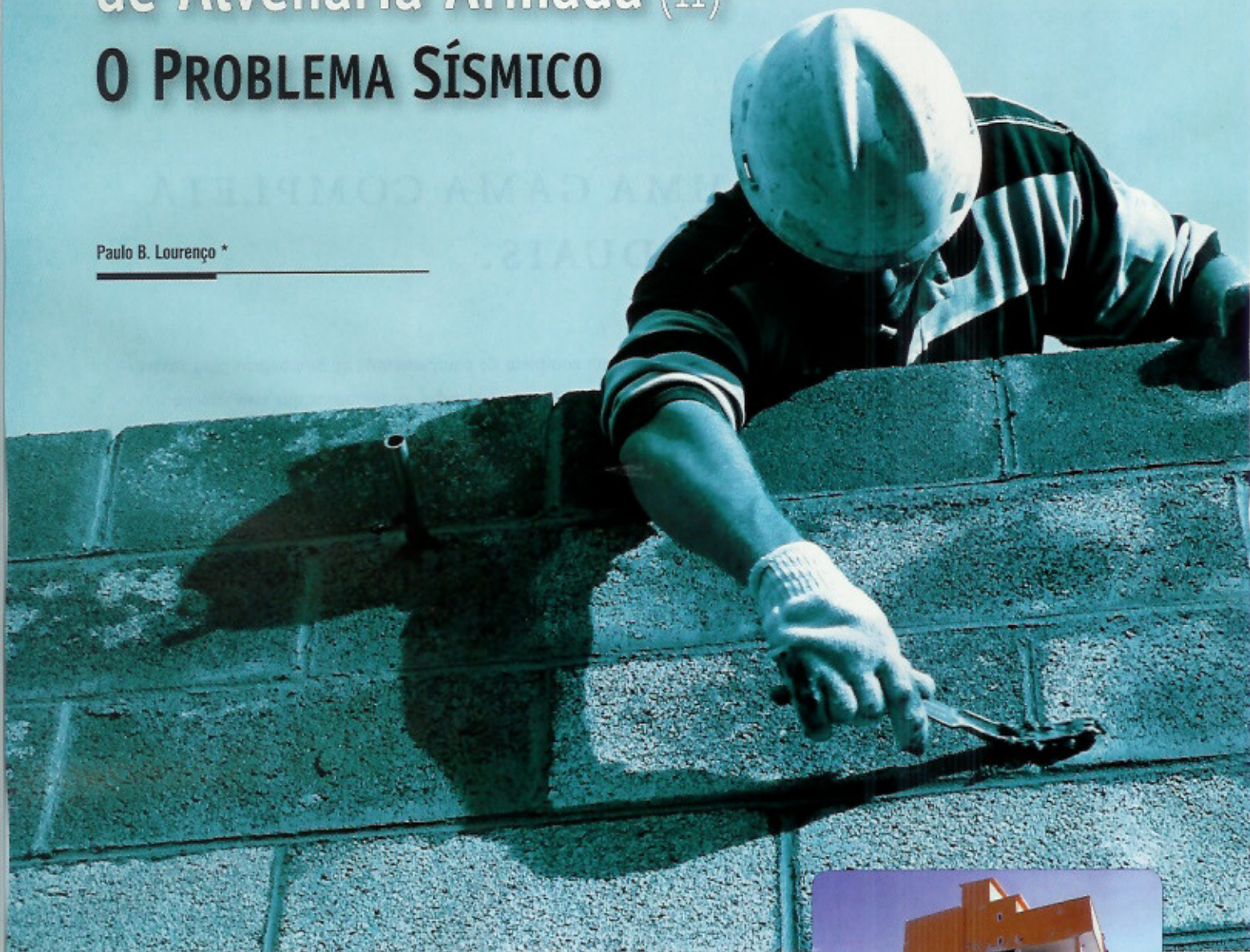


Paredes de Alvenaria Armada (II)

O PROBLEMA SÍSMICO

Paulo B. Lourenço *



Resumo

As paredes de alvenaria representam um elemento construtivo com enorme importância económica. A nova regulamentação sísmica (Eurocódigo 8) define claramente que o responsável pela segurança das paredes de alvenaria, ainda que de enchimento, é o projectista de estruturas. Neste contexto, salienta-se a necessidade de adoptar armadura nas juntas de alvenaria como forma de reduzir a vulnerabilidade sísmica nacional. O presente artigo dá sequência ao artigo intitulado "Paredes de Alvenaria Armada (I): Possibilidades e Aplicações", publicado na edição N.º 91 da INGENIUM.

