

Avaliação do efeito das alvenarias no espectro de resposta de piso de edifícios de betão armado

Assessment of the infill masonry walls effect in the floor spectra response of RC structures

André Furtado
Hugo Rodrigues
António Arêde

Resumo

As paredes de alvenaria de enchimento podem influenciar, favoravelmente ou não, a resposta de um edifício de betão armado quando sujeito a uma dada ação sísmica. Torna-se então imprescindível uma avaliação e quantificação do efeito da sua presença na resposta sísmica de edifícios de betão armado. O objetivo do presente trabalho é estudar o efeito da presença das paredes de alvenaria de enchimento no espectro de resposta de piso de um edifício de betão armado com 8 pisos. Este estudo procura avaliar a variação do espectro de resposta de piso usando diferentes metodologias de modelação numérica, considerando ou não os painéis de alvenaria de enchimento e, quando estes são considerados, avaliando as diferenças entre o comportamento no plano e fora do plano.

Abstract

The presence of the infill masonry walls in reinforced concrete buildings is very common. However, and even today, during the design process of new buildings and in the structural safety assessment of existing ones, infills are usually considered as non-structural elements, and their influence in the structural response is disregarded. The infill walls' presence is recognized to have an important role in the global structural behaviour and in the RC framed building structures performance when subjected to earthquake demands, as proved in the most recent earthquakes in Europe where it was observed a poor seismic performance of many RC buildings with extensive damages in the structural and non-structural elements. The major goal of this paper is to present a numerical study on the effect of the infill walls in the floor response spectra of an 8-storey building that was subjected to incremental dynamic analyses. Two different models, with and without infill panels, were built in the software OpenSees and the results analyzed were the floor accelerations and velocities. Those results are compared with the limits and reference values suggested by the international codes, particularly with Eurocode 8 recommendations.

Palavras-chave: Estruturas de betão armado / Paredes de enchimento / Elementos não-estruturais / Espectro de resposta de piso / Modelação numérica

Keywords: RC structures / Masonry infill walls / Numerical modelling / Floor response spectra

André Furtado

Estudante de Doutoramento
CONSTRUCT-LESE, Faculdade de Engenharia
Universidade do Porto
Porto, Portugal
afurtado@fe.up.pt

Hugo Rodrigues

Professor Adjunto
RISCO-ESTG, Instituto Politécnico de Leiria
Leiria, Portugal
Hugo.f.rodrigues@ipleiria.pt

António Arêde

Professor Associado
CONSTRUCT-LESE, Faculdade de Engenharia
Universidade do Porto
Porto, Portugal
aarede@fe.up.pt

Aviso legal

As opiniões manifestadas na Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

Legal notice

The views expressed in the Portuguese Journal of Structural Engineering are the sole responsibility of the authors.

FURTADO, A. [et al.] – Avaliação do efeito das alvenarias no espectro de resposta de piso de edifícios de betão armado. **Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas**. Ed. LNEC. Série III. n.º 11. ISSN 2183-8488. (novembro 2019) 51-60.

1 Introdução

Durante os últimos anos têm sido conduzidos diversos estudos científicos para avaliar a influência das paredes de alvenaria de enchimento na resposta sísmica dos edifícios de betão armado. É sabido que esta contribuição pode ser favorável ou não, dependendo de uma série de parâmetros tais como a resistência e rigidez relativa entre as paredes e os elementos envolventes de betão armado, existência de ligação mecânica aos elementos de betão armado e das suas propriedades materiais e mecânicas [1].

Relatórios de observação de danos pós-sismo têm associado a *performance* dos edifícios de betão armado com a presença e distribuição dos painéis de alvenaria de enchimento. Por exemplo, a distribuição irregular em altura dos painéis de enchimento desencadeia o mecanismo de piso flexível, caracterizado pela concentração da deformação nos pisos vazados. Este mecanismo tem resultado no colapso de um número significativo de edifícios. De igual modo, a existência de aberturas nos painéis de enchimento próximas dos pilares envolventes pode resultar, aquando da ocorrência de um sismo, no mecanismo de pilar-curto onde estes são sujeitos a forças de corte em zonas onde não foram dimensionados para tal (armadura transversal insuficiente) e consequentemente na sua rotura. Obviamente que a ocorrência do colapso dos painéis de enchimento (devido à ação sísmica combinada no seu plano e fora do seu plano) resulta em possíveis irregularidades verticais e/ou em planta [2, 3]. A avaliação da segurança de um edifício de betão armado face a uma ação sísmica deve ser realizada considerando a presença das paredes de enchimento.

No presente estudo é avaliado o efeito da presença de paredes de enchimento na resposta de um edifício de 8 pisos de betão armado. Esta avaliação terá particular incidência na comparação dos espectros de resposta de piso considerando ou não a presença dos painéis. Para isso foram realizadas análises não-lineares dinâmicas incrementais nas quais foram analisados os seguintes parâmetros: *drift* máximo entre pisos (IDR_{max}), aceleração de piso máxima, velocidade de piso máxima, aceleração de paredes máxima, velocidades de paredes máxima e por fim espectro de resposta de piso. A apresentação e discussão dos resultados serão apresentadas ao longo deste artigo.

2 Caso de estudo

2.1 Descrição do edifício

O caso de estudo selecionado para este trabalho trata de um edifício de 8 pisos com dimensões em planta de 20 m x 15 m, que é composto por módulos de 4 m x 5 m, com uma altura entre pisos de 3 m (Figura 1). Este edifício foi dimensionado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) para proceder à aplicação das disposições presentes na regulamentação, relativa à ação dos sismos em edifícios comuns, de acordo com as prescrições do Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado, de forma a auxiliar os projetistas no dimensionamento de edifícios [4].

