

Risco sísmico no Algarve; Vulnerabilidade e fragilidade sísmica dos edifícios

Alfredo Campos Costa LNEC

Agradecimentos:

M.L Sousa LNEC

L. Mendes LNEC

J. Estevão Ualg

ANPC – pela disponibilização dos resultados do estudo
ESTUDO DO RISCO SÍSMICO E DE TSUNAMIS DO
ALGARVE (ESRTA)

Reabilitação Sísmica de Edifícios. SEMINÁRIO
Oz e UAlg, 2 de Outubro de 2008

Sumário:

1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

- O Sismo de Abruzzo de 6 de Abril de 2009 em Itália
- Principais ensinamentos para o Algarve

2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

- Fundamentos dos estudos de Risco Sísmico
- Análise da perigosidade sísmica do Algarve
- Classificação e existências de edifícios no Algarve
- Vulnerabilidade e fragilidade sísmicas dos edifícios
- Estimativa perdas para o cenário sísmico de 1755

3. Observações finais

1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

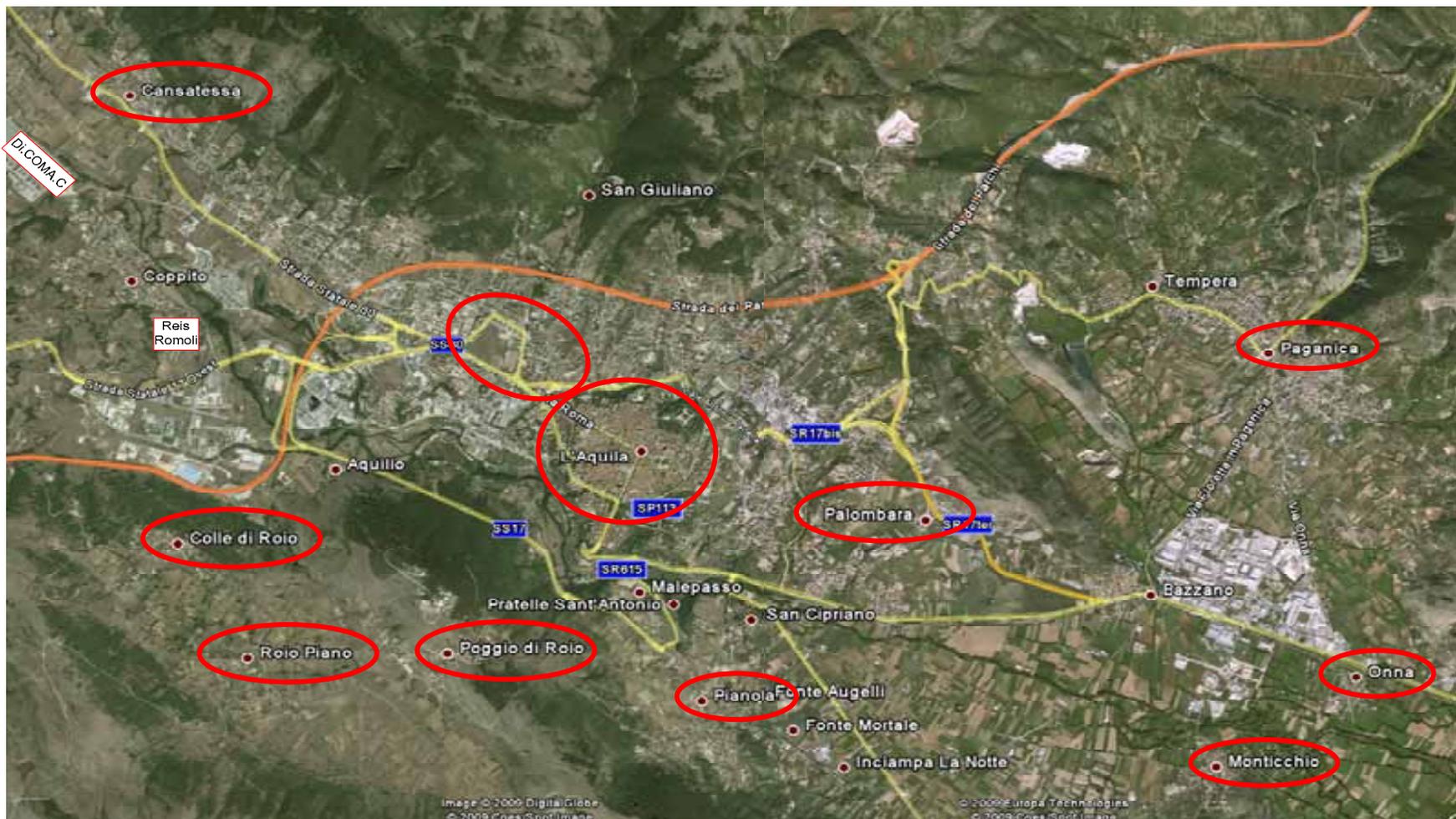
- O Sismo de Abruzzo de 6 de Abril de 2009 em Itália
 - A crise sísmica
 - Danos observados em edifícios de BA e mistos
 - ☞ Ductilidade baixa (em geral anteriores 1980)
 - ☞ Ductilidade média/alta (posteriores a 1990)
 - Danos observados em edifícios de alvenaria
 - ☞ Sem intervenção de reforço.
 - ☞ Com intervenções de reforço.
 - Principais ensinamentos para o Algarve

1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ O Sismo de Abruzzo de 6 de Abril de 2009 em Itália

□ A crise sísmica

As missões do LNEC à região afectada: 1) MIC da EU; 2) LNEC; 3) JRC e LNEC



1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ O Sismo de Abruzzo de 6 de Abril de 2009 em Itália

□ A crise sísmica

6 de Abril de 2009 às 3:33 hora local, 01:32:39

- Sismo principal **MI=5.8 e Mw=6.3**, profundidade 8.8km
- 10 000 réplicas na primeira semana situando-se os epicentros desta sequência a 10-12 km de profundidade
- Réplica mais severa, 7 de Abril MI =5.3
- Falha normal com um plano de falha orientado NW-SE e extensão NE-SW (anti-apenina)
- Efeitos claros de amplificação local em solos moles
- População L'Aquila = 73 000 habit.
- edifícios interditos nas regiões com Intensidade > VI
- 25% edifícios total/ não seguros



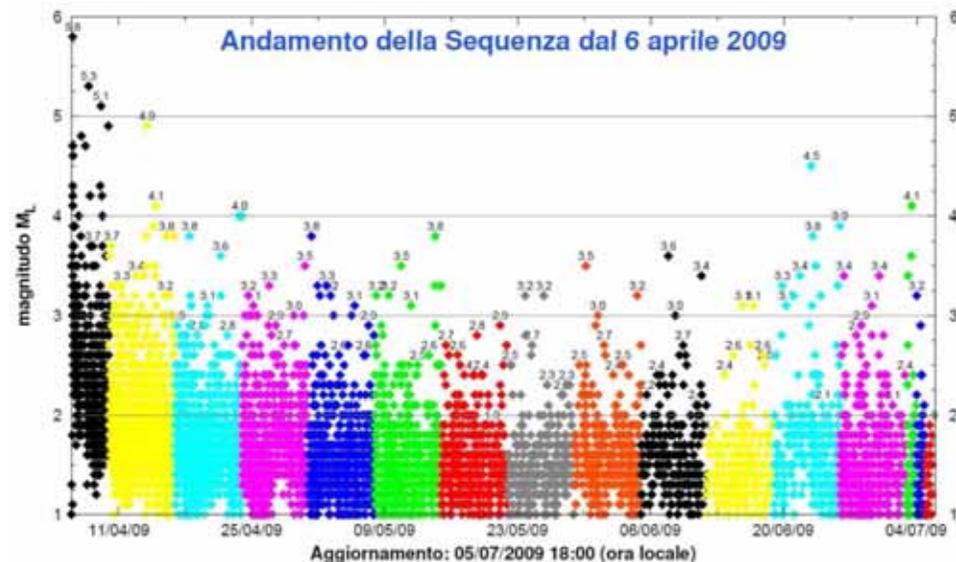
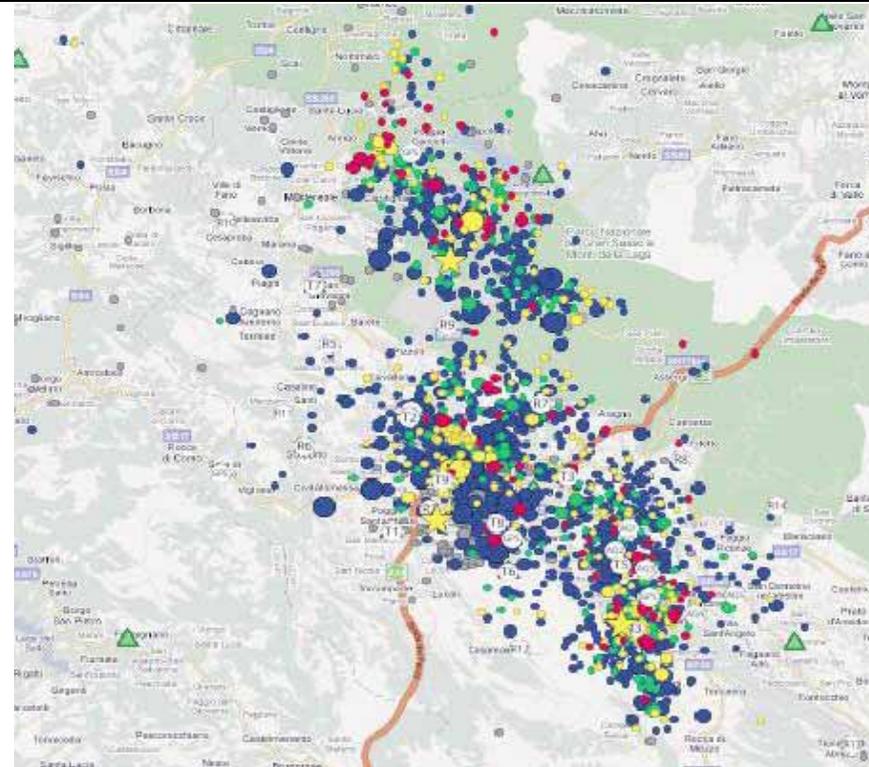
1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ O Sismo de Abruzzo de 6 de Abril de 2009 em Itália

□ A crise sísmica

6 de Abril de 2009 às 3:33 hora local, 01:32:39

- Sismo principal **MI=5.8 e Mw=6.3**, profundidade 8.8km
- 10 000 réplicas na primeira semana situando-se os epicentros desta sequência a 10-12 km de profundidade
- Réplica mais severa, 7 de Abril MI =5.3
- Falha normal com um plano de falha orientado NW-SE e extensão NE-SW (anti-apenina)
- Efeitos claros de amplificação local em solos moles
- População L'Aquila = 73 000 habit.
- edifícios interditos nas regiões com Intensidade > VI
- 25% edifícios total/ não seguros



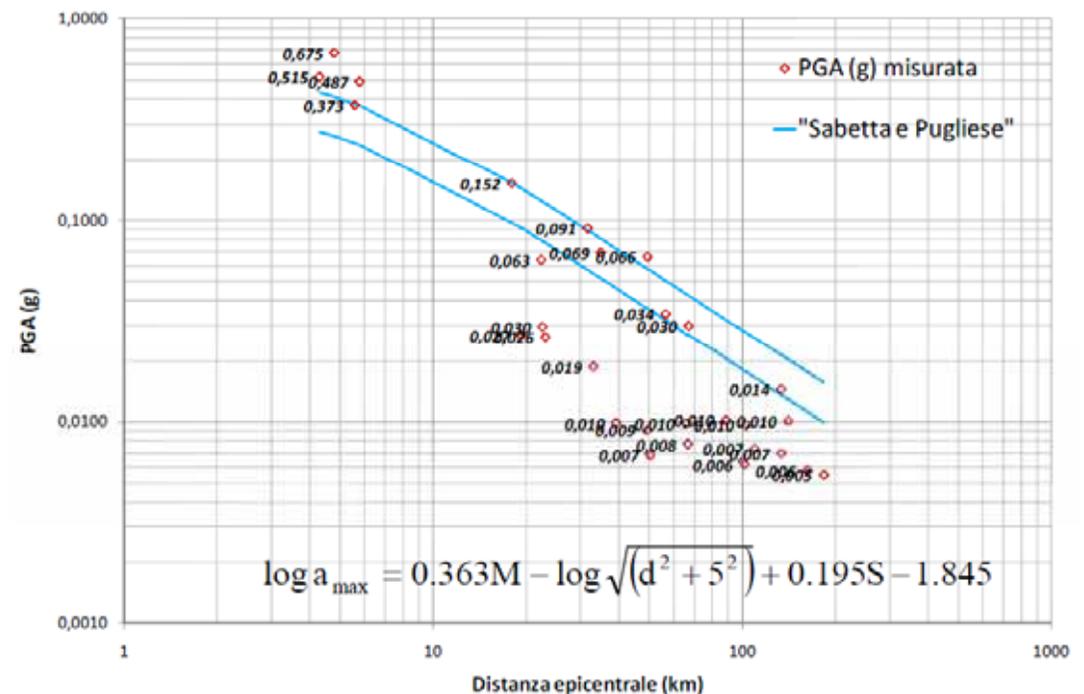
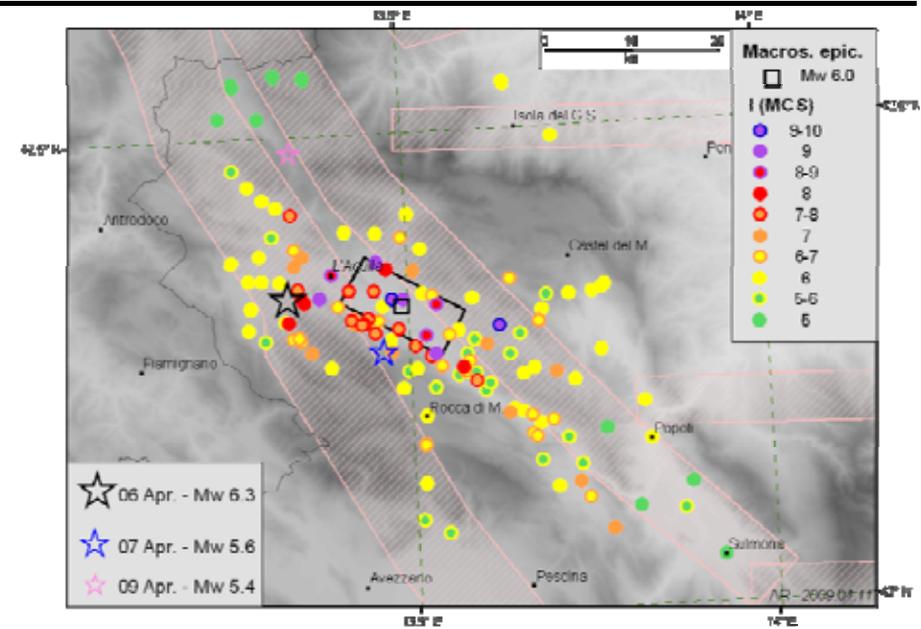
1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ O Sismo de Abruzzo de 6 de Abril de 2009 em Itália

□ A crise sísmica

6 de Abril de 2009 às 3:33 hora local, 01:32:39

- Sismo principal **MI=5.8 e Mw=6.3**, profundidade 8.8km
- 10 000 réplicas na primeira semana situando-se os epicentros desta sequência a 10-12 km de profundidade
- Réplica mais severa, 7 de Abril MI =5.3
- Falha normal com um plano de falha orientado NW-SE e extensão NE-SW (anti-apenina)
- Efeitos claros de amplificação local em solos moles
- População L'Aquila = 73 000 habit.
- edifícios interditos nas regiões com Intensidade > VI
- 25% edifícios total/ não seguros