Introdução

Na história de Portugal existem diversos registos da ocorrência de sismos com efeitos destruidores. Dada a sua natureza, é certo que sismos de grande potencial destrutivo venham a ocorrer no futuro em Portugal. Desta forma, é da responsabilidade de todos os intervenientes (autoridades, investigadores, projectistas e empresas) que os danos humanos e físicos nas construções sejam controlados.

A análise dos sismos e dos seus efeitos sobre estruturas, solos ou vias de comunicação, representam grandes desafios devido à complexidade dos fenómenos associados aos mecanismos de geração sísmica e de pro-

pagação de ondas em meios heterogéneos. No entanto, os avanços de conhecimento na última década, bem como a experiência recolhida junto dos grandes sismos que ocorreram recentemente, permitem reduzir a vulnerabilidade sísmica e, simultaneamente, definir soluções técnicas mais arrojadas e mais económicas.

Relativamente ao património construído, é conhecida a elevada vulnerabilidade das construções na zona de Lisboa e Vale do

Tejo, Algarve, Alentejo e Açores, com exemplos dramáticos recentes no sismo dos Açores de 8 de Julho de 1998. Como aspectos mais relevantes refere-se: (a) a insuficiente resistência sísmica da construção original; (b) a adopção de materiais e técnicas de construção desadequadas; (c) as alterações das construções; (d) a falta de manutenção.

As paredes de alvenaria em Portugal têm, quase exclusivamente, funções de vedação e enchimento. No entanto, é um facto bem conhecido que as paredes contribuem para o comportamento sísmico do sistema estrutural. Este aspecto é significativo uma vez que sismos de elevada magnitude deverão atingir Portugal no futuro, salientando-se a celebração dos 250 anos do, tristemente célebre, terramoto de 1755 em Lisboa e também a polémica sobre a segurança sísmica de estruturas de lajes fungiformes sem paredes e vigas de bordadura [1]. A teoria e a prática demonstraram repetidamente que as paredes de enchimento em alvenaria podem afectar de forma positiva o comportamento sísmico de edifícios, desde que eventuais interacções negativas entre o enchimento e a estrutura sejam evitadas.

Por outro lado, os danos em paredes de alvenaria têm consequências muito gravosas. Estes danos podem, de forma simplificada, ser classificados em dois tipos: (a) colapso para fora do plano da parede, habitualmente com perda de vidas humanas devido ao derrube e queda da parede, ver Figura 1, e custos elevadíssimos de reconstrução pós-sismo; (b) danos no plano da parede, mesmo em caso de danos reduzidos ou inexistentes na estrutura resistente, habitualmente com custos de reconstrução e reabilitação pós-sismo elevados. A este respeito refere-se que, num sismo recente na Grécia (Parnitha, Magnitude 5.9, Setembro 1999), a Organização Grega de Escolas contabilizou 60% dos custos de reparação devido a danos nas paredes de enchimento e custos associados, nomeadamente revestimentos e reposição de instalações diversas (águas, electricidade, etc.) [2]. Ainda mais gravoso, um estudo estatístico recente [3,4] refere os elevadíssimos custos (até 80% do valor total dos edifícios) da actividade de reconstrução de

elementos não estruturais, incluindo paredes de enchimento, revestimentos, tectos falsos, janelas, portas e instalações.



Figura 1 - Derrube e queda de paredes de alvenaria de enchimento devido ao efeito de um sismo

Desta forma, a presente comunicação apresenta os aspectos relativos a ensaios recentes sobre paredes de alvenaria de enchimento, referindo-se os aspectos da nova regulamentação europeia, nomeadamente a versão da norma definitiva do Eurocódigo 8, e as novas regulamentações italiana e grega. Salienta-se que a responsabilidade dos danos nas paredes de alvenaria, ainda que não estruturais, passará a ser mais claramente atribuída ao projectista de estruturas, o que representa uma alteração significativa face à legislação actual.

