

POSSIBILIDADES ACTUAIS NA UTILIZAÇÃO DA ALVENARIA ESTRUTURAL



Paulo B. LOURENÇO
Professor Catedrático
Universidade do Minho
Guimarães

SUMÁRIO

O presente artigo aborda brevemente a evolução da alvenaria estrutural, das linhas de pressão ao funcionamento conjunto com paredes de contraventamento. Para a alvenaria estrutural moderna, discute-se a aplicação da alvenaria simples, alvenaria armada e alvenaria confinada num contexto de sismicidade baixa a elevada, apresentando soluções bem sucedidas em países desenvolvidos e em Portugal, bem como desenvolvimentos com potencial em curso.

1. INSTRUÇÕES

A ausência de regulamentos e normas para alvenaria, para além das motivações tecnológicas e arquitectónicas, constituíram até muito recentemente uma razão importante para a não utilização da alvenaria como um material estrutural em Portugal, ao contrário do que se passa em inúmeros países desenvolvidos. Neste momento, existem regulamentos aprovados a nível europeu pelo que os projectistas possuem ferramentas adequadas para o dimensionamento em alvenaria estrutural. Obviamente que uma alteração da presente situação exige cooperação entre os principais intervenientes (arquitecto, engenheiro, dono de obra e empreiteiro), existindo aspectos de concepção evidentes a considerar no estudo prévio, ver [1].

A utilização da alvenaria nos últimos 10.000 anos decorreu com inovações moderadas até ao século 20, baseadas no princípio que a alvenaria possui muito baixa resistência a esforços de tracção. Esta forma de construir traduziu-se em edifícios com paredes de alvenaria espessas e

pavimentos geralmente em madeira ou betão armado (a partir do segundo terço do século 20). O dimensionamento baseado em métodos gráficos ou cálculos simples, como paredes em consola (ou tipo muro de gravidade), e sem recurso a paredes de contraventamento, conduziu a espessuras crescentes na direcção da base, sendo o expoente desta tipologia estrutural o famoso edifício Monadnock em Chicago, com 16 pisos e espessura na base das paredes de 1.82m [2], ver Figura 1.

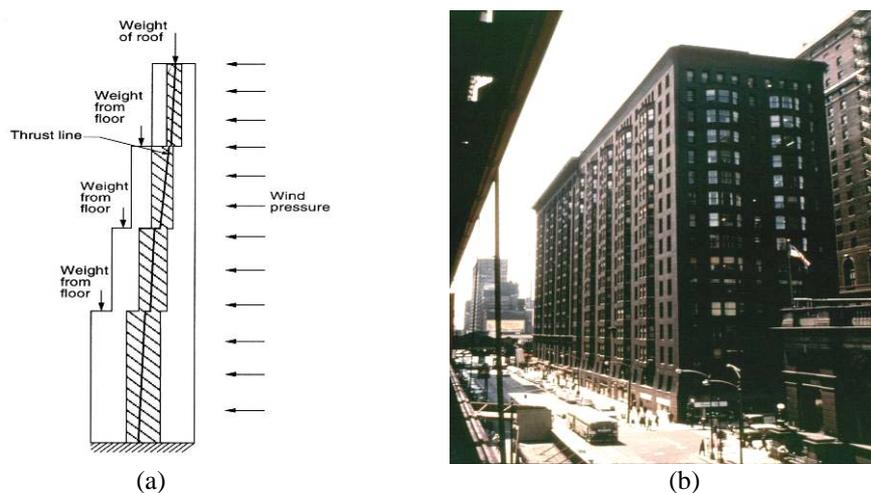


Figura 1 : Alvenaria tradicional (não armada) e dimensionada para esforços de compressão:
(a) acções sobre uma parede exterior (peso próprio, sobrecarga e vento) e respectiva linha de pressões; (b) Edifício Monadnock em Chicago, EUA

2. SOLUÇÕES CORRENTES NO CONTEXTO INTERNACIONAL

Apenas nos anos 1950-60, foi introduzido em diversos países uma concepção de edifícios baseada em paredes de contraventamento, em que as paredes longitudinais, as paredes transversais e as lajes resistem em conjunto às acções horizontais. A vantagem deste princípio é que as paredes são utilizadas em compressão e corte, sendo possível realizar edifícios com elevado número de pisos com alvenaria simples e paredes de espessura moderada, em zonas de muito baixa sismicidade. O dimensionamento destes edifícios era apoiado em programas de investigação experimental de grande dimensão e numa análise estrutural sólida, semelhante à adoptada para estruturas em betão armado ou metálicas. Os exemplos apresentados na Figura 2 incluem edifícios com altura comparável ao edifício Monadnock mas com espessuras de paredes entre 0.15 e 0.30m.

Face aos elevados danos que ocorreram em sismos reais, em zonas de elevada sismicidade, desde há muito que foram tentadas soluções de alvenaria compósitas em que a madeira providenciava resistência à tracção. Em Portugal, o tristemente célebre terramoto de 1755 conduziu a perdas económicas e de vidas humanas inaceitáveis, e permitiu desenvolver o sistema de construção da gaiola pombalina, ver Figura 3.



