

## ANÁLISE EXPERIMENTAL DE PAREDES DE ALVENARIA DE BLOCOS DE BETÃO LEVE SOB ACÇÕES CÍCLICAS NO PLANO

**JOÃO P. GOUVEIA**  
Aluno de Doutoramento  
Universidade do Minho  
Guimarães - Portugal

**PAULO B. LOURENÇO**  
Professor Catedrático  
Universidade do Minho  
Guimarães - Portugal

### SUMÁRIO

Sendo esperado um interesse pelo processo de dimensionamento de estruturas de alvenaria e o seu comportamento quando sujeitas a acções sísmicas, com base no *Eurocódigo 6* (EC6 [1]) e o *Eurocódigo 8* (EC8 [2]), entende-se oportuno neste âmbito fazer referência a um trabalho de investigação experimental que têm vindo a ser realizado na Universidade do Minho.

Efectua-se uma análise dos resultados experimentais obtidos em paredes de alvenaria simples, armadas e confinadas executadas com blocos de betão leve, sujeitas a acções cíclicas no plano. É feita uma discussão comparativa da resposta em termos dos modos de rotura e dos padrões de fendilhação verificados com o incremento gradual de deslocamentos horizontais por ciclo e dos resultados carga-deslocamento obtidos experimentalmente com a consequente determinação de diagramas teóricos para comparação das soluções construtivas.

### 1. INTRODUÇÃO

Na construção de novos edifícios residenciais em Portugal, tem sido utilizada quase sempre a tecnologia do betão armado, sendo em edifícios industriais vulgar o recurso a soluções metálicas. As paredes de alvenaria têm sido usadas quase exclusivamente como o material de preenchimento de estruturas reticuladas de betão armado ou mesmo em aço, justificada pela falta de conhecimento do processo tecnológico e dos planos de estudos de formação nas escolas de engenharia, direccionados essencialmente para as técnicas relacionadas com o betão armado.

Contrariamente, em diversos países as aplicações em alvenaria estrutural, confinada ou armada, têm vindo a ter uma implementação crescente garantindo uma solução economicamente vantajosa e com características de resistência a acções horizontais e de verificação de condições de controlo de ocorrência de fendilhação asseguradas [3].

Esta realidade actual foi precedida nas décadas anteriores de investimentos científicos e programas de avaliação experimental consideráveis com o objectivo de avaliar *a)* a contribuição de cada componente da alvenaria no seu comportamento global, *b)* as formas de aplicação de acções horizontais e *c)* os seus efeitos no plano em paredes de alvenaria simples, confinadas ou armadas, para além de *d)* estudos de simulação numérica do comportamento de paredes.

Como resultado, foram sugeridos *i)* modelos de dimensionamento, tendo-se verificado uma *ii)* consequente adaptação dos processos tecnológicos de aplicação, e a *iii)* reformulação de materiais com o desenvolvimento de novos blocos para paredes com função estrutural, e a *iv)* formulação de modelos de simulação do comportamento mecânico de paredes sujeitas a acções sísmicas. Como exemplo, na Tabela 1 referem-se alguns trabalhos e sua área de aplicação relativos ao desenvolvimento desta técnica construtiva [4].

Tendo sido considerado como um desafio para a futura construção a nível nacional, e procurando ser uma forma de justificar a aposta neste sistema construtivo, quer no aspecto tecnológico quer a nível económico, a Universidade do Minho em parceria com empresas de prefabricação de elementos para aplicação em paredes de

alvenaria, tem vindo a realizar estudos experimentais de caracterização mecânica e física de materiais e de paredes de alvenaria sujeitas a acções combinadas no plano.

Tabela 1 – Investigação em alvenaria estrutural, com caracterização sísmica.

Ano	Autor	Aplicação	Bloco	Campo de investigação
1973	Meli	Alvenaria confinada	Cerâmico	Resistência ao corte; Ductilidade; Absorção de energia
1974	Williams/Scrivener	Comportamento mecânico		Frequência de acções cíclicas de corte; ductilidade.
1980	Hamid/Dreysdale	Alvenaria simples	Cerâmico	Parâmetros de degradação de rigidez; Evolução da fendilhação; Dissipação de energia
1983	Woodward/Rankin	Alvenaria simples		Comportamento sísmico
1986	Hidalgo/Luders	Alvenaria armada		Ensaio cíclicos; Efeito do reforço em juntas horizontais
1988	Tomažević/Lutman	Comportamento mecânico	Cerâmico e Betão	Resposta sísmica; Resistência ao corte; Modos de rotura; Dissipação de energia
1988	Mann/Müller		Cerâmico	Formulações para o cálculo da resistência ao corte
1989	Yancey/Scribner	Alvenaria armada		Comportamento sísmico
1990	Paulson/Abrams	Construtibilidade		Resposta estática e a resposta dinâmica
1990	Moghaddam	Alvenaria simples	Cerâmico	Modelos de cálculo da força de corte
1992	Sanchez e al.	Alvenaria confinada	Betão	Efeito de acções cíclicas;
	Astroza e al.	Alvenaria armada		Efeito do reforço.
1992	Shing/Noland	Alvenaria armada		Efeito da percentagem de armaduras horizontal
1992	Magenes	Comportamento mecânico	Cerâmico	Comportamento ao corte
1994	Fattal/Todd	Alvenaria armada		Estudos numéricos e experimentais; Influencia da percentagem de armadura horizontal
1996	Lourenço	Comportamento mecânico		Aplicação e modelação numérica
1997	Tomažević/Lutman			Parâmetros de cálculo da resistência ao corte
2003	Oliveira	Alvenaria simples	Pedra	Efeito de juntas secas
2003	Bosiljkov	Alvenaria simples	Cerâmico	Efeito do tipo de juntas na resistência ao corte
2004	Elgawady	Alvenaria simples		Reforço; modos de rotura; Resistência ao corte
2005	Vasconcelos	Alvenaria simples	Pedra	Resistência ao corte; Degradação de energia

Com a entrada em vigor dos novos regulamentos de dimensionamento espera-se uma inovação e uma optimização do processo tecnológico de construção em alvenaria e o aparecimento de novos materiais. Em Portugal e até ao presente, não existia nenhum regulamento nacional sobre construção em alvenaria que desempenhasse um papel similar aos regulamentos de estruturas de aço e de betão armado. Certamente novas técnicas de construção deverão surgir, designadamente, estruturas de alvenaria simples e confinadas. Consequentemente, o comportamento e os danos estruturais em paredes de alvenaria devem ser previstos no dimensionamento sísmico e na construção e devem permitir aumentar a resistência sísmica dos edifícios.

