

jornadas

LNEC

engenharia para a sociedade
investigação e inovação
cidades e desenvolvimento

LNEC • Lisboa • 18-20 junho 2012

Avaliação da vulnerabilidade sísmica de edifícios de alvenaria

P. Candeias

E. Coelho

P. Lourenço

A. Campos Costa

LNEC, 2012-06-20

Introdução

- > Estudo do comportamento sísmico dos edifícios “gaioleiros”, sem e com reforço sísmico, recorrendo a ensaios experimentais e a simulações numéricas, tendo em vista a avaliação da sua vulnerabilidade sísmica
- > Ensaios realizados no âmbito do projeto “Mitigação do risco sísmico em Portugal” (FCT)
- > Trabalho desenvolvido no âmbito do projeto “Avaliação da vulnerabilidade sísmica de edifícios antigos de alvenaria” (FCT)

Edifícios “gaioleiros”

- > Edifícios com estrutura de alvenaria construídos entre meados do século XIX e princípios do século XX
- > Apresentam quatro pisos ou mais, planta retangular e pavimentos de madeira

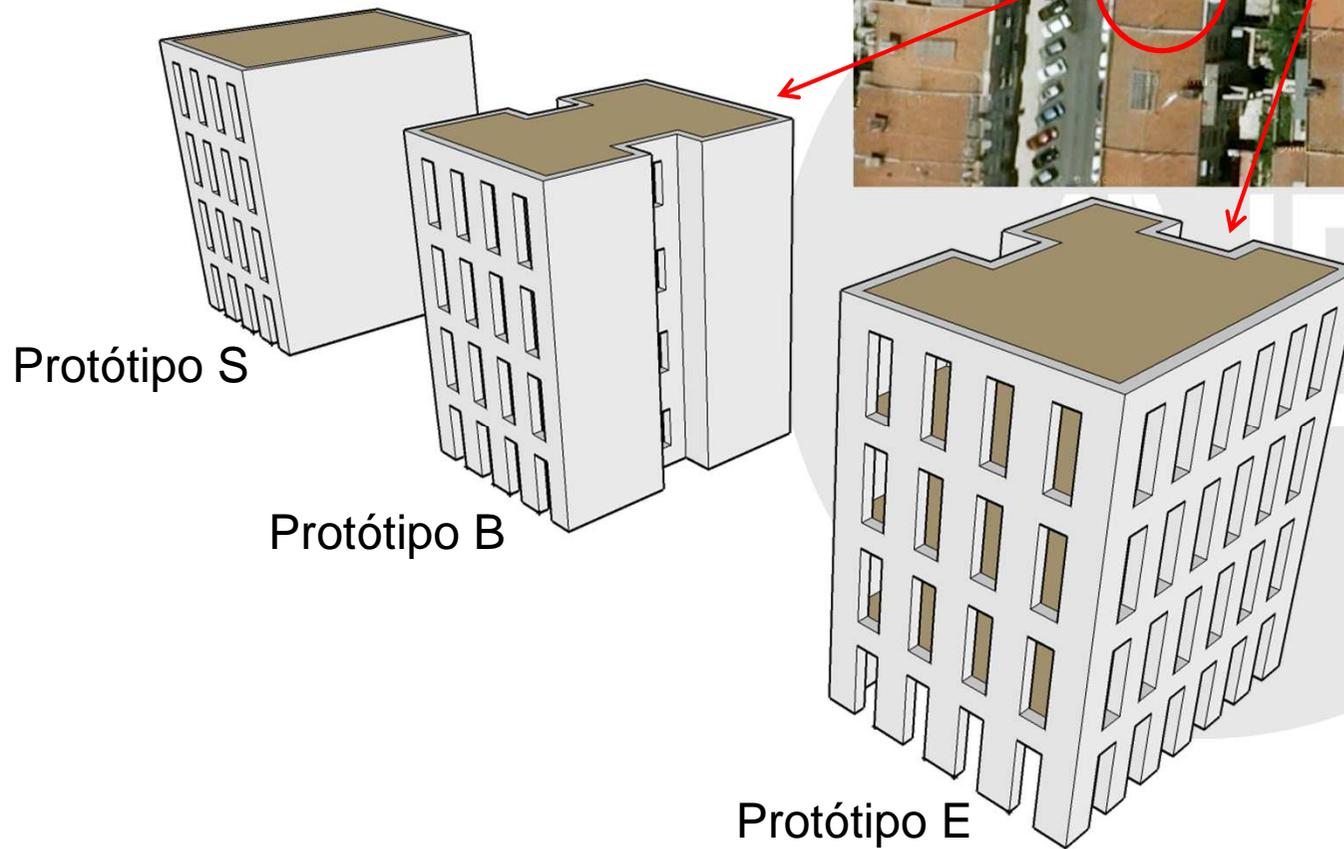


Edifícios “gaioleiros”

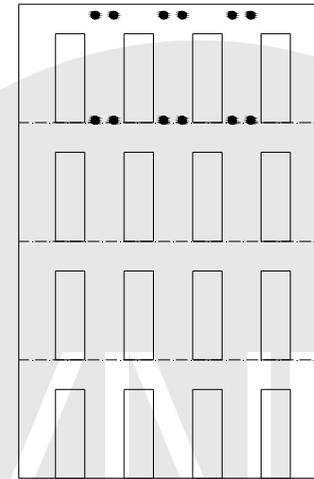
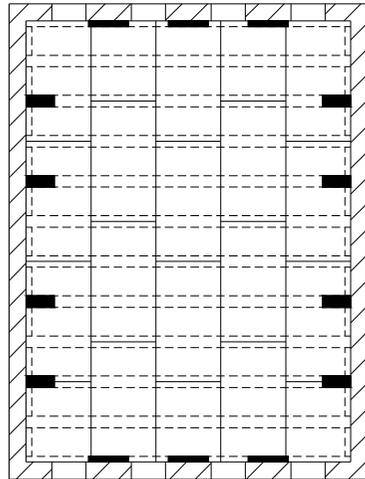
- > A vulnerabilidade sísmica deste tipo de edifícios é influenciada pela sua geometria e estrutura, pelos materiais utilizados e qualidade de construção, pelo estado de conservação e sua localização no quarteirão



Seleção de protótipos

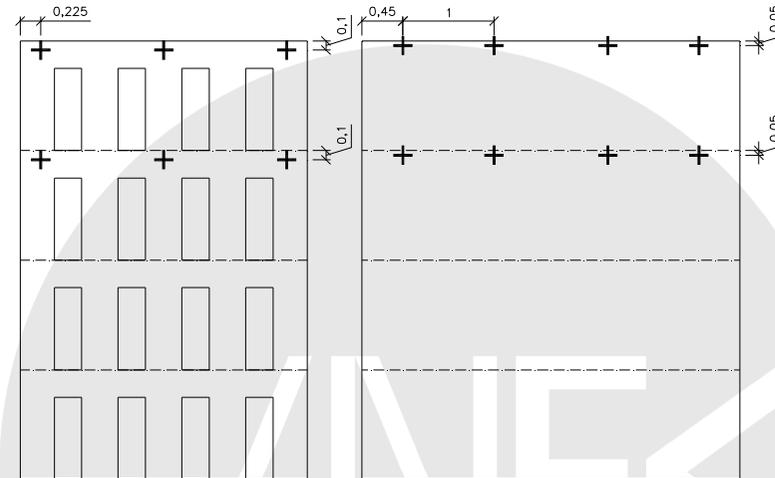
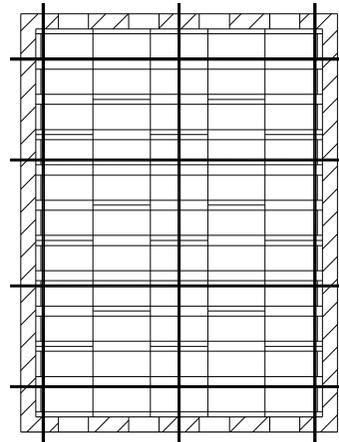
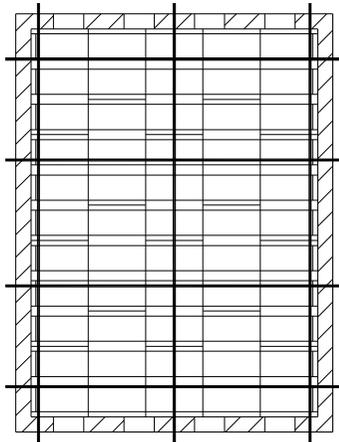


