela formulação proposta por Trifunac & Lee [1989]. Importa sublinhar que esta deverá ser a opção escolhida para modelar a acção de sismos afastados de magnitude elevada, que ocorrem no território Continental, uma vez que o modelo de Bommer *et al.* [1998] e Bommer & Elnashai [1999] não reproduz correctamente o movimento deste tipo de desastres naturais.
3. A terceira opção, não se encontra ilustrada no fluxograma da figura 20, pois está actualmente em fase de desenvolvimento no âmbito de uma tese de doutoramento [Carvalho, em publicação] e envolve a caracterização da acção sísmica no local, sob a forma espectral, considerando um modelo de propagação da rotura em falha finita e de propagação no meio Continental. Estando esta opção em fase de desenvolvimento não foram referidos, na secção 4.1.2, os dados necessários à sua operação.

Ainda sobre a forma de utilização dos modelos de atenuação de intensidades no Simulador refira-se que tanto o modelo de atenuação macrossísmico como o espectral contempla três tipos de condições geológicas locais. No entanto, apenas se incluíram no Simulador os parâmetros dos modelos de atenuação relativos a condições locais da categoria rocha. Tal opção é coerente com os objectivos do presente estudo, que incidem sobre as estimativas de perdas em centros Urbanos do Arquipélago dos Açores, sendo para o efeito razoável utilizar uma única descrição das propriedades geológicas dos locais e, em casos específicos, modelar o efeito dinâmico dos solos. Para efectivar esta última modelação é também necessário conhecer previamente as características do movimento sísmico no substrato rochoso, como se verá de seguida.

#### ***Módulo da acção sísmica à superfície***

Se o efeito dos solos for tomado em consideração, a unidade elementar de análise dos resultados deixa de ser a freguesia, passando a ser uma unidade geológico-geotécnica em que se subdividem algumas freguesias.

Neste módulo determina-se, para as unidades geológicas-geotécnicas, os espectros de potência e de resposta de aceleração à superfície. Para o efeito tem-se em consideração os espectros de potência no substrato rochoso e as características das formações

superficiais que induzem alterações no movimento sísmico. Na realidade, para aligeirar o esforço computacional envolvido na modelação do comportamento não linear dos solos, e também dos edifícios, o Simulador, representa internamente o movimento sísmico por um processo estocástico estacionário equivalente. Detalhes sobre a modelação do efeito dos solos, sobre o processo iterativo de conversão de espectros de resposta numa função de densidade espectral de potência e vice-versa podem ser encontrados em Carvalho *et al.* [2002].

Outros resultados da execução deste módulo são os valores de pico do movimento sísmico, em deslocamento, velocidade e aceleração, à superfície.

Caso se pretenda utilizar modelos de danos estatísticos, os valores de pico do movimento deverão ser convertidos em intensidades macrossísmicas estando implementados computacionalmente diversos modelos de conversão [Gutenberg & Richter, 1942; Newmark & Rosenblueth, 1971 e Trifunac & Brady, 1975]. Estas alternativas são internas ao Simulador não sendo disponibilizadas ao utilizador através de janelas de diálogo.

Quando a acção sísmica é avaliada directamente à superfície, nomeadamente pela utilização das intensidades macrossísmicas observadas num sismo, é omitida a modelação dinâmica do efeito dos solos. Na eventualidade de se pretender modelar os danos pela metodologia FEMA & NIBS é necessário, mais uma vez, converter as intensidades macrossísmicas em espectros de resposta [Trifunac & Lee, 1989] e fornecer a magnitude do cenário de ocorrência e a sua distância em relação ao local em análise.