## 2. DESCRIÇÃO DA CAMPANHA EXPERIMENTAL

Foram construídas paredes com diferentes tipologias de soluções construtivas: paredes de alvenaria simples, armadas e confinadas, à escala 1:2, sendo avaliado o efeito da utilização de armadura de junta horizontal. Na Figura 1 apresentam-se os esquemas dos tipos de alvenaria analisados, e respectivas dimensões.

Os blocos de betão leve utilizados no programa de ensaios, com dimensões nominais de 200mm×143mm×100mm, foram obtidos por corte de um bloco do sistema construtivo “Isolbloco”, de forma a ser representativo em escala (meia altura, meia largura e meio comprimento). O sistema “Isolbloco” é produzido normalmente pela indústria com características térmicas garantidas, tendo o bloco principal as dimensões nominais de 400mm×320mm×200mm. Na Figura 2, apresenta-se um esquema genérico dos blocos utilizados sendo visível a sua relação de escala com o bloco principal.

Por ensaios de compressão realizados, a resistência normalizada à compressão do bloco obtida foi de 5,70 MPa. Na construção das paredes foi usada uma argamassa pré-doseada de 10 MPa de resistência à compressão.

Os elementos de betão das paredes de alvenaria confinada foram executados com um betão de 31,5 MPa de acordo com ensaios de compressão realizados em cubos executados para o efeito na data de montagem das paredes. Na Figura 2c) apresenta-se a disposição de armaduras ( $f_{yk} = 400$  MPa) utilizadas na alvenaria confinada. Nas paredes de alvenaria armada foi usada uma armadura de junta horizontal treliçada Murfor® produzida pela Bekaert, com 2 varões longitudinais  $\phi 5$  mm ( $f_{yk} = 550$  MPa) espaçados de 100 mm.

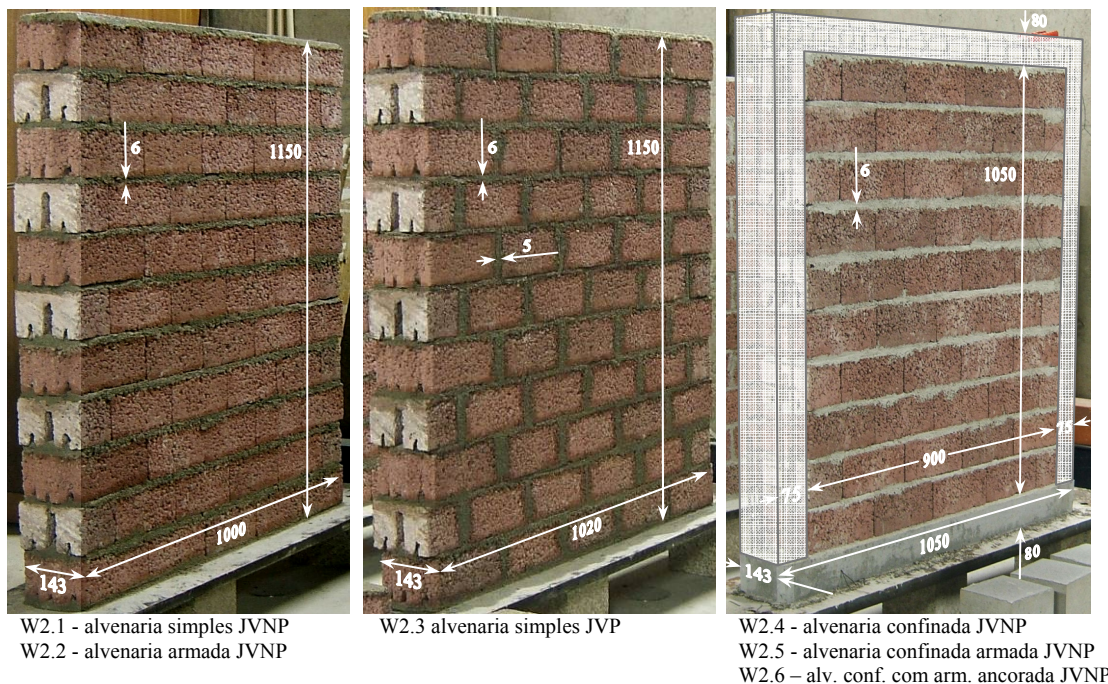


Figura 1: Tipos de paredes de blocos de betão leve submetidas a ensaio, e respectivas dimensões.

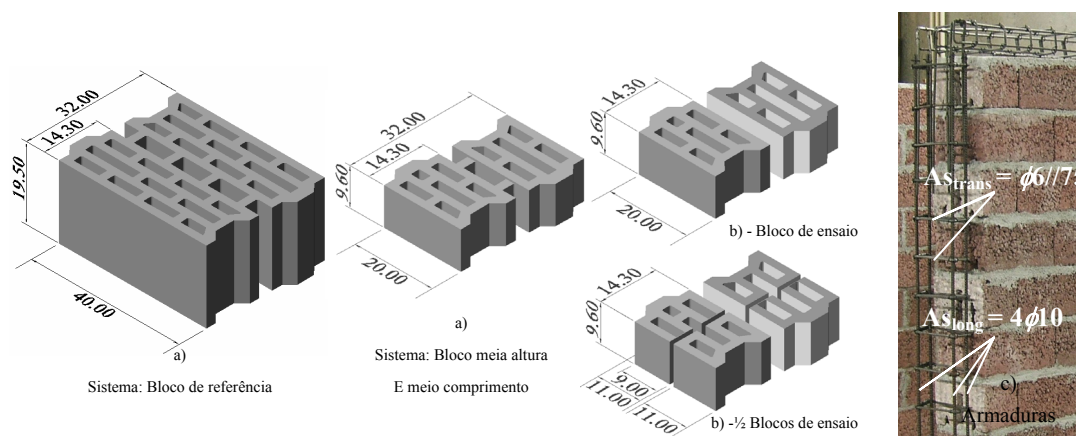


Figura 2: a) Blocos de betão leve do sistema construtivo; b) blocos de betão leve de dimensão reduzida utilizados no programa de ensaios; c) pormenor das armaduras de confinamento das paredes confinadas.