Soluções de reforço



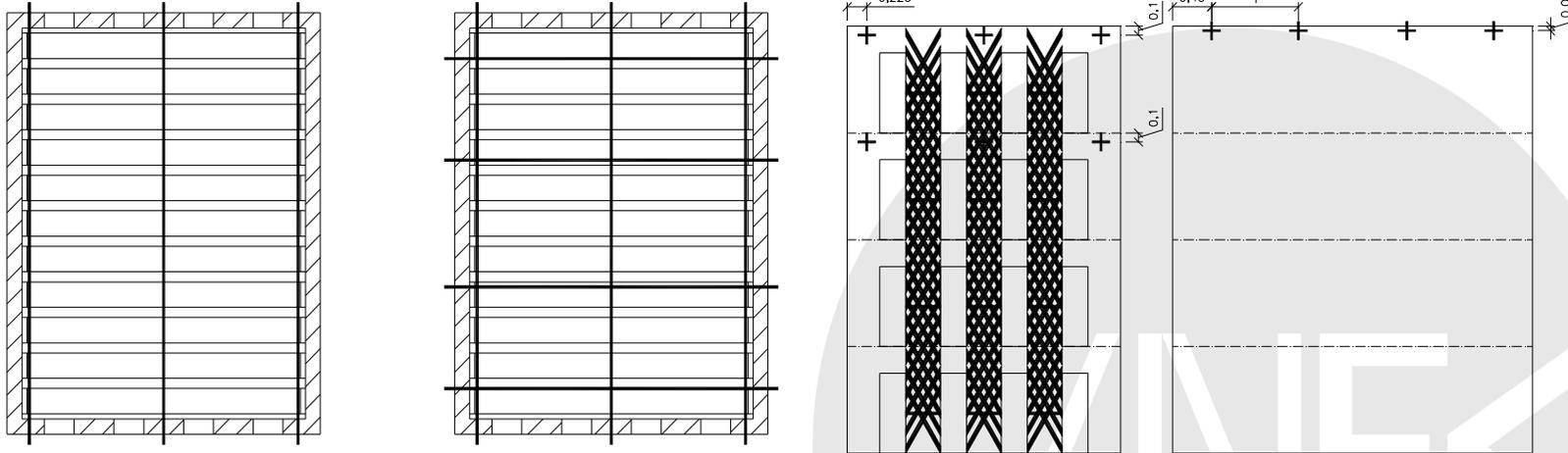
- > Solução 1: Reforço das ligações das paredes aos pavimentos, por meio de conectores metálicos e faixas de fibras de vidro coladas com resinas epoxy

Soluções de reforço



- > Solução 2: Ligação de paredes opostas por meio de tirantes ao nível dos pisos

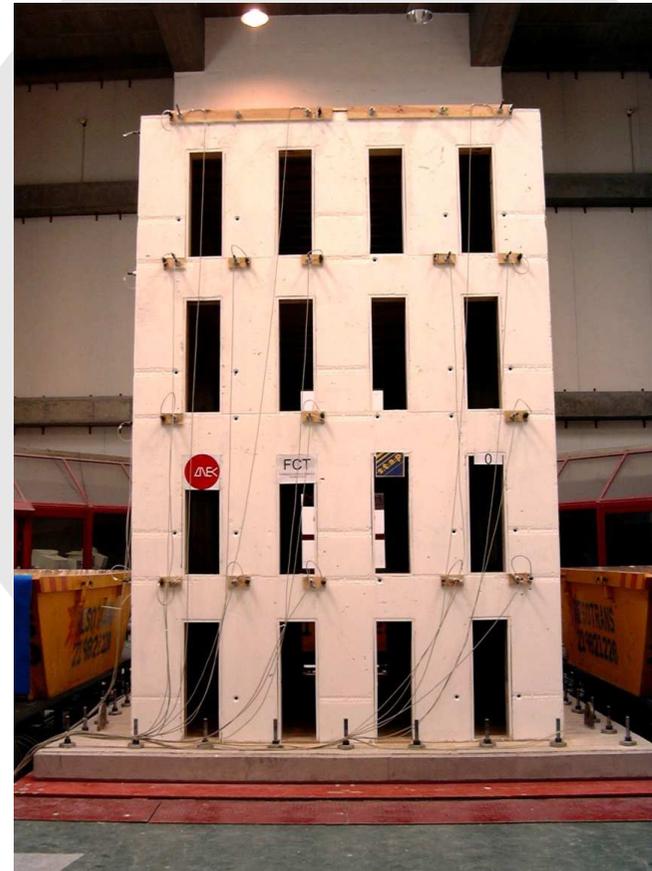
Soluções de reforço



- > Solução 3: Reforço dos nembos existentes nas fachadas por meio de faixas de fibras de vidro coladas com resinas epoxy e conectores metálicos [Silva, V.C. – 2001]

Modelos experimentais

- > Modelos em escala reduzida 1:3
- > Paredes em argamassa de fraca resistência a simular a alvenaria de pedra
- > Pavimentos de madeira a simular os soalhos