### ***Módulo dos danos no edificado***

O módulo dos danos no edificado contempla duas vias de modelação, a primeira baseada em modelos estatísticos originários de levantamentos de danos de sismos Europeus e mundiais e a segunda baseada num modelo mecanicista [FEMA & NIBS, 1999]. Estão assim disponíveis cinco opções, identificadas no fluxograma da figura 20, para modelar os danos no edificado:

1. A opção Tiedemann [Tiedemann, 1992] que independentemente do modelo de danos escolhido, e devido à sua simplicidade, é sempre executada para estimar os danos no edificado. Esta opção tem como resultados a estimativa da razão de danos médios (*MDR*) por unidade geográfica e por tipologia, o valor esperado da razão de danos médios para a região analisada e os valores máximo e mínimo de *MDR* para a região analisada.
2. Ainda dentro dos modelos estatísticos de danos as opções Di Pasquale & Orsini [1997], Zuccaro & Papa [2002] e Giovinazzi & Lagomarsino [2003 e 2004] têm como resultados a estimativa do número e percentagem de edifícios nos estados de dano definidos na escala macrossísmica EMS-98, por unidade geográfica e

tipologia, e os totais para a região analisada. No caso da opção Giovinazzi & Lagomarsino o estado de conservação dos edifícios recenseados em 2001 é automaticamente considerado, sendo ainda possível optar por simulações em que se assume a hipótese de todo o parque habitacional se encontrar num estado de conservação Bom ou Mau, para estudar o efeito deste factor de vulnerabilidade.

3. Na opção de modelação mecanicista [FEMA & NIBS, 1999] os resultados incluem as estimativas do número e percentagem de edifícios nos estados de dano Ausência de Dano, Dano Ligeiro, Moderado, Severo e Total, por unidade geográfica e tipologia, e os totais são sintetizados para a região analisada.

### ***Módulo das perdas humanas***

São contempladas três opções de modelação:

1. A opção Tiedemann [1990 e 1992] que é sempre executada para estimar perdas humanas, tendo como resultados a taxa e o número de mortos por unidade geográfica e os totais reunidos para a região analisada.
2. A opção LESSLOSS [2007] que também é sempre executada independentemente do modelo de danos escolhido. Note-se que esta opção veio substituir a opção Coburn & Spence 2002, mais desactualizada, que se mantém operacional no Simulador, embora um utilizador, não programador, não tenha acesso à escolha desta hipótese<sup>6</sup>.
3. A opção FEMA & NIBS [1999] que apenas é executada se na modelação dos danos se optar pela via mecanicista.

O tipo de resultados destas duas últimas opções é semelhante sendo estimados o número e a percentagem de vítimas com diversos níveis de gravidade de ferimentos. A opção FEMA & NIBS [1999] contempla 4+1 (Ausência de Ferimentos) níveis de gravidade de ferimentos (Feridos Ligeiros, os que exigem Cuidados Hospitalares, os Feridos Graves e os Mortos) e a opção LESSLOSS contempla 5+1 (Ausência de Ferimentos) níveis de gravidade de ferimentos (Feridos Ligeiros, Feridos Moderados, Feridos Graves, Feridos em Estado Crítico e os Mortos). Estes resultados são obtidos por unidade geográfica e os totais são compilados para a região analisada.

### ***Módulo das perdas económicas***

São estimadas as perdas económicas directas, em consequência dos danos no edificado habitacional, em termos da área habitável perdida para o cenário sísmico de ocorrência considerado.

---

<sup>6</sup> No fluxograma da figura 20 em que se cita Sousa [2006] ainda não consta a opção LESSLOSS [2007], remetendo ainda para a opção Coburn & Spence [2002]

Os resultados são fornecidos em termos absolutos e percentuais, em cada freguesia ou unidade geológica-geotécnica, e agregados para toda a região analisada. As perdas globais são convertidas em percentagem do PIB de 2001 para facilitar a percepção dos valores envolvidos.

Os modelos subjacentes a estas estimativas são compatíveis com a escolha do modelo de danos no edificado (ver quadro 9 e figura 20). Nesse sentido, no caso dos modelos de danos estatísticos aplicou-se ao modelo de perdas económicas utilizado pela Protecção Civil Italiana [Lucantoni *et al.*, 2002 e SSN, 1998], enquanto que para o modelo de danos mecanicista se utilizou modelo de perdas económicas FEMA & NIBS, embora com algumas simplificações ao nível dos dados utilizados (quadro 9).