Figura 2 : Alvenaria moderna (não armada) e dimensionada para esforços de compressão e corte: (a) edifício de 12 pisos; (b) edifício de 16 pisos



Figura 3 : Alvenaria “armada”: (a) imagem da destruição no terramoto de 1755; (b) o novo sistema compósito com paredes de alvenaria-madeira

Com o tempo, foram propostas outras soluções, incluindo por exemplo tirantes, barras de ferro nas juntas ou cavilhas nas unidades de alvenaria, com o objectivo de aumentar o desempenho da alvenaria quando sujeita a acções sísmicas elevadas. No entanto, o facto dos sismos ocorrerem em várias zonas do globo com períodos de retorno muito longos, a falta de conhecimento técnico e científico, as restrições financeiras dos donos de obra, a ausência de regulamentos e normas, e o poder devastador dos sismos de elevada magnitude traduziram-se em resultados inaceitáveis em zonas sísmicas. No início do século 20, 3 terremotos de magnitude considerável, ver Figura 4, contribuíram para a assumpção empírica que as

construções em alvenaria não são seguras para as acções sísmicas, tendo as mesmas passado a ser substituídas, nestas zonas, por estruturas de betão armado e metálicas.

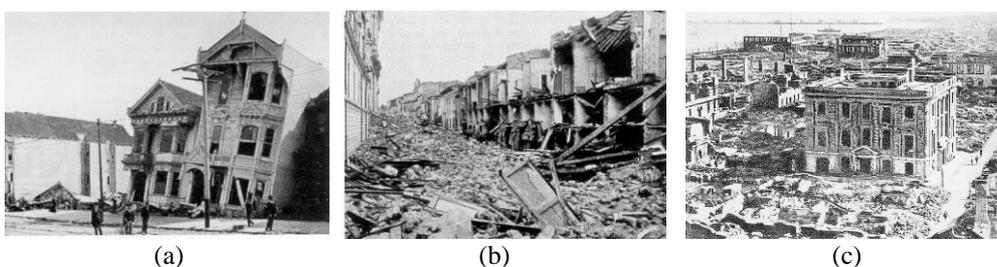


Figura 4 : Imagens dos efeitos devastadores de sismos: (a) São Francisco, EUA (1906); (b) Messina, Itália (1908); (c) Tóquio, Japão (1923)

Em países situados em zonas sísmicas, a solução encontrada foi utilizar alvenaria simples apenas para edifícios de pequeno porte e desenvolver sistemas de alvenaria que incluíam armadura para edifícios de porte moderado a elevado, ver Figura 5. Como soluções possíveis, referem-se as soluções de alvenaria armada e confinada, a discutir nas próximas secções.

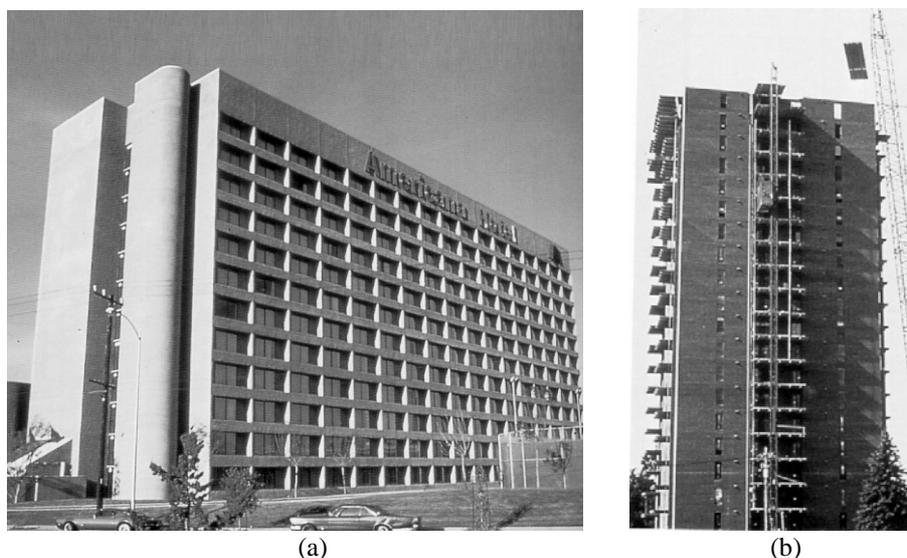


Figura 5 : Alvenaria moderna (armada) e dimensionada para esforços de compressão, corte e tracção: (a) edifício de 12 pisos; (b) edifício de 28 pisos

2.1. Alvenaria simples (não-armada)

No panorama europeu, as soluções em alvenaria estrutural simples representam cerca de 15 a mais de 50% da construção nova de edifícios de habitação, incluindo países com sismicidade muito baixa (por exemplo Alemanha, Países Baixos ou Noruega) e países com sismicidade elevada, como Itália. Uma solução corrente passa pela utilização de unidades para alvenaria

com espessura elevada na envolvente, para cumprir os requisitos térmicos. A Figura 6 apresenta detalhes da construção em alvenaria simples moderna. Salienta-se como aspecto particularmente relevante que é necessário dispor de sistemas completos de construção incluindo blocos de diferentes formas e soluções para pavimentos e lajes, ver Figura 7.