Efeito das Paredes de Enchimento no Comportamento Sísmico das Estruturas de Betão Armado

A Figura 2 apresenta, de forma esquemática, o efeito das paredes de alvenaria de enchimento no comportamento de pórticos betão armado. Inúmeros ensaios à escala real [5,6] demonstram que as paredes de enchimento em alvenaria conduzem a um aumento de resistência do pórtico (entre 50% e 500%, dependendo das relações entre propriedades mecânicas, rigi-

dez, geometria, etc.), bem como a um aumento de rigidez muito significativo (entre 100% e 3000%). Os resultados também indicam que, após dano importante para deslocamentos impostos elevados, a resistência da estrutura com a parede de enchimento permanece superior à resistência do pórtico isolado (entre 0 e 100%). Finalmente, também é importante salientar que, graças ao confinamento da alvenaria introduzido pelo pórtico de contorno, a sua distorção angular para o nível de resistência máximo aumenta para valores muito elevados, entre 0.005 e 0.008.

No entanto, o efeito das paredes é benéfico se as interacções negativas globais e locais forem evitadas. Referem-se como exemplos bem conhecidos de interacções negativas globais, a distribuição assimétrica das paredes que causa efeitos de torção e a alteração brusca de rigidez devido à ausência de paredes, ver Figura 3. Referem-se ainda como um exemplo bem conhecido de interacção negativa local, a rotura por corte nos pilares (curtos) devido à criação de troços do pilar excessivamente rígidos, associados ao dano selectivo das paredes ou aberturas mal concebidas.

Ensaio Experimentais e Numéricos Recentes

Os ensaios realizados demonstram que a inclusão de uma armadura ligeira nas juntas conduz a uma melhoria substancial do comportamento sísmico, tanto no plano, como fora do plano. A armadura pode ser colocada horizontalmente nas juntas ou em ambas as faces da parede, em forma de rede metálica ou outra [7,8].

Os ensaios experimentais [8], utilizando tijolos de furação horizontal semelhantes aos portugueses, permitiram concluir o seguinte:

- ▶ A presença de armadura ligeira nas juntas (cada 3 fiadas ou 0.60 m) melhora significativamente a resposta de pórticos preenchidos, particularmente no que respeita ao nível de dano, ver Figura 4 e Figura 5;
- ▶ O estado do dano em elementos não estruturais desempenha um papel fundamental na definição dos estados limites. Em geral, e num pórtico bem dimensionado,

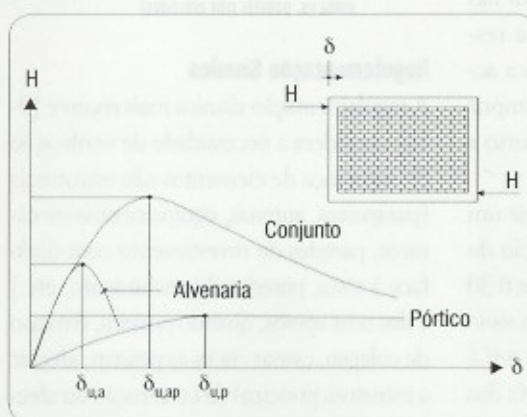


Figura 2 - O efeito do enchimento no diagrama, resistência lateral vs. deslocamento lateral

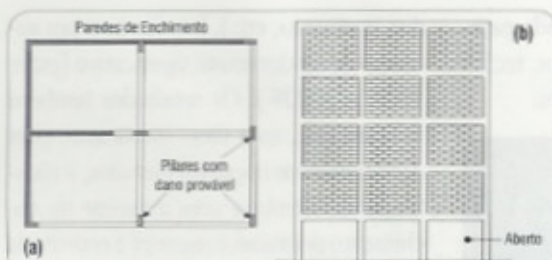


Figura 3 - Efeitos globais negativos da interacção paredes - estrutura: (a) torção provocada por assimetria; (b) pilares com requisito excessivo de ductilidade

um dano elevado da parede ou uma expulsão potencial para fora do plano precedem qualquer dano significativo no pórtico. Salienta-se novamente que a expulsão para fora do plano representa um risco para as vidas humanas, pelo que deverá ser considerada um estado limite último, ainda que o pórtico esteja longe do colapso;

▶ A prática habitual de admitir forças locais maiores em elementos não estruturais nos pisos superiores está correcta. No entanto, e uma vez que o dano no plano se tende a concentrar nos pisos inferiores, a situação crítica para a expulsão fora do plano poderá resultar de uma combinação do nível de força e de resistência reduzida, que poderá ocorrer a um nível intermédio ou inferior, tal como se verifica em alguns casos de sismos reais.