Um conjunto de 2 edifícios 3D foram gerados na ferramenta de cálculo OpenSees [5] de acordo com as seguintes estratégias de

modelação: (i) modelo não considerando a presença dos painéis de enchimento – modelo BF; (ii) modelo considerando a presença dos painéis de enchimento e o comportamento combinado no plano e fora-do-plano – modelo IP_OOP.

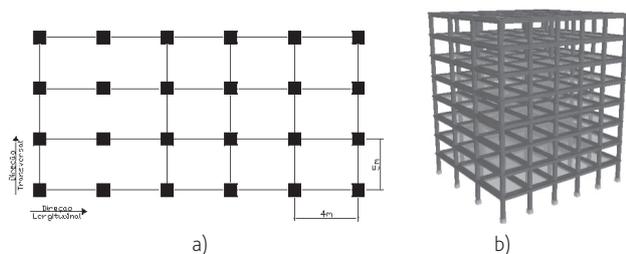


Figura 1 Caso de estudo: a) Dimensões em planta (em metros); b) visão geral do modelo numérico 3D

2.2 Estratégias de modelação

Os elementos de betão armado foram modelados através de elementos Force-based BeamColumns disponível na biblioteca do OpenSees [5], e foi considerado um comprimento de rótula plástica com valor igual a metade da maior das dimensões da secção transversal. Esta decisão foi baseada em estudos realizados por diferentes autores que concluíram que o comprimento da rótula plástica não tem forte influência na afetação desta última por um carregamento biaxial [6]. Foi atribuída a lei de comportamento Concrete02 para representar o comportamento do betão, que na realidade é a lei de comportamento proposta por Mander *et al.* [7], baseada no modelo uniaxial de Madas [8] e que segue as regras cíclicas propostas por Martinez-Rueda e Elnashai [9]. Na Tabela 1 são apresentadas as características mecânicas do betão adotadas para o modelo numérico.

Tabela 1 Propriedades mecânicas do betão adotadas para o modelo numérico

Resistência à compressão f_c (MPa)	Resistência à tração f_t (MPa)	Extensão máxima (%)
25	3,94	0,36

Relativamente ao aço foi atribuída a lei de comportamento steel02, que é a lei de comportamento proposta por Menegotto e Pinto [10], um modelo que representa satisfatoriamente a degradação da rigidez de elementos de betão armado quando sujeitos a carregamentos cíclicos. Na Tabela 2 são apresentadas as propriedades mecânicas do aço adotadas para o modelo numérico.

Tabela 2 Propriedades mecânicas do aço adotadas para o modelo numérico

Módulo de elasticidade	Resistência à cedência	Parâmetro de tensão <i>hardening</i>	Parâmetro da forma inicial da curva de transição	Parâmetro da forma da curva de transição		<i>Hardening</i> isotrópico	
E_s (MPa)	f_y (MPa)	r (%)	R_0	a_1	a_2	a_3	a_4
194,7	3,94	0,36	20	18,5	0,15	0,025	2

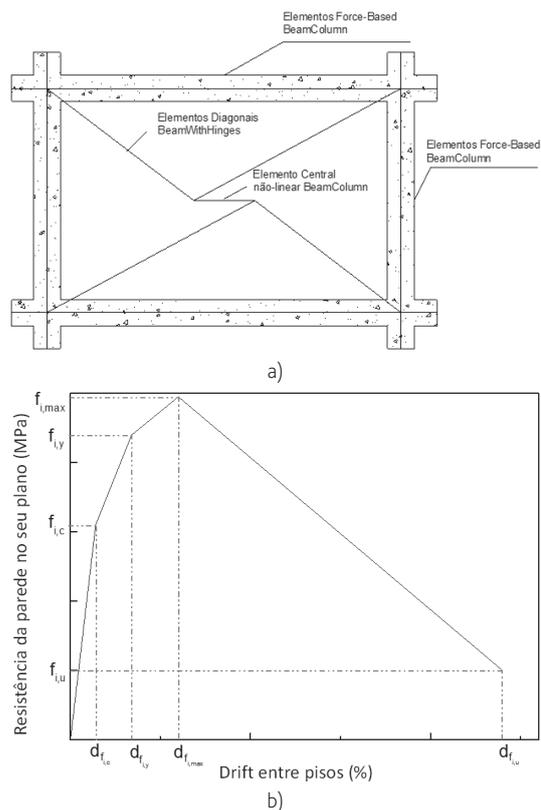


Figura 2 Caso de estudo: Estratégia de simulação numérica das paredes de enchimento a) dupla biela diagonal equivalente; b) lei de comportamento histerético no plano

Finalmente, as paredes de alvenaria foram modeladas com recurso a um modelo de dupla biela diagonal equivalente que considera o comportamento para fora-do-plano, assim como a interação entre o comportamento no plano e fora-do-plano. O presente modelo numérico inclui um algoritmo de remoção do painel quando este ultrapassa limites de *drift* previamente definidos nas duas direções da parede. Este modelo simula cada parede de enchimento através de 4 bielas diagonais rígidas, e um elemento central onde se concentra o comportamento não linear deste elemento. Com o objetivo de simular o comportamento para fora-do-plano a massa do painel foi concentrada nos dois nós centrais, como se pode observar na Figura 2a. Assim, as 4 diagonais e o elemento central são constituídos por elementos *BeamWithHinges* e o central por um elemento não linear *BeamColumn*. Todos estes elementos