*Quadro 9 – Conversão de indicadores de dano em perdas económicas.*

Estados de dano estrutural	Factor de dano [%] FEMA & NIBS [1999]	Graus de dano (escalas MSK e EM-98)	Factor de dano [%] [SSN, 1998]
Dano Ligeiro	2	1	1
Dano Moderado	10	2	10
Dano Severo	50	3	35
		4	75
Dano Total	100	5	100

Na prática, a tradução dos estados e graus de dano em percentagens de valores de reposição, conduz à obtenção de um índice de perdas que não é mais do que um valor médio das perdas, condicionado por um nível de perigosidade sísmica,  $E(L | h)$ , obtido pela ponderação, através dos factores de dano  $DF_d$ , dos quantitativos dos edifícios que se encontram num dado estado de dano  $d$  e que pertencem a uma determinada classe de vulnerabilidade  $v$ , conforme a seguir se equaciona [Sousa 2006 e 2007]:

$$E(L | h) = Ne_T \cdot \sum_d \sum_v A_v \cdot DF_d \cdot P_D(D=d | h) \cdot P_V(V=v) \quad (1)$$

em que,

$Ne_T$  é o número total de edifícios na região em análise;

$A_v$  representa a superfície média dos edifícios pertencentes à tipologia de vulnerabilidade  $v$  na região em análise;

$P_D(D=d | h)$  representa a matriz de probabilidade de dano, interpretada como a percentagem de edifícios que pertencem a uma determinada tipologia construtiva de vulnerabilidade  $V = v$  que se encontra no estado de dano  $d$ , quando sujeitos a uma acção sísmica de severidade  $h$ ;

$P_V(V=v)$  é a probabilidade dos edifícios da região em análise pertencerem à tipologia com vulnerabilidade  $V=v$ , assumida igual à frequência dessas tipologias na região.

$DF_d$  é uma grandeza adimensional, o referido de *factor de dano*, definida como a razão entre o custo de reparação de um edifício, num determinado estado de dano, e o valor global de reposição do edifício [ATC, 1985].

A introdução na expressão 1 da superfície média dos edifícios pertencentes à tipologia construtiva de vulnerabilidade  $v$  resulta na avaliação da exposição  $E$  em termos da área total habitada da região em análise [Sousa 2006 e 2007]:

$$E = Ne_T \times \sum_v A_v \quad (2)$$

Neste caso, as perdas económicas esperadas são avaliadas através da área perdida equivalente, condicionada por um dado nível de perigosidade sísmica. Se forem introduzidos preços indicativos para a construção, então a exposição  $E$  passa a ser avaliada, monetariamente, em termos do *valor de reposição do parque habitacional* da região em análise, *VRPH*.

### ***Sistema de Informação Geográfico***



Ao nível do SIG o Simulador compreende três rotinas em *Avenue* que operam sobre os dados, o programa (DLL) e os resultados, e que permitem tirar partido de algumas potencialidades de manuseamento de informação espacial do *ArcView*, nomeadamente as suas capacidades de produção de mapas:

1. A primeira permite ao utilizador introduzir os dados e especificar as opções necessárias à operação do Simulador. Viabiliza-se deste modo uma interacção simples entre o Simulador e o utilizador, em que este transmite ao sistema, através de caixas de diálogo sequenciais, os dados que pretende utilizar e as opções de modelação adoptadas. O SIG encontra-se protegido contra a escolha de alternativas muito demoradas, que deverão ser reconfirmadas, ou contra opções incompatíveis. São exemplo de opções incompatíveis a modelação do efeito dos solos e a escolha da acção sísmica definida por intensidades macro sísmicas observadas à superfície; nesse caso o sistema emite uma mensagem de alerta permitindo ao utilizador interromper a simulação, ou escolher outras alternativas.
2. A segunda, evocada automaticamente pela primeira, tem a finalidade de integrar a aplicação externa (DLL) no ambiente do SIG e executá-la.
3. A terceira tem por objectivo automatizar a síntese dos resultados e a produção de mapas. Sobre os resultados da execução da DLL esta rotina constrói automaticamente seis *vistas* no projecto de *ArcView*, uma por cada módulo do Simulador, com excepção do módulo de danos no edificado. Para este módulo são geradas duas *vistas*, uma relativa aos danos absolutos e outra relativa aos danos



percentuais. Em cada uma destas *vistas* são construídos vários *temas*; a cada *tema* corresponde a produção automática de um mapa, gerando-se um máximo de 24 mapas por cada execução do Simulador de Cenários Sísmicos, dependendo das opções seleccionadas.

