

Ensaios de compressão diagonal sobre paredes de alvenaria de tijolo cerâmico maciço e argamassas de cimento

Diagonal compression tests on solid ceramic brick and cement mortars masonry walls

Ana Isabel Marques¹ | Armando Demaj^{2,3} | João Gomes Ferreira² | António Sousa Gago²

¹ LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

² CERIS, DECivil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

³ Epoka University, Tirana, Albania

resumo

O presente estudo tem como objetivo avaliar o comportamento ao corte de paredes antigas de alvenaria de tijolo de edifícios “de placa”. Para o efeito, foram construídos provetes de parede de alvenaria utilizando tijolos cerâmicos maciços originais, resultantes de demolições de edifícios antigos. Foram utilizadas argamassas de assentamento à base de cimento ao traço 1:5 (cimento:areia), tendo por base a informação obtida em projeto de edifícios existentes da mesma tipologia construtiva. A resistência ao corte, o módulo de distorção e os mecanismos de colapso foram determinados em ensaios de compressão diagonal sobre provetes de alvenaria com argamassas de cimento. Os resultados obtidos foram comparados com um trabalho de investigação em que foi estudado o comportamento de paredes originais retiradas diretamente de edifícios de alvenaria existentes, com o mesmo tipo de tijolo e argamassas de assentamento à base de cal aérea. Neste artigo são ainda apresentados ensaios de determinação das propriedades mecânicas dos materiais constituintes da alvenaria alvo de estudo.

Palavras-chave: Paredes de alvenaria; edifícios antigos; comportamento ao corte; resistência ao corte.

abstract

This study aims at evaluating the shear behaviour of ancient brick masonry walls of mixed masonry-concrete buildings. For this purpose, masonry wall specimens were built using original solid ceramic bricks, resulting from the demolition of old buildings. Cement-based laying mortars were used with a 1:5 cement:sand ratio, based on data obtained in project of existing buildings with the same constructive typology. The obtained results were compared with a study on the behavior of original walls taken directly from existing masonry buildings, with the same type of brick and a laying mortar based on hydrated lime. This paper also presents the characterization tests carried out to determine the mechanical properties of the constituent materials of the studied masonry.

Keywords: Brick masonry; ancient buildings; shear behavior, shear strength.

1- INTRODUÇÃO

Os edifícios antigos de alvenaria são uma parte importante do parque habitacional, não só pelos seus valores arquitetónicos e patrimoniais, mas também pelo fato de serem muito vulneráveis a ações sísmicas. Por este último motivo, estudos para avaliação do seu desempenho estrutural justificam-se plenamente e devem ser realizados com o objetivo de propor soluções de reforço eficazes para esses tipos de edifícios. Neste contexto, é muito importante realizar ensaios experimentais para caracterização do comportamento das paredes de alvenaria para esforços simples e combinados.

Lisboa é uma região com uma sismicidade elevada, tendo em conta a atividade sísmica observada ao longo do tempo. O Sismo de 1755 é um exemplo da sismicidade do local, sendo que este evento destruiu grande parte da cidade de Lisboa em poucos minutos. Alguns dos edifícios antigos de alvenaria do centro da cidade, construídos antes e após a ocorrência desse evento sísmico, ainda estão em serviço e funcionam como edifícios residenciais ou comerciais, sendo que a sua segurança estrutural revela-se de extrema importância já que alguns deles não foram sequer dimensionados tendo em conta a ação sísmica.

Uma das tipologias construtivas de edifícios antigos de alvenaria, existentes na cidade de Lisboa, são os edifícios mistos de alvenaria e betão, também conhecidos como edifícios “de placa”. Estes edifícios são compostos maioritariamente por lajes de betão armado apoiadas em paredes de alvenaria resistente. Os edifícios “de placa” surgiram como uma tipologia construtiva durante o período de transição da alvenaria para o betão armado, entre os anos de 1930 a 1950 [1]. De uma forma geral, a tipologia dos tijolos cerâmicos utilizados na construção das paredes deste tipo de edifícios tem dimensões de cerca de 230 mm de comprimento, 110 mm de largura e 70 mm de altura e a espessura das juntas de argamassa de assentamento varia entre 10 a 15 mm [2].