As paredes foram ensaiadas num sistema de ensaio, Figura 3, em que a viga de base foi fixada ao piso de reacção através de sistemas de ligação apropriados, procurando evitar qualquer movimento ou deformação exterior à parede. A acção vertical foi imposta através de um actuador hidráulico de 350 kN, programado manter constante a carga vertical. Entre o actuador e a viga de distribuição da carga vertical foram colocados rolamentos cilíndricos para reduzir o atrito induzido pelos movimentos laterais da parede. A acção cíclica horizontal foi imposta através de um actuador hidráulico de 250 kN fixado a uma viga de posição horizontal ajustável existente no muro de reacção.

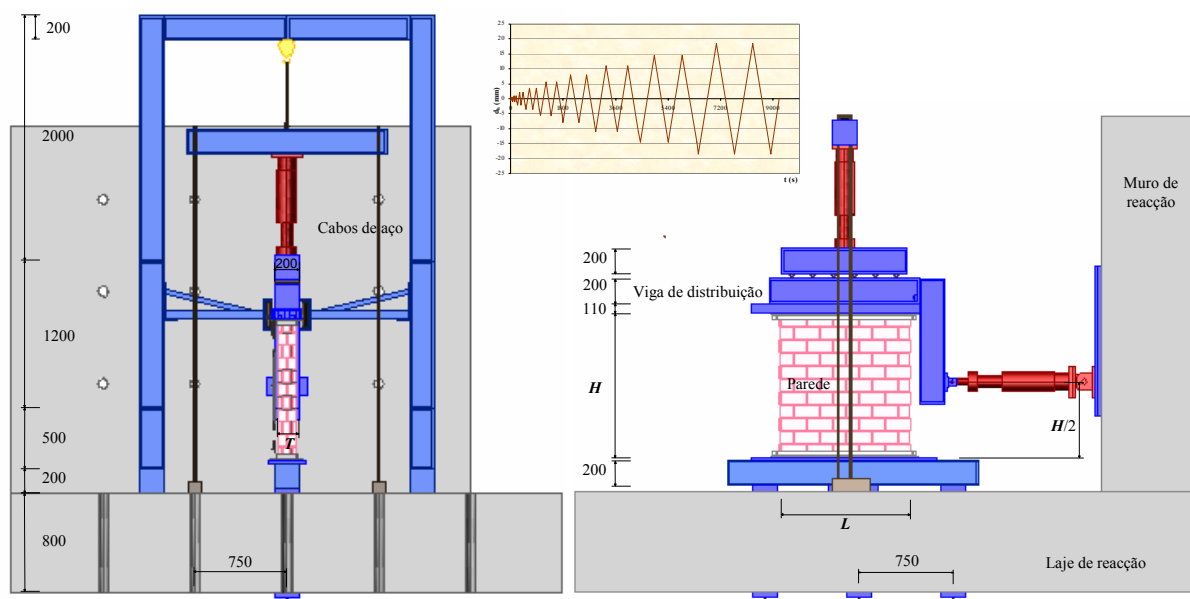


Figura 3: Sistema de ensaio de carga e procedimento de ensaio utilizados

Antes da realização dos ensaios de corte para os quais foram definidos procedimentos de ensaios de forma a originarem a rotura da parede, realizaram-se ensaios para a determinação do módulo de elasticidade e do coeficiente de Poisson. As paredes foram instrumentadas com a colocação LVDT's, Figura 4, para ser feito o registo da evolução de valores de deslocamentos e das forças induzidas, representativos do comportamento das paredes quer relativamente a esforços axiais, quer a acções horizontais de corte.

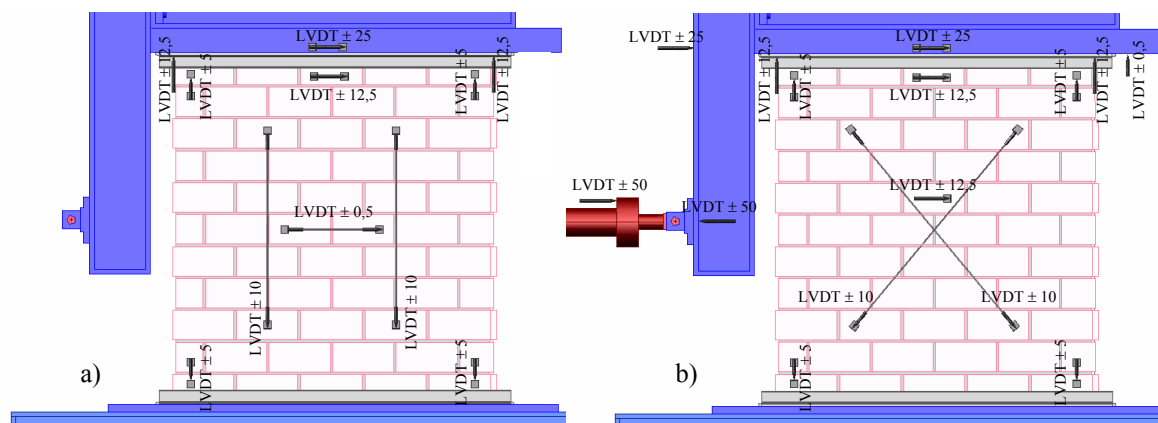


Figura 4: Instrumentação das paredes para avaliação: a) módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson e rotações; b) comportamento das paredes nos ensaios de corte

Os ensaios de corte foram realizados para níveis de compressão constantes e de valor 0,90 MPa, equivalentes aos níveis de tensão a que usualmente as paredes estão sujeitas no seu periodo de utilização, ou seja, cerca de 30 % da sua resistência característica à compressão, sendo esta obtida pela expressão regulamentar [1]:

$$f_k = K \times f_b^{0,7} \times f_m^{0,3} \quad (1)$$

Em que:

$K$  = 0,45 - Constante definida no EC6 para unidades de betão corrente assentes com argamassa convencional.

$f_b$  = 5,70 MPa - Valor médio normalizado da resistência à compressão dos blocos utilizados no programa, obtido experimentalmente.