Estas rotinas são disponibilizadas ao utilizador por intermédio de dois *botões* adicionados à interface do *ArcView GIS*:

1. O botão *SCS*  que executa sequencialmente as três rotinas mencionadas.
2. O botão *MAPAS*  que executa a terceira rotina sobre resultados da DLL já existentes no sistema.

#### **4.2 Actualização do Simulador de Cenários Sísmicos**

No âmbito do projecto USuET, o Simulador tem vindo a ser actualizado continuamente em termos de (i) dados, (ii) âmbito geográfico, (iii) modelo e (iv) aferição dos resultados. Em resumo, as actualizações efectuadas consistiram em:

- i.
  - a) Adicionar bases de dados apuradas nos Censos 2001 com informação sobre a vulnerabilidade sísmica do parque habitacional do Arquipélago dos Açores bem como dos seus ocupantes, sendo as freguesias deste território as unidades elementares de análise. A análise estatística do inventário destes elementos em risco bem como da sua distribuição geográfica, foi descrita no capítulo 3 do presente relatório.
  - b) Adicionar uma base de dados de intensidades macrossísmicas contendo a acção sísmica relativa a alguns sismos importantes que afectaram o Arquipélago dos Açores, discriminada também pelas freguesias desse território.
- ii. Generalizar a aplicação do Simulador a qualquer região específica do Arquipélago dos Açores, tendo-se estabelecido um procedimento expedito para predefinir uma região para análise. Este procedimento envolveu a actualização das rotinas de *FORTRAN 90* e a utilização das capacidades de produção de mapas do *ArcView GIS*. Relativamente ao território Continental o Simulador compreendia 7 regiões predefinidas onde era possível simular automaticamente cenários sísmicos de ocorrência e de perdas. No âmbito do projecto USuET, foram adicionadas ao Simulador sete regiões predefinidas e que concernem o Arquipélago dos Açores: a) o concelho da Horta, b) o concelho do Pico, c) a ilha Terceira, d) o grupo Ocidental, e) o grupo Central f) o grupo Oriental e g) o Arquipélago globalmente.
- iii. Actualizar o Simulador com um modelo de perdas humanas recentemente publicado e que foi desenvolvido no âmbito do projecto LESSLOSS do 6º Programa Quadro Europeu.

- iv. A aferição do Simulador encontra-se actualmente em fase de desenvolvimento apelando à comparação dos seus resultados com os quantitativos de danos e perdas resultantes de sismos que no passado afectaram o território Açoriano. Pretende-se assim calibrar os modelos de danos e perdas de modo a tornar válida a sua aplicação ao Arquipélago dos Açores. Algumas das opções introduzidas no Simulador são orientadas para este processo de aferição, nomeadamente a individualização de algumas regiões deste Arquipélago assim efectuada para operacionalizar as comparações atrás referidas.

## 5 Conclusões e trabalho futuro

---

As principais conclusões a retirar neste relatório decorrem da caracterização do parque habitacional do Arquipélago dos Açores bem como dos seus habitantes. Essa caracterização baseou-se na análise do recenseamento exaustivo desse parque efectuado nos Censos 2001. Da informação destes Censos seleccionaram-se as unidades estatísticas e as variáveis pertinentes para quantificar e caracterizar geograficamente diversos elementos em risco, em função dos factores de vulnerabilidade sísmica identificados. Foi ainda possível apontar as tipologias construtivas mais frequentes do Arquipélago dos Açores.