Modelos experimentais



Modelo 00



Modelo 2

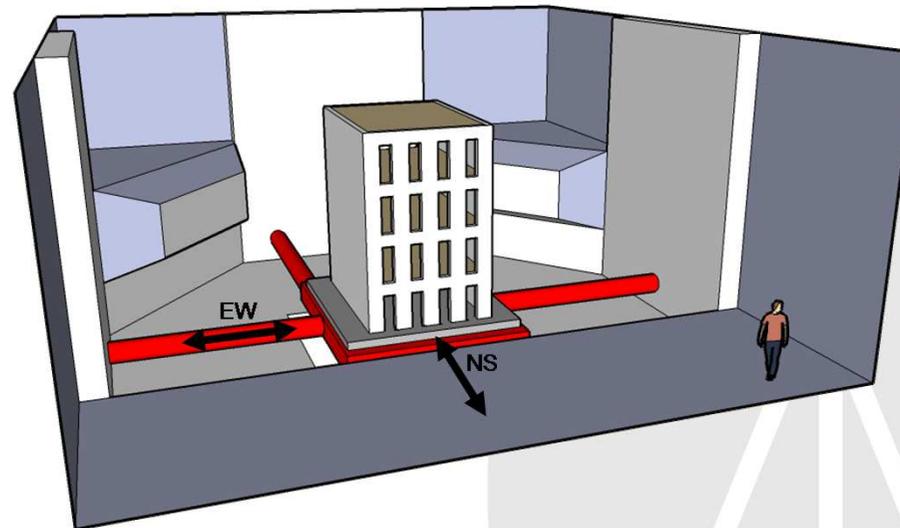


Modelo 1



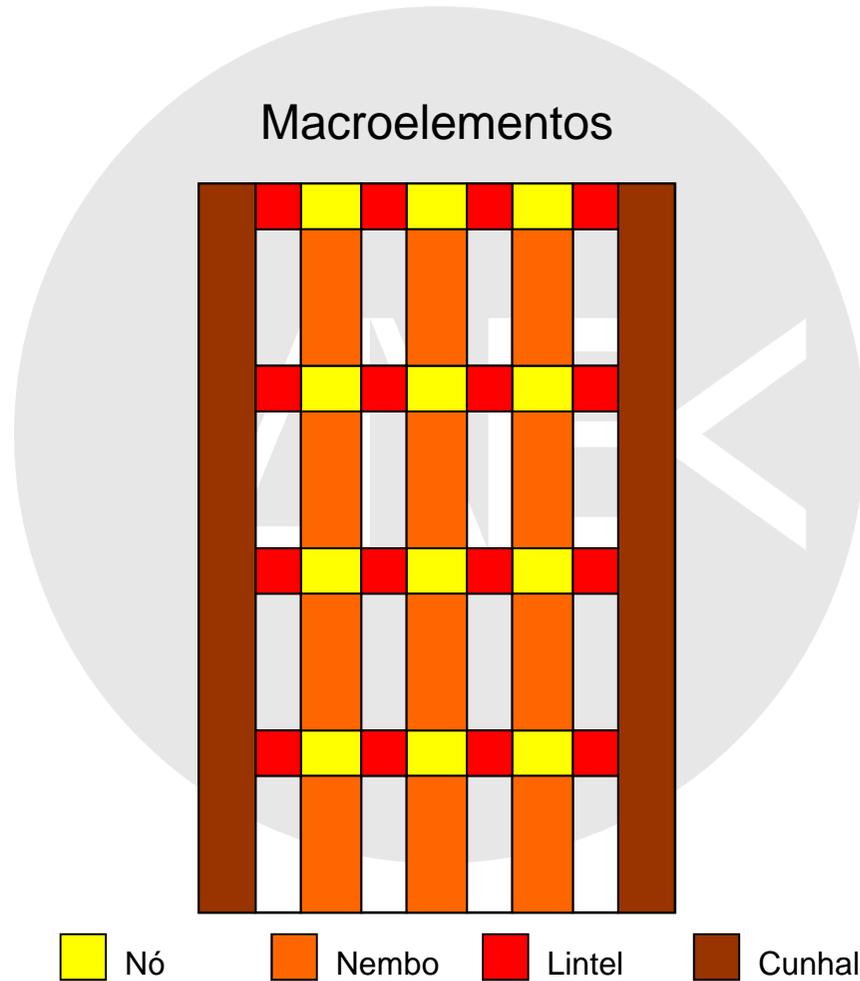
Modelo 3

Descrição dos ensaios

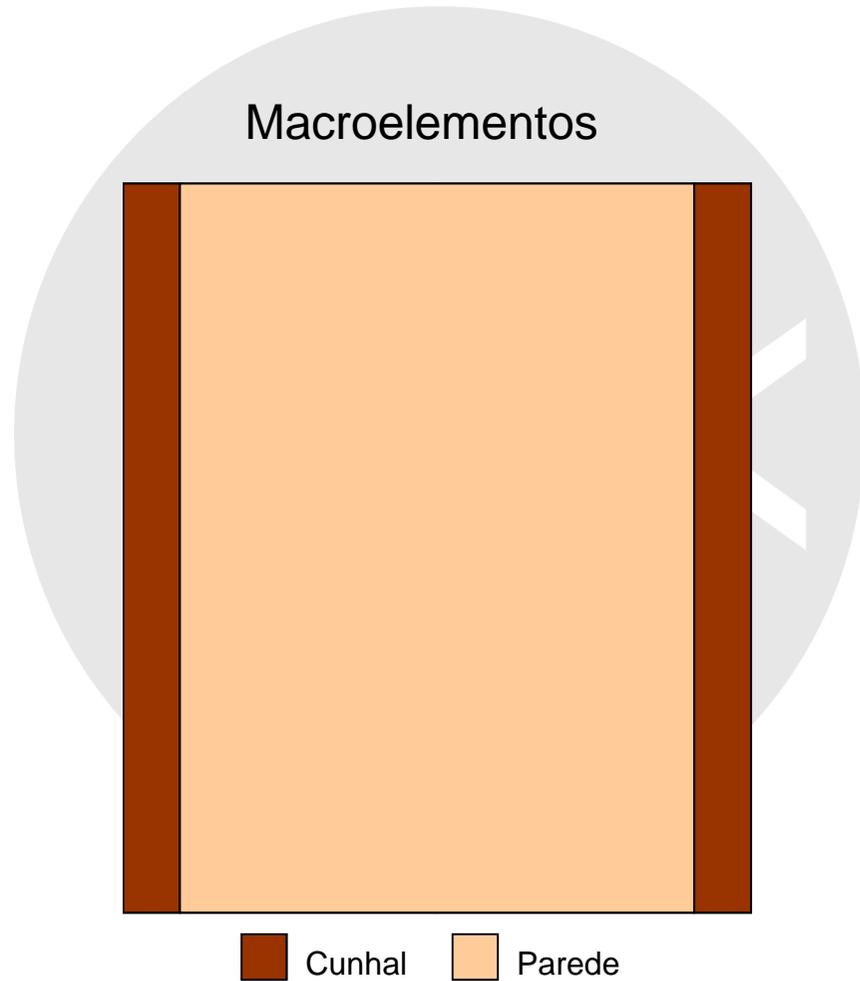
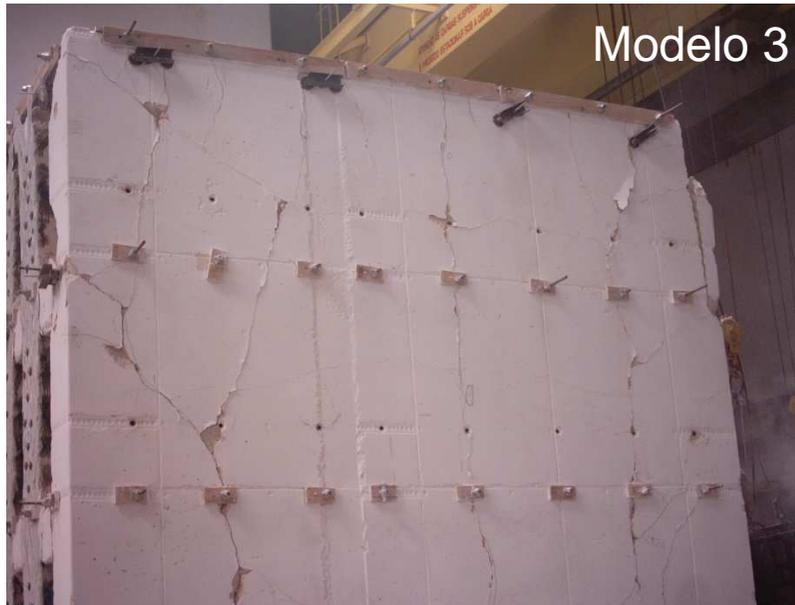


- > Ensaios realizados na plataforma sísmica triaxial do LNEC
- > Solicitação sísmica de acordo com o espectro de resposta do RSA (sismo 1, zona A, terreno tipo I, majorado 1,5)