$f_m$  = 10,0 MPa - Valor da resistência à compressão da argamassa, obtido experimentalmente.

A acção horizontal foi induzida à parede com controlo de deslocamentos a velocidade constante de 0,60  $\mu\text{m/s}$ . Para cada incremento de amplitude de deslocamentos horizontais foram programados dois ciclos de deslocamento por amplitude para avaliação da resistência e do nível de degradação de rigidez [4].

### 3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Por sair do âmbito desta comunicação, não é feita a apresentação detalhada de resultados relativos ao módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson e da rotação verificada no decorrer dos ensaios. Refere-se somente que os valores médios do módulo de elasticidade variaram de 6,8 a 8,1 GPa para paredes de alvenaria simples e armada, sendo superiores para paredes de alvenaria confinada, com variação de 8,3 a 10,0 GPa. Para o coeficiente de Poisson obtiveram-se valores médios para paredes de alvenaria simples e armada entre 0,14 e 0,19.

Nos pontos seguintes é feita a apresentação de resultados comparativos para as diferentes soluções relativamente aos mecanismos de rotura e ao comportamento mecânico.

#### 3.1. Mecanismos de rotura e padrões de fendilhação.

Com a determinação do deslocamento horizontal obtém-se um outro parâmetro de previsão do comportamento de paredes sujeitas a acções horizontais, o *drift*. Este valor representa a relação entre a deformação lateral e a altura da parede. A avaliação da resposta de cada parede relativamente a deslocamentos horizontais foi feita para cada ciclo de deslocamento máximo aplicado, permitindo assim avaliar a evolução do dano por ciclo.

##### *Paredes de alvenaria simples:*

Na Figura 5 apresenta-se um aspecto geral dos modos de rotura verificados nas paredes de alvenaria simples submetidas a ensaio. De um modo geral não se registaram fendas significativas para deslocamentos horizontais induzidos de cerca de 1,0 mm, sendo que a fenda diagonal correspondente à máxima força de corte ocorreu para valores médios na ordem de 2,5 mm e de 4 mm, para paredes simples sem e com armadura de junta respectivamente. Após a abertura da fenda diagonal por rotura frágil numa das direcções (W2.1 e W2.2), o comportamento geral foi de pouca distribuição da fendilhação na outra direcção, tendo sido possível verificar-se a formação de fendas na forma de X. A formação de corpos rígidos efectua uma transferência de tensões nos cantos produzindo nestas secções um nível de concentração de tensões originado danos significativos nos blocos (esmagamento localizado por compressão).

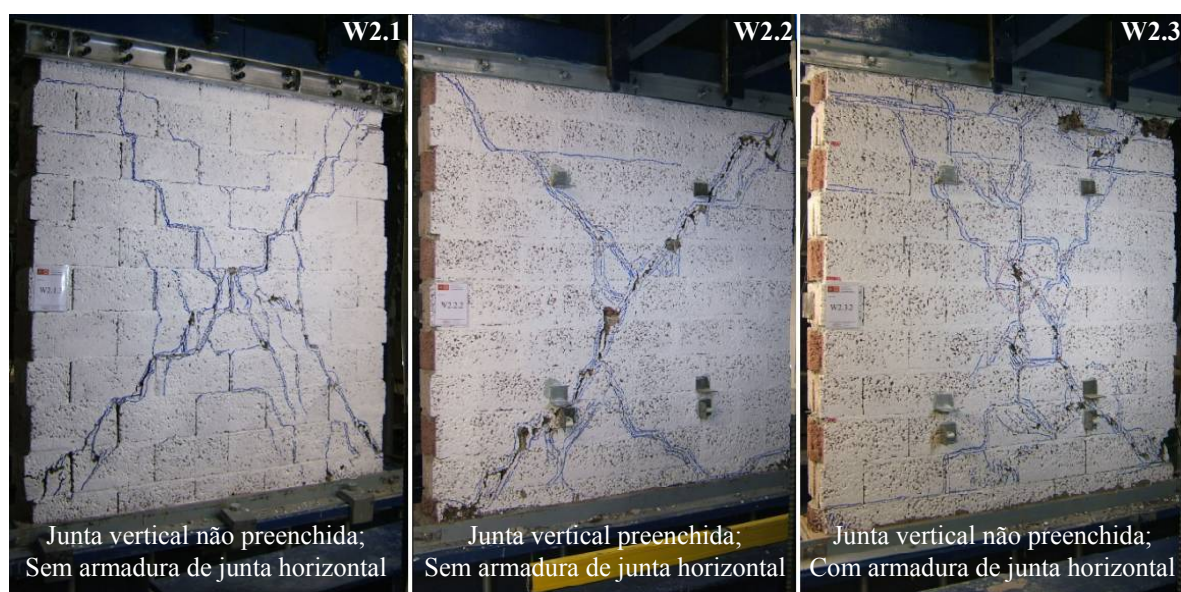


Figura 5: Aspecto genérico dos padrões de fendilhação das paredes simples.

Nas paredes de alvenaria simples reforçadas com armadura horizontal de junta (W2.3), embora sem preenchimento da junta vertical com argamassa, verificou-se um nível de degradação mais uniforme em ambas as direcções, sendo caracterizada por um padrão de fendilhação de distribuição homogénea, progressiva nos ciclos correspondentes ao aumento do deslocamento horizontais e consequentemente da força de corte. Numa das paredes, verificou-se um efeito de deslizamento da base juntamente com o efeito de corte, traduzido pela formação de fendas horizontais por quebra da resistência de aderência da ligação bloco-argamassa.

*Paredes de alvenaria confinadas:*

Na Figura 6 apresentam-se um aspecto geral dos modos de rotura verificados nas paredes de alvenaria confinadas submetidas a ensaio. Não se registaram fendas significativas para deslocamentos horizontais induzidos de cerca de 1,5 mm, sendo que a fenda diagonal correspondente à máxima força de corte ocorreu para valores médios na ordem de 3,0 mm e de 5,6 mm, para paredes confinadas sem e com armadura de junta respectivamente. Refira-se que estes valores são meramente indicativos para servirem de base de comparação.