Estudos experimentais para a determinação das propriedades mecânicas das paredes de alvenaria e os seus componentes utilizados nos edifícios “de placa” revelam-se necessários e muito relevantes. No âmbito do projeto RESIST-2020 - Reabilitação Sísmica de Antigos Edifícios de Alvenaria-Betão, a campanha experimental incluiu ensaios experimentais de compressão diagonal para a determinação da resistência ao corte e do módulo de distorção de paredes de alvenaria. Os provetes de parede foram construídos com tijolos cerâmicos originais obtidos em demolições de um edifício de alvenaria localizado no centro da cidade de Lisboa. A argamassa de assentamento utilizada é à base de cimento ao traço 1:5 (cimento:areia), conforme indicado nos projetos de construção existentes no arquivo municipal de Lisboa de um dos edifícios “de placa” construídos no centro da cidade de Lisboa [3]. A determinação da resistência ao corte dos provetes de parede construídos e ensaiados foi obtida através do ensaio de compressão diagonal, realizado de acordo com a norma ASTM E519 / E519M-10 [4]. A resistência ao corte, o módulo de distorção e o mecanismo de rotura foram determinados e comparados com os resultados obtidos em ensaios experimentais de paredes resistentes de alvenaria, realizados por Marques *et al.* [5; 6], cuja tipologia de parede é composta pelo mesmo tipo de tijolo e argamassa de assentamento à base de cal aérea ao traço 1:3 (cal aérea:areia).

2- ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAGONAL EM PAREDES DE ALVENARIA

2.1 Caracterização dos provetes

O ensaio de compressão diagonal foi realizado em provetes de parede para determinação da resistência ao corte da alvenaria, submetendo-os a uma carga diagonal que simula simultaneamente a ação vertical do peso da alvenaria sobrejacente e a ação horizontal do sismo que distorce a parede no seu plano. Para isso, foram construídos, em laboratório três provetes de alvenaria com tijolos cerâmicos maciços originais de dimensões 253 x 120 x 65 mm³, colocados em duas folhas, travados com tijolos colocados transversalmente na espessura da parede, conforme se apresenta na Figura 1. As juntas de argamassa de assentamento horizontais e verticais têm uma espessura que varia entre 10 a 15 mm. Os provetes têm uma dimensão total de 86 cm de altura, 86 cm de largura e espessura de 25 cm.

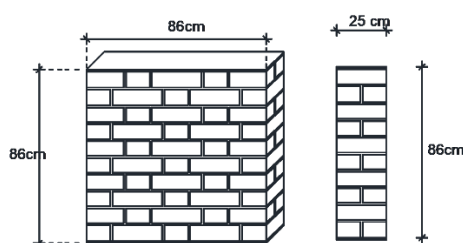


Fig.1 | Esquema com indicação das dimensões e aparelho de assentamento dos provetes construídos.

Para que o estudo fosse representativo, era necessário que os provetes de parede fossem equivalentes (com as características mecânicas semelhantes) às paredes de alvenaria originais. Para tal, foram selecionados tijolos cerâmicos maciços originais (obtidos na demolição de um edifício de alvenaria, localizado no centro da cidade de Lisboa) e realizada uma argamassa equivalente (com as características mecânicas semelhantes) à utilizada nas paredes dos edifícios originais. Para além disso, os provetes foram construídos com um aparelho de assentamento também semelhante ao arranjo original.

Os tijolos cerâmicos maciços originais foram sujeitos ao ensaio para determinação da resistência à compressão, com base na norma NP EN 772-1: 2011 [7]. As faces que estavam em contato com a prensa foram regularizadas com argamassa à base de cimento ao traço 1:2 (cimento:areia). O procedimento deste ensaio consiste basicamente na aplicação gradual da força vertical a uma velocidade de carregamento de 10 kN/s.