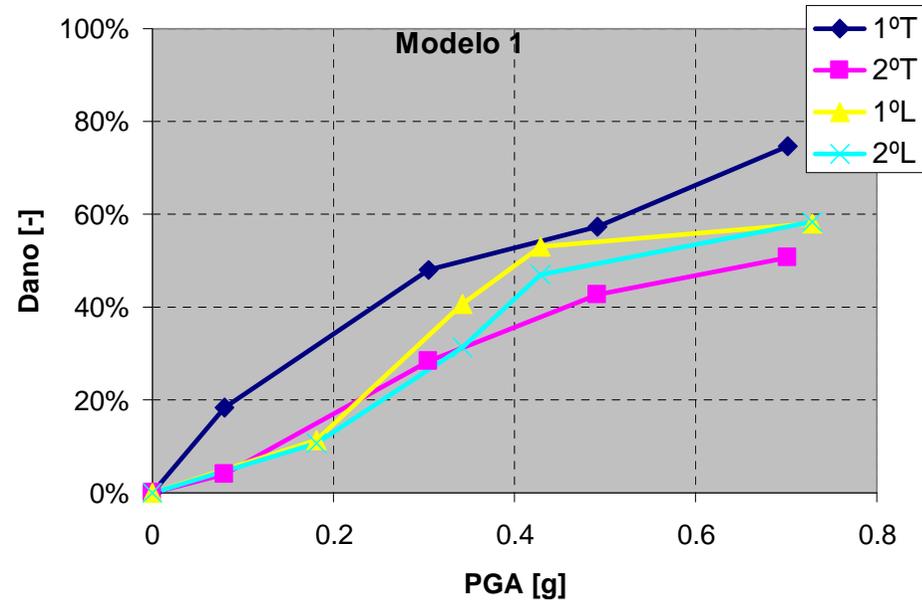
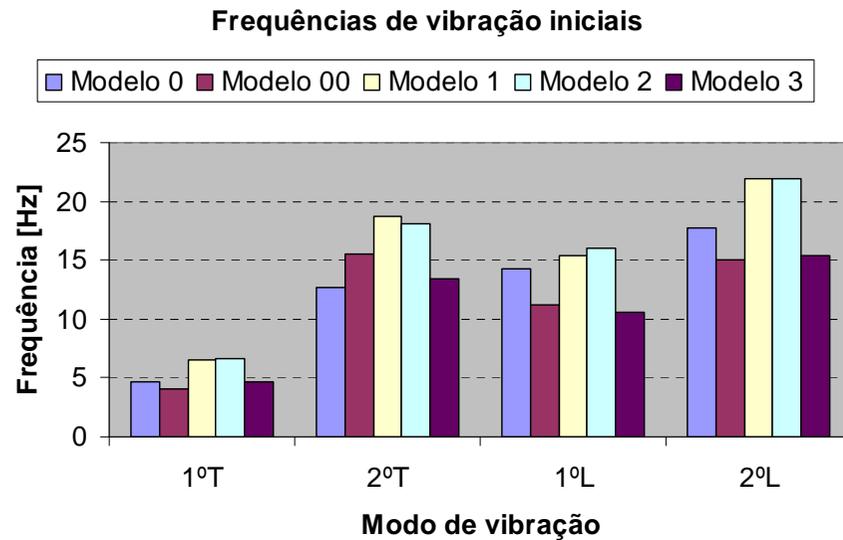
Danos observados



Danos observados



Comportamento sísmico experimental

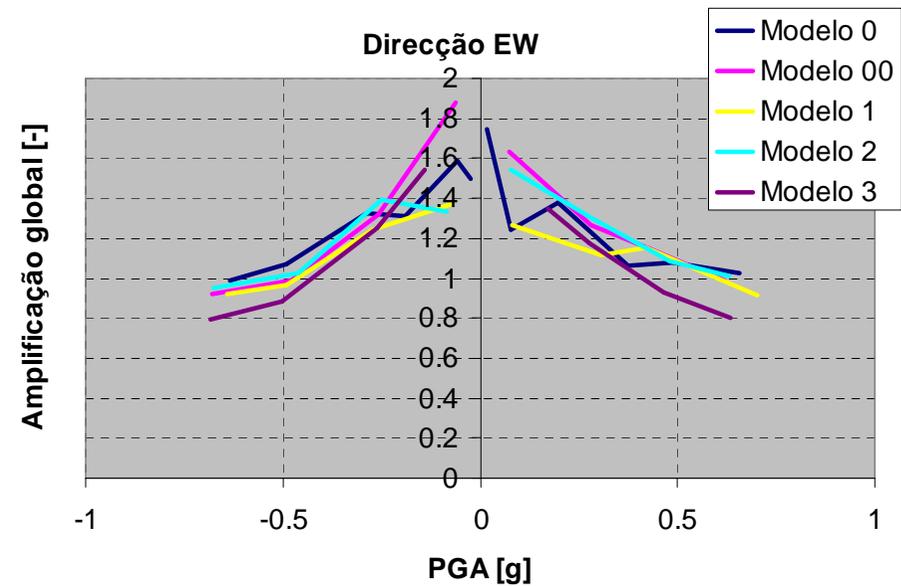
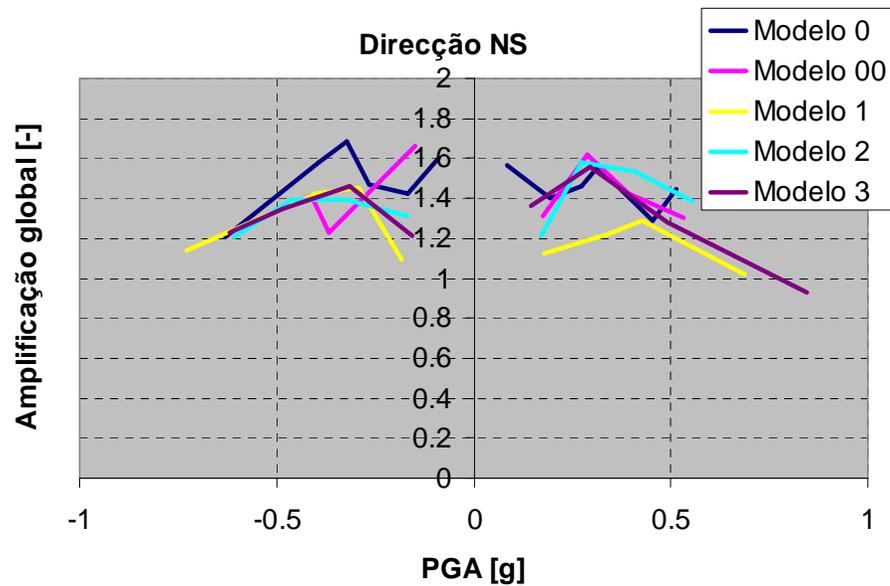


> Identificação das propriedades dinâmicas dos modelos entre cada ensaio e acompanhamento da sua evolução

$$f_n = \frac{\sum_{k=2}^{13} f_k \times 10^{Mag_k} \times \sin(Ang_k) \Big|_{f_k \neq 0}}{\sum_{k=2}^{13} 10^{Mag_k} \times \sin(Ang_k) \Big|_{f_k \neq 0}}$$

$$D_{n,a} \approx 1 - \left(\frac{f_{n,a}}{f_{n,0}} \right)^2$$

Comportamento sísmico experimental

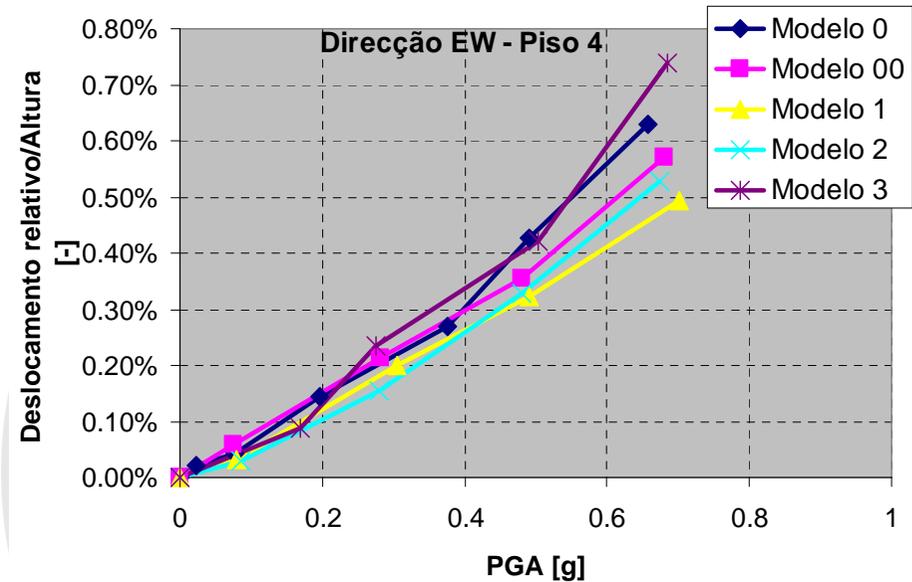
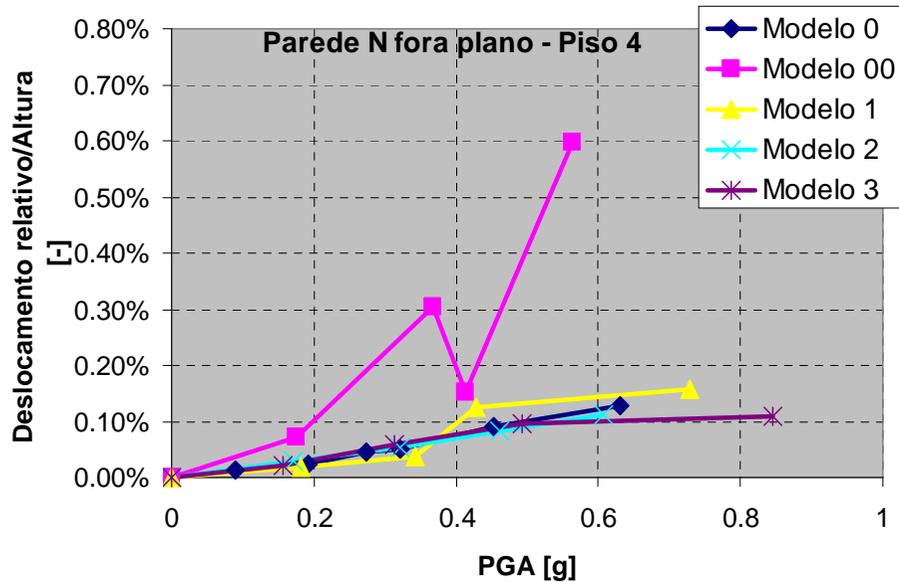