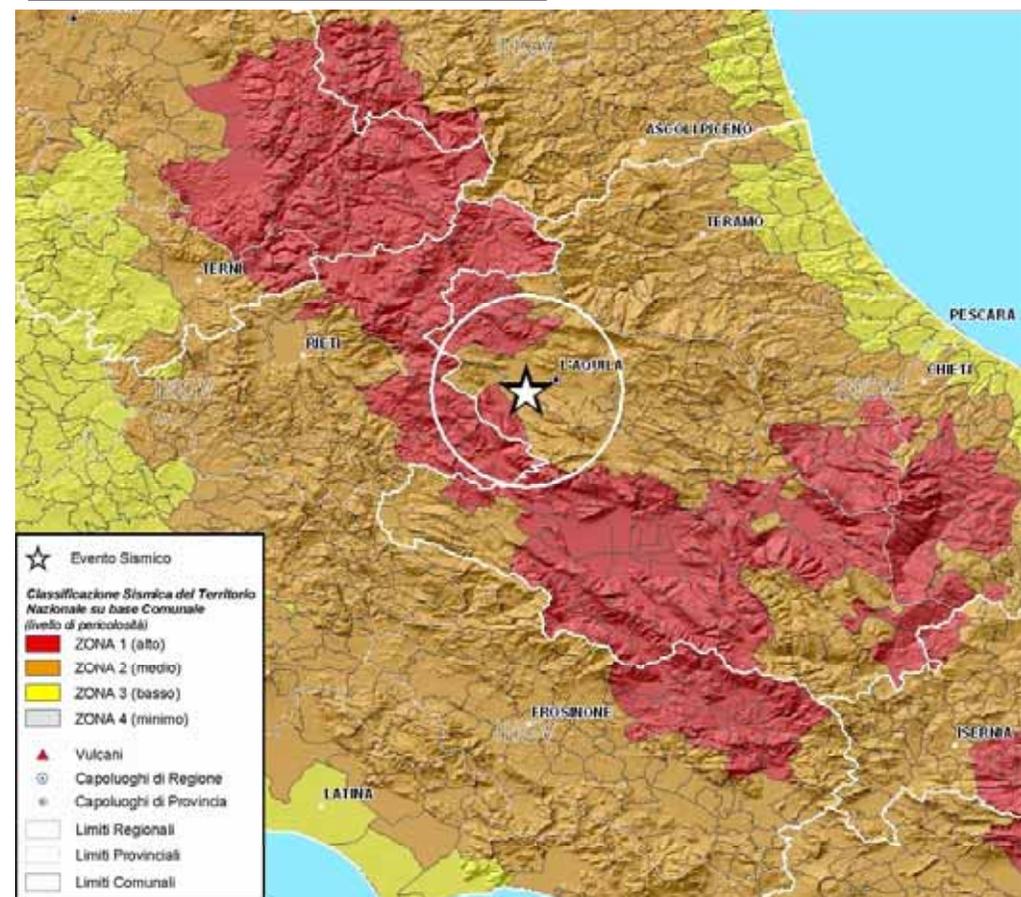
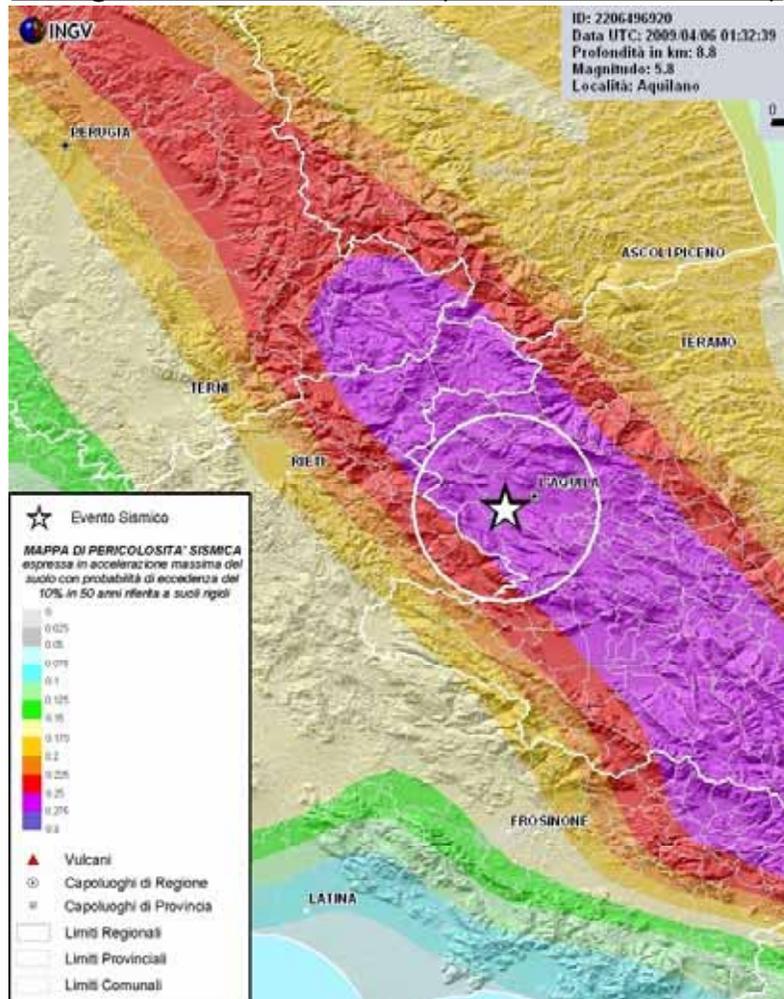


1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ O Sismo de Abruzzo de 6 de Abril de 2009 em Itália

□ A crise sísmica

Perigosidade Sísmica (10% em 50 anos) x Zonamento sísmico italiano



1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

- BA e mistos: Ductilidade baixa (em geral anteriores 1980)



Edifício em frente à da *Residência dos Estudantes* em L'Áquila



Edifício público no centro de L'Áquila de meados do século XX

1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ BA e mistos: Ductilidade baixa



Edifício em Onna

1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ BA e mistos: Ductilidade baixa



Edifício em L'Áquila



1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ BA e mistos: Ductilidade baixa



Edifício em L'Áquila

1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ BA e mistos: Ductilidade baixa



Edifício em Pianola



1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ BA e mistos: Ductilidade baixa (<1980)

Principais factores de vulnerabilidade:

1. Dimensionamento sísmico deficiente (fraca resistência a forças horizontais dos elementos verticais)
2. Fraca qualidade dos materiais (betão com maus inertes)
3. Fraca aderência aço betão (armaduras lisas)
4. Estado conservação dos materiais (recobrimento insuficiente de armaduras)
5. Má pormenorização de armaduras (nós sem cintagem e comprimentos de amarração insuficientes)
6. Insuficiente cintagem de pilares.
7. Estribos a fecharem a 90°
8. Interacção entre pórtico e painéis de enchimento (colunas curtas)
9. Interacção entre edifícios (choque entre edifícios)



1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ BA e mistas: Ductilidade média/alta (posteriores a 1990)



Edifício em L'Áquila

1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ BA e mistas: Ductilidade média/alta (posteriores a 1990)



Edifício nos arredores L'Áquila



1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

- BA e mistas: Ductilidade média/alta (posteriores a 1990)



Edifício nos arredores do perímetro L'Áquila

1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ BA e mistas: Ductilidade média/alta (posteriores a 1990)



Edifício nos arredores L'Áquila

1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ BA e mistas: Ductilidade média/alta (posteriores a 1990)

Principais factores de vulnerabilidade:

1. Alvenarias interiores não confinadas (danos não estruturais excessivos nos pisos inferiores)
2. Elevada deformabilidade (deslocamentos excessivos no topo com derrube de objectos)
3. Interaçãõ entre pórtico e painéis de enchimento (colunas curtas e algumas rupturas prematura nos pilares do piso térreo)
4. Casos de interacção entre edifícios (choque entre edifícios)



1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ Alvenaria: Sem e com intervenções de reforço

Principais factores de vulnerabilidade:

1. Má qualidade da alvenaria (e.g. em zonas rurais)
2. Telhados pesados que induzem forças horizontais elevadas perpendiculares ao pano da parede
3. Martelamento das paredes pelas vigas dos pisos
4. Alterações estruturais (coberturas e pisos, etc. em BA)



Vista aérea de L'Áquila; o *Forte Español*

1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ Alvenaria: Sem e com intervenções de reforço

Principais factores de vulnerabilidade:

1. Má qualidade da alvenaria (e.g. em zonas rurais)
2. Telhados pesados que induzem forças horizontais elevadas perpendiculares ao pano da parede
3. Martelamento das paredes pelas vigas dos pisos
4. Alterações estruturais (coberturas e pisos, etc. em BA)



Claustro no interior do *Forte Espanhol*

Corpo sem tirantes de reforço



Corpo com tirantes de reforço

1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ Alvenaria: Sem intervenções de reforço

- Má qualidade da alvenaria (e.g. em zonas rurais)

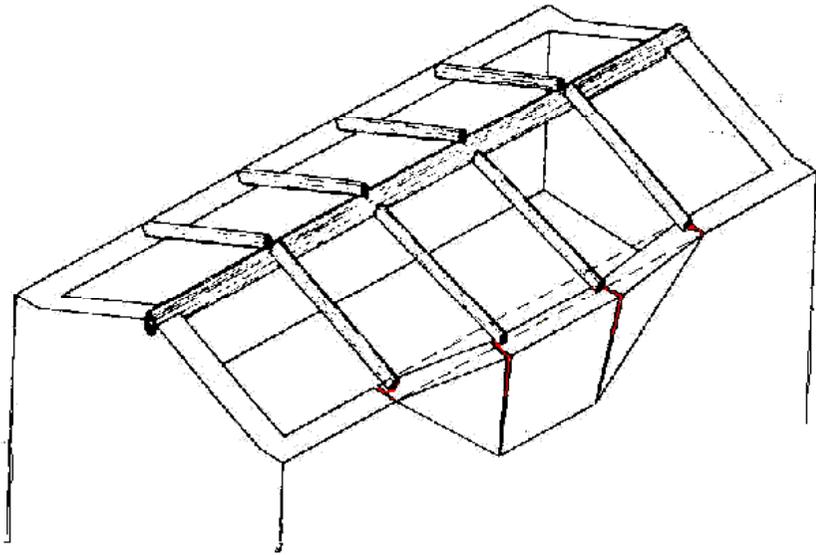


Edifícios em alvenaria de pedra em Onna

1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ Alvenaria: Sem e com intervenções de reforço

- Telhados pesados que induzem forças horizontais elevadas perpendiculares ao pano da parede



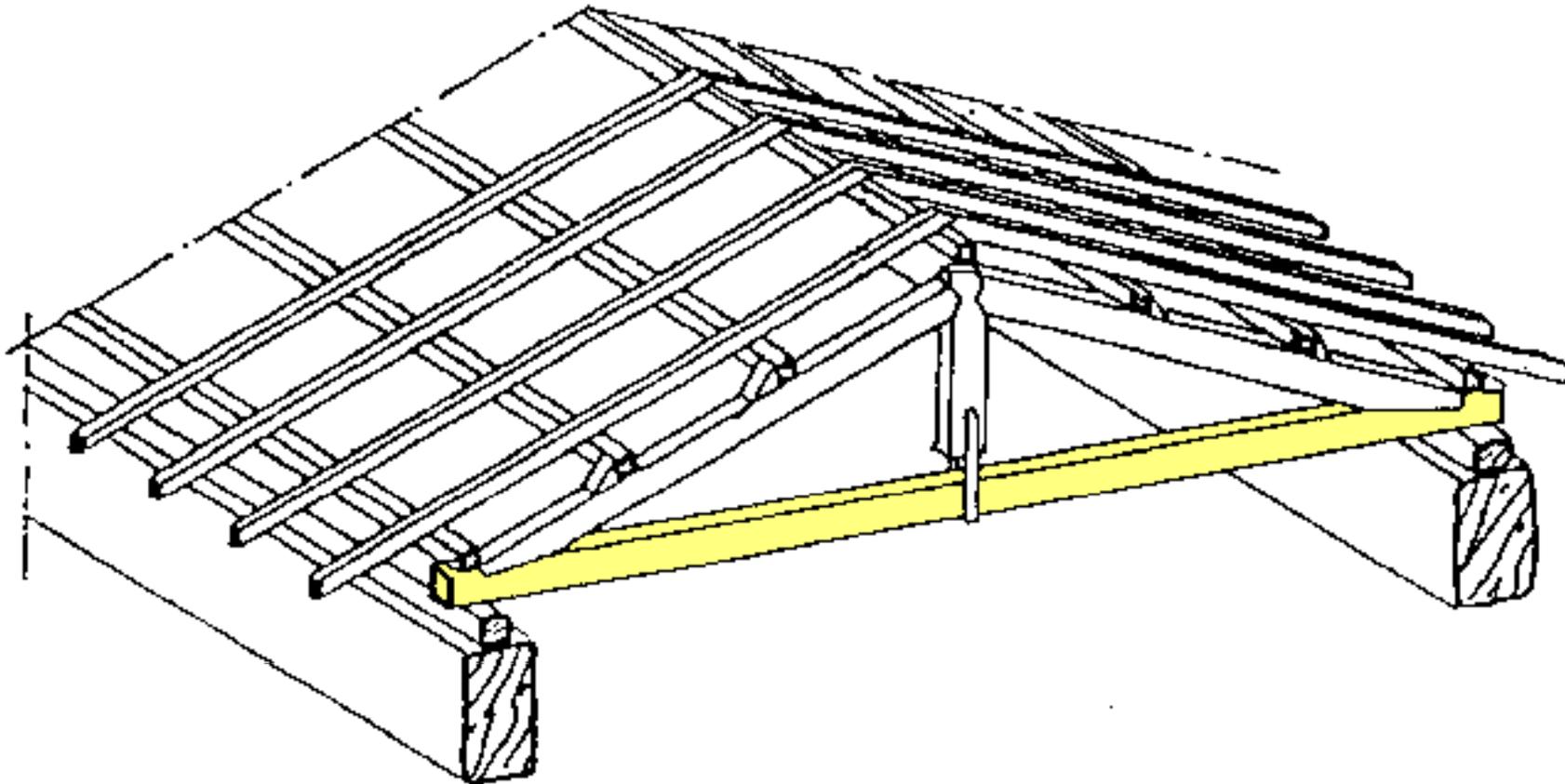
Edifício em alvenaria de
pedra em L'Áquila



1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ Alvenaria: Sem e com intervenções de reforço

- Telhados pesados que induzem forças horizontais elevadas perpendiculares ao pano da parede

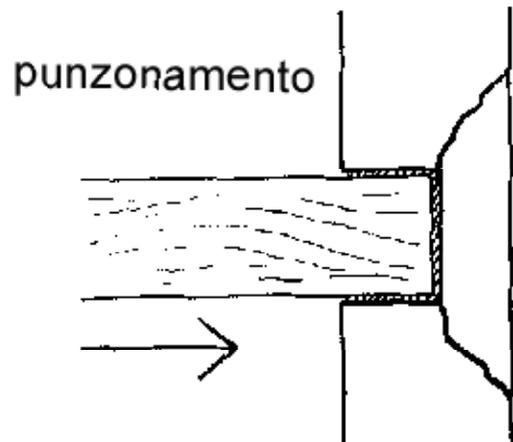


Telhado que não induz forças laterais nas paredes

1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ Alvenaria: Sem e com intervenções de reforço

- Martelamento das paredes pelas vigas dos pisos

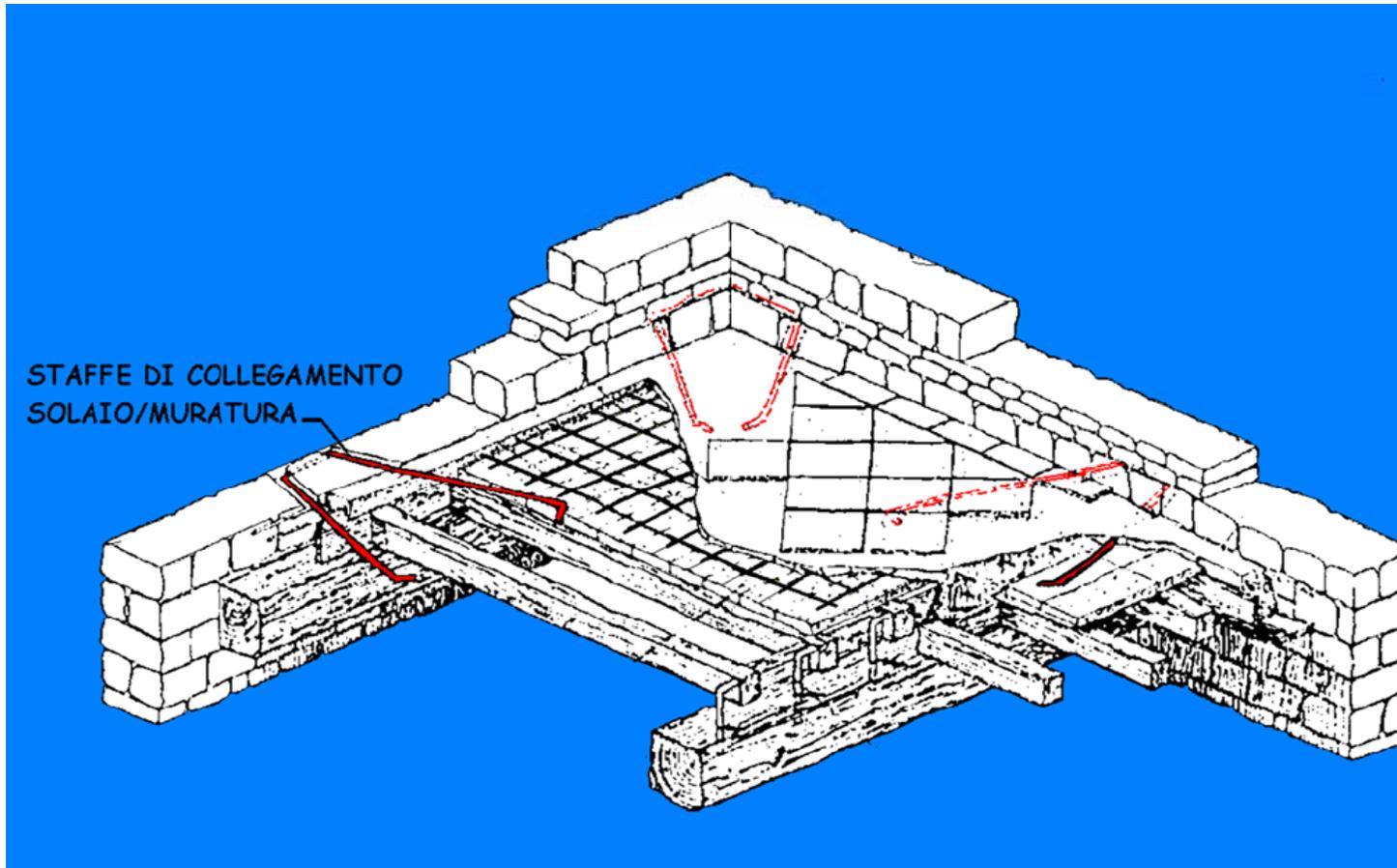


Edifício em alvenaria de
pedra em L'Áquila

1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ Alvenaria: Sem e com intervenções de reforço