De acordo com a norma NP EN 772-1: 2011 [7] e com base nas dimensões do tijolo alvo de estudo, foi considerado um fator de forma de 0,85 para o cálculo da tensão de compressão normalizada (f_b). Os resultados obtidos são os que se apresentam na Tabela 1

Tabela 1 | Valores médios de resistência à compressão obtidos nos tijolos cerâmicos maciços originais

Tensão de compressão	29,8 MPa
Tensão de compressão normalizada (f_b)	25,3 MPa
Coefficiente de variação	8.1%

Relativamente à argamassa de assentamento a utilizar nas paredes, a informação obtida nos documentos do arquivo municipal de Lisboa [3] relativa a um edifício da tipologia “de placa”, localizado no centro de Lisboa, indicou que a argamassa é à base de cimento, ao traço 1:5 (cimento:areia), onde a parte correspondente à areia usada na mistura tem uma proporção, em volume de 1/3 de areia amarela e 2/3 de areia de rio.

Foram construídos, em laboratório, doze provetes com este tipo de argamassa, e caracterizados relativamente à sua resistência. Após a realização dos ensaios mecânicos de resistência à flexão e compressão da argamassa, de acordo com os critérios estabelecidos na norma EN 1015-11:2019 [8], o valor médio obtido da resistência à flexão foi de 1,67 MPa e o valor médio obtido da resistência à compressão foi de 5,79 MPa. A Figura 2 apresenta os provetes de argamassa sujeitos aos ensaios de caracterização da sua resistência.

Os provetes de alvenaria foram construídos com os tijolos e argamassas previamente caracterizados relativamente à sua resistência. A sua construção foi realizada sobre paletes de madeira para posteriormente serem transportados para dentro das instalações do laboratório de ensaios e rodados a 45° para realização do ensaio de compressão diagonal. A regularização das superfícies foram realizadas com uma argamassa à base de cimento ao traço 1:2 (cimento:areia) e realizada nos quatro cantos por forma a que fosse possível escolher a diagonal que melhor se ajustasse ao dispositivo de ensaio.

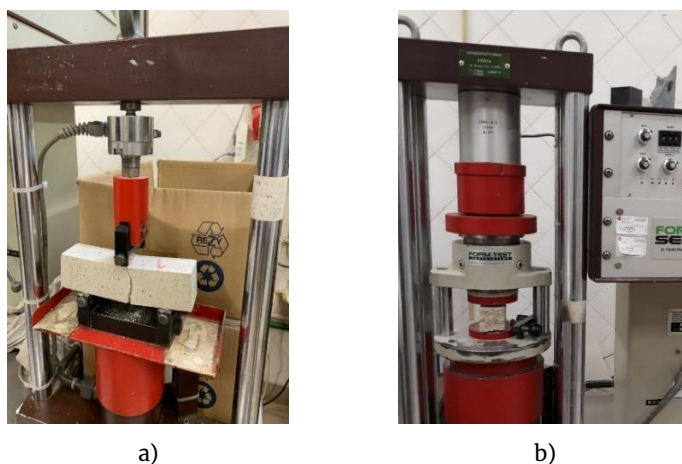


Fig.2 | Ensaios de caracterização da argamassa de assentamento: a) Ensaios de resistência à flexão e b) Ensaios de resistência à compressão.

2.2 Dispositivo de ensaio e instrumentação

No ensaio de compressão diagonal o provete é colocado na prensa a 45° com recurso de duas peças de suporte colocadas nas extremidades de uma das diagonais do provete e cuja configuração e dimensões foram baseadas na norma ASTM E519 / E519M-10 [4], conforme se ilustra na Figura 3 a). Uma das peças de suporte é colocada na plataforma deslizante da prensa, que funciona como o prato inferior e que tem a particularidade de poder ficar fora da prensa antes do ensaio, permitindo assim que se possa fazer a instrumentação do provete em segurança. Quando o provete estiver pronto para o ensaio, a plataforma é deslizada e travada sob a prensa e o provete é centrado e alinhado com a força vertical. A prensa seleccionada para a realização do