Adicionalmente, os autores [8] efectuaram um conjunto de análises numéricas paramétricas considerando edifícios com 2 vãos, e com 4, 8 e 12 pisos. As paredes de alvenaria de enchimento foram distribuídas de forma regular ou irregular. Os resultados permitem concluir que:

▶ A utilização de painéis tradicionais em alvenaria não armada pode resultar em estruturas muito sensíveis a níveis relativamente baixos de estados limite de dano e operacional, enquanto que a inserção de uma quantidade ligeira de armadura nas juntas aumenta significativamente a resposta global. No caso da zona sísmica actual A (sul do país), é impossível cumprir a regulamentação existente sem recurso a soluções armadas;

▶ A aceleração requerida para induzir um nível de dano que impede a utilização do edifício pode ser estimada entre 0.15 e 0.30 g; a aceleração que corresponde a um dano severo e difícil de reparar, entre 0.2 e 0.4 g. Os valores dependem da geometria dos pórticos, mas, essencialmente, não dependem do seu dimensionamento. A utilização

de armadura de junta permite um aumento destes níveis de aceleração para 0.25-0.60 g (estado limite ocupacional) e 0.35-0.70 g (estado limite de dano). A aplicação de armadura do tipo rede metálica em ambas as faces (quantidade total cerca do dobro da armadura de junta), com ligadores convenientemente

aplicados, permite obter níveis de aceleração extraordinariamente elevados, sempre superiores a 0.4 g, para um estado limite ocupacional.

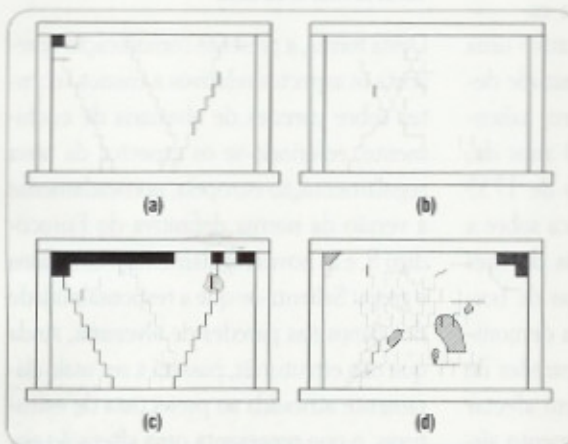


Figura 4 - Danos observados em paredes de enchimento sem (a,c) e com (b,d) armadura de junta para um deslocamento horizontal relativo de: (a,b) 0,2% e (c,d) 0,4%

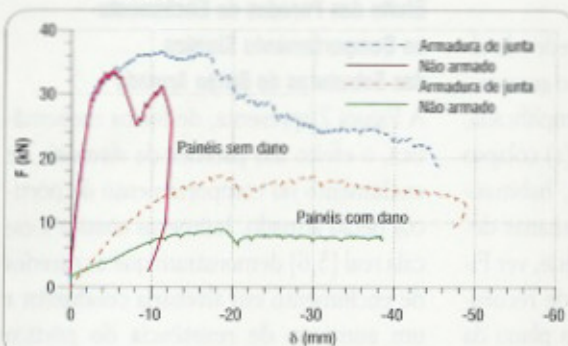


Figura 5 - Comparação entre diagramas força - deslocamento obtidos em ensaios fora - do - plano, para painéis sem dano e painéis com dano após deformação no plano entre pisos de 0,4% (painéis com armadura de junta vs. painéis não armados)

Regulamentação Sísmica

A regulamentação sísmica mais recente [9-11] considera a necessidade de verificação de segurança de elementos não estruturais (parapeitos, antenas, equipamentos mecânicos, paredes de revestimento com tijolo face à vista, paredes de enchimento, etc.) e dos seus apoios, quando possam, em caso de colapso, causar riscos às pessoas, afectar a estrutura principal da construção ou afectar serviços de equipamentos críticos. Os modelos de análise estrutural a adoptar

deverão tomar em consideração a importância e a perigosidade dos elementos não estruturais. No caso das paredes de alvenaria não estruturais, o coeficiente de comportamento a adoptar será de 2.0 [9].