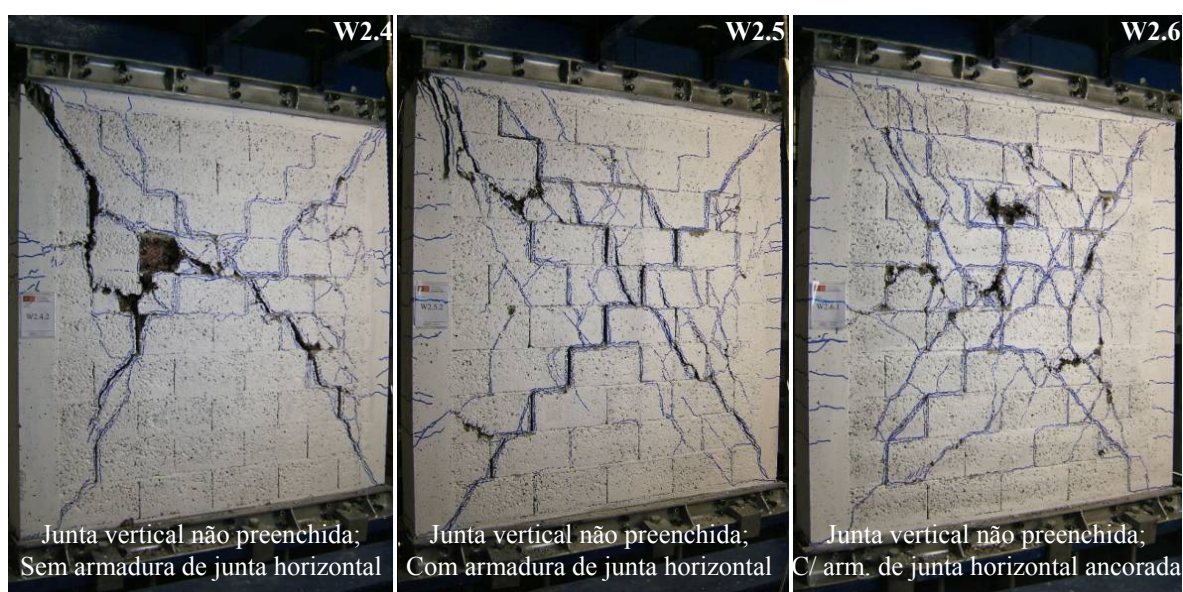


Figura 6: Aspecto genérico dos padrões de fendilhação das paredes confinadas.

Nas paredes de alvenaria confinada com armadura de junta horizontal (W2.5 e W2.6), verificaram-se níveis de degradação mais acentuada do que nas paredes sem armadura (W2.4), acontecendo uma maior solicitação dos elementos de confinamento à tracção. Este esforço é visível pela fendilhação dos elementos verticais resultantes ao nível dos estribos da armadura de confinamento. Tendo por base os valores dos deslocamentos últimos registados e a distribuição da fendilhação verificou-se que a dissipação de energia nas paredes de alvenaria confinada com reforço horizontal é superior quando comparada com as paredes confinadas sem reforço. O efeito da amarração é igualmente benéfico nessa melhoria de ductilidade, bem como na distribuição do padrão de fendilhação.

### 3.2. Evolução dos ensaios e ajustamento de procedimentos e do sistema de ensaio.

Interessa desde já afirmar que a evolução dos ensaios foi tomada como um desafio interessante pelo facto deste ser um primeiro trabalho a nível nacional de caracterização do comportamento mecânico para alvenaria nova sujeita a acções de corte.

Com o decorrer dos ensaios houve necessidade de adaptar quer o procedimento de ensaio, no sentido de ser aplicado um deslocamento por ciclo capaz de garantir a avaliar de forma mais correcta a evolução do dano e a capacidade resistente da parede. Inicialmente desconhecia-se o comportamento que as paredes de alvenaria de blocos de betão leve teriam, muito embora se pudesse ter por referência valores de *drift* para paredes de alvenaria

de blocos de betão corrente. No ensaio da parede de teste, parede W2.2.0, foi utilizada inicialmente uma menor tensão de compressão verificando-se valores significativos de tracção.

O próprio sistema de ensaios também teve necessidade de ser reajustado com o decorrer dos ensaios. No ensaio de teste do sistema, o actuador horizontal foi colocado ao nível da altura da parede tendo-se verificado a ocorrência significativa do efeito de *rocking*. Por consequência, deste efeito o actuador horizontal foi nos restantes ensaios localizado a meia altura da parede, Figura 7. Posteriormente durante a realização do ensaio de uma das paredes armadas com armadura de junta horizontal, W2.3.1, verificou-se a ocorrência visível de deslocamentos da viga de base do sistema de ensaio, originando um corte da parede por deslizamento com a formação de fenda na quase totalidade do comprimento da parede. Após uma análise cuidada desses resultados obtidos, foi decidido o reforço do sistema de ensaio pela colocação de uma cunha de travamento executada para o efeito por forma a garantir uma ligação rígida da viga de base à laje de reacção, bem como de elementos de fixação das paredes às vigas de topo e de base, Figura 8. Após a colocação destes sistemas de reforço não foram verificados quaisquer deslocamentos horizontais que originassem danos nas paredes por deficiência do sistema.



Figura 7: Adequação do sistema de ensaio (nível do actuador horizontal e perfis metálicos) no ensaio de teste.



Figura 8: Soluções de reforço do sistema de ensaio e de ligação entre paredes e viga de base.

Relativamente à evolução do dano por ciclos verificou-se uma menor disparidade do comportamento das paredes confinadas quando comparada com as soluções de alvenaria simples, Figura 9a) e Figura 10a). Este facto justifica-se pelo comportamento mais irregular deste tipo de paredes e pela adequação que foi necessária realizar quer nos procedimentos de ensaio e quer no reforço do sistema de ensaios. A parede de teste W2.2.0 foi submetida a um procedimento de ensaio com menor tensão de compressão e com um maior número de ciclos associados a menores incrementos de *drift*, verificando-se a rotura ao procedimento 17 enquanto que nas restantes a rotura aconteceu para ciclos anteriores. No entanto, para a generalidade das paredes a rotura ocorreu para uma amplitude de deslocamento equivalente, verificando-se uma semelhança da relação da distorção resultante por deslocamento máximo imposto em cada ciclo. O grupo das paredes reforçadas com armadura de junta horizontal, grupo W2.3, apresenta uma variabilidade de resultados da  $\gamma_{distorção}$  vs  $d_h$  por ciclo comparada com o grupo de paredes simples, justificada pela referida ocorrência de deslocamentos da viga de base no ensaio da parede W2.3.1. Este efeito originou uma rotura mista de corte e deslizamento sendo que na parede W2.3.2 a rotura foi essencialmente por corte. Esta diferença verifica-se graficamente por uma menor relação  $\gamma_{distorção}/d_h$  por ciclo, Figura 9b). Tendo em conta os valores médios obtidos, verifica-se uma maior tendência da rotura surgir para deslocamentos negativos.