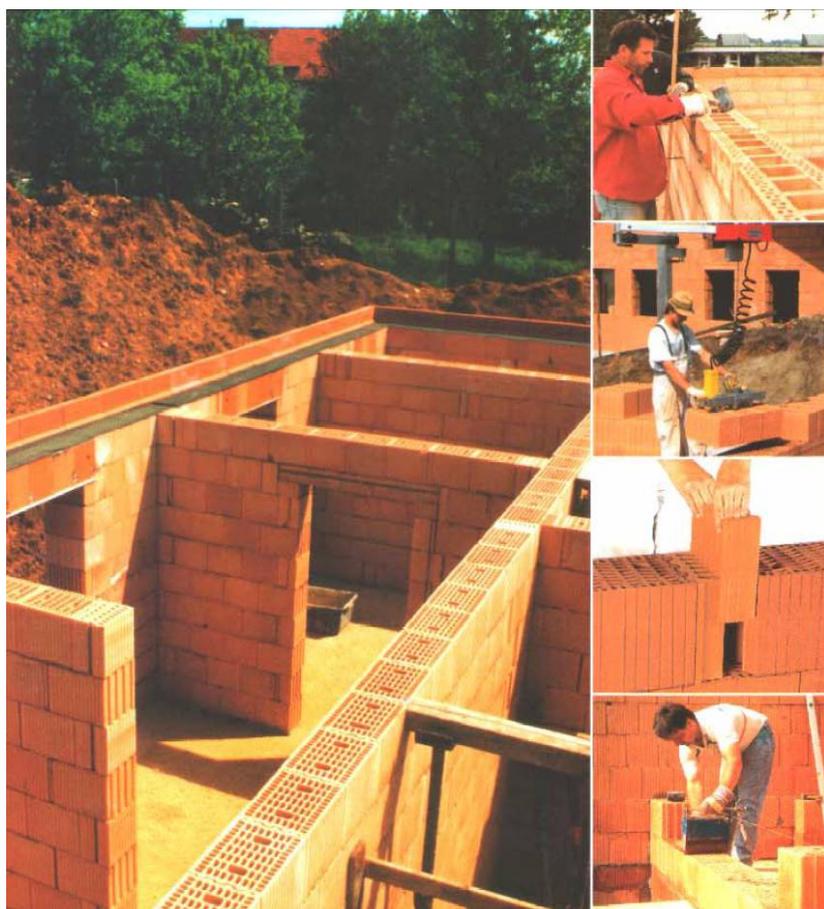
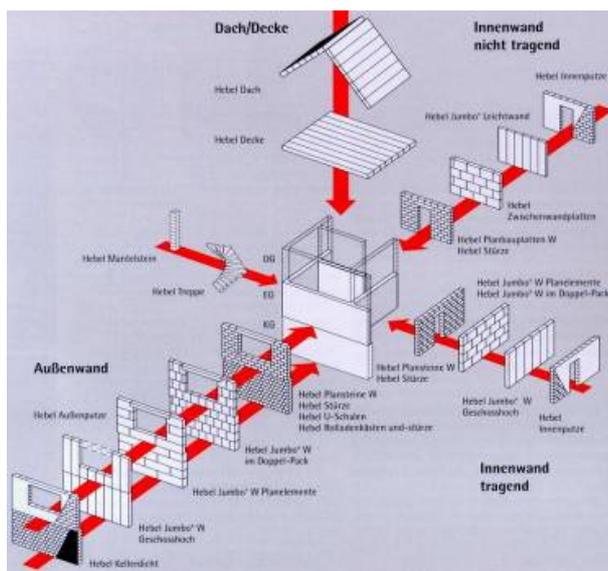


Figura 6 : Detalhes da construção moderna em alvenaria cerâmica estrutural na Alemanha

Salienta-se que as soluções apresentadas, típicas de países com sismicidade baixa, são ainda utilizadas em Itália com diversos requisitos adicionais, nomeadamente quanto à robustez das unidades de alvenaria (resistência elevada e percentagem de furação moderada) e à presença de vigas-cinta nas lajes. A Figura 8 apresenta exemplos de projectos italianos, onde é possível verificar a combinação de paredes resistentes (mais espessas) com paredes divisórias (menos espessas), tal como é corrente noutras construções. Salienta-se que o dimensionamento de estruturas de alvenaria simples à acção sísmica não possui ainda amplo consenso a nível europeu. Em particular, a utilização de métodos elásticos com os coeficientes de comportamento do Eurocódigo 8 conduz, geralmente, à impossibilidade de verificação de

segurança, a resultados distintos dos utilizados nos métodos simplificados previsto no mesmo Eurocódigo e a resultados distintos da realidade experimental observada em ensaios de mesa sísmica, ver [3] para mais detalhes.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 7 : Alvenaria moderna simples: (a) sistemas integrados para a construção; (b) unidades de betão celular autoclavado; (c) unidades de silico-cálcario; (d) unidades cerâmicas; (e) unidades de betão leve