> Amplificação global das acelerações de pico

$$Amplificação^+ = \frac{\sum_{l=1}^{32} m_l PA_l^+}{M \times PGA^+}$$

$$Amplificação^- = \frac{\sum_{l=1}^{32} m_l PA_l^-}{M \times PGA^-}$$

Comportamento sísmico experimental

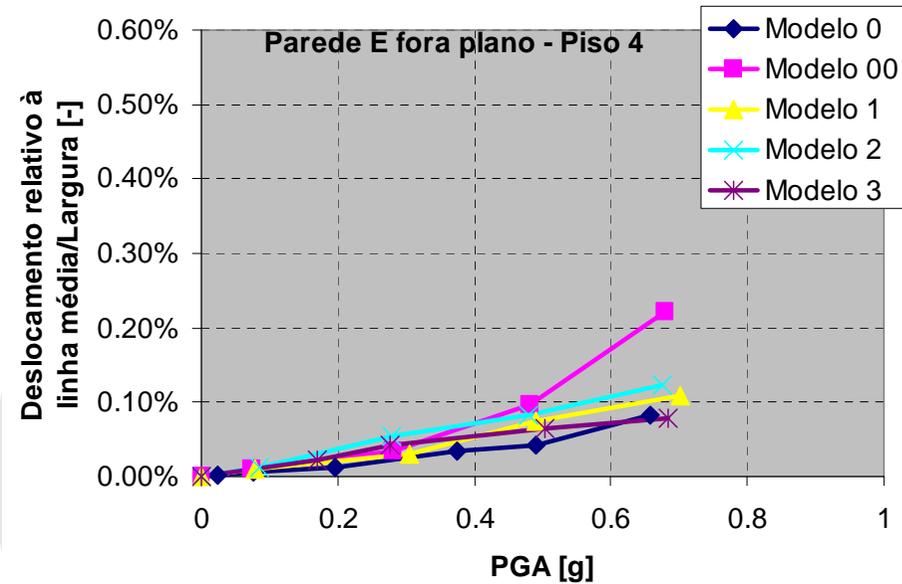
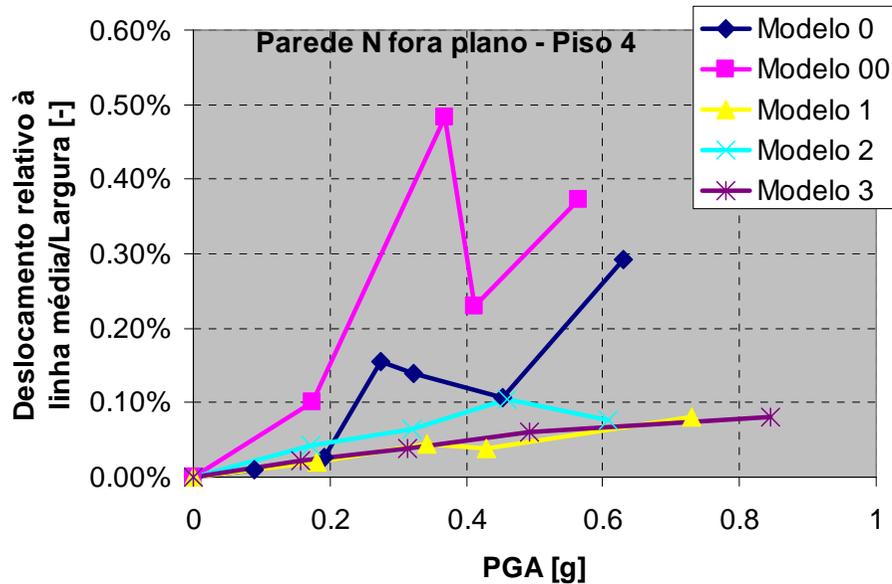


> Deslocamento, normalizado à altura, do piso 4 relativamente ao nível de referência

$$drift_{global}^{+} = \frac{D_4^{+}}{4800mm}$$

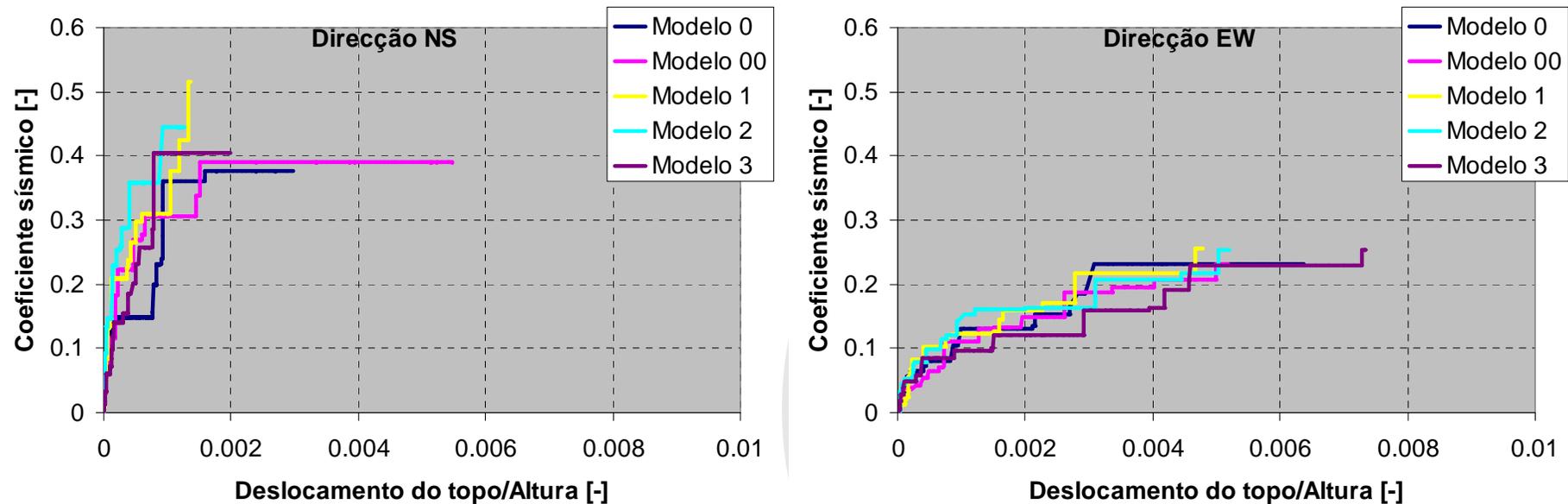
$$drift_{global}^{-} = \frac{D_4^{-}}{4800mm}$$