Nas paredes confinadas, verificou-se uma evolução do dano similar para os diferentes grupos, seguindo uma linha de tendência, Figura 10a). Após um comportamento linear carga horizontal - deslocamento horizontal as diferentes paredes confinadas tiveram uma resposta crescente de acordo com os incrementos de deslocamentos

horizontais por ciclo, verificando-se uma relação muito próxima entre estes deslocamentos e a distorção ocorrida, Figura 10b).

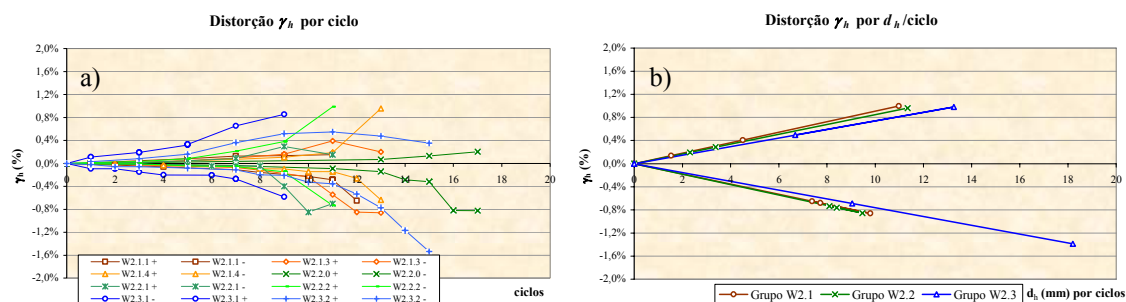


Figura 9: Resultados experimentais em paredes simples: a) distorção por ciclo e b) deslocamento máximos verificados no ultimo ciclo.

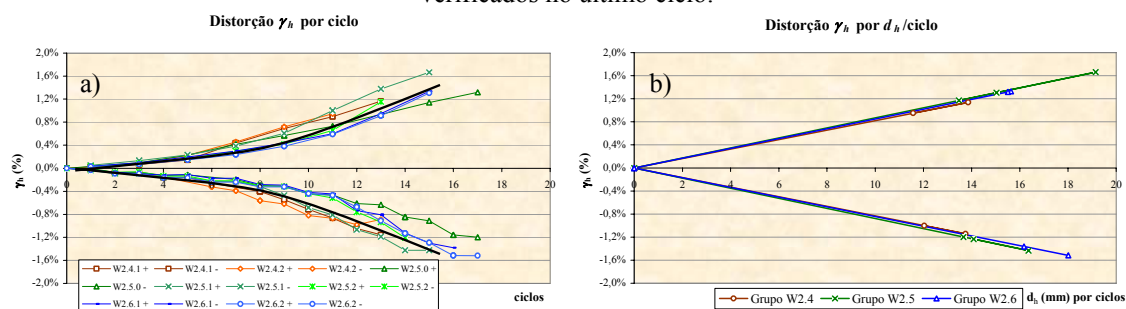


Figura 10: Resultados experimentais em paredes confinadas: a) distorção por ciclo e b) deslocamento máximos verificados no ultimo ciclo.

A irregularidade do comportamento das paredes de alvenaria simples vs alvenaria confinada verifica-se também pela relação entre a distorção obtida e os deslocamentos máximo induzidos à parede, Figura 11. De uma forma global pode afirmar-se que as paredes confinadas corresponderam a amplitudes semelhantes de deslocamentos horizontais impostos, positivos e negativos, não se verificando esse facto nas paredes de alvenaria simples.

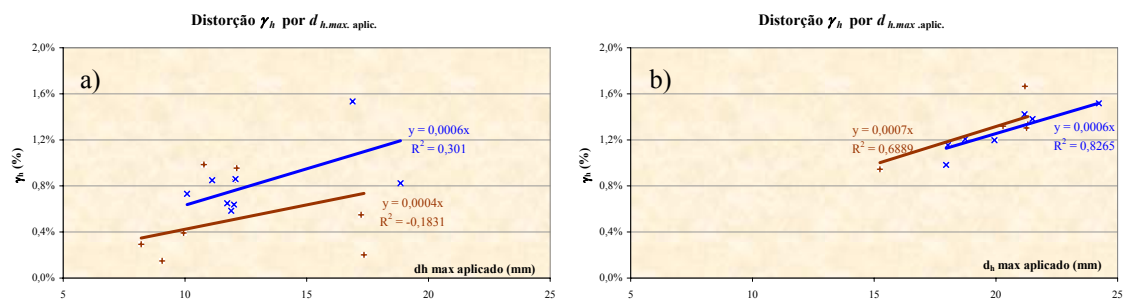


Figura 11: Distorção vs deslocamento horizontal aplicado em a) paredes simples e b) paredes confinadas.

### 3.3. Diagramas força de corte – deslocamento horizontal.

A avaliação do comportamento de paredes submetidas a ensaios de corte feita através da determinação de parâmetros, dos quais se destacam, a resistência máxima ao corte, deslocamentos horizontais, ductilidade e a degradação da energia de deformação [5][6]. Com os valores obtidos foi feito o traçado dos diagramas experimentais  $H-d$  para cada parede sendo identificados os pares de valores característicos (ocorrência da primeira fissura significativa  $d_{crs}$ , força de corte máxima  $H_{max}$  e deslocamento lateral máximo  $d_{max}$ , bem como os valores de inversão do sentido da acção). Na Figura 12 apresentam-se os diagramas experimentais de uma das



paredes de cada grupo, bem como a respectiva envolvente e valores característicos. Refira-se que estes diagramas correspondem aos modos de rotura apresentados na Figura 5 e Figura 6, respectivamente.