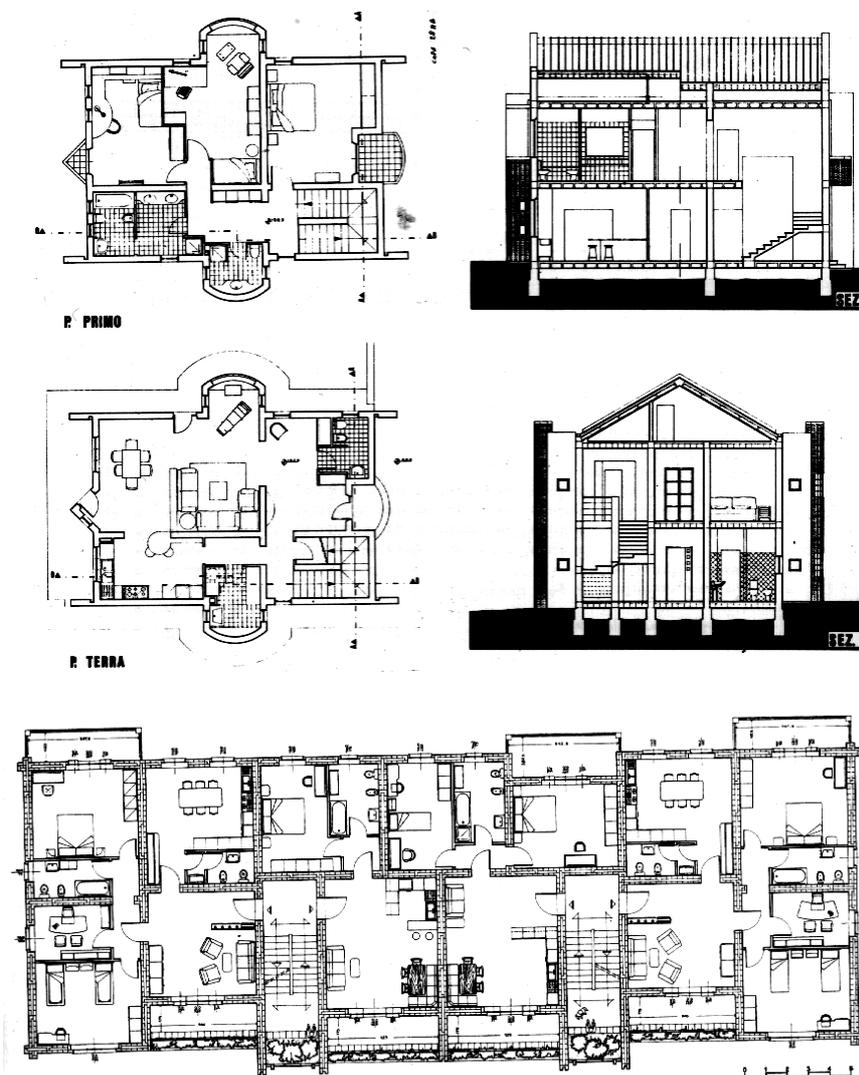


Figura 8 : Alvenaria moderna simples: Exemplos de projectos em Itália

2.2. Alvenaria armada

A alvenaria armada surgiu em diversos países como uma resposta ao deficiente desempenho da alvenaria simples às ações horizontais elevadas. Apresentam-se abaixo algumas soluções com sucesso de mercado em diferentes países e inovações recentes em fase de desenvolvimento. É corrente a combinação de paredes resistentes com lajes alveoladas ou pré-lajes, que reduzem significativamente a cofragem e o tempo de execução.

Nos últimos 30 a 40 anos, a alvenaria armada é uma solução atractiva e eficiente do ponto de vista de custo-benefício para sistemas construtivos na generalidade dos edifícios em zonas sísmicas e não-sísmicas da América do Norte, incluindo por exemplo hotéis, edifícios residenciais, escolas, edifícios comerciais ou armazéns. A solução corrente passa pela utilização de cintas em betão armadas horizontalmente e blocos de duas células preenchidos por *grout* e armadura vertical, ver Figura 9.