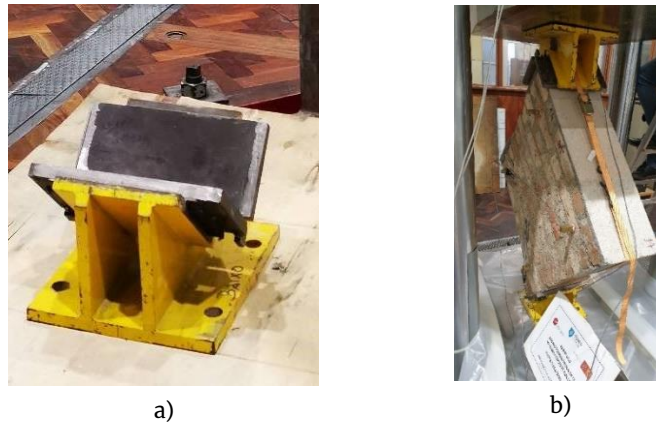


Fig.3 | Dispositivo de ensaios e instrumentação: a) Dispositivo de suporte dos provetes e b) Provetes sujeito a ensaios de compressão diagonal.

ensaio tem uma capacidade de 5000 kN á compressão e o prato superior da prensa é rotulado, o que permite absorver pequenos desnivelamentos do provete. A Figura 3b) apresenta um dos provetes de parede sujeitos a ensaio de compressão diagonal.

Quatro transdutores de deslocamento, designados por *Linear Voltage Displacement Transducers* (LVDT), dois em cada face do provete, foram usados para medir a deformação nas direções horizontal (EH e OH para alongamento) e vertical (EV e OV para encurtamento), conforme se ilustra na Figura.4. Os quatro LVDTs referidos foram fixos na face regular dos tijolos e alinhados com as linhas diagonais dos provetes de parede. Dois outros LVDTs foram colocados fora do provete de parede, para controlar a deformação do prato superior da prensa em ambas as faces (Este e Oeste), após a remoção da instrumentação no decorrer do ensaio. No total, oito canais foram usados para registrar as leituras de todos os instrumentos de medição; quatro canais para a deformação do provete de parede, dois canais para a deformação do prato superior da prensa e os dois últimos para a leitura da força vertical aplicada e do deslocamento fornecido pelo transdutor de deslocamento da prensa.

2.3 Procedimento de ensaio

Inicialmente, a peça de suporte é centralizada na plataforma deslizante da prensa. Em seguida, o provete de parede é rodado com recurso a um dispositivo composto por pranchas de madeira forradas por borracha, pela parte de dentro, e colocadas nos topos do provete. Posteriormente, o conjunto (pranchas de madeira+provetes) é amarrado com cintas de amarração [5].

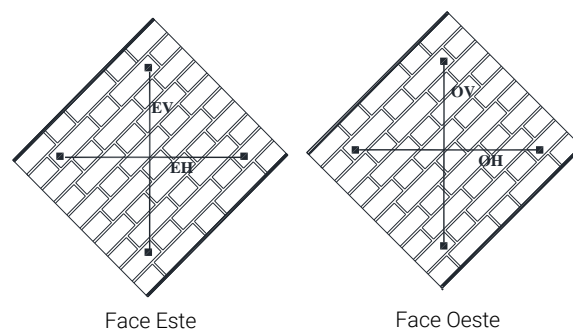


Fig. 4 | Localização dos LVDTs colocados nos provetes de parede.

Após verificação de todos os alinhamentos, o ensaio de compressão diagonal é realizado através da aplicação de uma força vertical, com uma velocidade controlada. Com o objetivo de registrar a força e os deslocamentos ao longo de todo o ensaio, de uma forma contínua, escolheu-se adotar uma frequência de amostragem de 5 Hz e uma velocidade de 0,005 mm/s.

Tendo em conta que foi aplicada uma velocidade de carregamento baixa, foi possível verificar o surgimento de danos graduais no provete de parede. Os transdutores de deslocamento foram retirados algum tempo após ser atingida a força máxima de pico, com o objetivo de proteger os transdutores de deslocamentos de movimentos bruscos resultantes do colapso do provete de parede, assegurando assim a integridade do equipamento.