Tabela 3 Propriedades mecânicas das alvenarias adotadas para o modelo numérico

Resistência à compressão horizontal	Resistência à compressão vertical	Resistência ao deslizamento nas juntas de argamassa	Resistência ao deslizamento sob compressão diagonal	Módulo de elasticidade	Peso volumico
f_{wh} (MPa)	f_{wv} (MPa)	f_{wu} (MPa)	f_{ws} (MPa)	E_s (MPa)	W (kN/m ³)
1,18	2,02	0,44	0,55	1873	6,87

encontram-se disponíveis na biblioteca do *software* selecionado. O comportamento no plano do painel de enchimento é considerado através da calibração da não linearidade axial do elemento central, que é caracterizada através de uma curva quadrilinear (Figura2b), definida por 4 parâmetros, nomeadamente: a) fissuração (Força de fissuração $f_{i,c}$ e *drift* correspondente $d_{fi,c}$); b) cedência (Força de cedência $f_{i,y}$ e *drift* correspondente $d_{fi,y}$); c) máxima resistência (Força máxima $f_{i,max}$ e respetivo *drift* $d_{fi,max}$); e finalmente d) resistência residual (força residual $f_{i,u}$ e *drift* correspondente $d_{fi,u}$). As regras de histerese calibradas para representar o comportamento das alvenarias de enchimento são controladas através dos seguintes parâmetros adicionais: degradação da rigidez – α ; efeito de *pinching* – β ; e degradação da resistência – γ . Desta forma, foi adotado para a lei de comportamento uniaxial *Pinching4* para o elemento central do modelo proposto e que deste modo representa o comportamento não-linear no plano. Esta lei de comportamento do material uniaxial é usada para representar efeitos tais como a degradação da resistência e rigidez ao longo de cargas cíclicas. Esta degradação pode ocorrer de três modos: degradação de rigidez de descarga, degradação de rigidez de recarga e degradação de resistência.

Para o presente trabalho assumiu-se que as paredes de enchimento seriam constituídas por tijolos cerâmicos de furação horizontal e foram adotadas as propriedades mecânicas para a sua modelação apresentadas na Tabela 3. Foram definidos os seguintes limites de *drift*: no plano 1,5% e fora-do-plano 3%. Podem ser encontrados mais detalhes relativos à estratégia de modelação numérica adotada para simular os painéis de enchimento em [11].

As frequências naturais do modelo BF são 0,89 Hz (1º modo de translação segundo a direção X) e 1,07 Hz (2º modo de translação segundo a direção Z). Por seu lado, as frequências naturais do modelo IP_OOP são 1,99 Hz e 2,08 Hz, respetivamente 1º modo e 2º modo. A frequência correspondente ao primeiro modo para fora-do-plano dos painéis de enchimento é 24 Hz.

2.3 Análises não-lineares dinâmicas incrementais

A avaliação da influência das paredes de enchimento na resposta estrutural do edifício foi avaliada através da realização de análises não-lineares dinâmicas incrementais. Um total de 3 registos sísmicos foram selecionados de eventos sísmicos reais e foram progressivamente escalados, como ilustrado na Figura 3. Mais de 60 análises numéricas foram realizadas para este estudo preliminar. Os resultados serão apresentados de forma individualizada para cada sismo por forma a melhor analisar o efeito da presença das alvenarias de enchimento.

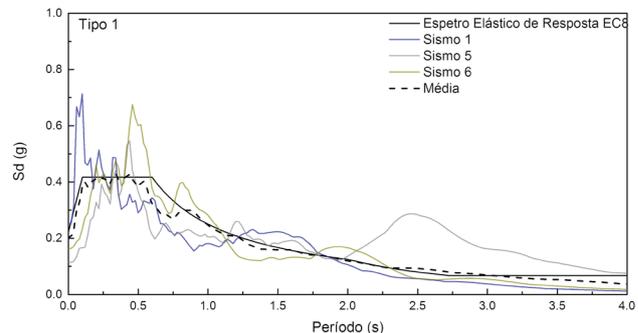


Figura 3 Espectro elástico de resposta dos registos sísmicos selecionados

3 Discussão dos resultados

3.1 Análise global

Primeiramente é apresentada a resposta dos dois modelos numéricos em relação à evolução do *drift* entre pisos (IDR_{MAX}), ilustrado na Figura 4. Da análise deste parâmetro é possível observar que para ambas as direções do edifício e para todos os níveis de PGA (*peak ground acceleration*) o modelo BF registou níveis superiores de *drift*. Verifica-se que, como expectável, os níveis de *drift* aumentam com o incremento de PGA para todos os sismos e para ambos os modelos numéricos. Verifica-se que para o sismo 1, o modelo BF é entre 2 a 3 vezes superior ao modelo IP_OOP, sendo as diferenças para os sismos 5 e 6 entre 1,5-2,5 vezes superior. Para o sismo 2 o modelo IP_OOP aproxima-se da resposta do modelo BF para PGA inferiores a 0,1 g. Por fim, é de assinalar que o IDR_{MAX} do modelo IP_OOP a partir de níveis de PGA superiores a 0,2 g aumenta significativamente (devido ao dano/colapso dos painéis de enchimento) e que aproxima assim a sua resposta do modelo BF.

Da análise dos resultados relativos à aceleração de piso máxima ($A_{max,piso}$), plotados na Figura 5a e 5b, pode-se verificar que a presença das paredes de enchimento aumentou as acelerações de piso quando comparadas com os valores registados no modelo BF. Por exemplo, os resultados relativos ao sismo 6 (direção X) mostram que para valores de PGA inferiores a 0,15 g o modelo IP_OOP apresenta valores de $A_{max,piso}$ entre 10-20% inferiores ao modelo BF, no entanto para valores superiores a 0,2 g o modelo IP_OOP apresenta valores 1,5 a 2,25 vezes superiores ao modelo BF. Na direção Z verifica-se a mesma tendência, mas para valores ligeiramente inferiores, nomeadamente cerca de 1,5 a 2 vezes superior (PGA superior a 0,2 g). Resultados semelhantes são observados para os sismos 1 e 5.