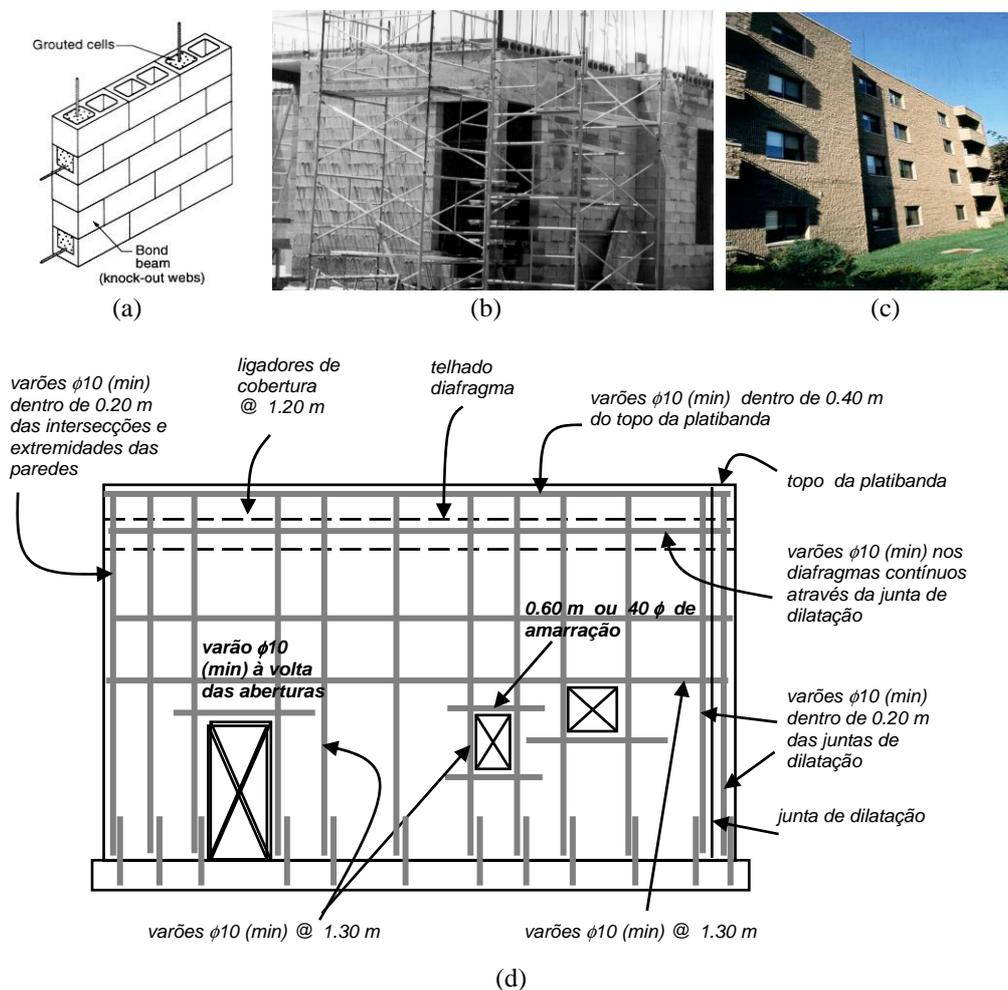
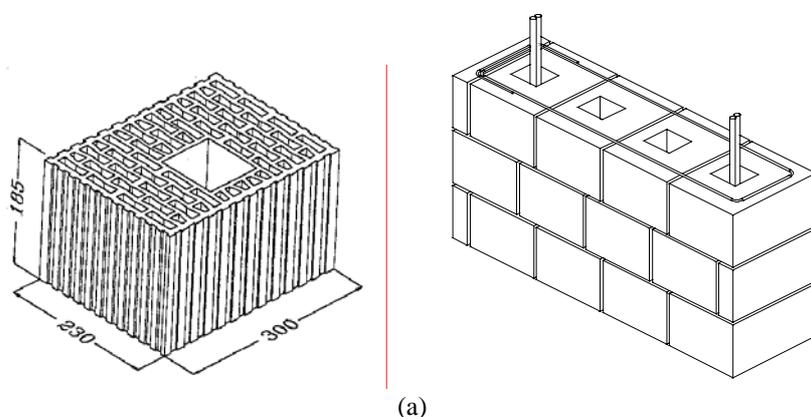


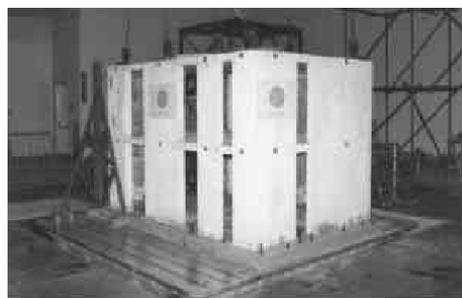
Figura 9 : Alvenaria moderna armada (solução típica americana). Exemplos de: (a) blocos e armadura; (b) execução de uma parede; (c) edifício terminado; (d) armadura numa parede com aberturas

Nos últimos 20 a 30 anos, foi desenvolvido um sistema de alvenaria armada em Itália incorporando blocos com um furo de grandes dimensões para colocação de armadura vertical e armadura corrente horizontal (com cintas fechadas), utilizando a mesma argamassa para as juntas de assentamento e para o preenchimento do furo, ver Figura 10. Foi ainda construído um

edifício protótipo em alvenaria para comparação com um edifício semelhante em betão armado (com alvenaria de preenchimento), e diversos modelos para ensaio em mesa sísmica. A adequação do sistema proposto foi demonstrada pelos ensaios e protótipo mas a solução de alvenaria armada conheceu sucesso moderado em Itália, em contraste com o relativo sucesso da solução de alvenaria simples para edifícios de pequeno porte que se mantém até ao presente. Um dos aspectos críticos do sistema parece ser o controlo de qualidade do preenchimento do furo, bem como a respectiva aderência e protecção contra a corrosão dos varões.



(b)



(c)

Figura 10 : Alvenaria moderna armada (solução típica italiana). Exemplos de: (a) blocos e armadura; (b) edifício protótipo; (c) ensaios em mesa sísmica [4]

Nos últimos 15 a 20 anos, foi ainda desenvolvido um sistema de alvenaria armada na Suíça incorporando blocos com dois furos de grandes dimensões para colocação de um sistema de armadura protegido contra a corrosão e complexo que, simultaneamente realiza a armadura vertical e horizontal, utilizando também a mesma argamassa para as juntas de assentamento e para o preenchimento do furo, ver Figura 11. O sistema é utilizado com frequência para todos os tipos de edifício, em soluções até médio porte (por exemplo 5 pisos).



(a)



(b)



(c)

Figura 11 : Alvenaria moderna armada (solução típica suíça com Murfor RE®). Exemplos de: (a) blocos e armadura em laboratório; (b) execução do sistema em obra; (c) edifícios de pequeno e médio porte.