2.4 Resultados de ensaio

A norma ASTM E519 / E519M-10 [4] fornece uma metodologia, amplamente utilizada, para calcular a tensão de corte S_s dos provetes de parede com base na área da secção transversal efetiva A_n . De acordo com a referida norma, a tensão de corte é calculada da seguinte forma:

$$S_s = \frac{0,707 \cdot P_{max}}{A_n} \quad (1)$$

P_{max} é a carga aplicada, e a área da secção transversal efetiva A_n é calculada da seguinte forma:

$$A_n = \left(\frac{w + h}{2}\right) \cdot t \cdot n \quad (2)$$

onde w é a largura do provete de parede, h a altura do provete de parede, t a espessura do provete de prova e n a percentagem da área bruta do tijolo, expressa como um decimal. Os provetes de parede deste estudo são constituídos por tijolos cerâmicos maciços e, portanto, o valor de n que é usado para o cálculo da área da secção transversal efetiva, é igual à unidade.

A partir do ensaio de compressão diagonal, é também possível determinar o módulo de distorção (módulo de elasticidade de corte) G . De acordo com ASTM E519 / E519M-10 [4], o módulo de distorção pode ser calculado da seguinte forma:

$$G = \frac{S_s}{\gamma} \quad (3)$$

onde γ é a deformação de corte e pode ser calculado da seguinte forma:

$$\gamma = \frac{\Delta V + \Delta H}{g} \quad (4)$$

ΔV e ΔH são o encurtamento vertical e o alongamento horizontal, respectivamente, considerando que g é o comprimento entre os dois pontos de medida dos transdutores de deslocamento vertical.

Como esperado, os três provetes de parede desenvolveram fissuras diagonais. O provete de parede UR-01 desenvolveu duas fissuras principais, conforme se ilustra na Figura 5 a), sendo a fissura da esquerda a primeira a ocorrer, criando uma biela de compressão no meio do provete. Essa biela de compressão levou a uma maior dissipação de energia em comparação com os outros dois provetes de paredes, conforme se verifica no gráfico da Figura 6. Este provete de parede (UR-01) atingiu uma força máxima de 433,3 kN e uma deformação vertical correspondente de 0,79 mm.

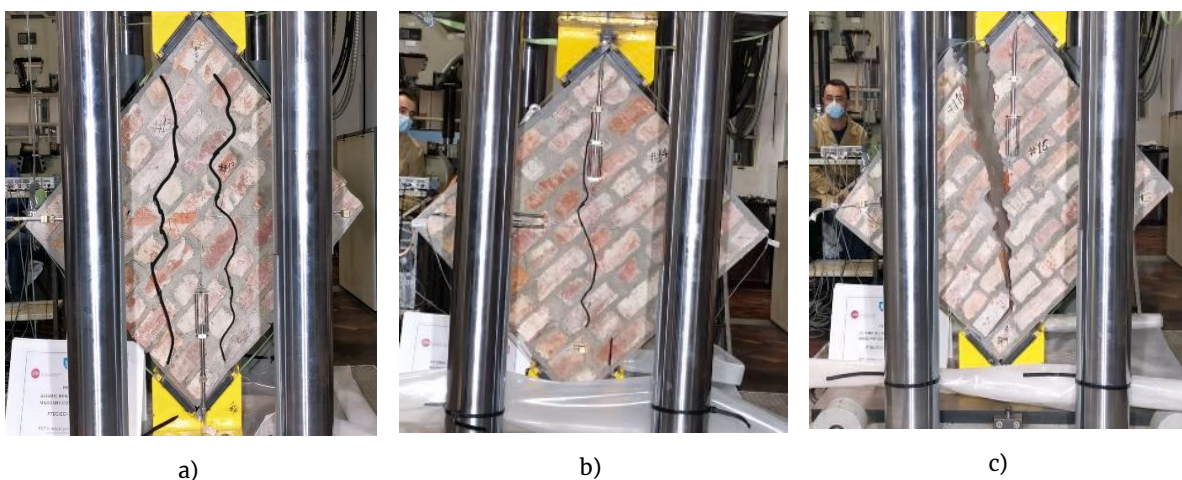


Fig. 5 | Mecanismos de colapso obtidos nos provetes ensaiados: a) UR-01 (a fissura da esquerda foi a primeira a ocorrer), b) UR-02 e c) UR-03.