- Martelamento das paredes pelas vigas dos pisos



Método de fixação do pavimento às paredes exteriores

1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ Alvenaria: Sem e com intervenções de reforço

- Alterações estruturais (coberturas e pisos, etc. em BA)



1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ Alvenaria: Sem e com intervenções de reforço

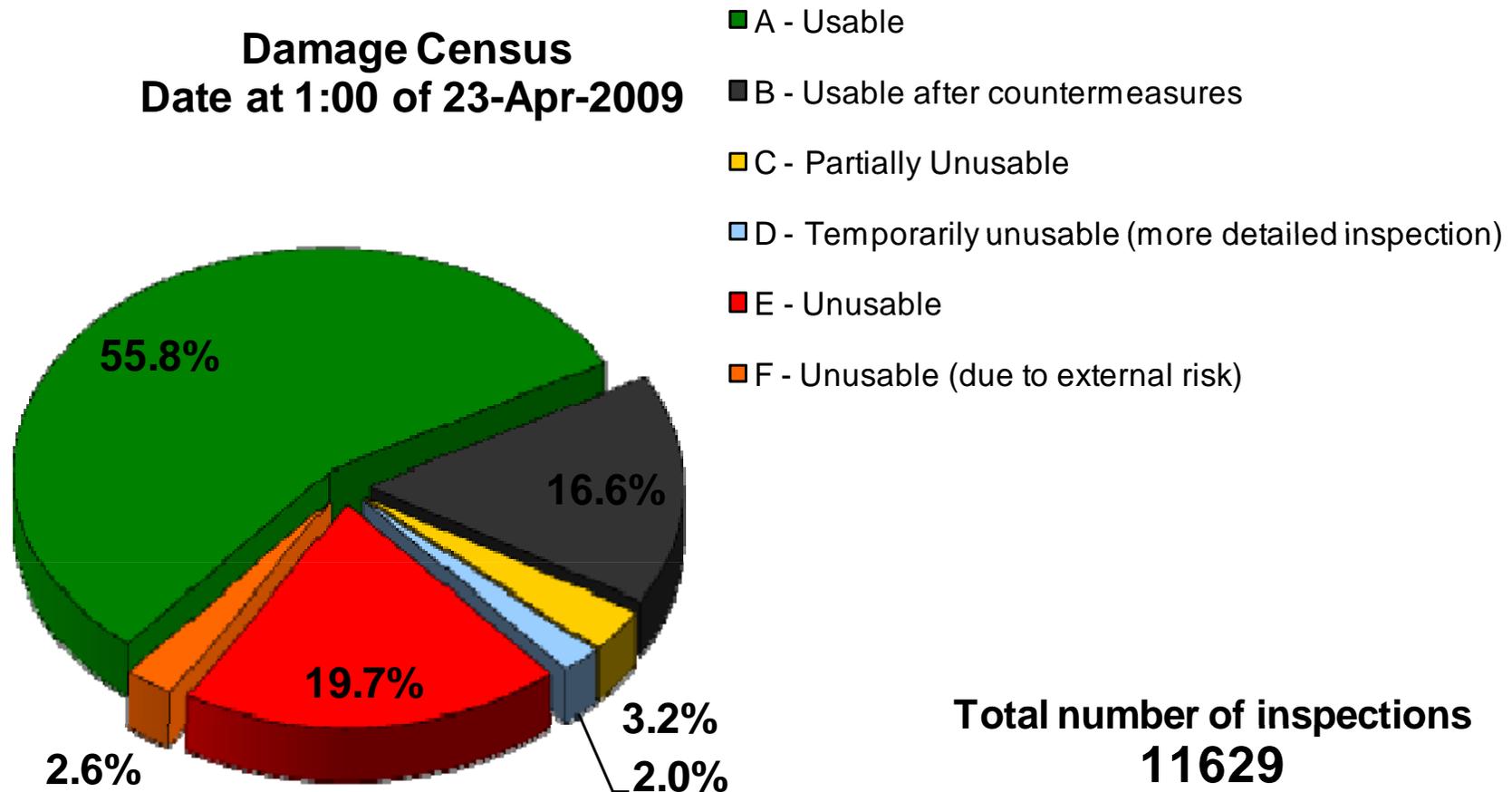
- Alterações estruturais (coberturas e pisos, etc. em BA)



Edifícios em alvenaria de pedra em Onna

1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ Estatística de perdas: critério de *utilidade*



1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ Principais ensinamentos

1. A Intensidade sísmica observada seria próxima da intensidade das acções de dimensionamento se o zonamento sísmico regulamentar estivesse de acordo com estudos de perigosidade sísmica da região (0,3g nos 475 anos).
2. As estruturas de BA posteriores à introdução dos conceitos modernos de bom comportamento sísmico (exploração de ductilidade) tiveram um comportamento sísmico razoável para os estados limites últimos. Porém a elevada deformabilidade introduzida das práticas do dimensionamento dúctil, aliadas a uma concepção arquitectónica deficiente, resultaram em danos elevados não estruturais num número significativo de edifícios.
3. As estruturas de BA anteriores à introdução daqueles conceitos tiveram um comportamento sísmico deficiente em particular na zona urbana de L'Áquila
4. Os edifícios não reforçados de alvenaria pedra, de fraca qualidade, localizados nas zonas rurais que sofreram fortes amplificações dos movimentos sísmicos intensos, decorrentes das condições geotécnicas locais de solo (aluviões profundos), sofreram danos elevadíssimos. Porém, edifícios modernos de BA localizados nestas mesmas regiões não sofreram danos.
5. Os edifícios em alvenaria pedra de qualidade razoável localizados nas zonas urbanas (L'Áquila) que possuíam reforços com tirantes de ligação entre paredes tiveram comportamento claramente melhor de que os edifícios da mesma tipologia que se encontravam nas suas proximidades mas que não possuem aqueles dispositivos de reforço.

1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ Principais ensinamentos para o Algarve

Interacção entre edifícios - pounding



1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ Principais ensinamentos para o Algarve

Irregularidade em altura e em planta



1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ Principais ensinamentos para o Algarve

Instabilidade de encostas



1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ Principais ensinamentos para o Algarve

Pisos vazados – formação de mecanismos de soft-storey



1. Comportamento sísmico de edifícios correntes

■ Principais ensinamentos para o Algarve

Pisos vazados – formação de mecanismos de soft-storey



2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

■ Fundamentos dos estudos de risco sísmico

$$R_S = f(H, V, E)$$

Fotografia de Jorge Rodrigues [1998]



Fotografia Robert E. Wallace [U]



Perigosidade, H

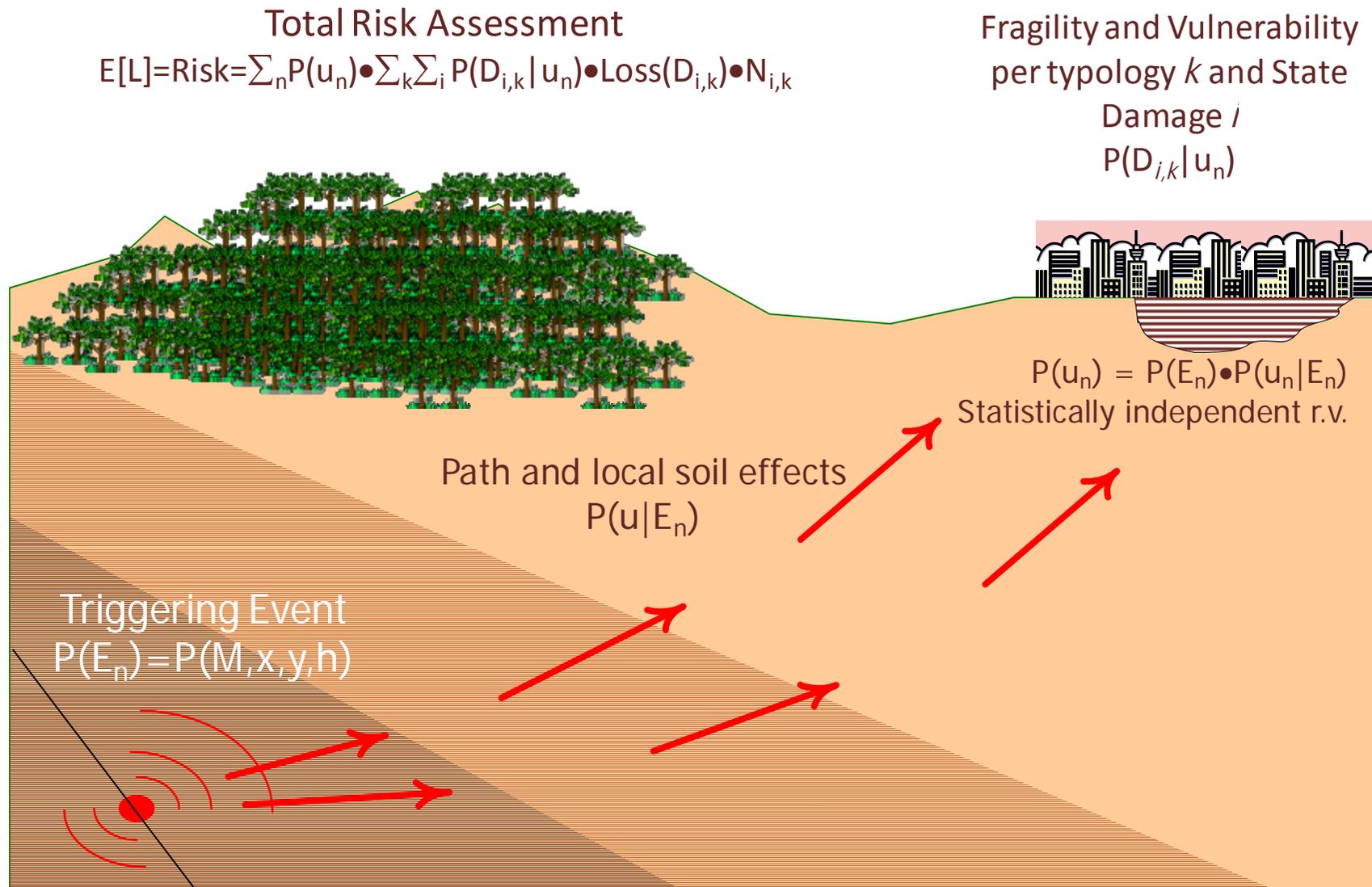
Vulnerabilidade, V



Exposição, E

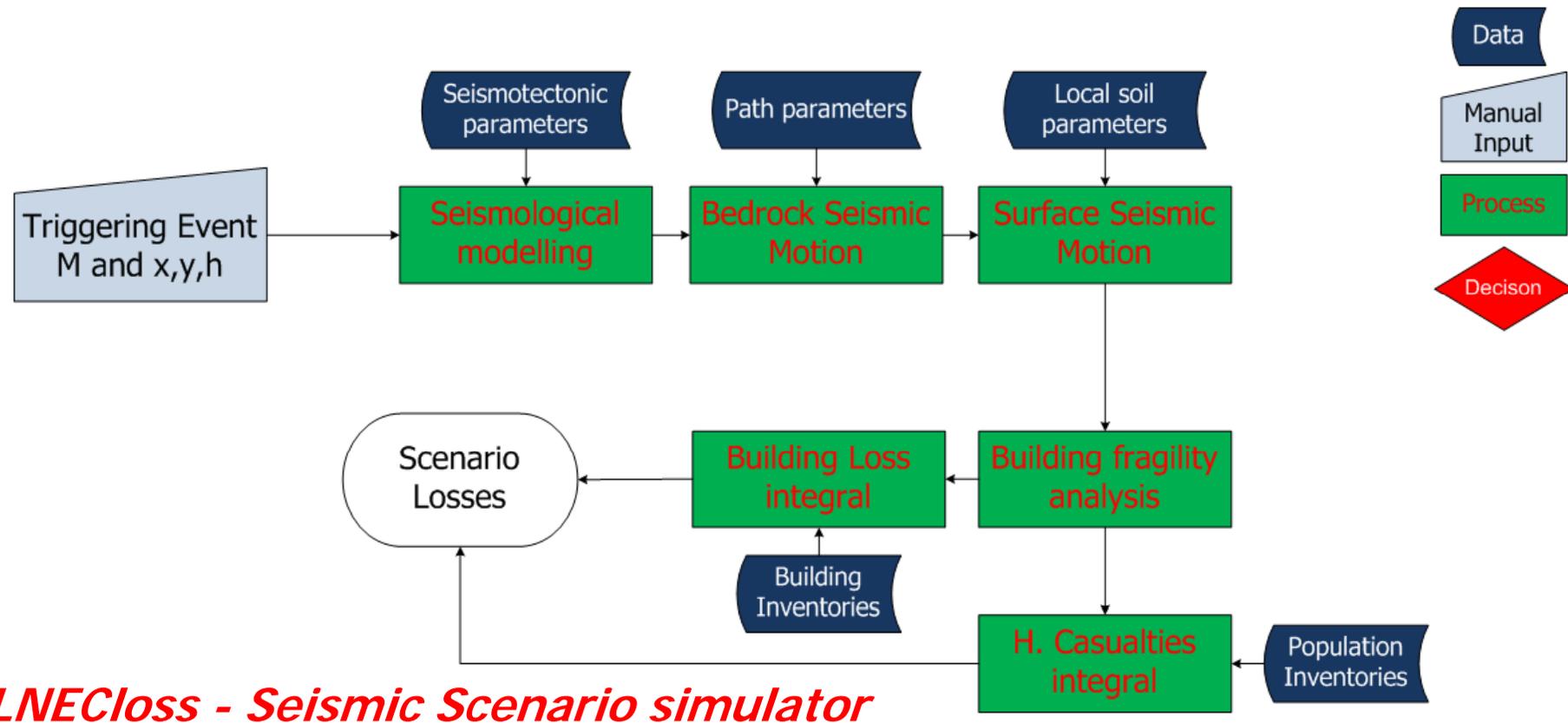
2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