No caso das paredes de alvenaria de enchimento (sem função estrutural), é necessário considerar no dimensionamento da estrutura resistente ao sismo: (a) as consequências da irregularidade em planta provocada pelas paredes de enchimento; (b) as consequências da irregularidade em altura provocada pelas paredes de enchimento; (c) as elevadas incertezas sobre o comportamento

das paredes de enchimento (variação de propriedades mecânicas, variação da ligação aos elementos de contorno, alterações durante o período de vida do edifício, bem como o dano não uniforme que ocorrerá na presença de um sismo); (d) o possível efeito local adverso devido à interacção pórtico-enchimento, nomeadamente a rotura por corte dos pilares devida às escoras que a alvenaria forma, ver Figura 7 [9]; (e) no caso de um piso livre de paredes ("open storey") por razões técnicas, arquitectónicas ou funcionais, é necessário adicionar paredes resistentes em betão armado que compensem a rigidez e resistência perdida das paredes de alvenaria de enchimento dos outros pisos [10]. Salienta-se ainda que, de acordo com a nova regulamentação, não são permitidas alterações nas paredes de enchimento, sem justificação adequada e verificação

sísmica por parte do projectista de estruturas.

De um ponto de vista do projecto de estruturas porticadas correntes em betão armado, no caso de irregularidades nas paredes de enchimento, poderá ser necessário, no caso de excentricidade em planta, aumentar a excentricidade adicional (Secção 4.3.6.3.1 [9]) ou, no caso de excentricidade em altura, aumentar os efeitos da acção sísmica sobre os elementos dos pisos respectivos (Secção 4.3.6.3.2 [9]).

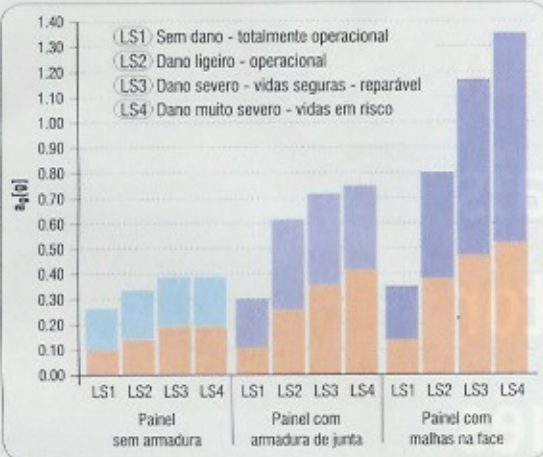


Figura 6 – Aceleração de pico mínima e máxima do terreno (PGA) requerida para atingir um determinado estado limite LS, em função das condições de armadura

Para todos os sistemas estruturais, independentemente da classe de ductilidade, e em todas as zonas sísmicas actuais nacionais, excepto a zona D que é de baixa sismicidade, é necessário adoptar medidas para evitar rotura frágil e desagregação precoce das paredes de enchimento. Em particular, tem de ser evitado o colapso parcial ou total de painéis esbeltos de alvenaria. Como medidas para melhorar o comportamento das paredes de enchimento no plano e para fora do plano, o Eurocódigo 8 [9] recomenda a utilização de redes ligeiras no reboco, ancoradas a pelo menos

com armadura de junta). No entanto, o regulamento sísmico italiano [11] é mais severo e prescreve a colocação de redes metálicas ligeiras no reboco de ambas as faces com um afastamento máximo entre varões de 0.50 m em ambas as direcções, ou a colocação de armadura de junta com o afastamento máximo entre camadas de 0.50 m (Secção 5.6.4).

Conclusões

Os custos de reparação de danos sísmicos em elementos não-estruturais podem atingir 80% do total do custo dos edifícios, para sismos de magnitude média a elevada. Neste contexto, a armadura para juntas de alvenaria apresenta potencialidades significativas no controlo do dano sísmico.

Na nova regulamentação sísmica, as paredes de alvenaria de enchimento devem ser consideradas

para efeitos de análise sísmica, tomando em consideração a sua irregularidade e eventuais efeitos adversos, bem como impedindo o seu colapso. A utilização de pa-