Nos últimos 15 a 20 anos, foi também desenvolvido um sistema de alvenaria armada em Espanha incorporando armaduras treliçadas protegidas contra a corrosão, horizontalmente e verticalmente [5]. Este sistema foi originalmente desenvolvido como alternativa aos sistemas habituais utilizados em paredes não-resistentes de grande dimensão, baseados em cintas e montantes em betão armado, ver Figura 12. Actualmente na Universidade do Minho, o sistema encontra-se em validação para utilização estrutural em Portugal, sendo os resultados preliminares particularmente positivos em termos de comportamento e facilidade de execução com unidades de alvenaria existentes no mercado, ver Figura 13. O desenvolvimento deste sistema é apoiado pelo projecto DISWall, acrónimo de um projecto de investigação financiado pela Comissão Europeia, ver [6,7] para detalhes.

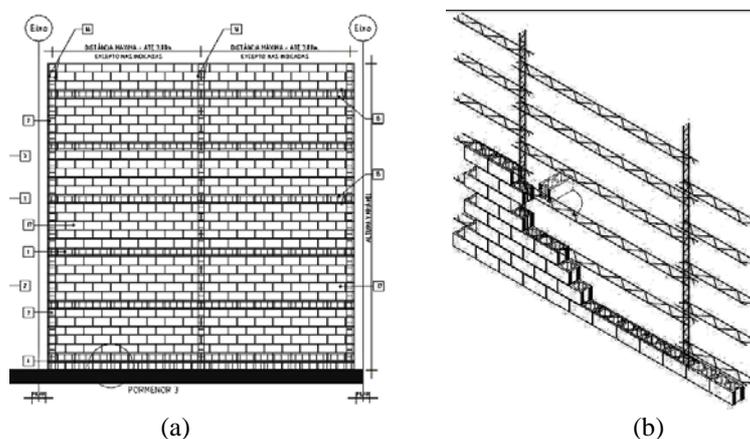


Figura 12 : Alvenaria moderna armada (solução típica espanhola com Murfor®). Exemplos de: (a) parede de alvenaria não resistente com cintas e montantes em betão armado; (b) parede não resistente alternativa com sistema de armaduras verticais e horizontais em treliça.

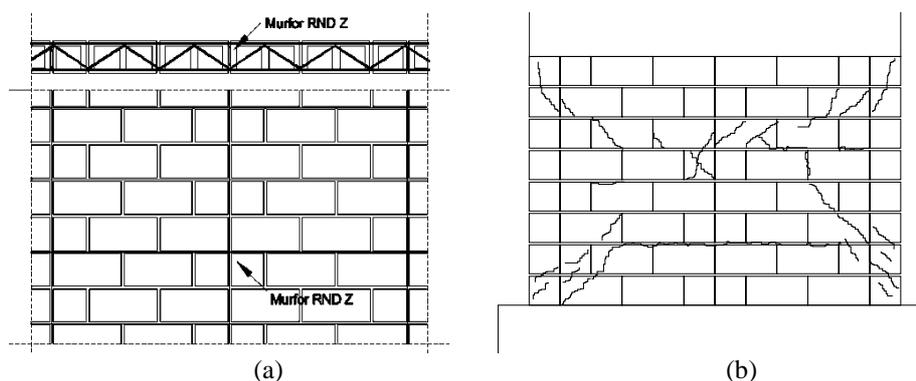


Figura 13 : Alvenaria moderna armada (solução em desenvolvimento na Universidade do Minho em colaboração com a empresa Costa & Almeida, Lda): (a) solução adoptada para as armaduras verticais e horizontais; (b) padrão de fendilhação em paredes de corte submetidas a acções cíclicas [8].

Finalmente, no âmbito do mesmo projecto de investigação [6], refere-se o desenvolvimento de uma solução em curso na Alemanha, para responder ao recente aumento da acção sísmica neste país. Esta solução contempla blocos cerâmicos de duas células, a preencher com (micro-)betão auto-compactável, ver Figura 14. O objectivo é colocar armaduras verticais no interior das juntas e armaduras horizontais em entalhes apropriados, permitindo a betonagem das paredes em simultâneo com as lajes e o funcionamento dos materiais envolvidos em conjunto (bloco, betão e armadura).