■ Fundamentos dos estudos de risco sísmico



2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

■ Fundamentos dos estudos de risco sísmico



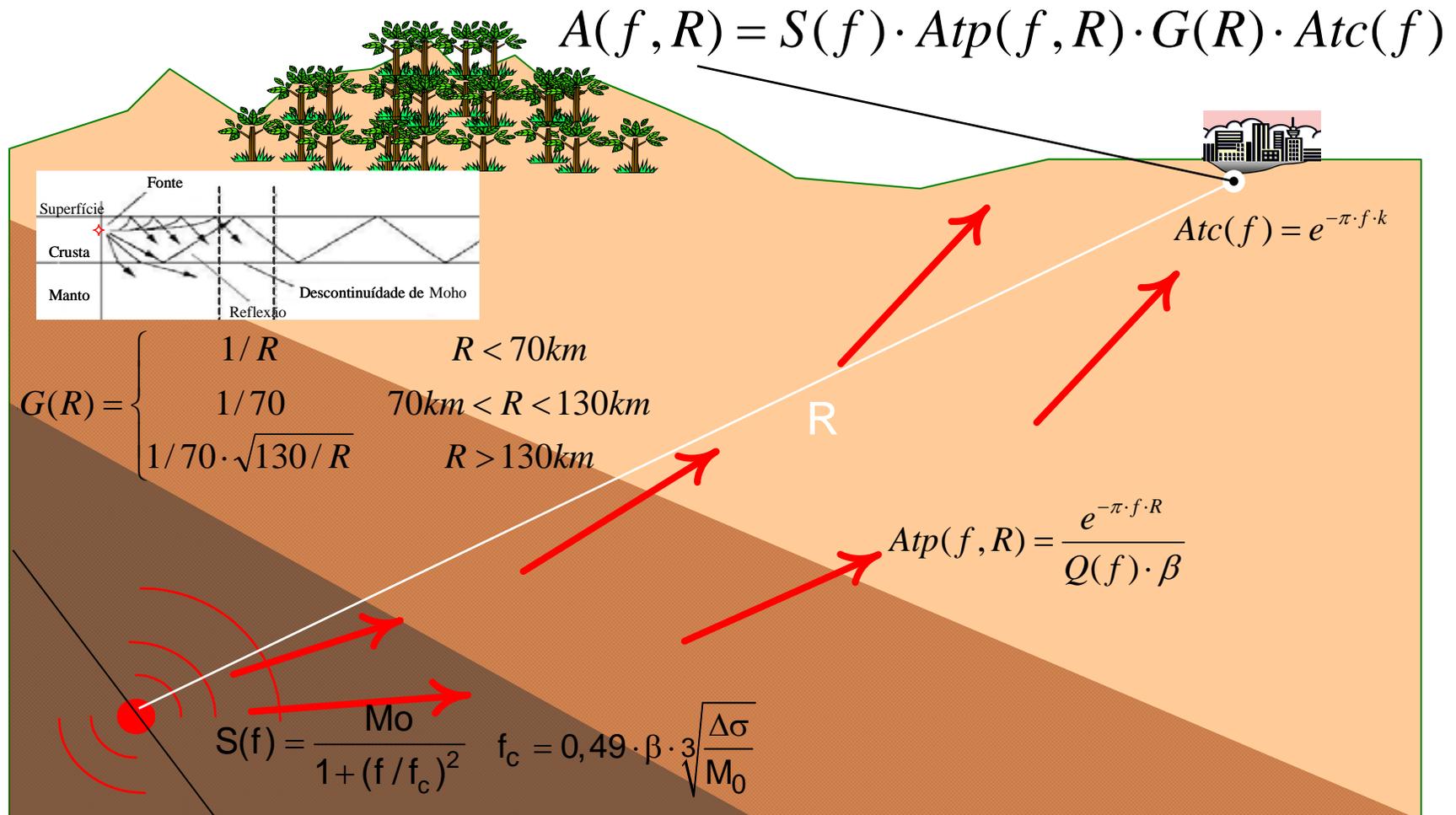
2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

■ Fundamentos dos estudos de risco sísmico

Seismological model for synthetic motions at bedrock level;

Boore (1983; 2003) – point source

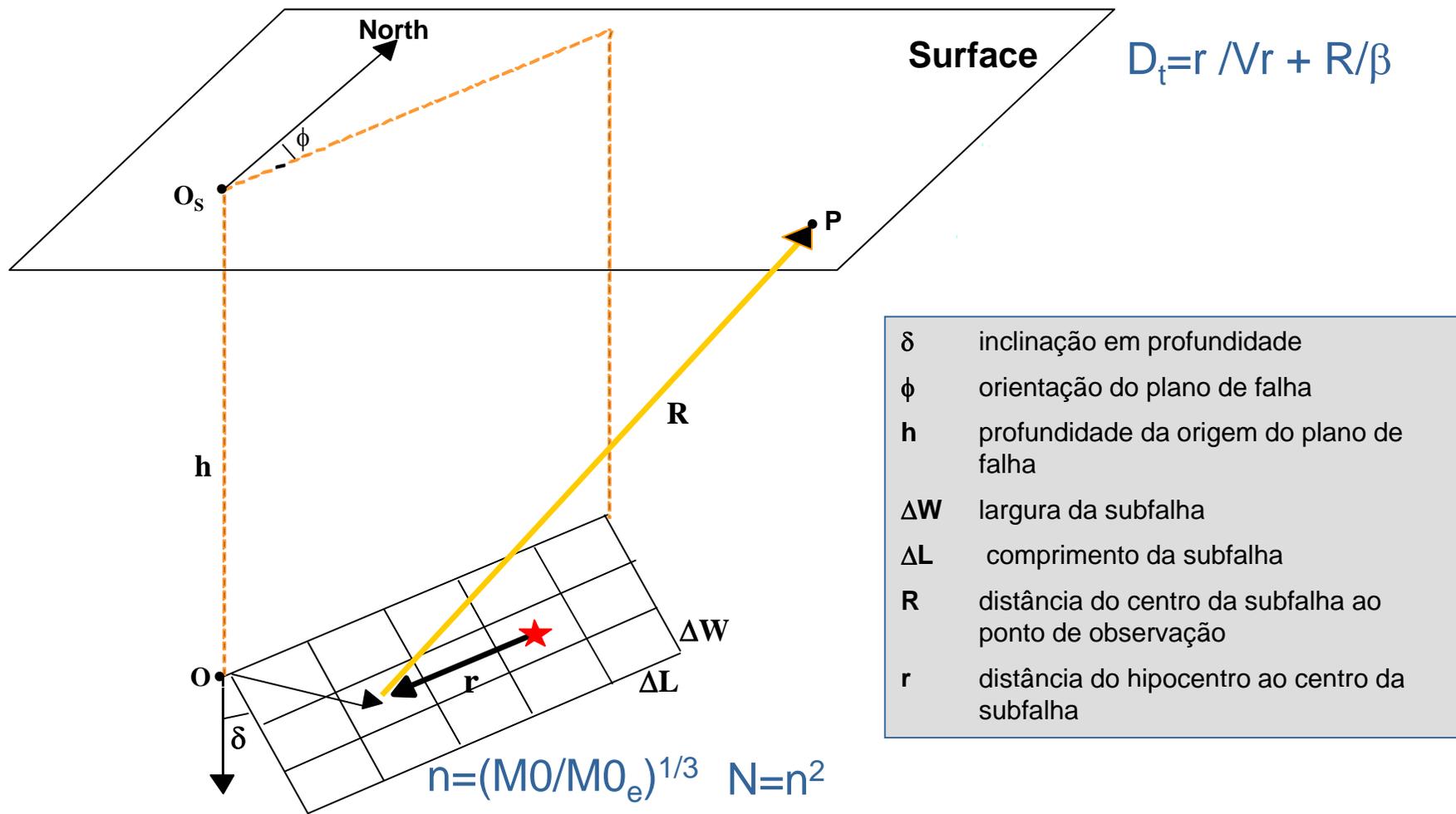
Atkinson et. al. (1998; 2002) – finite fault model source



2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

■ Fundamentos dos estudos de risco sísmico

Finite fault modeling: Fault plane divided in sub-faults considered point sources. Contributions synthesized at the local site taking into account delay time D_t rupture velocity and focal distance.



2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

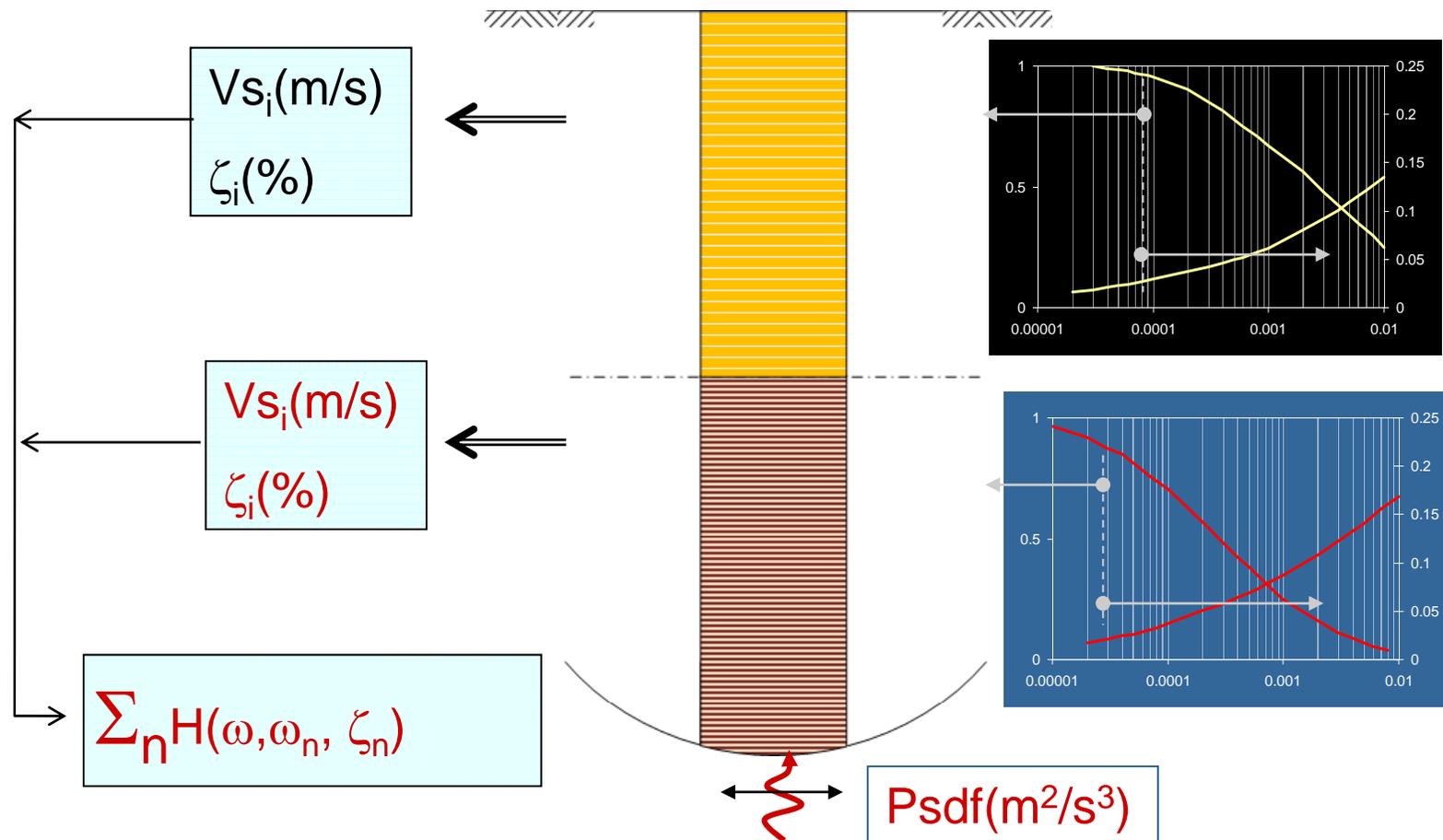
■ Fundamentos dos estudos de risco sísmico

Avaliação de efeitos locais de amplificação dos solos

Motions at surface by inelastic modeling of site soil conditions

SHAKE – Deterministic analysis in frequency domain

Bilé Serra (1998) – Stochastic analysis



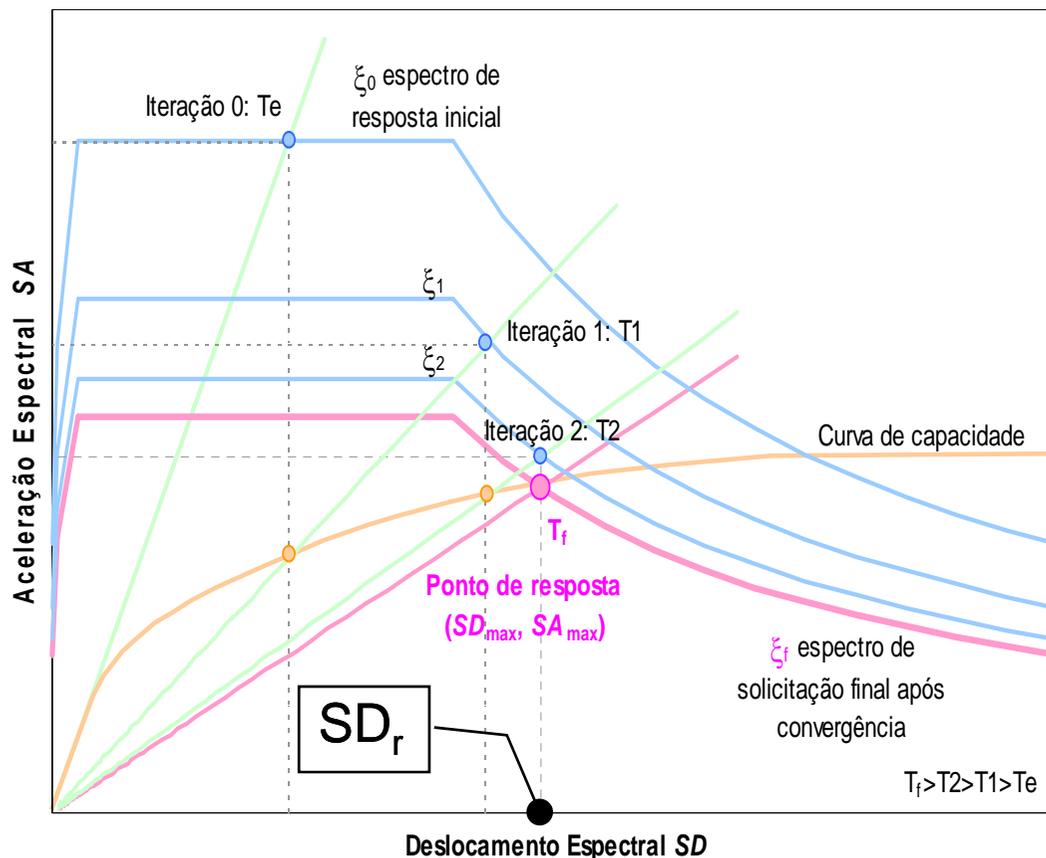
2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

■ Fundamentos dos estudos de risco sísmico

Avaliação da resposta sísmica das estruturas (vulnerabilidade)

FEMA & NIBS methodology (HAZUS99) - VULNERABILITY

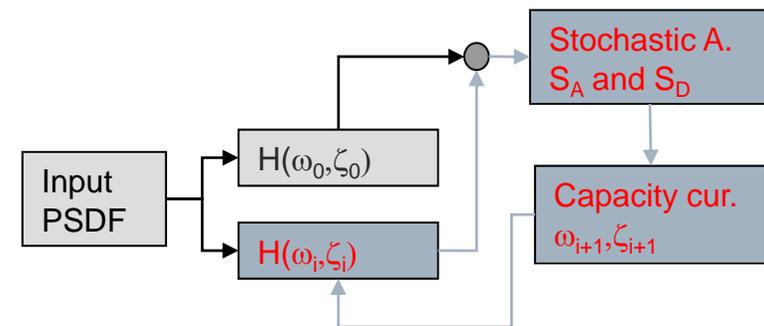
- Evaluation of building responses through a capacity curve non linear FxD $\Rightarrow S_A \times S_D$ Displacement Based Assessment - Response Spectra (E_r) & iterative computation of the \Rightarrow Performance Point D_r



LNECloss alternative equivalent scheme

- Definition of input motion \Rightarrow Power spectral density function (PSDF)
 - Performance Point D_r computed through an iterative linear stochastic analysis.
- Advantages:

Explicit time duration consideration
 Non stationary strong ground motions
 etc ... etc ...