Para se visualizar de forma sintética as características do parque habitacional do Arquipélago dos Açores considerem-se os seguintes números:

1. Os valores globais dos elementos expostos analisados situam-se perto de 88 000 de edifícios de habitação, contendo cerca de 93 000 alojamentos (familiares clássicos e colectivos) e albergando perto de 240 000 habitantes, representando, respectivamente, 3%, 2% e 2% de edifícios, alojamentos e ocupantes do parque habitacional de Portugal.
2. O parque habitacional recenseado no Arquipélago dos Açores é composto, por edifícios construídos, maioritariamente (67%), em data posterior à da entrada em vigor da primeira regulamentação Portuguesa sismo-resistente [RSCCS, 1958]. A grande maioria dos edifícios possuem 1 e 2 pavimentos (94%), com estrutura do tipo Paredes de alvenaria argamassada, sem placa (36%), seguida da estrutura de Betão armado (30%). Nas épocas de construção mais recentes os tipos de estruturas de Paredes de alvenaria argamassada, com placa e de Betão armado foram tendo progressivamente um maior peso nas existências dos edifícios do Arquipélago dos Açores, verificando-se o inverso no que toca aos edifícios com Paredes de alvenaria argamassada, sem placa e com Paredes de adobe, taipa ou de alvenaria de pedra solta. É de esperar que alguns tipos de estruturas sofram alterações nos seus processos construtivos e elementos resistentes, quer entre regiões diferentes do Arquipélago, quer ao longo do tempo, ou seja, os tipos de estruturas referidos não serão homogêneos, nem temporal, nem geograficamente [Sousa, 2006].
3. A maioria dos alojamentos situa-se em edifícios com estrutura do tipo Paredes de alvenaria argamassada, sem placa (35%) ou em edifícios de Betão armado (32%). No que diz respeito aos ocupantes a maioria reside em edifícios de Betão armado (36%) ou em edifícios com estrutura do tipo Paredes de alvenaria argamassada, sem placa (32%).

4. As freguesias com maior densidade de edifícios de habitação, alojamentos e ocupantes situam-se nas principais cidades dos grupos Central e Oriental do Arquipélago dos Açores. No grupo Central destacam-se as freguesias da cidade da Horta (ilha do Faial) e da cidade de Angra do Heroísmo (ilha Terceira). No grupo Oriental destacam-se as freguesias da cidade de Ponta Delgada (ilha de S. Miguel).
5. Sobre os novos factores de vulnerabilidade apurados no Questionário de Edifício dos Censos 2001, ressalta que cerca de 20% dos edifícios do parque habitacional necessitam de obras de reparação na estrutura, contrastando com os 80% de edifícios que estruturalmente se encontram em bom estado de conservação.

Comparando a análise agora efectuada com trabalhos anteriores [Sousa, 2006] em que o parque habitacional do território Continental foi caracterizado de uma forma semelhante, conclui-se que:

1. O parque Açoriano possui uma menor percentagem de edifícios construídos após a introdução da primeira regulamentação Portuguesa sísmo-resistente do que o Continental (67% nos Açores vs 70% em Portugal Continental).
2. As Paredes de alvenaria argamassada, sem placa são o tipo de estrutura de construção maioritário nos Açores (36%), enquanto que no Continente são as Paredes de alvenaria argamassada, com placa (40%).
3. A incidência do tipo de estrutura de Betão armado é semelhante nos Açores e no Continente (30%).
4. Um dos tipo de estrutura mais vulnerável do parque, as Paredes de adobe, taipa e alvenaria de pedra solta, têm menor representatividade no Continente (11%) do que nos Açores (14%).
5. Globalmente, o parque habitacional Açoriano é constituído por edifícios de menor porte que o Continental. Com efeito, apenas 6% dos edifícios do parque habitacional do Arquipélago dos Açores apresentam mais de dois pavimentos, valor bastante inferior aos 15% do Continente.

Estes elementos permitem efectuar a comparação entre as características do parque habitacional Açoriano e o Continental, sendo indicadores genéricos que sugerem que o Açoriano é sísmicamente mais vulnerável que o Continental.