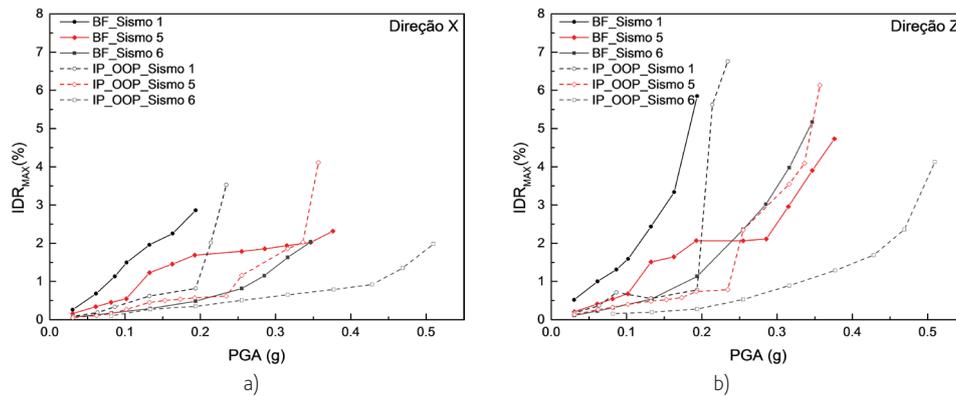


Figura 4 Resultados numéricos: *Drift* máximo entre pisos a) Direção X e b) Direção Z

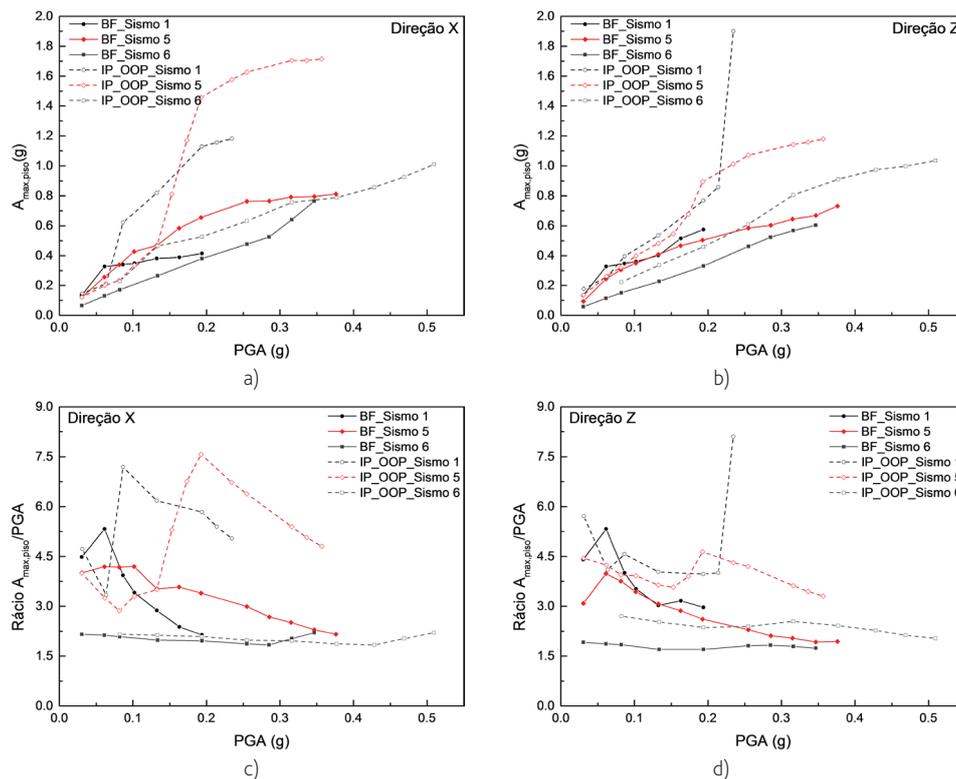


Figura 5 Resultados numéricos: Aceleração máxima de piso $A_{max,piso}$ a) Direção X e b) Direção Z e rácio $A_{max,piso}/PGA$ c) Direção X e d) Direção Z

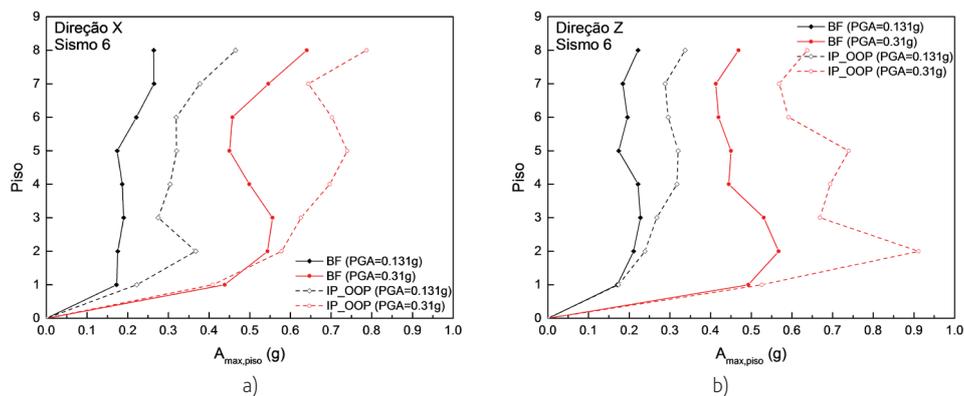


Figura 6 Resultados numéricos: Envolvente de acelerações máximas de pisos a) Direção X; b) Direção Z