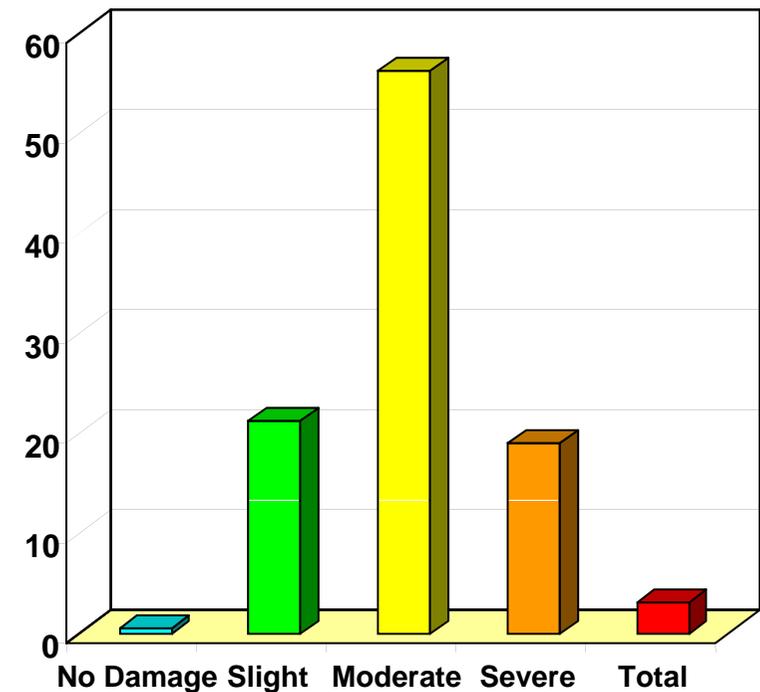
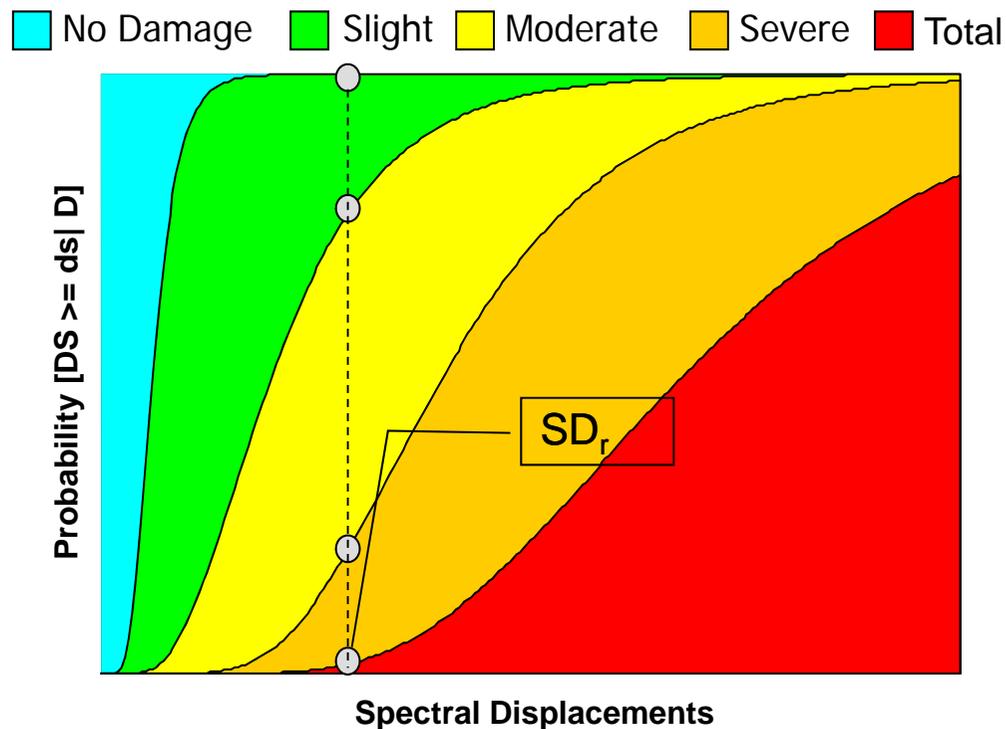
2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

■ Fundamentos dos estudos de risco sísmico

Avaliação da resposta sísmica das estruturas (fragilidade)

FEMA & NIBS Methodology (HAZUS99 software) – FRAGILITY

1. Displacement based Damage Limit States
2. Fragility defined in terms of structural response and not seismic intensity



2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

■ Fundamentos dos estudos de risco sísmico

$$R_S = f(H, V, E)$$

Fotografia de Jorge Rodrigues [1998]



Fotografia Robert E. Wallace [U]



Perigosidade, H

Vulnerabilidade, V



Exposição, E

2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

■ Fundamentos dos estudos de risco sísmico

- LNECloss is a state-of-the-art software for computing seismic risk for deterministic scenarios.
 1. Complex methodologies to simulate the triggering earthquake events and to propagate the energy from source to the bedrock level of sites.
 2. Nonlinear modeling of soil deposits at the sites to obtain the surface input motions using robust methodologies frequently used by the geotechnical engineer community for the design of important infrastructures.
 3. Nonlinear procedures to calculate the damage inflicted to elements at risk based on the structural mechanical behavior, conjugated with statistical data (fragility curves), rather than based exclusively on empirical data (damage probability matrices)
 4. It is integrated in *GIS* environment allowing the geographical mapping of scenario losses over large urban areas.

2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

■ Análise da perigosidade sísmica do Algarve

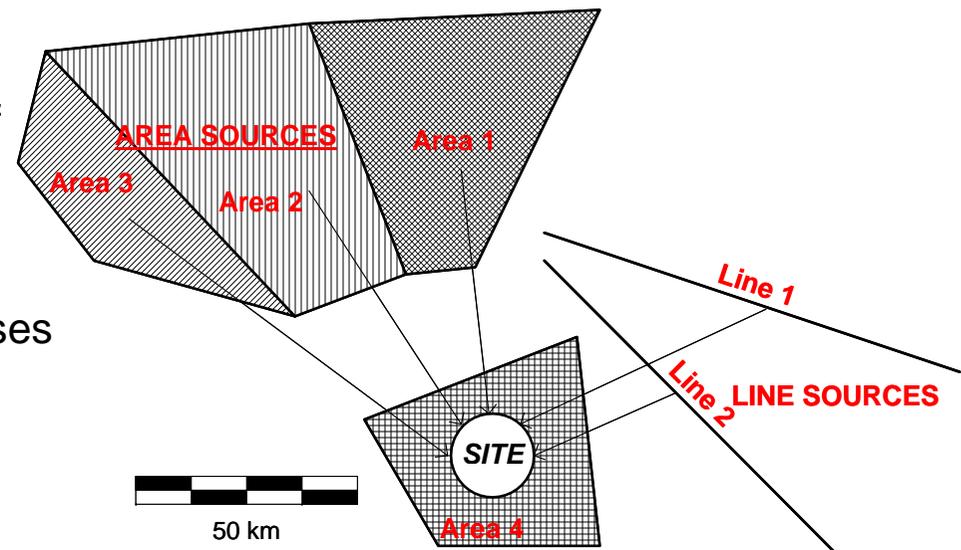
- Earthquakes occur at random in *space*, *time* and *magnitude*
- For a given earthquake event, the intensities of Earthquake events on sites intensities are also *random processes*.
- SHA – Probabilistic methods to compute the probability of a given intensity level of being exceed in a given time interval (generally one year)

$$P(U > u)_k = \int_R \int_{m\alpha_k}^{mu_k} P(U > u | m, R) \cdot f_M(m)_k \cdot f_R(R)_k \cdot dm \cdot dR$$

$$\omega_k = v_k \cdot P(U > u)_k \quad \text{Annual mean rate of occurrence of } u$$

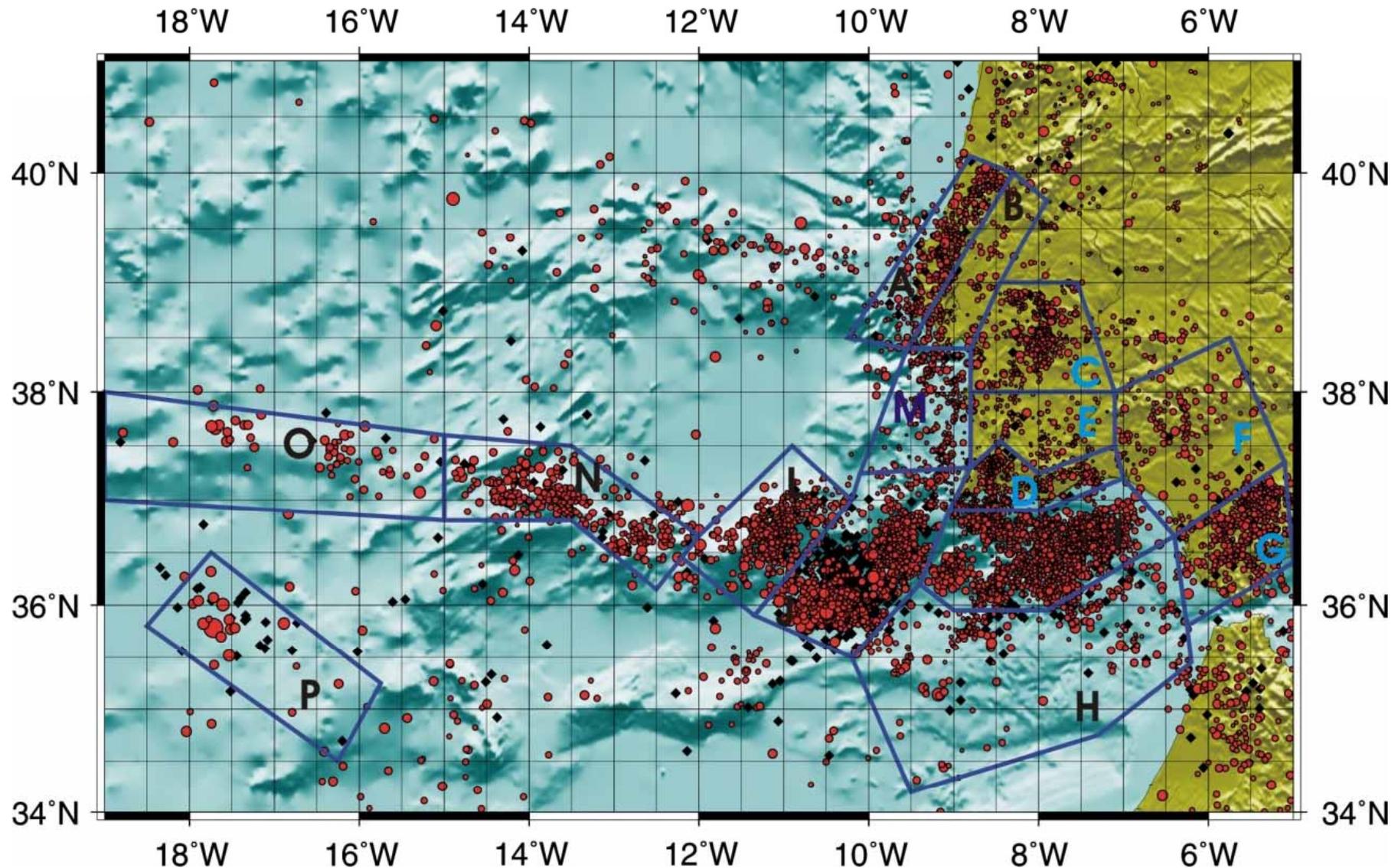
$$P(U > u) = 1 - e^{\left(-\sum_{k=1}^n \omega_k\right)} \quad n \text{ independent Poisson processes}$$

$$RP(u) = \frac{1}{1 - e^{\left(-\sum_{i=1}^n \omega_i\right)}} \quad \text{Mean Return Period}$$



2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

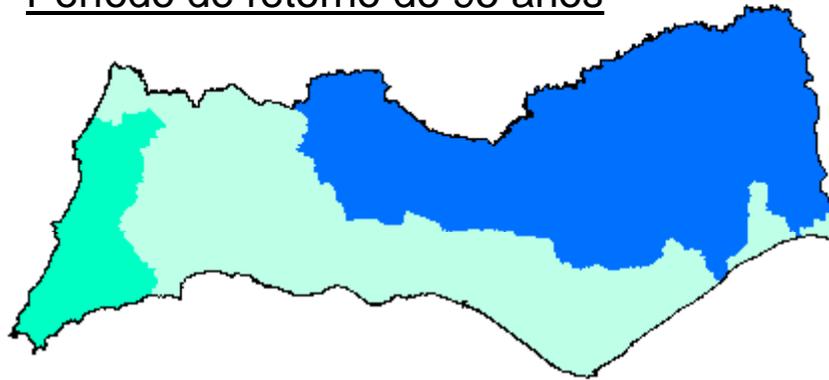
- Análise da perigosidade sísmica do Algarve. Mapa de epicentros e zonas de sismogénese



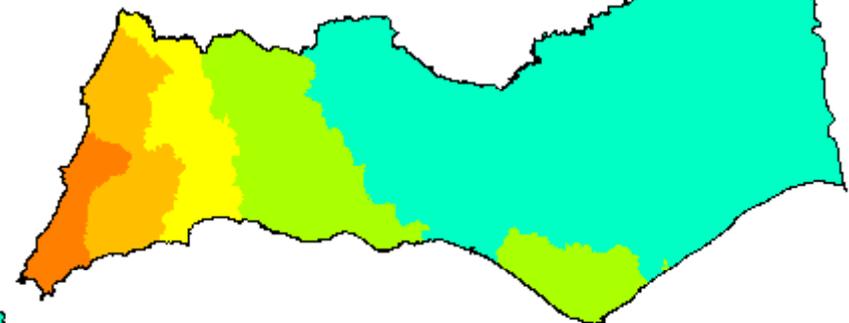
2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

- Análise da perigosidade sísmica do Algarve. Mapas de Perigosidade Sísmica

Período de retorno de 95 anos

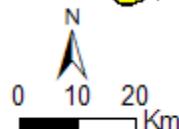
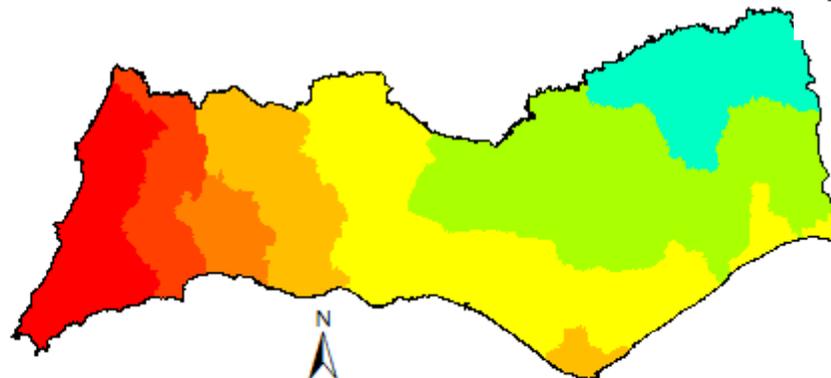
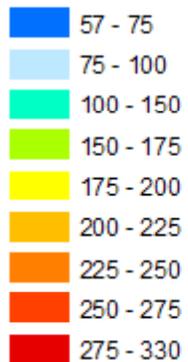


Período de retorno de 475 anos



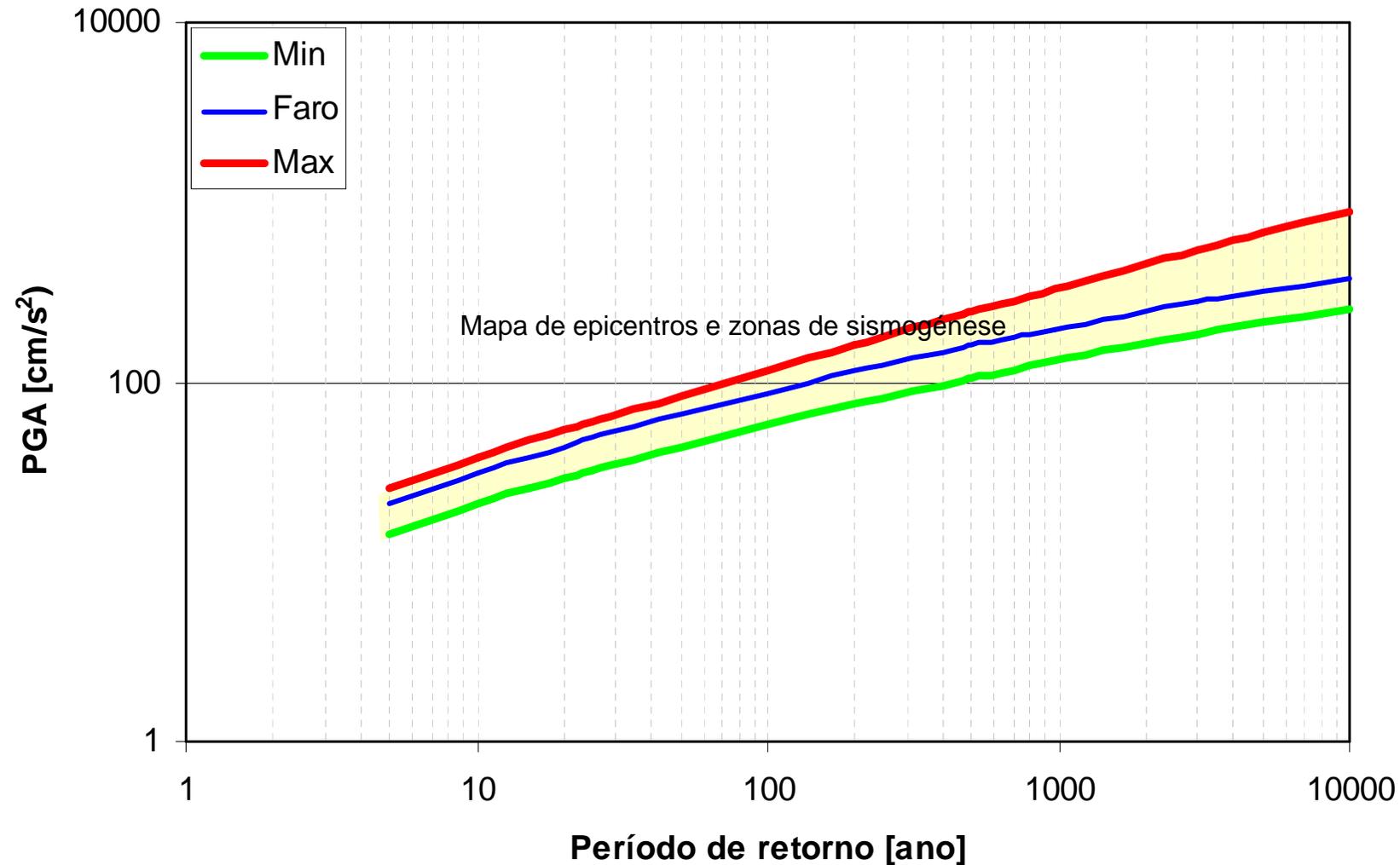
Período de retorno de 975 anos

PGA [cm/s²]



2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

- Análise da perigosidade sísmica do Algarve. Curvas de Perigosidade Sísmica



2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

■ Cenários de perigosidade sísmica para o Algarve

- Which are the modal value (or values) of the of the *pdf* corresponding to the *CDF* $P(U \leq u) = 1 - P(U > u)$.
- Likelihood function of the of independent variables m, x, y given an event occurred in site such that $U > u_i$.