Para terminar refira-se que, tal como no território Continental [Sousa, 2006], as percentagens elevadas de elementos em risco em edifícios construídos em data posterior à da entrada em vigor do primeiro regulamento não implicam necessariamente um quadro positivo para a vulnerabilidade sísmica do parque habitacional dos Açores, pois não existem garantias sobre a aplicação sistemática das regulamentações

sismo-resistentes, quer ao nível do projecto estrutural quer na execução das obras, principalmente em edifícios com tipo de estrutura diferente do Betão armado.

Relativamente ao trabalho desenvolvido ao nível do Simulador de Cenários Sísmicos, importa dizer que o projecto USuET tem contribuído para a sua actualização, relativamente aos dados, âmbito geográfico e modelo perdas humanas.

Sobre as actividades que se encontram actualmente em desenvolvimento e que se prevêem terminar no âmbito do presente projecto, nomeadamente a calibração dos modelos de danos e perdas, perspectiva-se uma estreita colaboração entre o LNEC e os restantes parceiros do projecto. Estes têm desenvolvido uma actividade intensa no domínio do levantamento de danos dos sismos que afectaram o território Açoriano.



## 6 Referências

---

- ATC, 1985.  
**Earthquake damage evaluation data for California.** Applied Technology Council, ATC 13. Redwood City, Califórnia.
- Barbat, A.H. & Pujades, L., 2004.  
**Evaluación de la vulnerabilidad y del riesgo sísmico en zonas urbanas. Aplicación a Barcelona.** 6ESES. Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães. pp. 229-252.
- Bazzurro, P. & Cornell, C.A., 1999.  
**Disaggregation of seismic hazard.** *BSSA*, **89**: 501-520.
- Bommer, J.J., Elnashai, A.S., Chlimintzas, G.O. & Lee, D., 1998.  
**Review and development of response spectra for displacement - based seismic design.** ESEE Research Report, nº 98-3, March 1998. Civil Engineering Department, Imperial College. Londres.
- Bommer, J.J. & Elnashai, A.S., 1999.  
**Displacement spectra for seismic design.** *Journal of Earthquake Engineering*, **3**, nº1, Imperial College Press. Londres.
- Caicedo, C., Barbat, A.H., Canas, J.A. & Aguiar, R., 1994.  
**Vulnerabilidad sísmica de edificios.** Monografía CIMNE IS-6. Barcelona.
- Carvalho, E.C., Campos Costa, A., Sousa, M.L., Martins, A., Serra, J.B., Caldeira, L. & Coelho, A.G., 2002.  
**Caracterização, vulnerabilidade e estabelecimento de danos para o planeamento de emergência sobre o risco sísmico na Área Metropolitana de Lisboa e nos municípios de Benavente, Salvaterra de Magos, Cartaxo, Alenquer, Sobral de Monte Agraço, Arruda dos Vinhos e Torres Vedras. Relatório final.** Relatório 280/02 – G3ES. LNEC, Lisboa.
- Carvalho, E.C. & Oliveira, C.S., 1999.  
**Construção anti-sísmica. Edifícios de pequeno porte.** ICT. Informação Técnica. Estruturas. DIT 13. LNEC, Lisboa.
- Chapman, M.C., 1995.  
**A probabilistic approach to ground-motion selection for engineering design.** *BSSA*, **85**: 937-942.
- Chen, W.F. & Scawthorn, C., 2003.  
**Earthquake Engineering Handbook.** CRC Press.
- Choffat, P. & Bensaúde, A., 1913.  
**Estudos sobre o sismo do Ribatejo de 23 de Abril de 1909.** Comissão do Serviço Geológico de Portugal. Imprensa Nacional. Lisboa.
- Coburn, A.W. & Spence, R., 2002.  
**Earthquake protection.** John Wiley & Sons, LTD. Reino Unido.
- Coburn, A.W., Spence, R. & Pomonis, A., 1994.  
**Vulnerability and risk assesment.** 2ª Ed. Disaster Management Training Programme (DMTP). Department of Humanitarian Affairs (DHA). United Nations Development Programme (UNDP). Cambridge.