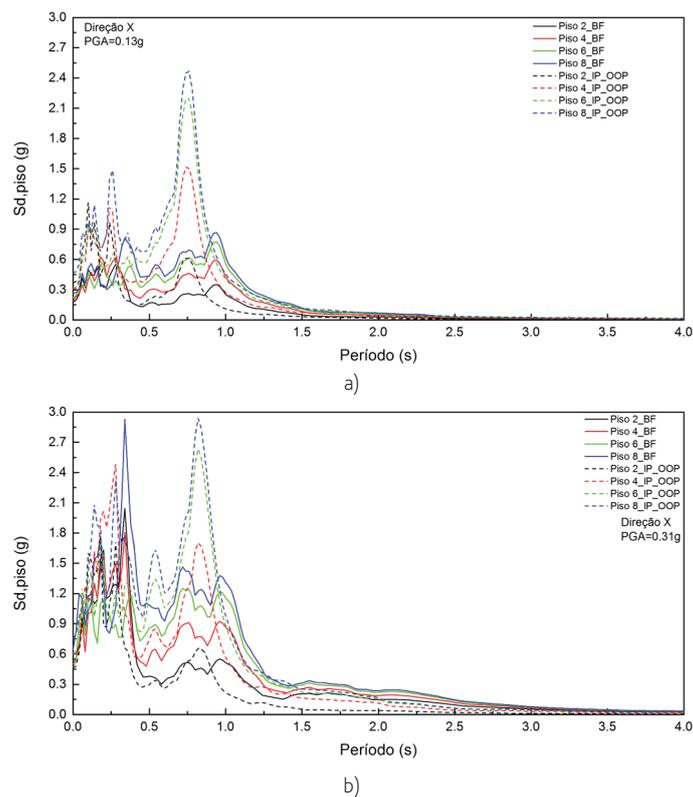


Figura 7 Resultados numéricos: Espectro de resposta de piso (sismo 6) a) PGA = 0,13 g; b) PGA = 0,31 g

Importa agora comparar o valor da aceleração de piso máxima com a PGA correspondente. Para isso foi calculado o rácio $A_{\text{max,piso}}/PGA$ como se pode observar na Figura 5c e 5d. Da análise destes resultados observa-se que o rácio é sempre superior a 1,5 e que os valores máximos são obtidos pelo modelo IP_OOP. Verifica-se que o modelo BF apresenta valores de maior grandeza para menores níveis de PGA (variando entre 1,6 a 4,5 vezes o valor da PGA correspondente) e para valores superiores de PGA ocorre a redução do valor deste rácio. Tendência semelhante ocorre para o modelo IP_OOP, mas para valores de rácio superiores, nomeadamente 1,7 a 6 para níveis de PGA inferiores a 0,1 g e cerca de 1,8 a 4 para níveis de PGA superiores a 0,35 g.

Analisando para o sismo 6 (PGA = 0,131 g e PGA = 0,31 g), a envolvente de acelerações máximas ao longo dos pisos do edifício, apresentada na Figura 6, verifica-se o efeito da presença das paredes de enchimento através do aumento $A_{\text{max,piso}}$ ao longo de todos os pisos do edifício. Verifica-se que no piso 1 este aumento é pouco significativo, no entanto este aumento amplifica-se para os restantes pisos, em particular o piso 3 e o piso 5 que curiosamente coincidem com os pisos onde ocorreu o colapso dos painéis durante as análises. Com o aumento da PGA, verificou-se um maior aumento da $A_{\text{max,piso}}$ para os pisos 4, 5 e 6 na direção X e para os pisos 2, 5 e 6 na direção Z. Importa salientar que este é apenas o resultado relativo a duas PGA de um único sismo. Será importante aprofundar este resultado para um maior número de sismos.

Na Figura 7 são apresentados os espectros de resposta de piso relativos a duas PGA do sismo 6, nomeadamente 0,13 g e 0,31 g. Neles pode ser observada a diferença da resposta entre o modelo BF e IP_OOP. Pode-se verificar que o pico de acelerações do modelo BF ocorre para uma gama de valores de período da estrutura entre 0-0,4 s e por volta de 1 s, enquanto por outro lado no modelo IP_OOP ocorre para 0,75 s (um pico bem destacado) e cerca de 0,25 s. Obviamente que da análise comparativa entre os dois níveis de PGA é perceptível que o espectro de resposta de piso do modelo BF não modifica a sua forma. Por outro lado, o modelo IP_OOP varia ligeiramente, justificado pelo aumento do nível de dano das alvenarias que modifica as características globais da estrutura comparativamente com o existente para uma PGA igual a 0,13 g.

Por fim, foram extraídos das análises numéricas os resultados relativos às velocidades máximas de piso $V_{\text{piso,max}}$ obtidas por cada modelo numérico (Figura 8a e 8b). Na direção X, o modelo IP_OOP apresenta valores inferiores de $V_{\text{piso,max}}$ para os mesmos níveis de PGA, exceto para o sismo 6. O modelo BF, no sismo 1, apresenta valores de $V_{\text{piso,max}}$ entre 1,2 e 2,1 vezes superiores até 0,15 g, momento após o qual é ultrapassado pelo modelo IP_OOP (1,5 a 1,9 vezes superior).