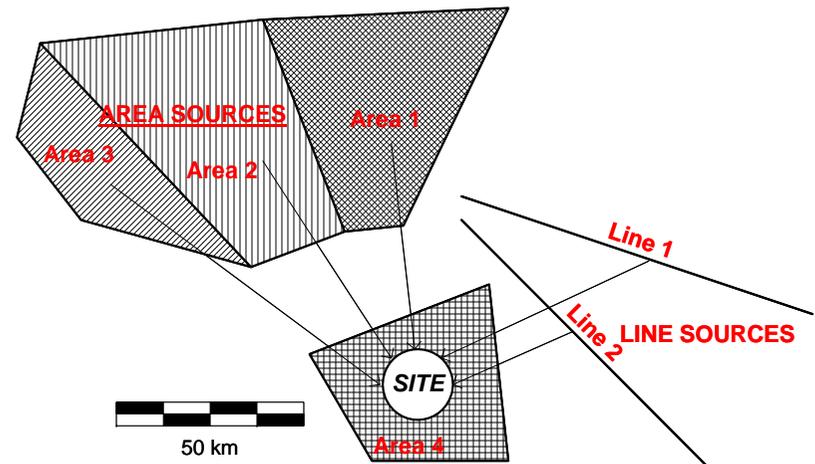
$$\ell(m, x, y | U > u_i) = \sum_k^n f_S(x, y) \cdot f_M(m)_k \cdot P(U > u_i | m, R_i)_k$$

$f_S(x, y)$ spatial distribution of the relative the frequency of events in all seismic zones

- The values for which m, x and y gives the maximum likelihood function is maximum define the modal event.

$$\tilde{E}_i = \langle \tilde{m}_i, \tilde{x}_i, \tilde{y}_i | U > u_i \rangle = \max[\ell(m, x, y | U > u_i)]$$

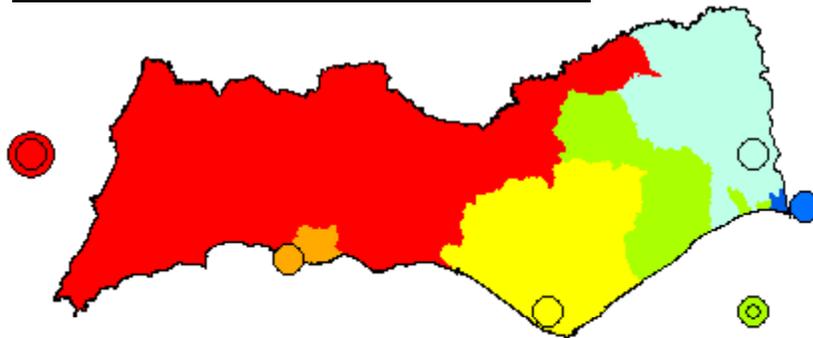
- For each return period it is possible to define a modal event



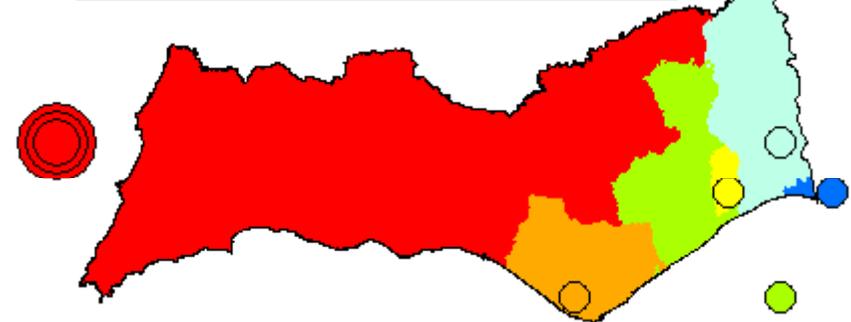
2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

- Cenários de perigosidade sísmica para o Algarve. Mapas dos cenários de perigosidade sísmica para todas as freguesias do Algarve

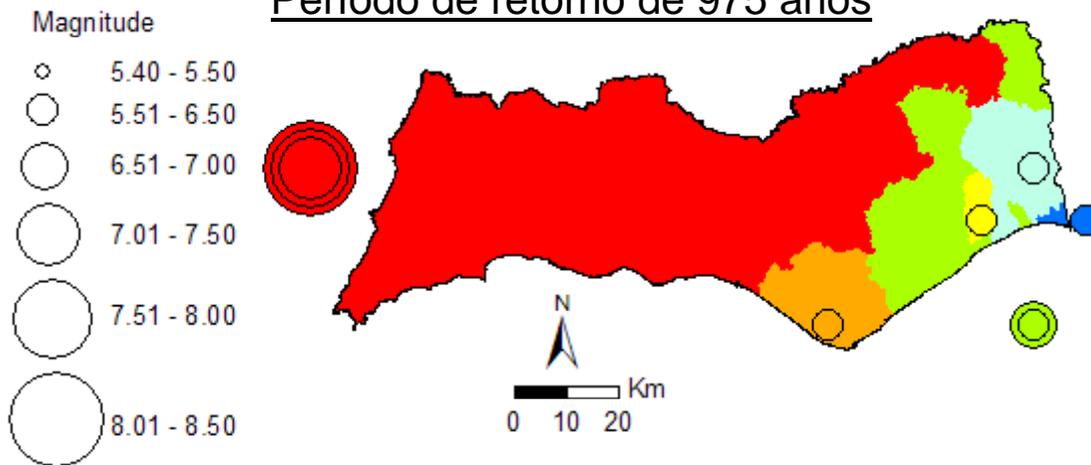
Período de retorno de 95 anos



Período de retorno de 475 anos



Período de retorno de 975 anos



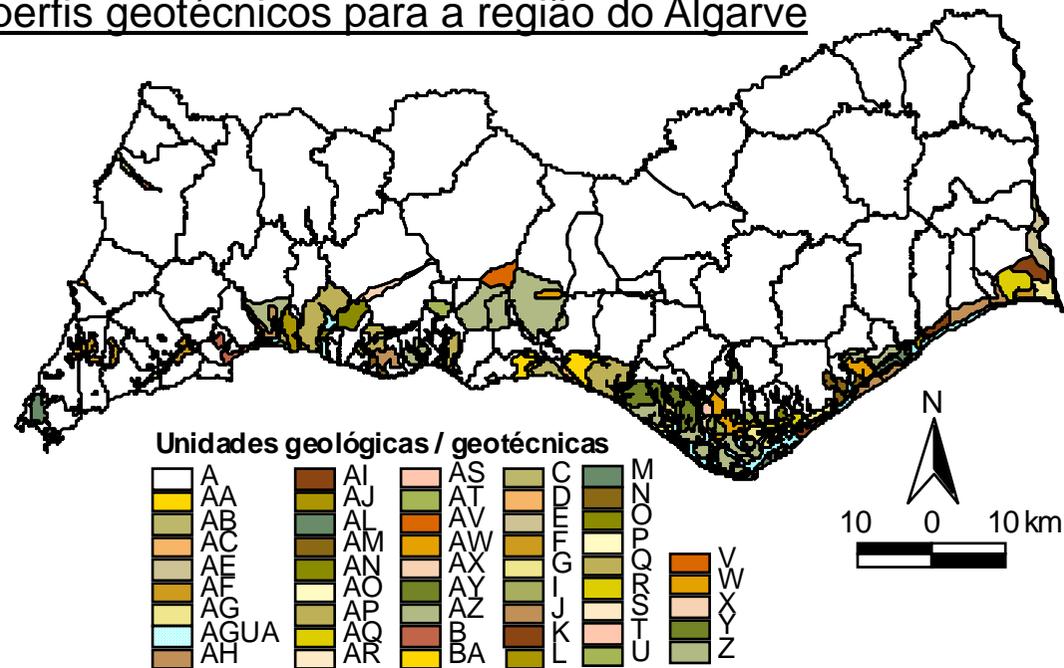
2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

■ Efeitos de sítio - Caracterização geotécnica (UAAlg+LNEC)

Foi elaborada uma ficha de inquérito geológico-geotécnico com o objectivo de sistematizar a recolha de informação necessária para a elaboração das análises locais de propagação de ondas S . A recolha de informação baseou-se em diversas fontes, a saber:

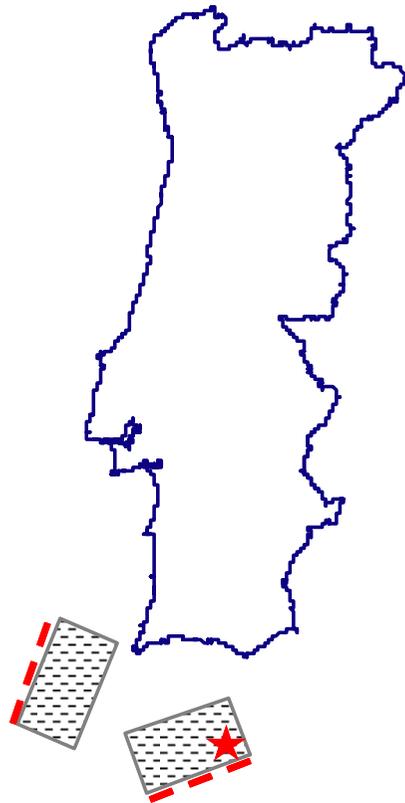
- O trabalho de compilação elaborado no âmbito do presente estudo [Silva *et al.*, 2007];
- O resultado da compilação das sondagens no Algarve existentes na biblioteca de do INETI, cujo consulta foi amavelmente facultada pelos colegas do INETI João Carvalho e Ruben Dias;
- A informação geotécnica facultada pela ANPC relativa à Ilha da Culatra;

Distribuição geográfica dos perfis geotécnicos para a região do Algarve



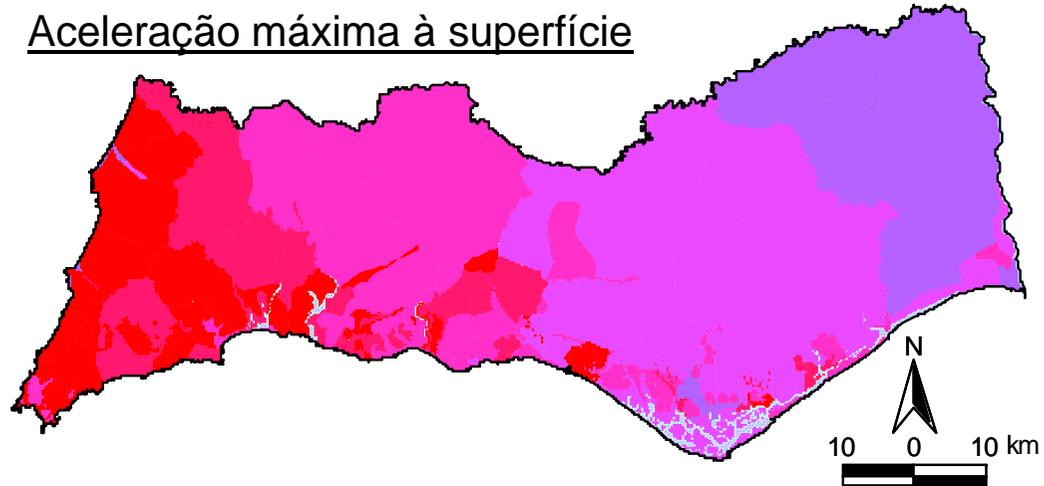
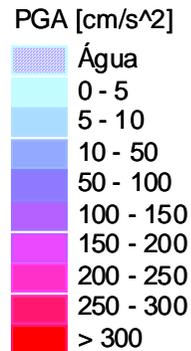
2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

- Efeitos de sítio - Cenário de 1755 - Acção sísmica à superfície e no firme rochoso

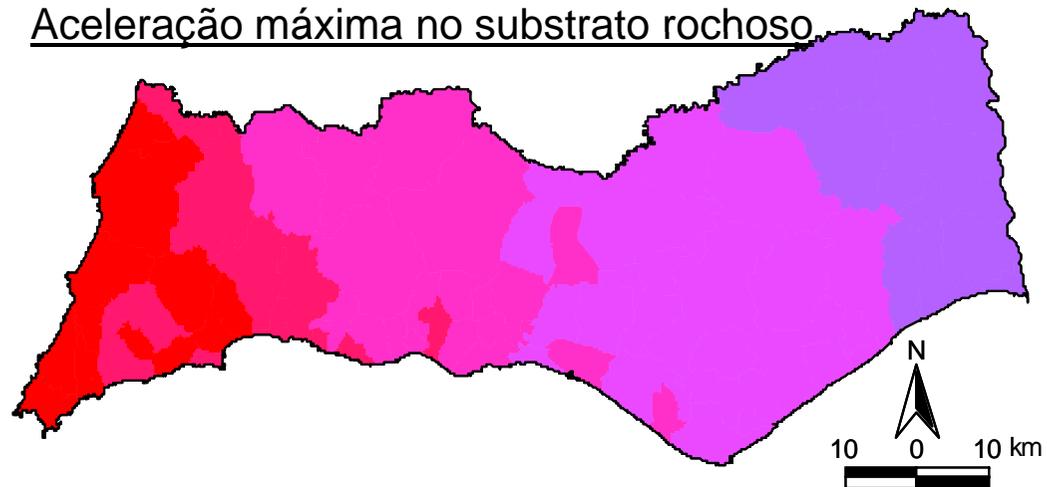
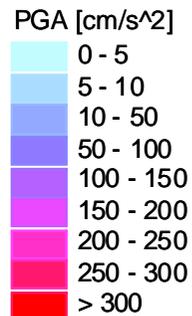


Modelo de ruptura múltipla das falhas do Banco de Guadalquivir e Marquês de Pombal para os sismo de 1755