Comportamento sísmico experimental



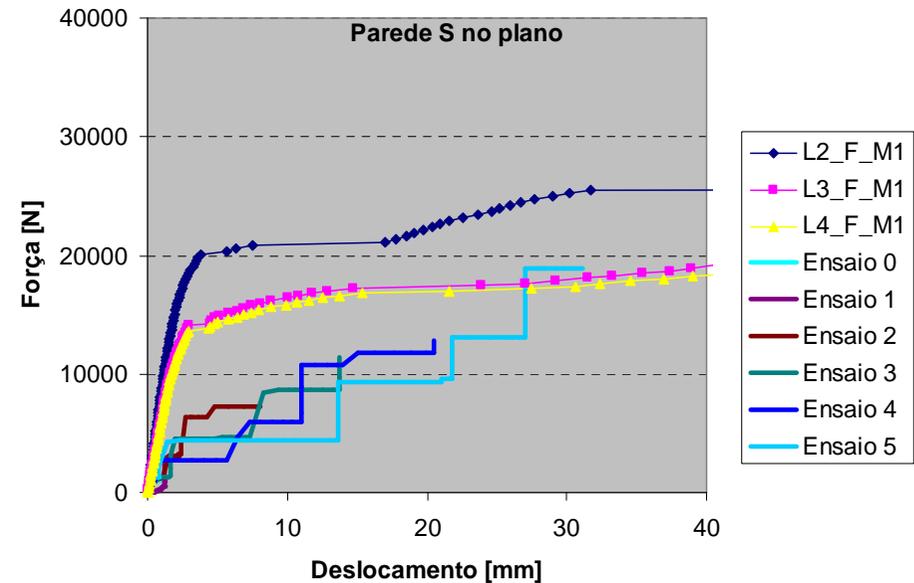
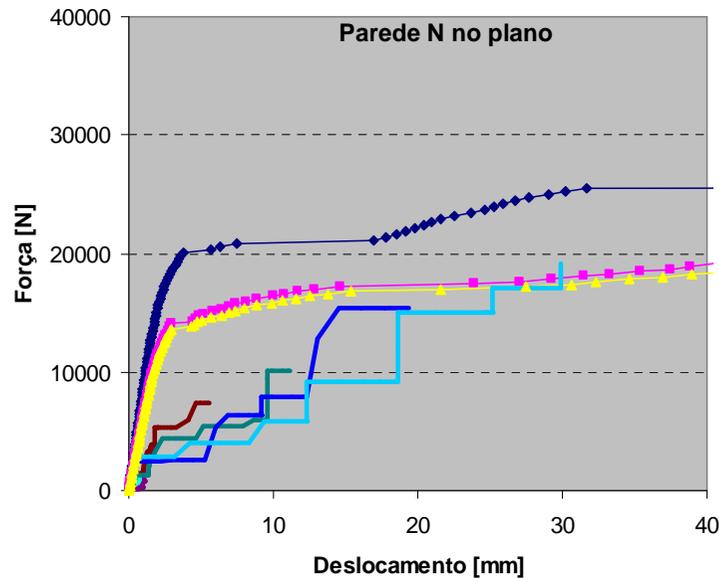
- > Deformação horizontal das paredes no piso 4 medida a meio da largura relativamente à corda que une os cunhais adjacentes e normalizada pela largura da parede

Comportamento sísmico experimental



> Curvas de capacidade que representam os valores máximos do coeficiente sísmico e do deslocamento do topo/altura (não simultâneos)

Análise estática não linear



> Curvas de capacidade numéricas e experimentais do Modelo 0 com o material M1

Conclusões

- > Os padrões de danos observados nos ensaios revelaram que o comportamento sísmico dos modelos é afetado pelas soluções de reforço utilizadas, alterando-se substancialmente e em conformidade com as diferentes características de cada uma das soluções
- > O comportamento sísmico global, expresso através de curvas de capacidade, revelou uma ligeira melhoria, quer em força, quer em deformação, nos modelos reforçados relativamente aos não reforçados, tal como a capacidade de dissipação da energia introduzida

Conclusões

- > Foi ao nível das respostas locais que se registaram as melhorias mais significativas, tendo-se verificado uma redução dos deslocamentos para fora do plano das paredes e, portanto, um melhor controlo dos mecanismos de colapso locais
- > Nas análises numéricas obtiveram-se resultados que são comparáveis não só entre modelos numéricos como também com os modelos experimentais

Linhas de investigação futura



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

- > Realização de programas experimentais de modo a aprofundar o estudo do comportamento sísmico dos edifícios “gaioleiros”
- > Construção de modelos com “verdadeira” alvenaria de pedra



Linhas de investigação futura



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

- > Procura de novas soluções de reforço sísmico que permitam, nomeadamente, aumentar a rigidez ou a capacidade resistente dos modelos
- > Introdução de peças metálicas horizontais junto às paredes e de tirantes diagonais sob os pavimentos



Linhas de investigação futura

- > Avaliar a importância do efeito de quarteirão no comportamento sísmico dos edifícios individuais dado que a reconhecida deficiência das ligações entre elementos estruturais e não estruturais existente nestes edifícios também se deverá repercutir no conjunto
- > Aplicação de métodos de inferência bayesiana para atualização das curvas de vulnerabilidade sísmica da tipologia

Agradecimentos

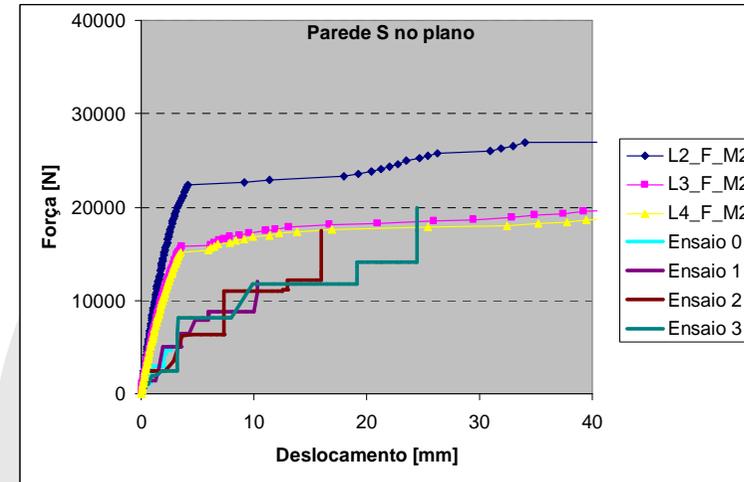
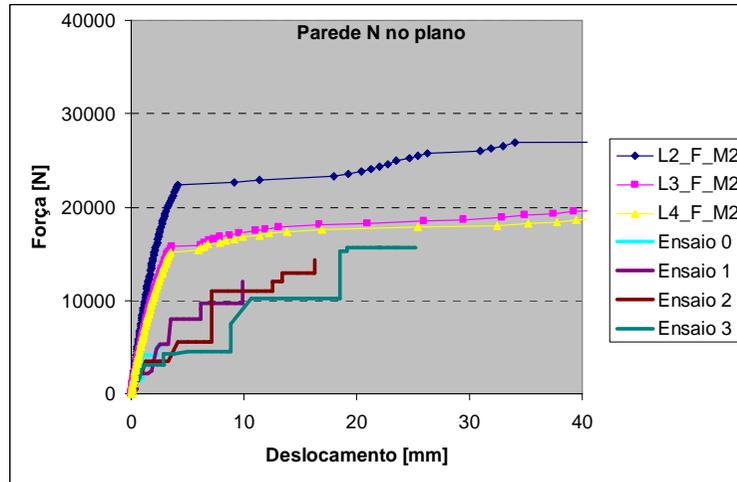
- > Ao LNEC
- > À Universidade do Minho
- > À Fundação para a Ciência e Tecnologia (Bolsa de Doutoramento SFRH/BD/12469/2004)
- > À STAP