Relativamente ao sismo 5 pode-se observar que o modelo BF é sempre superior ao modelo IP_OOP, embora ligeiramente, como se pode provar pelo ligeiro acréscimo de 1,05 a 1,35 vezes. Finalmente, a direção Z apresenta tendências semelhantes com o modelo BF a

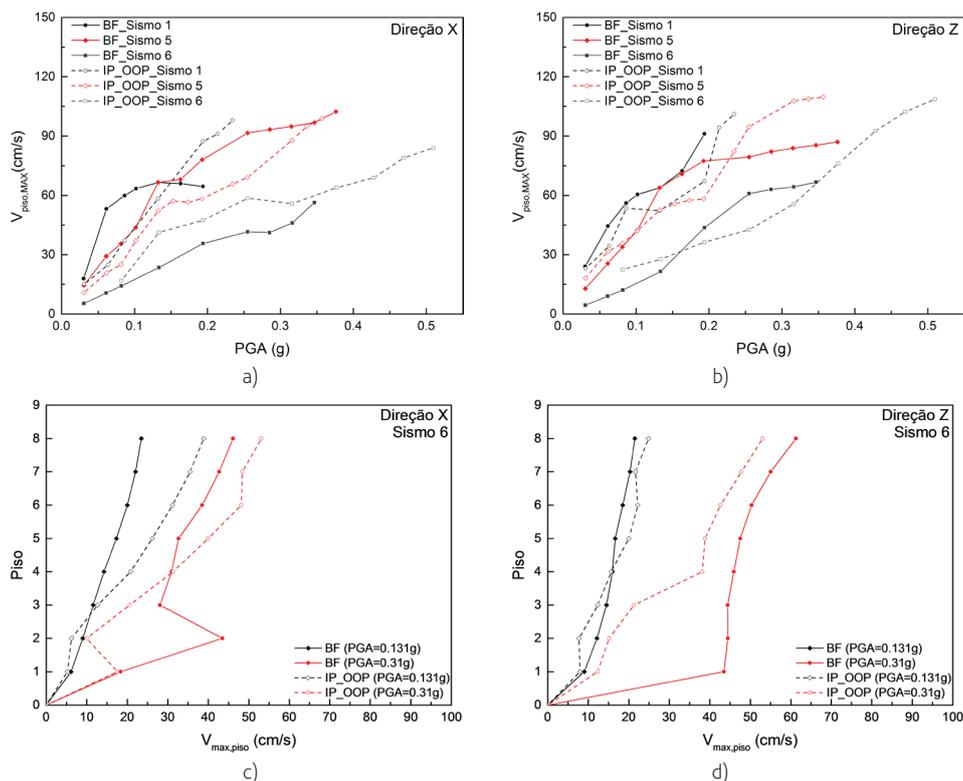


Figura 8 Resultados numéricos: Velocidades máximas de piso $V_{\text{max,piso}}$ a) Direção X e b) Direção Z; e perfil de $V_{\text{piso,max}}$ c) Direção X e d) Direção Z

registar os maiores valores de $V_{\text{piso,max}}$ para níveis de PGA inferiores a 0,2 g e depois ultrapassado pelo modelo IP_OOP apenas no sismo 5 para níveis de PGA superiores a 0,2 g.

Analizando o perfil de $V_{\text{piso,max}}$ ao longo dos diferentes pisos do edifício (Figura 8c e 8d), é visível que na direção X para os pisos 1, 2 e 3 o modelo BF atinge $V_{\text{piso,max}}$ entre 1,1 a 2 vezes superiores ao IP_OOP. No entanto, para os pisos 5, 6, 7 e 8 $V_{\text{piso,max}}$ apresenta valores 15% superiores no modelo IP_OOP. A direção Z do edifício apresenta um resultado ligeiramente diferente, uma vez que para PGA igual a 0,131 g

o modelo IP_OOP atinge valores de $V_{\text{piso,max}}$ inferiores ao modelo BF nos pisos 1, 2 e 3 e superiores nos pisos 5, 6, 7 e 8. Já para uma PGA igual a 0,31 g o modelo BF apresenta $V_{\text{piso,max}}$ sempre superior ao modelo IP_OOP (desde 4 vezes superior no piso 1 até 1,3 vezes superior no piso 8).

3.2 Análise das paredes de enchimento

Incidindo este estudo numérico sobre a influência das paredes de alvenaria de enchimento na resposta sísmica de um edifício de