Aceleração máxima à superfície

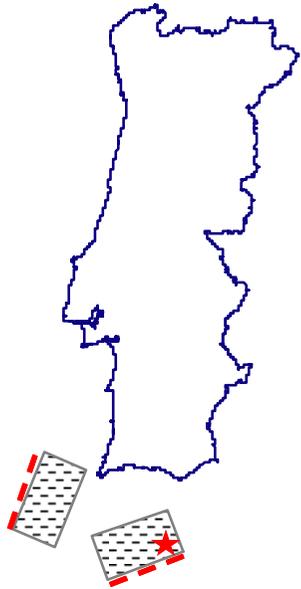


Aceleração máxima no substrato rochoso

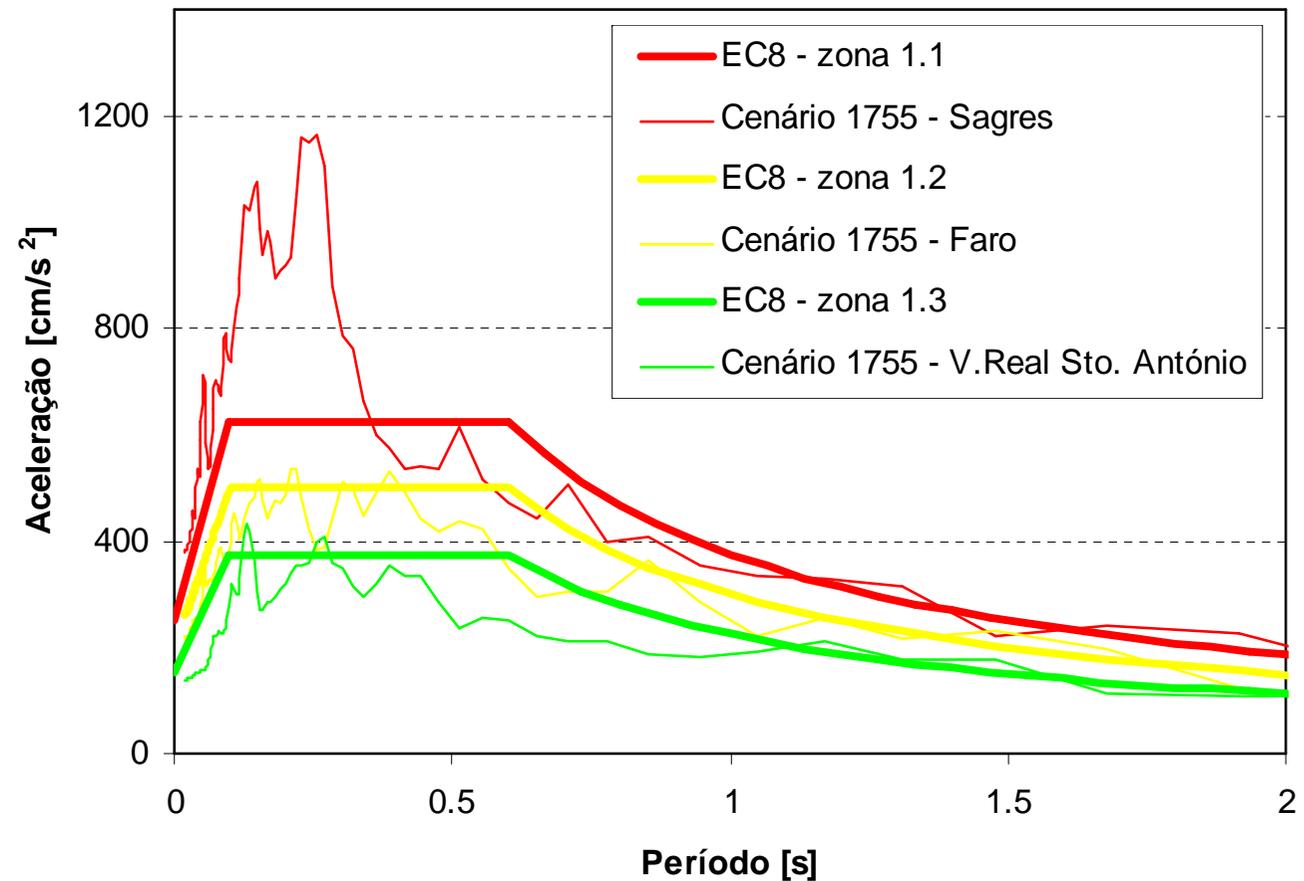


2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

- Efeitos de sítio - Cenário de 1755 - Acção sísmica no firme rochoso e a preconizados no Anexo Nacional do Eurocódigo 8



Modelo de ruptura múltipla da falhas do Banco de Guadalquivir e Marquês de Pombal para os sismo de 1755

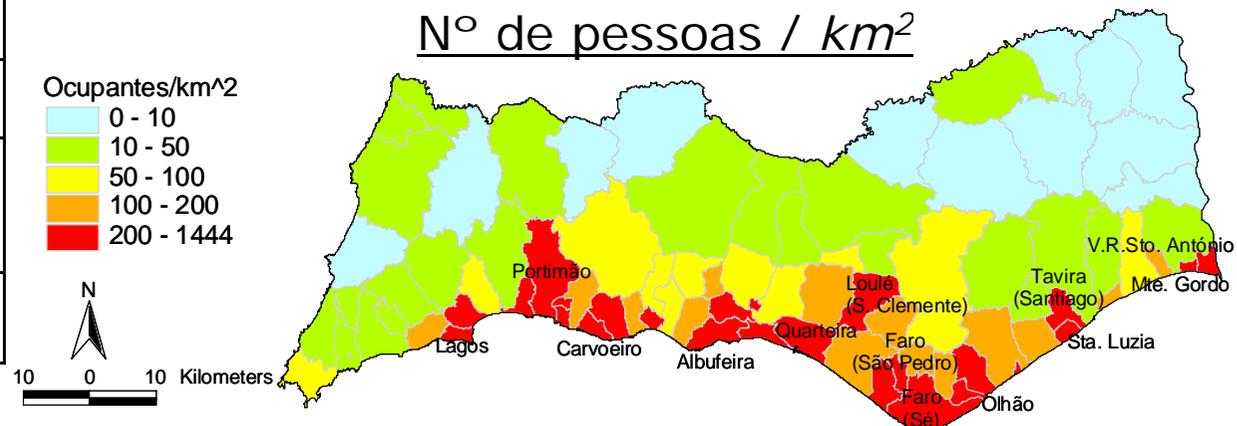
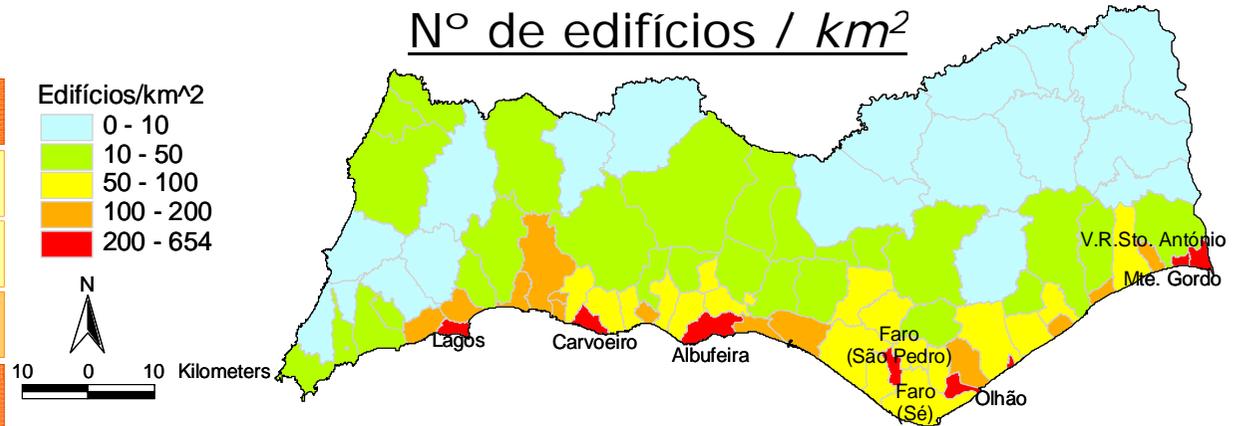


2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

- Exposição; Inventários dos elementos em risco - parque edificado habitacional e seus ocupantes CENSOS 2001 (Abril)

Nº de Elementos	Total Algarve
Edifícios	160 543
Aloj. familiares	276 093
Ocupantes	390 310
Censos 2001	

Elementos em risco (<= 1960)	Alg.	Pt
Edifícios [%]	27,8	30,2
Alojamentos familiares [%]	18,1	24,2
Ocupantes [%]	18,0	19,6



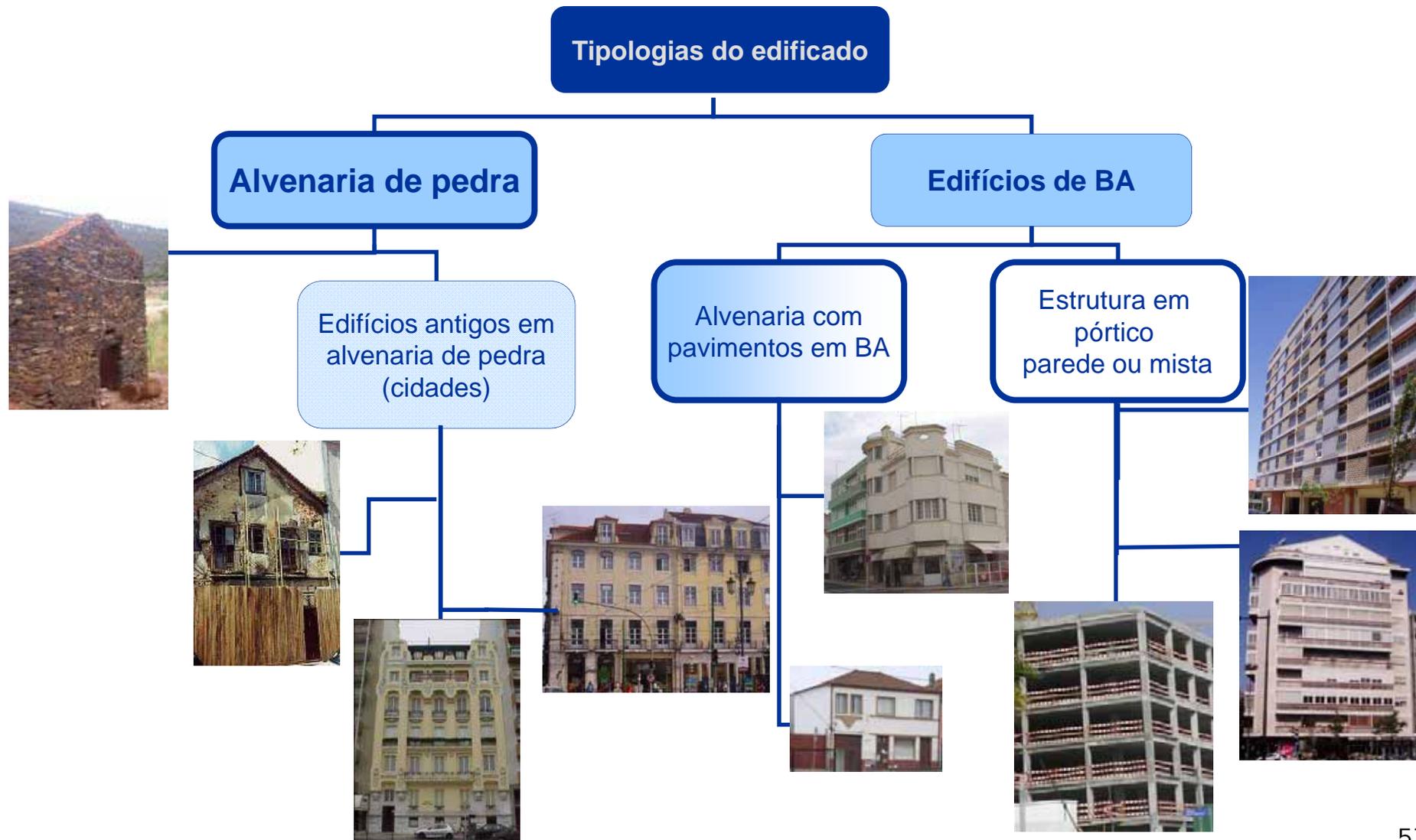
2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

- Exposição; Inventários dos elementos em risco – Classificação do parque edificado habitacional (informação CENSOS 2001)

Época de Construção	Tipologia construtiva	Nº de Pisos
Anterior a1919	Betão Armado (BA)	1
1919 - 1945		2
1946 - 1960	Alvenaria com pavimentos em BA (ACP)	3
1961 - 1970		4
1971 - 1980	Alvenaria sem pavimentos em BA (ASP)	5 a 7
1981 - 1985		8 a 15
1986 - 1990		+ de 15
1991 - 1995	Madeira, metálicas etc. (Outros)	
1996 - 2001		

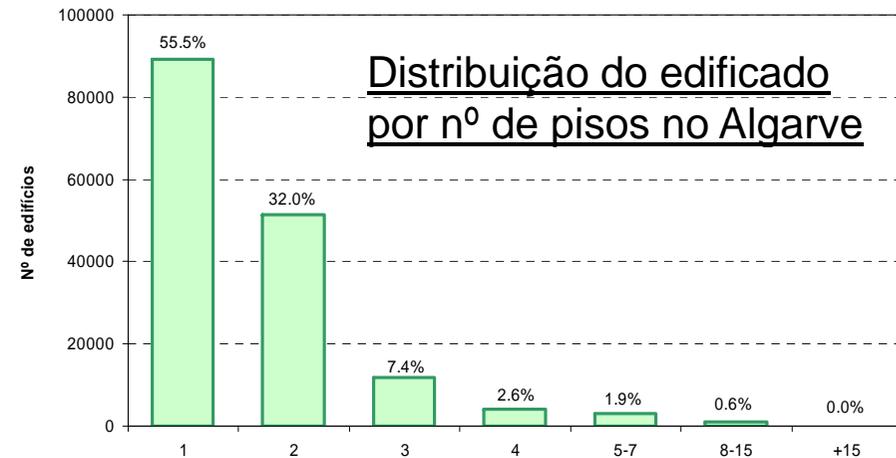
2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

- Exposição; Inventários dos elementos em risco – Classes de vulnerabilidade do parque edificado no LNECloss

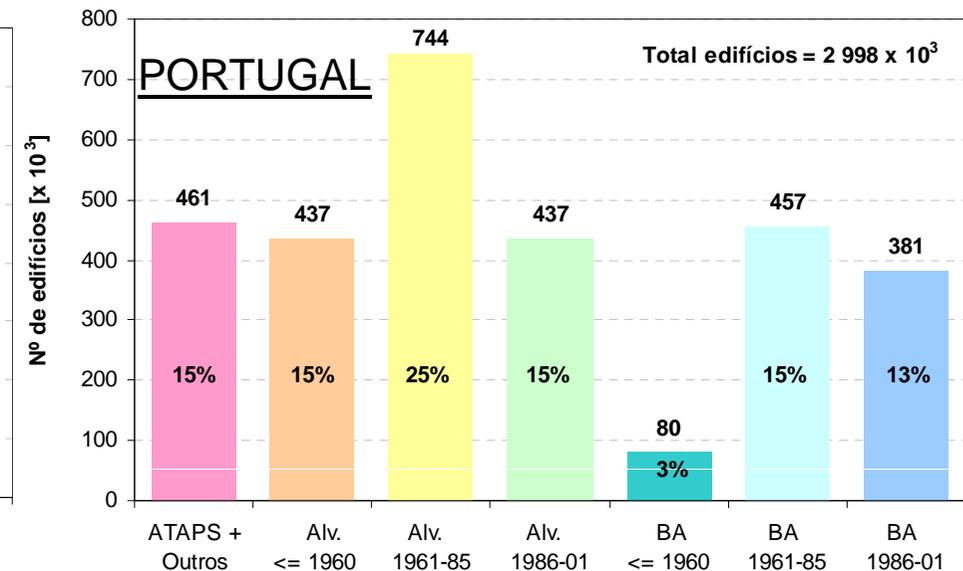
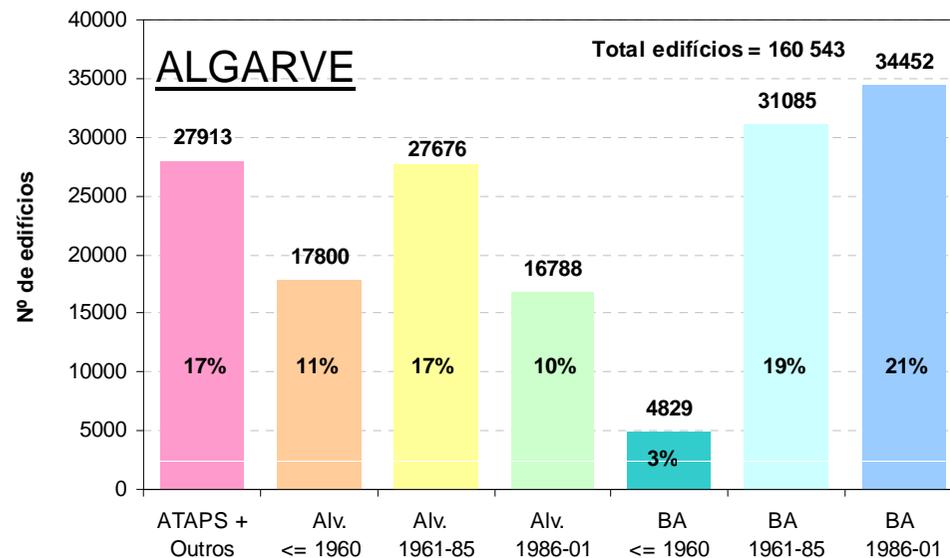