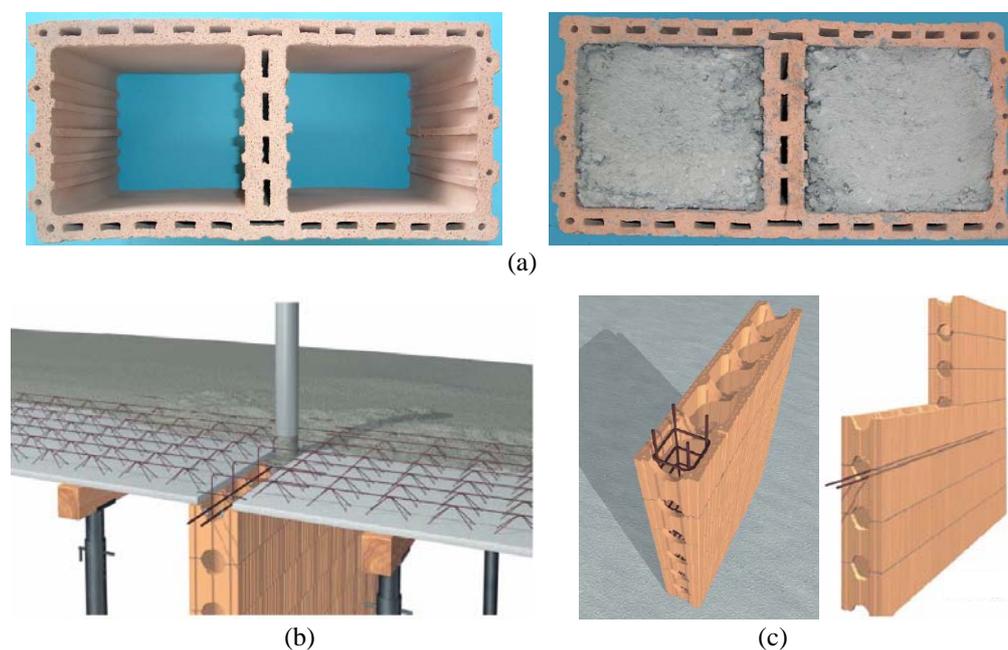


Figura 14 : Alvenaria moderna armada (solução em desenvolvimento na Alemanha): (a) bloco de alvenaria com furos de grande dimensão para preenchimento com betão auto-compactável; (b) sistema de paredes e laje a betonar em conjunto; (c) detalhes da armadura [6].

2.3. Alvenaria confinada

A alvenaria confinada é um sistema em que montantes e cintas de pequena dimensão e ligeiramente armados envolvem as paredes de alvenaria, tendo em vista essencialmente proporcionar à alvenaria uma resistência acrescida ao corte e resistência à tracção, bem como uma maior capacidade de dissipação de energia e maior ductilidade para acções horizontais. Trata-se de um sistema com expressão relativamente reduzida na maior parte dos países desenvolvidos mas que replica de forma quase perfeita a pequena construção de vivendas em Portugal. De facto, é corrente em construções nacionais de pequeno porte em betão armado, construir primeiro as paredes e betonar os pilares e vigas usando a parede como cofragem perdida. Esta forma de construção conduz a que as paredes de alvenaria recebam a quase totalidade das acções verticais, traduzindo-se em elementos de betão armado fortemente sobredimensionados e anti-económicos.

Em Portugal existem alguns exemplos de aplicação de soluções em alvenaria confinada, com apoio de engenharia e dimensionada como tal à luz da moderna normativa europeia, ver Figuras 14 a 16.