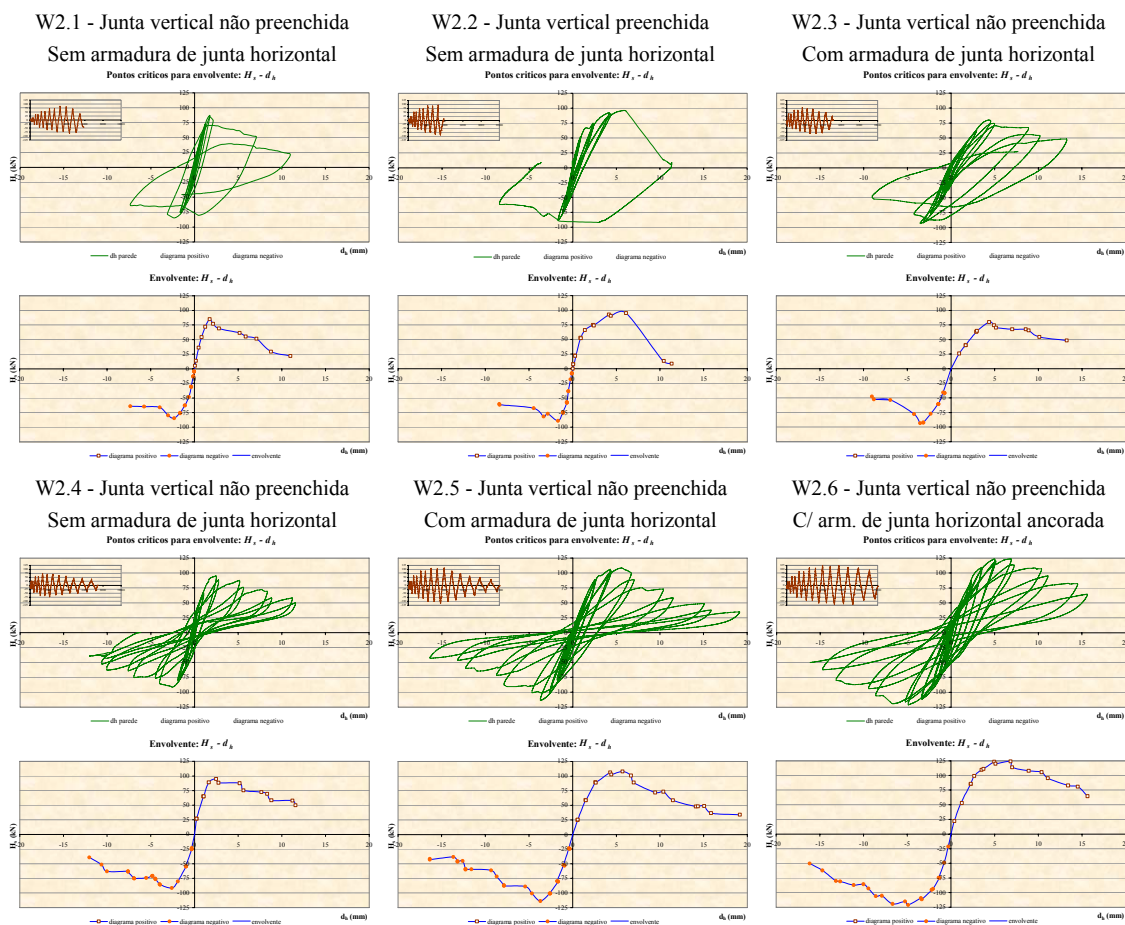


Figura 12: Esquema dos diagramas experimentais de alguns ensaios de corte e respectivas envolventes.

Estes diagramas permitem visualizar a evolução do comportamento de cada tipo de solução construtiva ensaiada, verificando-se uma simetria mais eficiente e uma melhor ductilidade nos resultados das paredes confinadas relativamente às paredes simples. Observa-se ainda, tal como foi referido em 3.2, que as paredes de alvenaria confinada obtêm uma resposta mais regular para cada ciclo de deslocamento horizontal aplicado.

Procurando efectuar uma comparação do comportamento das diferentes soluções, mesmo que a nível teórico, e na tentativa de obter parâmetros de referência, foi feita a representação do diagrama bi-linear para cada solução. Este diagrama é obtido pela igualdade entre a área do diagrama experimental, ou seja, entre a área equivalente à energia de deformação verificada e a área do diagrama bi-linear. A capacidade da deformação é avaliada em termos de deslocamentos horizontais ocorridos e da ductilidade da parede,  $\mu$ . Após o traçado do diagrama teórico para cada parede foram deduzidos os valores do deslocamento teórico elástico linear,  $d_e$ , deslocamento teórico máximo,  $d_u$ , e da força teórica máxima de corte,  $H_u$ , sendo os resultados agrupados de acordo com as tipologias de paredes submetidas a ensaio. A rigidez elástica equivalente da parede,  $K_e$ , é obtida pela relação entre o par de valores experimentais correspondentes à ocorrência de primeira fissura ( $H_{cr}$ ,  $d_{cr}$ ), ou entre o par de valores teórico que define o troço linear no diagrama bi-linear ( $H_u$ ,  $d_e$ ). A ductilidade é definida como a relação entre  $d_u$  e  $d_e$ . Apresentam-se as expressões utilizadas para o traçado do diagrama bi-linear a partir dos valores experimentais:

$$K_e = \frac{H_{cr}}{d_{cr}}; A_{diag.exp.}^{envolvente} = \frac{H_u \times d_e}{2} + H_u \times (d_{max} - d_e); K_e = \frac{H_u}{d_e}; \mu = \frac{d_u}{d_e} \quad (1)$$

Na Figura 13 apresenta-se um esquema genérico da representação do diagrama bi-linear teórico vs diagrama experimental, e como exemplo, os diagramas teóricos para um dos grupos de paredes analisadas. Neste caso é apresentado o diagrama bi-linear para o grupo de paredes confinadas sem armadura de junta horizontal.