Procedimento de ensaio

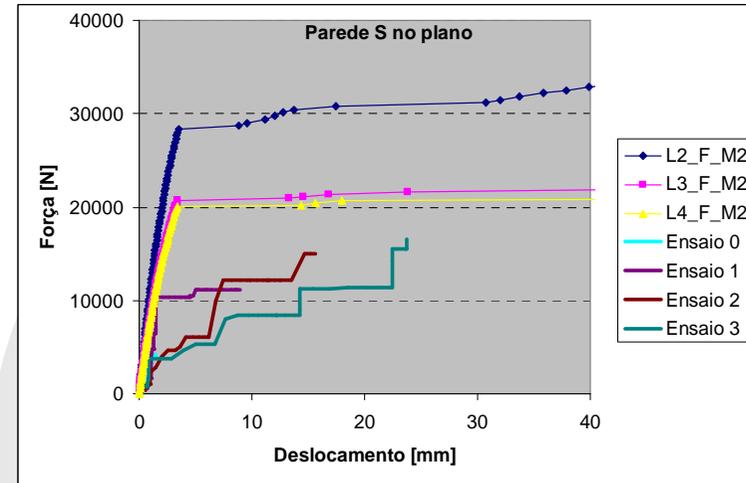
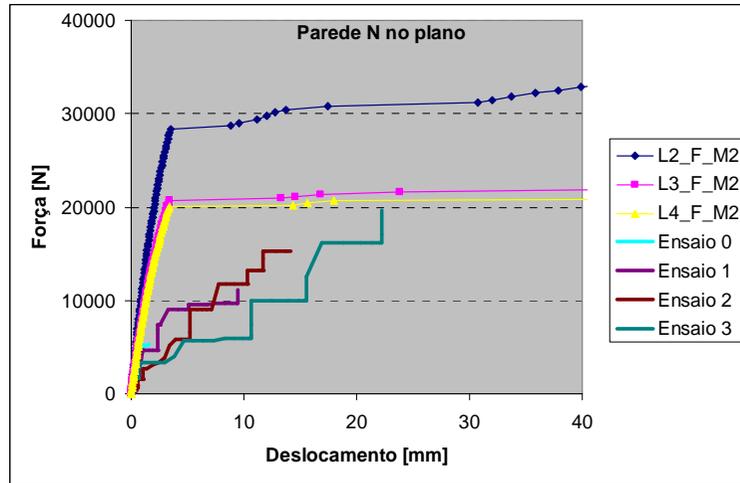
Número	Ensaio	PGA nominal*	Ficheiro	Amostras
0	Identificação modal 0	**	cat_00.bin	48000
1	Solicitação sísmica 0	20%	fct_20.bin	8192
2	Identificação modal 1	**	cat_20.bin	48000
3	Solicitação sísmica 1	50%	fct_50.bin	8192
4	Identificação modal 2	**	cat_50.bin	48000
5	Solicitação sísmica 2	75%	fct_75.bin	8192
6	Identificação modal 3	**	cat_75.bin	48000
7	Solicitação sísmica 3	100%	fct_100.bin	8192
8 ^s	Identificação modal 4	**	cat_100.bin	48000

Modelação numérica



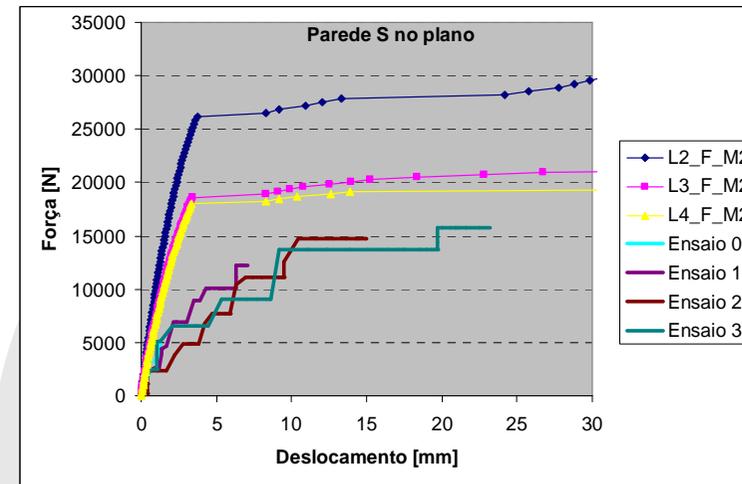
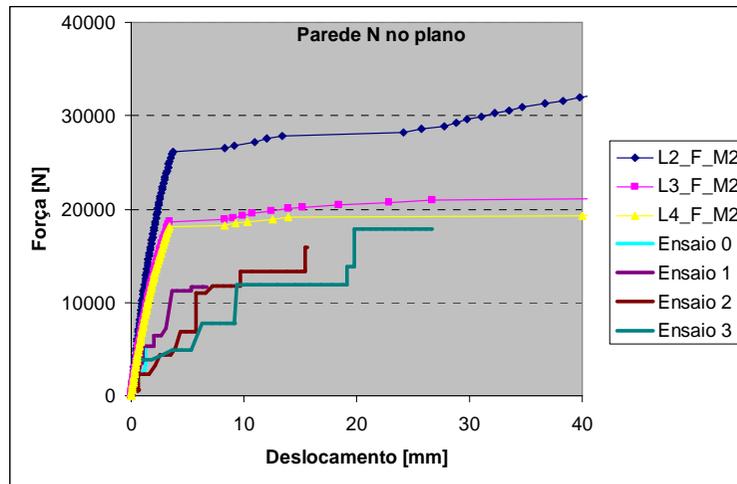
> Curvas de capacidade numéricas do Modelo 00 com o material M2 (controlo em força)

Modelação numérica



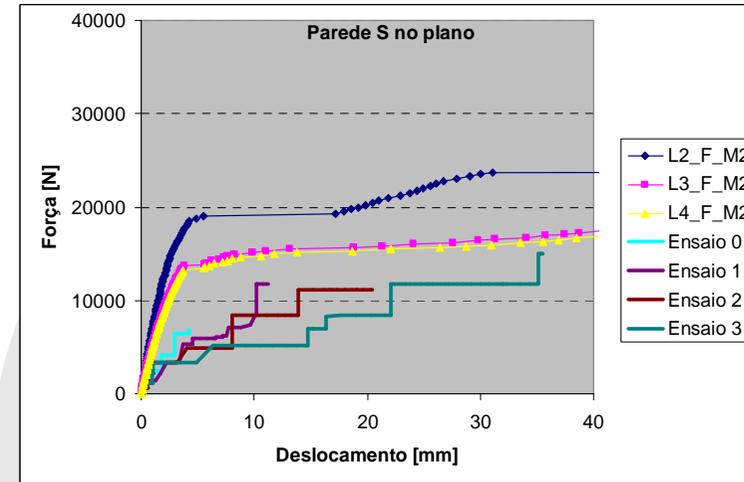
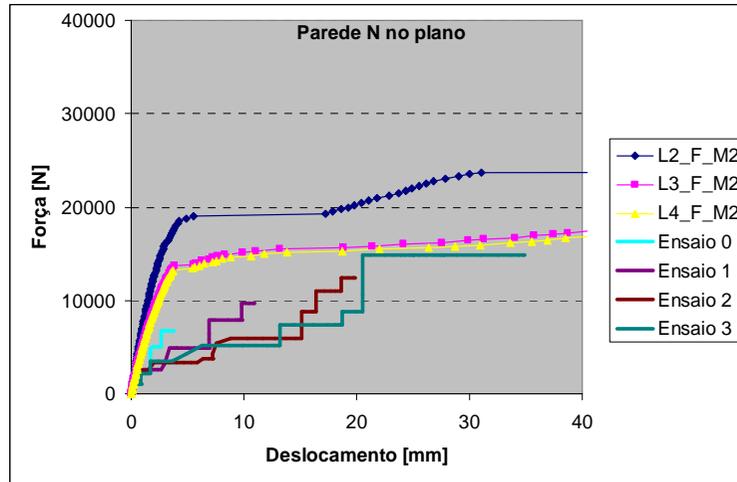
> Curvas de capacidade numéricas do Modelo 1 com o material M2 (controlo em força)