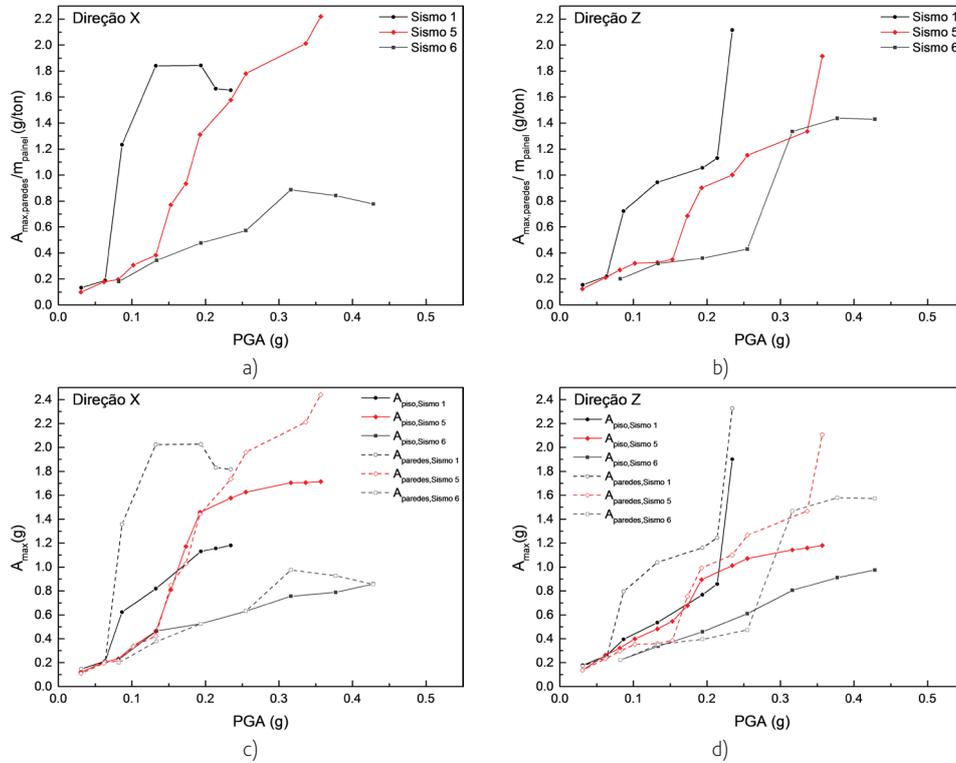


Figura 9 Resultados numéricos: Acelerações máximas das paredes para fora-do-plano $A_{\text{max,parede}}$ a) Direção X; b) Direção Z; comparação entre $A_{\text{max,parede}}$ e $A_{\text{max,piso}}$ c) Direção X; d) Direção Z

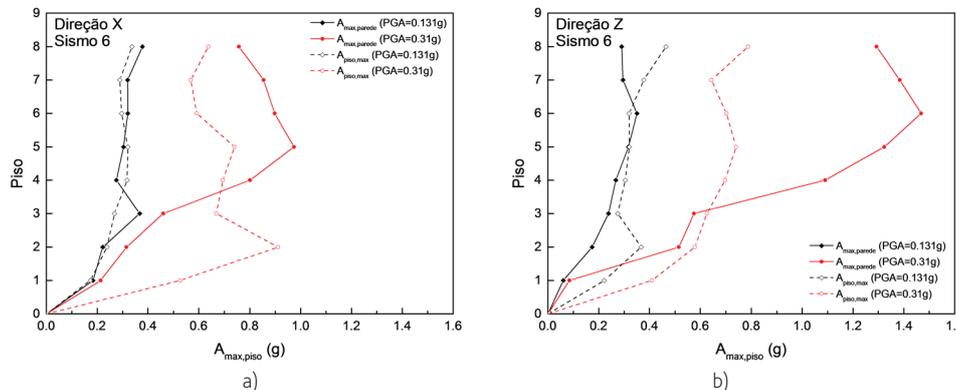


Figura 10 Resultados numéricos: Envolvente de acelerações máximas de paredes para fora-do-plano e de pisos a) Direção X; b) Direção Z

betão armado, realizou-se o estudo em particular das variações das acelerações para fora-do-plano das paredes ao longo das diversas análises realizadas. Na Figura 9a e 9b são apresentados os valores máximos das acelerações para fora-do-plano ($A_{\text{max,parede}}$). A este valor foi realizada a divisão pela massa do painel (foi assumido um valor de 142 kg/m^2). Verifica-se a tendência crescente deste valor com o incremento de PGA, como seria de esperar. Os maiores valores foram registados para o sismo 5 na Direção X e 1 na Direção Z. Para valores de PGA inferiores a $0,2 \text{ g}$, o valor de $A_{\text{max,parede}}/m_{\text{painel}}$ é inferior a 1, sendo após isso sempre superior a 1 (exceto para a direção X do sismo 6). Através da comparação entre a $A_{\text{max,parede}}$ para fora-do-plano e a respetiva $A_{\text{piso,max}}$ nessa mesma direção (Figura 9c e 9d) é possível observar que as acelerações registadas nos painéis são quase sempre superiores aos valores de piso. Verifica-se que esta superioridade é particularmente visível para níveis de PGA superiores a $0,2 \text{ g}$.

Através da análise da envolvente de acelerações máximas para fora-do-plano das paredes de enchimento e o valor registado relativamente às acelerações de piso na respetiva direção, é visível que na direção X as acelerações de piso são semelhantes aos valores registados nos painéis para um nível de PGA igual a $0,131 \text{ g}$ (Figura 10). Para PGA igual a $0,31 \text{ g}$, as paredes apresentam valores inferiores às acelerações de piso até ao piso 4 (menos 60% no piso 2) onde se pode ver que as paredes registaram uma aceleração cerca de 1,25 vezes superior à do piso. Na direção Z, verifica-se que para a menor PGA as paredes atingem sempre níveis de aceleração inferiores às verificadas nos pisos e por outro lado para PGA igual a $0,31 \text{ g}$ ocorre o mesmo que na direção X uma vez que até ao piso 3 (inclusive) as acelerações de piso são superiores às da parede em cerca de 1,1 vezes a 3 vezes. Do piso 4 até ao 8, as acelerações atingidas para fora-do-plano dos painéis de enchimento são sempre superiores às do piso, com particular destaque para o piso 6 onde atinge um valor máximo 2 vezes superior.

Na Figura 11 é apresentado o espectro de resposta relativo às paredes de enchimento (acelerações para fora-do-plano) obtido a partir de duas PGA do sismo 6. Analisando os espectros para uma PGA igual a $0,13 \text{ g}$ é possível observar que o pico é atingido para um período de cerca de $0,05 \text{ s}$, $0,35 \text{ s}$ e $0,8 \text{ s}$ e que o valor de S_d é cerca de 5 vezes superior ao registado no piso 1. Da mesma maneira que é possível observar que a forma dos espectros de resposta das paredes do mesmo piso modificam para os dois níveis de PGA, o que se deve ao nível de dano existente.