- Costa, A., 1990.  
**Análise sísmica de estruturas irregulares.** Informação Científica. Estruturas. INCES 8. LNEC, Lisboa.
- Di Pasquale, G. & Orsini, G., 1997.  
**Poposta per la valutazione di scenari di danno conseguenti as un evento sísmico a partire dai dati ISTAT.** 8 *Convegno Nazionale L'Ingegneria Sísmica in Italia.* Palermo.
- EERI, 2000.  
**Financial management of earthquake risk.** EERI Endowment Subcommittee on Financial Risk Management.
- FEMA & NIBS, 1999.  
**Earthquake loss estimation methodology – HAZUS 99.** Federal Emergency Management Agency and National Institute of Buildings Sciences, Washington DC.
- Giovinazzi, S. & Lagomarsino, S., 2003.  
**Seismic risk analysis: a method for the vulnerability assessment of built-up areas.** *European Safety and Reliability Conference.* Maastricht.
- Giovinazzi, S. & Lagomarsino, S., 2004.  
**A macroseismic method for the vulnerability assessment of buildings.** *13WCEE.* Vancouver. Artigo nº 896.
- Gutenberg, B. & Richter, C.F., 1942.  
**Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration.** *BSSA*, **3**: 163-191.
- INE, 2001.  
**Estatísticas da construção de edifícios.** Instituto Nacional de Estatística. Lisboa.
- INE, 2002.  
**Recenseamento da População e da Habitação (Portugal) - Censos 2001.** Instituto Nacional de Estatística. Lisboa.
- INE, 2003.  
**Censos 2001.** Programa Global. Instituto Nacional de Estatística. Lisboa.  
<http://www.ine.pt/censos2001/censos.asp>
- LESSLOSS, 2007.  
**Earthquake Disaster Scenario Prediction and Loss Modelling for Urban Areas.** Editor Robin Spence, IUSS Press, Pavia, Itália.
- Lucantoni, A., Brammerini, F. & Sabetta, F., 2002.  
**Last achievements in seismic risk assessment of Italy.** *12ECEE.* Londres. Elsevier Science Ltd. Artigo nº 464.
- McGuire, R.K., 1995.  
**Probabilistic seismic hazard analysis and design earthquakes: closing the loop.** *BSSA*, **85**: 1275-1284.
- McGuire, R.K., 2004.  
**Seismic hazard and risk analysis.** *EERI Monograph*, Earthquake Engineering Research Institute.
- Moreira, V.S., 1984.  
**Sismicidade histórica de Portugal Continental.** Separata da Revista do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica. Lisboa.
- Newmark, N.M. & Rosenblueth, E., 1971.  
**Fundamentals of earthquake engineering.** Prentice-Hall.



- Nunes, J.C., Costa, T.C., Senos, M.L., 1971.  
**Estudos de sismicidade no Arquipélago dos Açores – Aplicação ao sismo de 9 de Julho de 1998.** 4ESES, Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve, Faro.
- Oliveira, C.S., 1989a.  
**Efeitos dos sismos sobre as construções – Parte I – Danos mais frequentes.** *Revista Engenharia e Arquitectura*, Ano 3, nº 13, Fev / Março. Lisboa. pp. 34-52.
- Oliveira, C.S., 1989b.  
**Efeitos dos sismos sobre as construções - Parte II – Concepção estrutural e redução de danos.** *Revista Engenharia e Arquitectura*, Ano 3, nº 14, Abril/Maio. Lisboa. pp. 108-126.
- Oliveira, C.S., 1992.  
**Quantificação do movimento sísmico aquando do sismo de 1 de Janeiro de 1980.** Monografia *10 anos após o sismo dos Açores de 1 de Janeiro de 1980*. pp. 83-125, Editores C.S. Oliveira, A.R.A Lucas e J.H. Correia Guedes, LNEC e SRHOP, Lisboa.
- Paula, A., 1996.  
**Base de dados de informação macrossísmica.** Relatório realizado no âmbito do projecto Environment *Estudos de Risco Sísmico*. LNEC, Lisboa.
- Pereira de Sousa, F.L., 1919-1932.  
**O Terramoto do 1º de Novembro de 1755 em Portugal e um Estudo Demográfico.** Serviços Geológicos. Lisboa.
- RSA, 1983.  
**Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes.** Decreto-Lei nº 235/83 de 31 de Maio e Decreto-Lei nº 357/85 de 2 de Setembro. Imprensa Nacional - Casa da Moeda, 1986. Lisboa.
- RSCCS, 1958.  
**Regulamento de Segurança das Construções Contra os Sismos.** Decreto nº 41 658. Imprensa Nacional. Lisboa.
- RSEP, 1961.  
**Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes.** Decreto nº 44 041. Imprensa Nacional, Lisboa.
- Sandi, H., 1986.  
**Vulnerability and risk analysis for individual structures and systems.** *8ECEE*. LNEC, Lisboa. pp. 11-69
- Sousa, M.L. & Oliveira, C.S., 1991.  
**Sismicidade histórica: Intensidades sísmicas, cartas de isossistas e atenuação.** Relatório – NDA. LNEC, Lisboa.
- Sousa, M.L., 1996.  
**Modelos probabilistas para avaliação da casualidade sísmica em Portugal Continental.** Tese de Mestrado em Investigação Operacional e Engenharia de Sistemas. IST, UTL. Lisboa.
- Sousa, M.L. & Carvalho, A., 2001.  
**Estudo de casualidade sísmica no Grupo Central do Arquipélago dos Açores.** Relatório 208/01. LNEC, Lisboa.