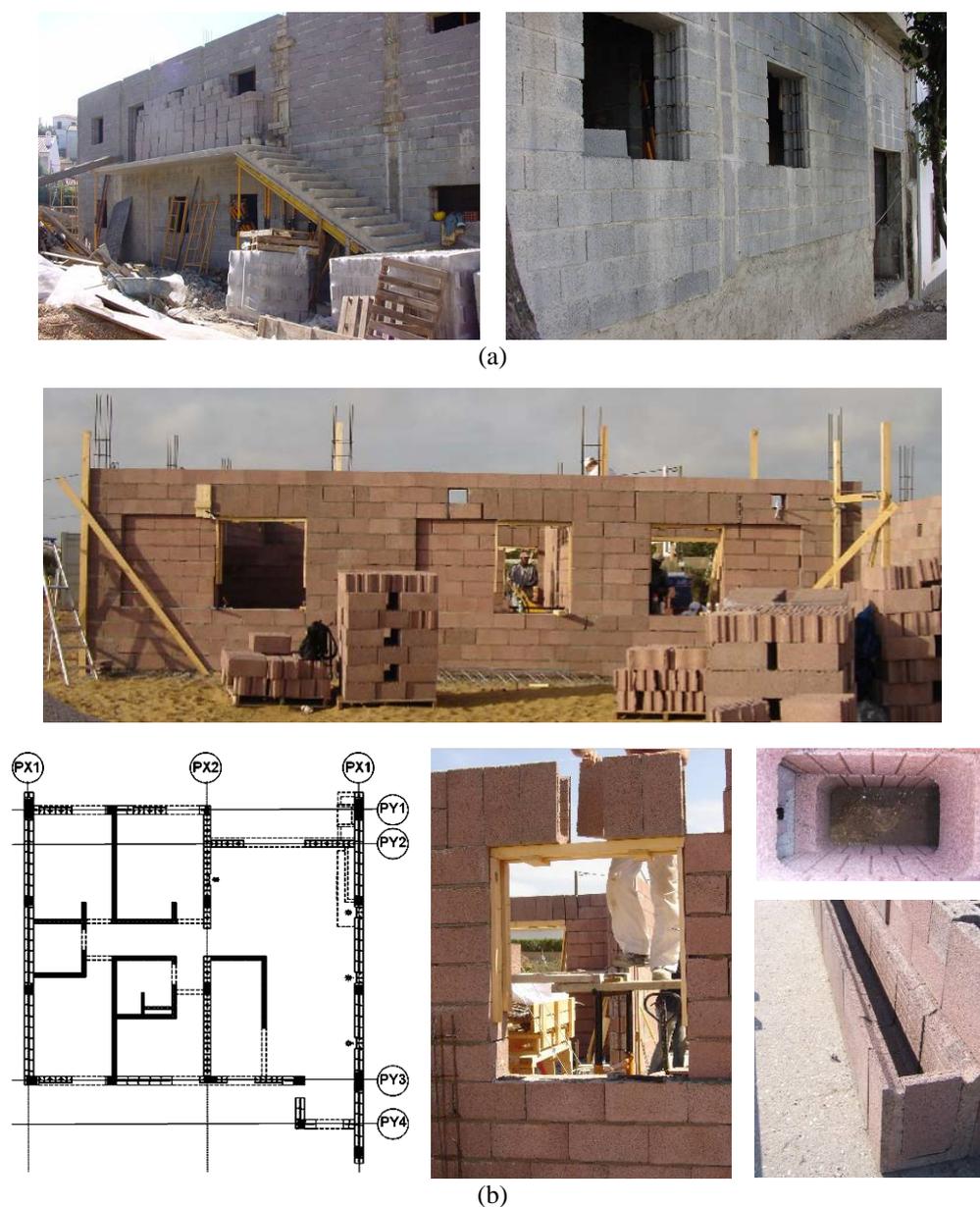


Figura 15 : Alvenaria moderna confinada com blocos de betão leve: (a) esquadra da GNR de Ourique [1]; (b) conjunto habitacional no Algarve [9].



Figura 16 : Alvenaria moderna confinada com blocos cerâmicos de furação vertical: residência em Ílhavo. Fotografias gentilmente cedidas por F. Pagaimo.

Admite-se que os exemplos acima indicados sejam casos isolados e que a comunidade projectista, em geral, não esteja suficientemente capacitada para a elaboração de projectos de estabilidade em alvenaria estrutural, uma vez que esta temática não é habitualmente leccionada nas formações de 5 anos em Engenharia Civil. Por outro lado, uma vez que a atenção da comunidade internacional para esta solução construtiva é limitada, existem aspectos relevantes para o projecto que importa clarificar, nomeadamente a influência da armadura de junta, a influência do preenchimento da junta vertical ou as expressões a adoptar para o dimensionamento a acções combinadas. Por esta razão, encontra-se em curso um projecto de investigação na Universidade do Minho, em colaboração com a empresa Maxit, financiado pela Agência de Inovação [7].

3. CONCLUSÕES

Apesar da alvenaria ser utilizada há milhares de anos de forma estrutural, a utilização a este nível é marginal em Portugal. No presente artigo apresentam-se soluções de alvenaria armada com historial de sucesso noutros países desenvolvidos e soluções inovadoras com desenvolvimento em curso. No caso das soluções em alvenaria confinada apresentam-se realizações recentes em Portugal, que ilustram possibilidades de execução real. Admite-se que a replicação de aplicações bem sucedidas em alvenaria estrutural dependa agora de produtores, projectistas, donos de obra e construtores, respectivamente por esta ordem de importância.

4. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo projecto SINALES – “Desenvolvimento de um sistema industrial para alvenaria estrutural” – IDEIA-70-00130-2004 da Agência de Inovação e pelo projecto DISWALL – “Development of innovative systems for reinforced masonry walls” – COOP-CT-2005-018120 da Comissão Europeia.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Lourenço, P.B. - “Concepção e projecto para alvenaria” em *Paredes de Alvenaria: Situação Actual e Novas Tecnologias*. Ed. por P.B Lourenço e H. de Sousa, Universidade do Minho e FEUP, 2002, p. 77-110. Disponível em www.civil.uminho.pt/masonry.
- [2] Sinha, B. - “Development and potencial of structural masonry” em *Paredes de Alvenaria: Situação Actual e Novas Tecnologias*. Ed. por P.B Lourenço e H. de Sousa, Universidade do Minho e FEUP, 2002, p. 1-16. Disponível em www.civil.uminho.pt/masonry.
- [3] Magenes, G. - “Masonry building design in seismic areas: Recent experiences and prospects from a European standpoint” em *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Ed. por M. Koller e D. Giardini, Suíça, 2006, keynote 9. Disponível em <http://www.ecees.org>.
- [4] Modena, C., da Porto, F., Valluzzi, M.R., “Reinforced and rectified clay blocks masonry”, em *Sísmica 2004*, Universidade do Minho e SPES, 2004, p.155-177. Disponível em www.civil.uminho.pt/masonry.
- [5] Adell, J.M. *La Fábrica Armada*. Editorial Munilla-Leria, 2000. 368 pp.
- [6] Mosele, F., da Porto, F., Modena, C., di Fusco, A., di Cesare, G., Vasconcelos, G., Haach, V., Lourenço, P.B., Beer, I., Schmidt, U., Brameshuber, W., Scheufler, W., Schermer, D., Zilch - “Developing innovative systems for reinforced masonry walls” em *7th International Masonry Conference*, BMS, 2006, CD-ROM. 6 pp.
- [7] Vasconcelos, G., Gouveia, J.P., Haach, V.G., Lourenço, P.B. - “Alvenaria armada: Soluções Inovadoras em Portugal” em *Paredes de Alvenaria: Inovação e Possibilidades Actuais*. Ed. por P.B Lourenço et al., Universidade do Minho e LNEC, 2007.
- [8] Haach, V.G., Vasconcelos, G., Lourenço, P.B. - “Cyclic behaviour of truss type reinforced concrete masonry walls” em *Sísmica 2007*, FEUP e SPES, 2007. No prelo.
- [9] Gouveia, J.P., Lourenço, P.B., Fontes de Melo, A. - “Alvenaria estrutural: Aplicação a um caso de estudo” em *4as Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas*, LNEC, Lisboa, 2006, CD-ROM. 11 pp.