2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

- Exposição; Inventários dos elementos em risco – Caracterização da vulnerabilidade sísmica do Algarve



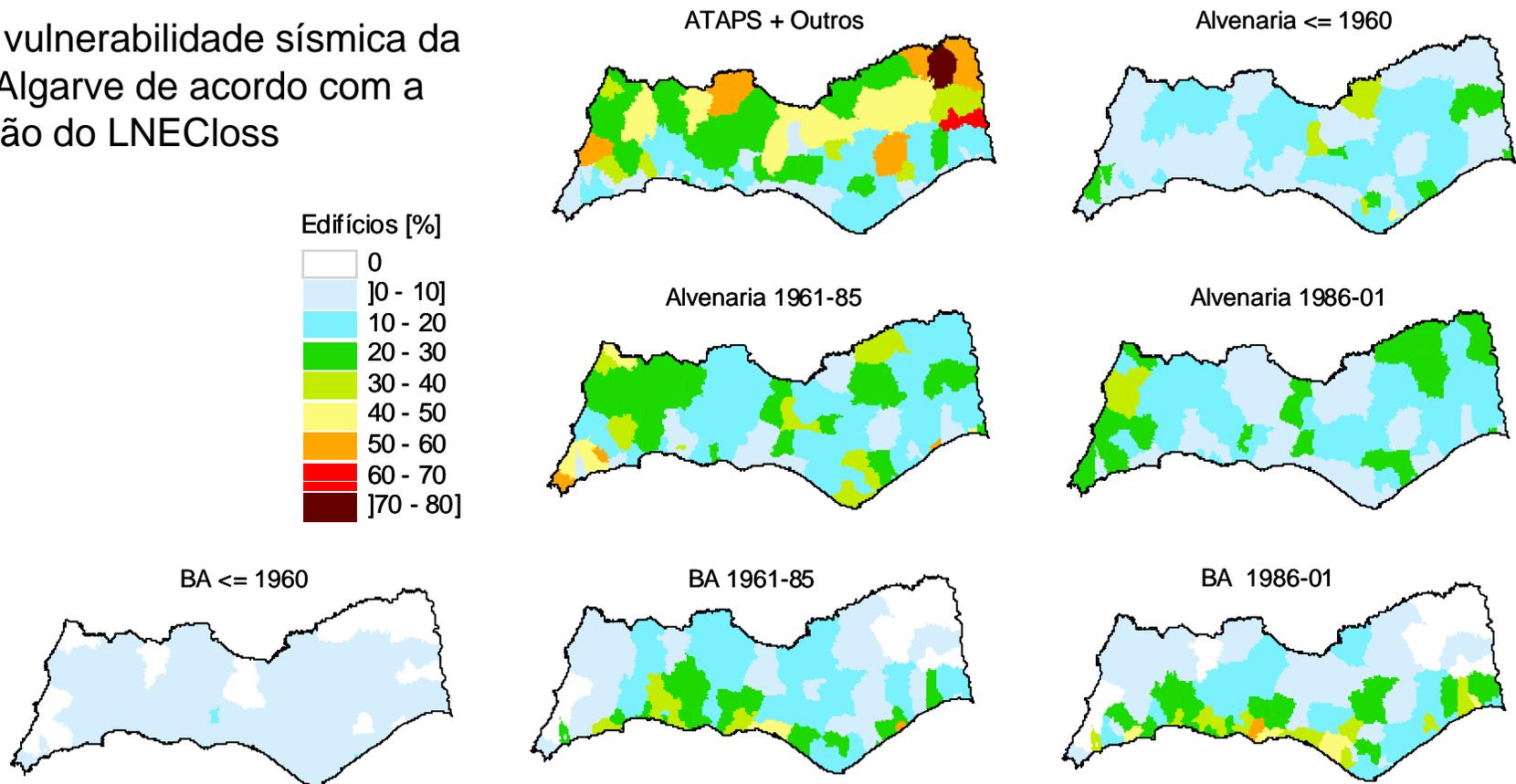
Distribuição do edificado por classe de vulnerabilidade



2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

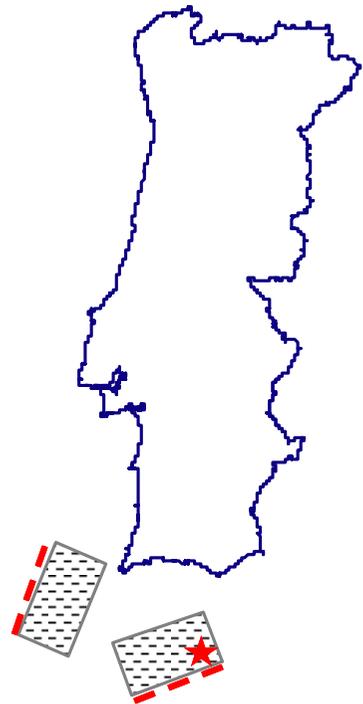
- Exposição; Inventários dos elementos em risco – Caracterização da vulnerabilidade sísmica do Algarve

Mapas de vulnerabilidade sísmica da região do Algarve de acordo com a classificação do LNECloss



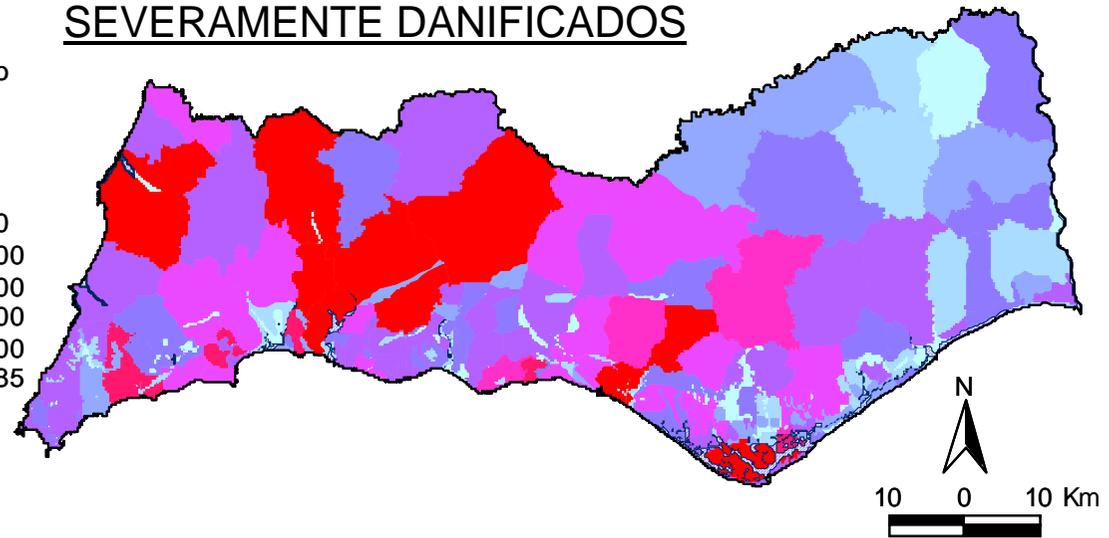
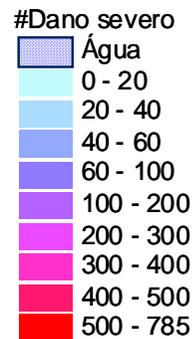
2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

■ Estimativa de perdas para o Algarve – Cenário de 1755

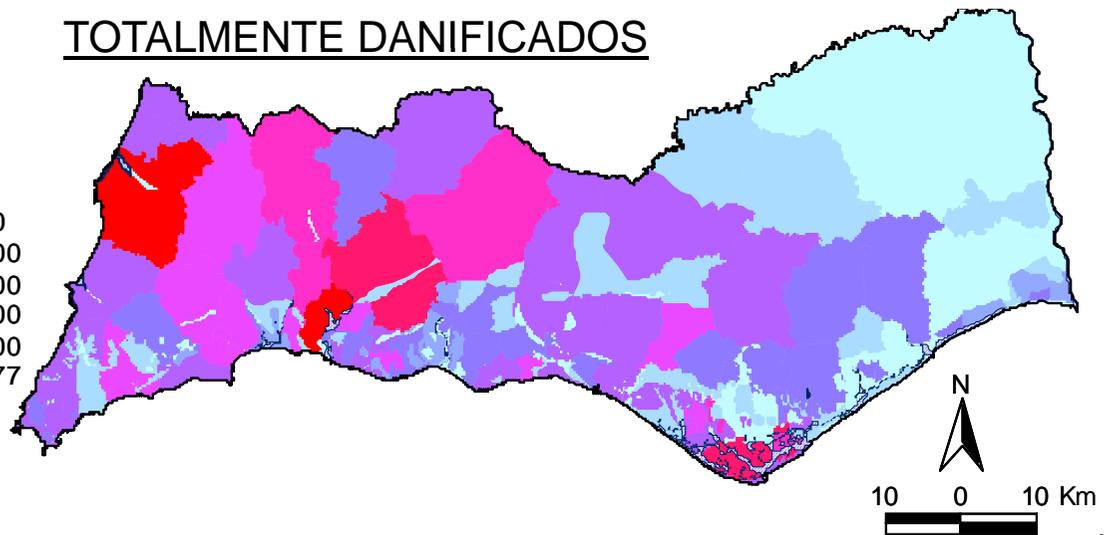
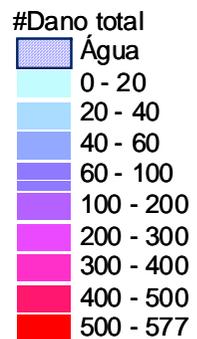


Modelo de ruptura múltipla das falhas do Banco de Guadalquivir e Marquês de Pombal para os sismo de 1755

SEVERAMENTE DANIFICADOS

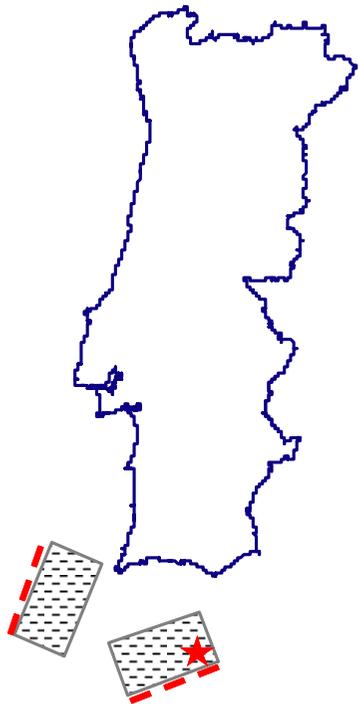


TOTALMENTE DANIFICADOS

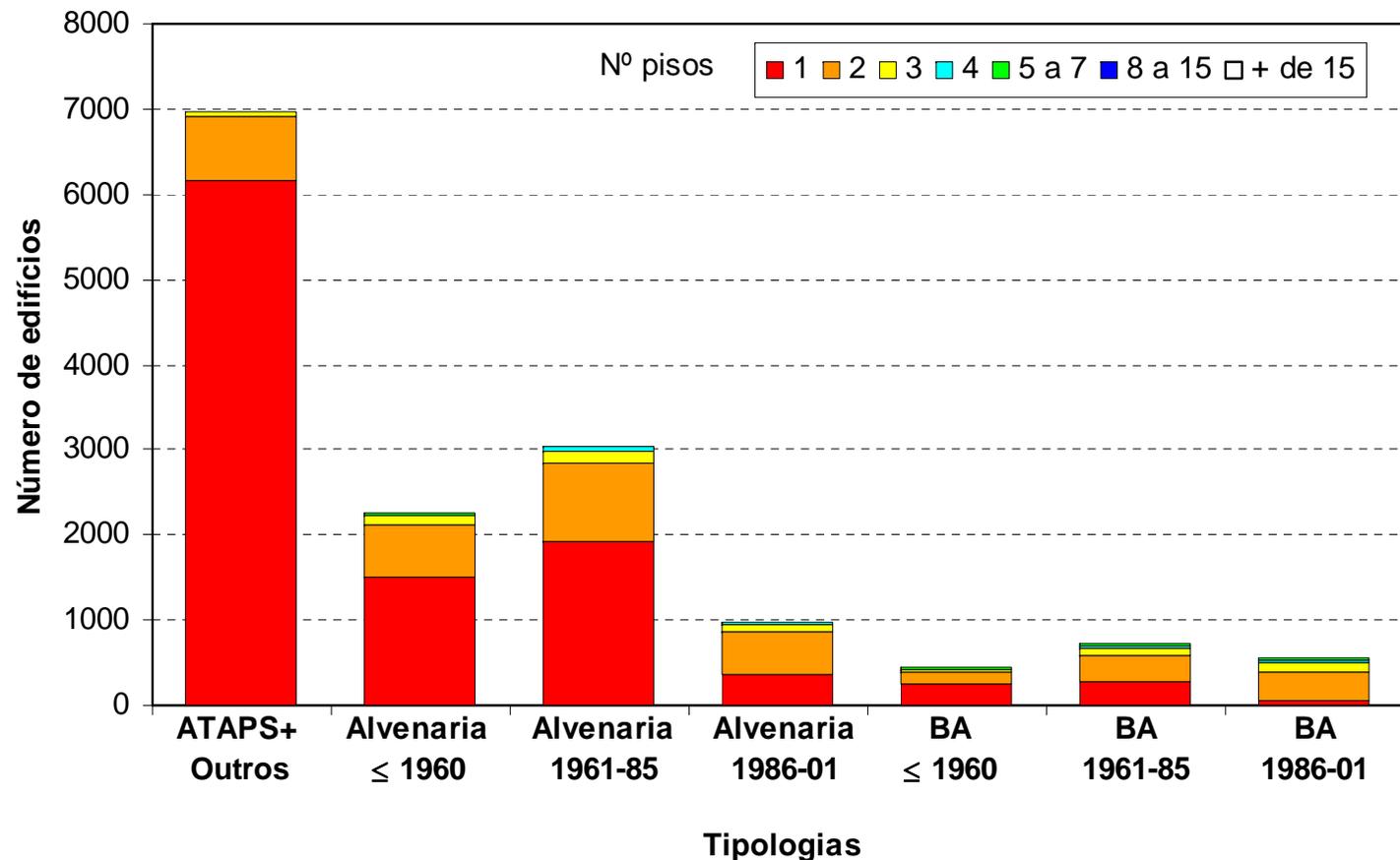


2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

■ Estimativa de perdas para o Algarve – Cenário de 1755

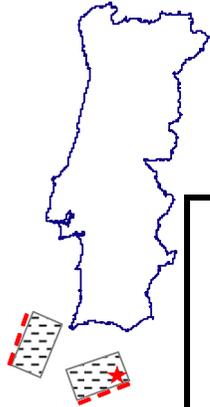


Modelo de ruptura múltipla das falhas do Banco de Guadalquivir e Marquês de Pombal para os sismo de 1755



2. Estudo de Risco Sísmico do Algarve

■ Estimativa de perdas para o Algarve – Cenário de 1755



	Estados de Dano, FEMA & NIBS [1999]	Cenário 1755	Acção sísmica EC8 zona 1.2
Danos no edificado Total = 160 543 edifícios	Ausência de Dano	55 309 (34,45%)	49 181 (30,63%)
	Dano Ligeiro	39 686 (24,72%)	42 412 (26,42%)
	Dano Moderado	26 979 (16,80%)	29 394 (18,31%)
	Dano Severo	23 591 (14,69%)	24 749 (15,42%)
	Dano Total	14 978 (9,33%)	14 807 (9,22%)

Observações finais

1. A Intensidade sísmica observada seria próxima da intensidade das acções de dimensionamento se o zonamento sísmico regulamentar estivesse de acordo com estudos de perigosidade sísmica da região (0,3g nos 475 anos).
2. Embora o Algarve possua o parque habitacional mais moderno do país o que constitui claramente um ponto positivo, a construção desse parque ocorreu de forma desordenada, sem grande respeito pela respeitar a ocupação do território
3. As estruturas de BA anteriores à introdução daqueles conceitos tiveram um comportamento sísmico deficiente em particular na zona urbana de L'Áquila
4. Os edifícios não reforçados de alvenaria pedra, de fraca qualidade, localizados nas zonas rurais que sofreram fortes amplificações dos movimentos sísmicos intensos, decorrentes das condições geotécnicas locais de solo (aluviões profundos), sofreram danos elevadíssimos. Porém, edifícios modernos de BA localizados nestas mesmas regiões não sofreram danos.
5. Os edifícios em alvenaria pedra de qualidade razoável localizados nas zonas urbanas (L'Áquila) que possuíam reforços com tirantes de ligação entre paredes tiveram comportamento claramente melhor de que os edifícios da mesma tipologia que se encontravam nas suas proximidades mas que não possuem aqueles dispositivos de reforço.