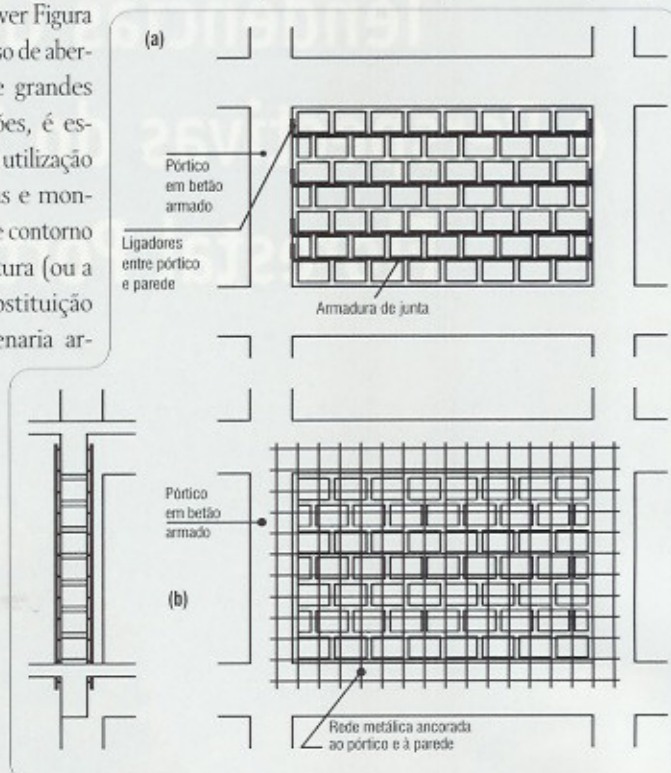


Figura 8 – Soluções para controlo de danos em paredes de enchimento sem aberturas: (a) alvenaria com armadura de junta e ligadores; (b) rede metálica ancorada à parede

redes de enchimento sem armadura não é admissível à luz da nova regulamentação, com excepção do norte do país, sendo, de futuro, o projectista de estruturas responsável pelos danos e perdas de vidas humanas decorrentes de um sismo. O benefício económico das medidas simples propostas pelos regulamentos é muito significativo, em particular quando comparado com o custo adicional de construção, que é relativamente baixo.

* Engenheiro Civil,

Professor Associado com Agregação, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil Azurém, 4800-058 Guimarães, pbl@civil.uminho.pt
www.civil.uminho.pt/masonry

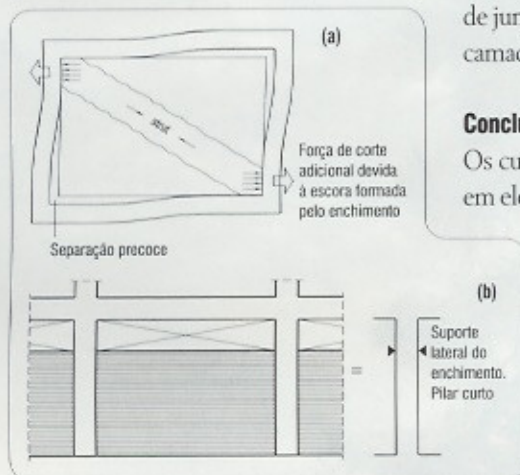


Figura 7 – Efeitos adversos locais da interação pórtico-enchimento: (a) força adicional nos pilares; (b) pilar curto e muito sensível ao corte devido a aberturas longas

REFERÊNCIAS

- [1] Diário de Notícias, "Nova construção em risco" e "Lei prevê segurança dos edifícios", 12 e 13 de Janeiro, 2004.
- [2] Vintzileou, E., Comunicação pessoal, 2003.
- [3] Tiedemann H., A statistical evaluation of the importance of non-structural damage to buildings, Proc. 7th WCEE, Istanbul, 1980, Vol. 6, pp. 617-624.
- [4] Tiedemann H., Structural and non-structural damage related to building quality, Proc. 7th ECEE, 1982, Atenas, Vol. 3, pp. 27-34.
- [5] CEB-FIP, RC frames under earthquake loading, State-of-the-Art Report, Thomas Telford, Londres, 1996.
- [6] Pires, F., Influência das paredes de alvenaria no comportamento de estruturas reticuladas de betão armado sujeitas a acções horizontais, Dissertação para obtenção do grau de Especialista, LNEC, 1990.
- [7] Brokken, S., Bertero, V.V., Studies on effects of infills in seismic resistant RC construction, Relatório UCB/EERC, 81-12, UC, Berkeley, 1991.
- [8] Calvi, G.M., Bolognini, D., Seismic response of reinforced concrete frames infilled with weakly reinforced masonry panels, Journal of Earthquake Engineering, 5(2), pp. 153-185, 2001.
- [9] CEN, prEN 1998-1:2003, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, 2003.
- [10] Organização para a Protecção e Prevenção de Sismos, EPPQ, Regulamento sísmico grego, NEAK (em grego), 2000.
- [11] Gazzeta Ufficiale, 105, 8-5-2003, Anexo II - Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sísmico degli edifici, 2003.