Modelação numérica



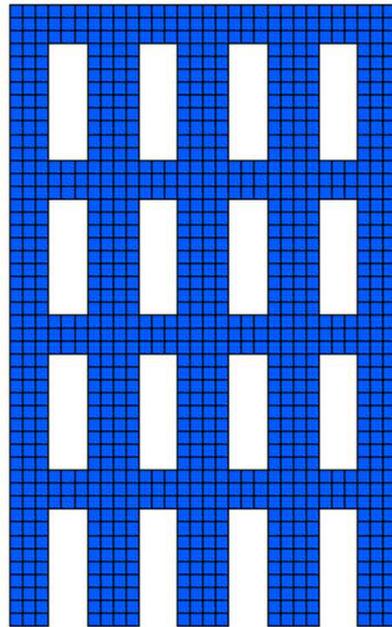
> Curvas de de capacidade numéricas do Modelo 2 com o material M2 (controlo em força)

Modelação numérica

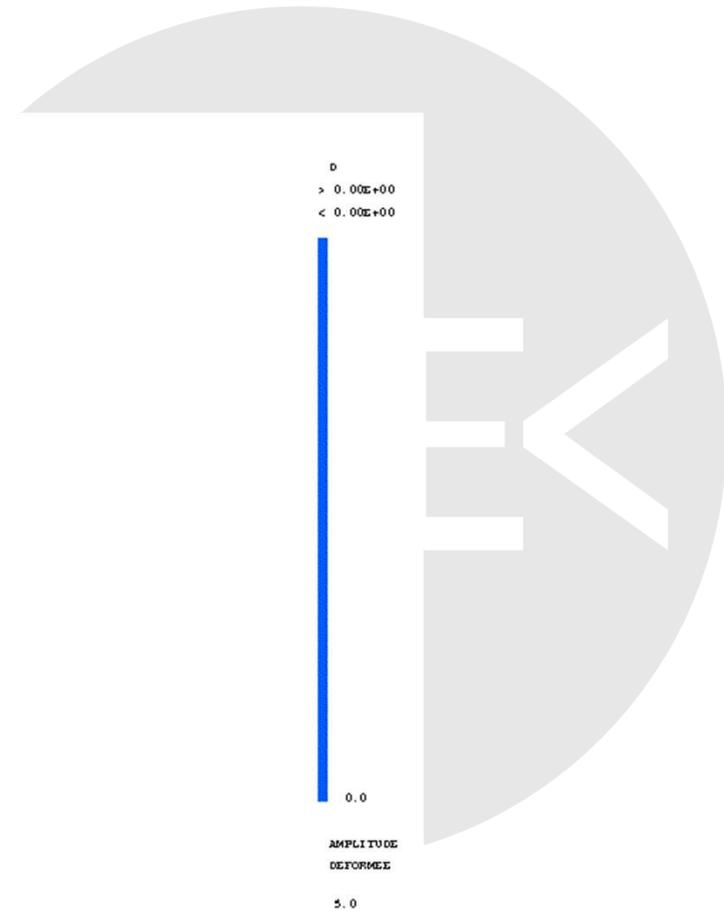


> Curvas de capacidade numéricas do Modelo 3 com o material M2 (controlo em força)

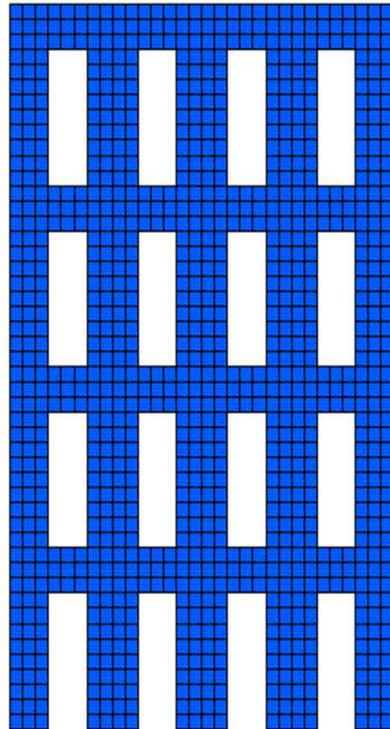
Modelo0_L4_F_M1



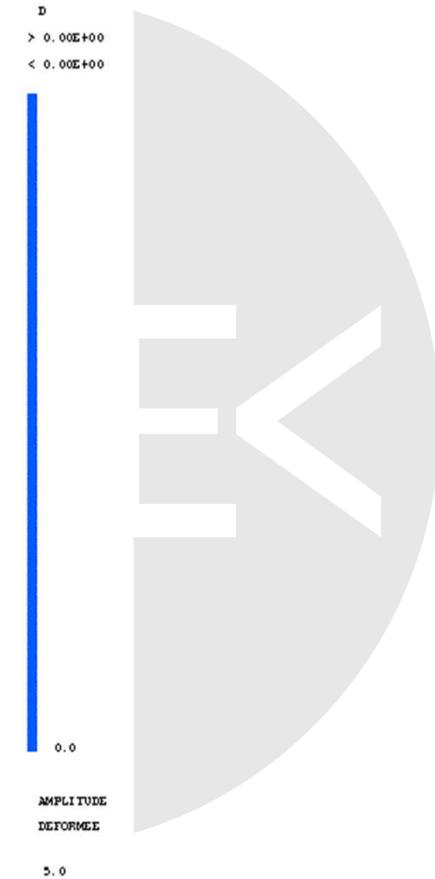
Damage (0.00)



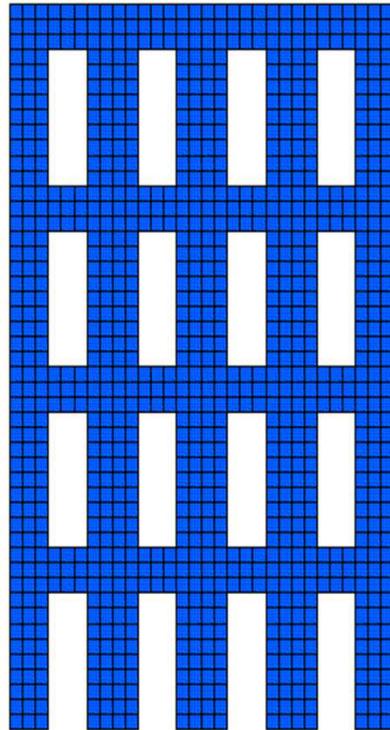
Modelo 14 FM2



Damage (0.00)



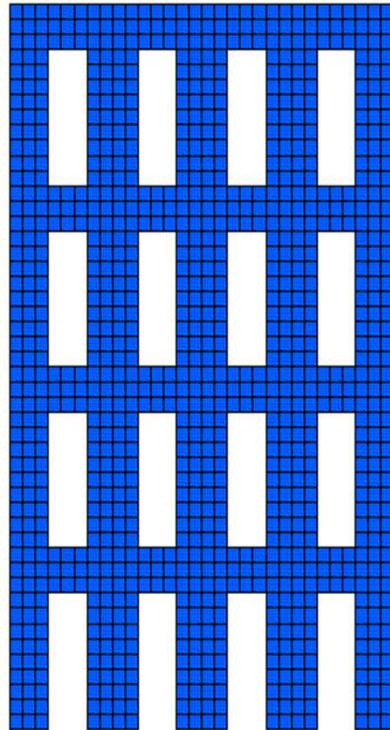
Modelo1 I A F M2



Damage (0.00)



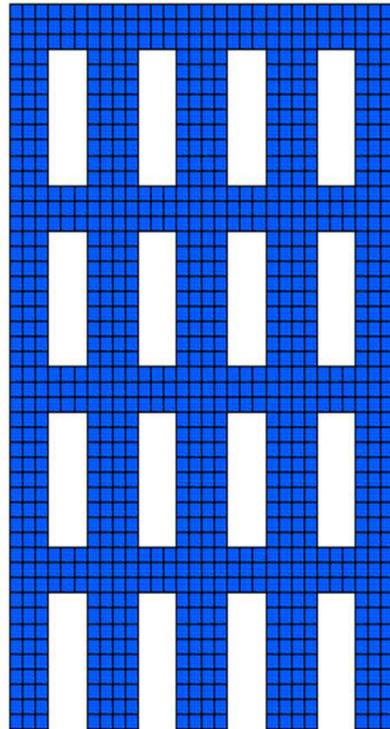
Modelo? I A F M?



Damage (0.00)



Modelo 3 1 4 F M2



Damage (0.00)