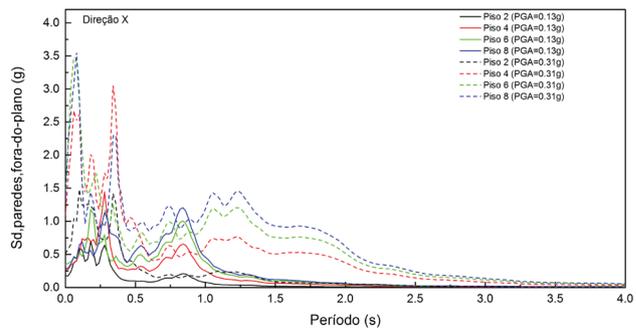


Figura 11 Resultados numéricos: Espectro de resposta das paredes de enchimento (acelerações fora-do-plano)

4 Conclusões

O presente trabalho apresenta um estudo numérico relativo ao efeito da presença das paredes de enchimento na resposta sísmica de um edifício de betão armado de 8 pisos, e em particular nas acelerações de piso e no seu respetivo espectro de acelerações. Para isso foram construídos na ferramenta numérica OpenSees dois modelos numéricos tridimensionais com e sem alvenarias. Foram realizadas análises não-lineares dinâmicas incrementais de onde foram extraídos os valores de aceleração e velocidade ao nível dos pisos e dos painéis de enchimento.

Ao longo do presente artigo foram apresentados os resultados preliminares deste estudo numérico, dos quais é possível tecer as seguintes conclusões:

- A presença das paredes de enchimento introduz um aumento das acelerações máximas de piso (até 2,5 vezes superiores ao modelo sem alvenaria);
- As acelerações máximas de piso registadas pelo modelo com alvenarias atinge valores 1,6 a 6 vezes superior ao valor da PGA correspondente;
- O modelo sem alvenarias atingiu acelerações máximas de piso sempre superiores a 1,5 vezes o valor da PGA correspondente;
- A presença das paredes de enchimento introduz um aumento da aceleração máxima de todos os pisos quando comparada com a situação desprezando a sua presença. Verifica-se que a menor e maior diferença ocorrem ao nível do piso 1 e 8, respetivamente;

- Não se verificou uma influência significativa da presença das alvenarias na velocidade máxima de piso;
- As acelerações para fora-do-plano das paredes de enchimento são superiores aos valores atingidos pelas acelerações de piso nos pisos superiores (4 até ao 8).
- Os espectros de resposta de piso considerando a presença das alvenarias é diferente dos espectros gerados não considerando a sua presença;
- Os espectros de resposta das paredes correspondentes às suas acelerações para fora do plano atingem valores máximos de S_d para períodos de 0,6 e 0,85 s.

Por fim, é importante ressaltar que os resultados apresentados refletem o estudo de apenas um caso de estudo que foi sujeito a 3 sismos. Futuramente serão realizadas análises não-lineares dinâmicas complementares para validação dos presentes resultados e que serão comparados com o estudo de edifícios com diferentes números de pisos.

Agradecimentos

Este trabalho teve suporte financeiro da Unidade de Investigação UID/ECI/04708/2019- CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construções, financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC). Este trabalho foi objeto de um financiamento específico da FCT através do projeto PTDC/ECMEST/3790/2014 – Safety Evaluation and Retrofitting of Infill Masonry Enclosure Walls for Seismic Demands (ASPASSI).



Referências

- [1] Fardis, M. – "Experimental and numerical investigations on the seismic response of RC infilled frames and recommendations for code provisions ECOEST/PREC 8", LNEC, Lisbon, vol. 6, 1996.
- [2] Romão, X. *et al.* – "Field observations and interpretation of the structural performance of constructions after the 11 May 2011 Lorca earthquake", *Engineering Failure Analysis*, vol. 34, pp. 670-692, 2013.
- [3] Varum, H.; Furtado, A.; Rodrigues, H.; Dias-Oliveira, J.; Vila-Pouca, N.; Arêde, A. – "Seismic performance of the infill masonry walls and ambient vibration tests after the Ghorka 2015, Nepal earthquake" *Bulletin of Earthquake Engineering, journal article* vol. 15, no. 3, pp. 1185-1212, March 01 2017.
- [4] Carvalho, E.; Coelho, E. – *Análise Sísmica de estruturas de edifícios segundo a nova regulamentação - Análise Estrutural de um conjunto de 22 edifícios*. Lisboa, Portugal, 1984.
- [5] Mckenna, F.; Fenves, G.; Scott, M.; Jeremic, B. – *Open System for Earthquake Engineering Simulation (OpenSees)*, ed. Berkley, CA, 2000.
- [6] Rodrigues, H.; Varum, H.; Arêde, A.; Costa, A. – "A comparative efficiency analysis of different non-linear modelling strategies to simulate the biaxial response of RC columns", *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, vol. 11, pp. 553-566, 2012.
- [7] Mander, J. B.; Priestley, M. J. N.; Park, R. – "Theoretical stress-strain model for confined concrete", *Journal of Structural Engineering*, vol. 114, no. 8, pp. 1804-1826, 1988.
- [8] Madas, P. M.; Elnashai, A. S. – "A new passive confinement model for transient analysis of reinforced concrete structures", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 21, pp. 409-431, 1992.
- [9] Martinez-Rueda, J. E.; Elnashai, A. S. – "Confined concrete model under cyclic load", *Materials and Structures*, vol. 30, no. 197, pp. 139-147, 1997.
- [10] Menegotto, M.; Pinto, P. E. – "Method of analysis for cyclically loaded R.C. plane frames including changes in geometry and non-elastic behaviour of elements under combined normal force and bending" presented at the *Symposium on the Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well Defined Repeated Loads*, International Association for Bridge and Structural Engineering, Zurich, Switzerland, 1973.
- [11] Furtado, A.; Rodrigues, H.; Arêde, A.; Varum, H. – "Simplified macro-model for infill masonry walls considering the out-of-plane behaviour". *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 45, no. 4, pp. 507-524, 2016.