- Sousa, M.L., Carvalho, A. & Campos Costa, A., 2001.  
**Seismic hazard de-aggregation for the Central Group of Azores Islands.** *5ESES*. LREC, Ponta Delgada. pp. 241-250.
- Sousa, M.L., 2006.  
**Risco Sísmico em Portugal.** Tese de Doutoramento em Engenharia do Território. IST, UTL. Lisboa
- Sousa, M.L., 2007.  
**Hierarquização das regiões de Portugal Continental em função do seu risco sísmico** Sísmica 2007 – 7º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, FEUP, Porto.
- Sousa, M.L., Campos Costa, A. & Oliveira, C.S., 2007.  
**Análise do risco sísmico de Portugal Continental**, II Encontro Nacional de Riscos, Segurança e Fiabilidade - Riscos Públicos e Industriais, IST, Lisboa.
- SSN, 1998.  
<http://www.serviziosismico.it/PROG/1998/RISCHIO/start.html>. [acedido em 2002].
- Tiedemann, H., 1990.  
**What can be gained from earthquake prediction?** *ECE/UN Seminar on Prediction of Earthquake Occurrence and Ground Motion*. Editado por Carlos S. Oliveira Lisboa. pp. 705–720.
- Tiedemann, H., 1992.  
**Earthquakes and volcanic eruptions: A handbook on risk assessment.** Swiss Reinsurance Company, Zurique, Suíça.
- Trifunac, M.D. & Brady, A.G., 1975.  
**On the correlation of seismic intensity scales with the peaks of recorded strong ground motion.** *BSSA*, **65**: 139-162.
- Trifunac, M.D. & Lee, V.W., 1989.  
**Empirical models for scaling pseudo relative velocity spectra of strong earthquake accelerations in terms of magnitude, distance, site intensity and recording site conditions.** *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **8**, nº 3. Elsevier Publishers Ltd, Los Angeles.
- Zuccaro, G. & Papa, F., 2002.  
**Method of seismic vulnerability and exposure assessment at national scale – the Italian case.** *I2ECEE*. Londres, Elsevier Science Ltd. Artigo nº 698.

VISTOS

O Engenheiro Director do  
do Departamento de Estruturas (DE)



João Almeida Fernandes  
Investigador Coordenador

A Engenheira Chefe  
do Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica  
de Estruturas (NESDE)

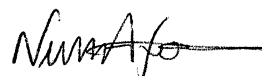


Ema Coelho  
Investigadora Principal

AUTORIA



Maria Luísa Sousa  
Investigadora Auxiliar  
(DE/NESDE)



Nuno Afonso  
Engenheiro Geógrafo