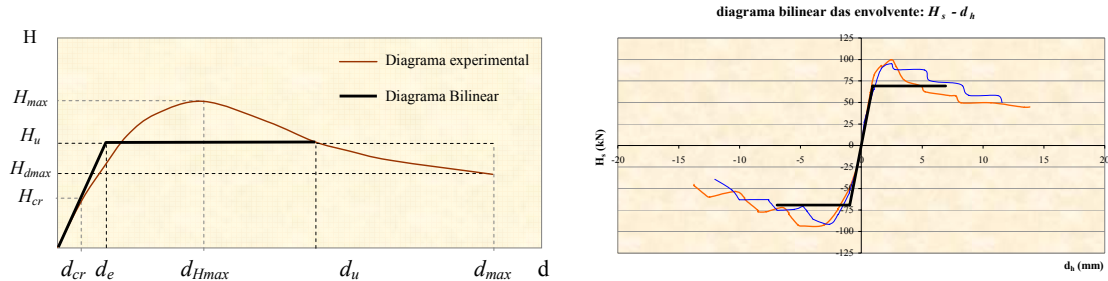


Figura 13: Diagramas carga-deslocamento: a) experimental vs bi-linear teórico; b) diagrama bi-linear.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da análise efectuada. Para percepção da evolução da resposta de cada tipo de solução construtiva, apresenta-se na Figura 14 os diferentes diagramas bi-lineares, permitindo assim realizar uma comparação qualitativa do comportamento mecânico de cada um dos grupos.

Grupos	$K_e$	$H_{max}$	$d_e$	$H_u$	$d_u$	ductilidade
Paredes	(kN/mm)	(kN)	(mm)	(kN)	(mm)	$\mu$
W2.1	70.43	80.94	0.86	60.49	4.83	5.62
W2.2	77.42	88.85	0.82	63.31	5.26	6.43
W2.3	53.60	93.11	1.32	70.75	7.26	5.50
W2.4	72.58	95.02	0.95	69.12	6.93	7.27
W2.5	52.53	113.73	1.51	79.53	9.68	6.39
W2.6	58.64	121.75	1.61	94.54	10.12	6.28

Tabela 2 – Resultados experimentais comparativos.

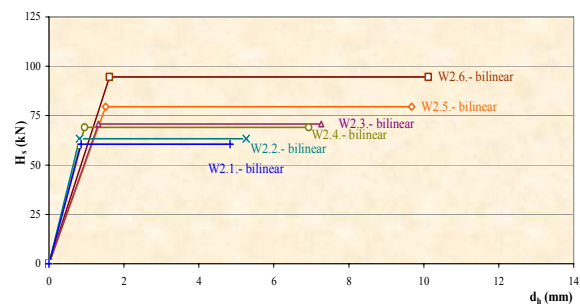


Figura 14: Grupos de paredes: diagramas bi-lineares.

De acordo com resultados esperados, as paredes de alvenaria confinada são caracterizadas por um comportamento mais dúctil, e com valores de resistência ao corte superiores comparativamente a soluções em alvenaria simples. Pelos resultados obtidos relativamente à força de corte teórica, verifica-se um comportamento semelhante entre soluções de alvenaria simples reforçada com armaduras de junta horizontal e alvenaria confinada com o pano de alvenaria sem qualquer reforço.

A ductilidade, e de forma correspondente o nível de deterioração das paredes armadas com armaduras de junta, é bastante superior comparativamente a paredes não armadas. Paralelamente, verifica-se um aumento da resistência ao corte da alvenaria com a colocação de armaduras de junta em paredes de alvenaria.

#### 4. CONCLUSÕES

Dos resultados dos ensaios cíclicos realizados em paredes de alvenaria de blocos de betão leve, conclui-se que em fase linear de carga deslocamento o comportamento é similar para as diferentes soluções construtivas. Os mecanismos de rotura e os padrões de fendilhação obtidos dependem da colocação de armadura de junta horizontal e da existência de elementos de confinamento executado de forma solidário ao pano de alvenaria.

Apesar de algumas dificuldades verificadas no decorrer dos trabalhos, e embora não haja uma linha de tendência confirmada do comportamento de paredes de alvenaria simples, foi possível concluir que estas revelam um comportamento de menor ductilidade relativamente a paredes de alvenaria confinada e que a relação de resistências teóricas é de cerca de 75 %.

Nas paredes confinadas verifica-se uma notória distribuição crescente dos modos de fendilhação com a evolução da acção horizontal imposta em cada ciclo, e uma elevada capacidade de deformação com perda de resistência após o nível de carga máximo, o mesmo não acontecendo para as paredes simples. Devido ao modo de rotura frágil deste tipo de solução, alguns ensaios foram finalizados por razões de segurança impedindo obter o comportamento global de degradação da carga.

A colocação de armaduras de junta melhora a resistência ao corte da parede, seja esta simples ou confinada, garantindo uma maior distribuição da fendilhação.

Conforme referido em 3.2, este trabalho foi considerado um desafio para o conhecimento do comportamento de paredes de alvenaria nova e com materiais de produção nacional. Justifica-se a continuação de estudos de investigação desta solução construtiva pelo facto de ser económica, ter actualmente regras de dimensionamento baseadas na regulamentação europeia, e pela necessidade de diversificar a construção de novos edifícios residenciais e/ou industriais em Portugal.

## 5. REFERÊNCIAS

- [1] EC6 (2005) EN1996-1-1: Eurocode 6: Design of Masonry Structures – Part 1-1: Common rules for reinforced and unreinforced masonry structures. *CEN/TC250, European Standard*.
- [2] EC8 (2003) EN 1998-1: Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings. *CEN/TC250, European Standard*.
- [3] Lourenço, P.B. (2006) Paredes de alvenaria armada (I): Possibilidades e Aplicações. *Revista Ingenium* n.º 91, 80-84.
- [4] Gouveia, J.; Lourenço, P. (2007) Masonry Shear Walls Subjected to Cyclic Loading: Influence of Confinement and Horizontal Reinforcement. *Proceedings of the 10th North American Masonry Conference, Masonry Society, St. Louis, Missouri, USA, 2007*.
- [5] Bosiljkov, V. et al. – “Performance based studies of in-plane loaded unreinforced masonry walls”. *Masonry International*, 16 (2), 39-50, 2003.
- [6] Magenes, G. – Seismic behavior of brick masonry: strength and failure mechanisms. *PhD Thesis, Department of Structural Mechanics, University of Pavia, 1992*.