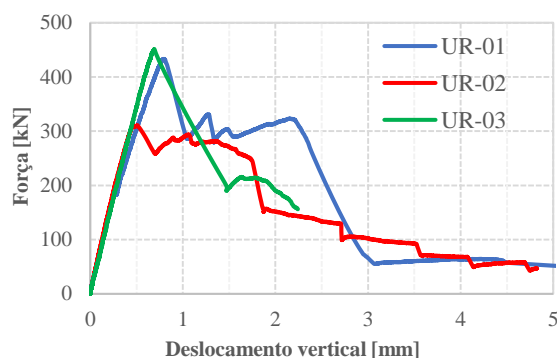


Fig. 6 | Resultados obtidos no ensaio que relaciona a força de corte com o deslocamento vertical obtidos nos provetes ensaiados (UR-01, UR-02 e UR-03).

O provete de parede UR-02 sofreu uma fissura diagonal principal ao longo da sua vertical, que após uma considerável propagação para as extremidades, levou ao colapso do provete de parede, conforme se ilustra na Figura 5 b). A força máxima de pico para este provete foi de 311,2 kN, e a deformação vertical correspondente foi de 0,51 mm.

O provete de parede UR-03 sofre uma rotura frágil imediatamente após atingir a força máxima de 451,5 kN para uma deformação vertical correspondente de 0,69 mm. O gráfico da Figura 6 demonstra esse colapso, onde após o pico de força ocorre uma queda abrupta no valor da força e uma deformação considerável sem leituras intermédias.

Os três provetes de parede mostraram-se consideravelmente resistentes, devido ao fato de a argamassa de assentamento utilizada na sua construção também apresentar essas características. Os resultados deste ensaio, assim como os mecanismos de rotura utilizados, mostram que o comportamento da parede é fortemente influenciado pela argamassa de assentamento utilizada. A Tabela 2 apresenta os resultados do ensaio de compressão diagonal, a resistência ao corte e o módulo de distorção calculados para cada provete de parede ensaiado. Os valores da resistência ao corte variam entre 1,0 - 1,5 MPa, conforme se apresenta no gráfico da Figura 7. Os mecanismos de rotura são diferentes e os valores obtidos são substancialmente elevados quando comparados com a resistência ao corte de alvenarias antigas construídas com argamassas de assentamento à base de cal aérea.

Tabela 2 | Resultados obtidos no ensaio de compressão diagonal dos provetes ensaiados

Identificação do provete de parede	Força máxima P_{max} [kN]	Tensão de corte S_s [MPa]	Deslocamento vertical correspondente na força máxima [mm]	Módulo de distorção G^* [GPa]
UR-01	433,30	1,40	0,79	2,28
UR-02	311,80	1,00	0,51	2,05
UR-03	451,50	1,47	0,69	2,04
Valor médio	398,87	1,29	0,66	2,12
Desvio-padrão	75,95	0,25	0,14	0,14
Coeficiente de variação	0,19	0,20	0,21	0,06

*o módulo de distorção é calculado usando a Equação (3), onde S_s e γ são os valores correspondentes para $P = \frac{P_{max}}{3}$

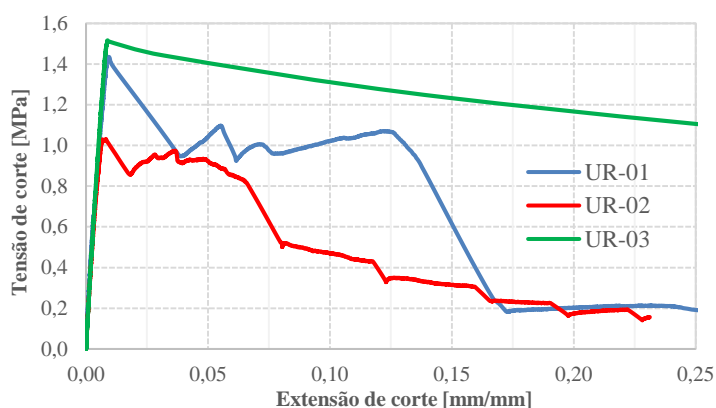


Fig. 7 | Resultados obtidos no ensaio que relaciona a tensão de corte com a extensão de corte obtidos nos provetes ensaiados (UR-01, UR-02 e UR-03).

3- COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO DIAGONAL ENTRE PAREDES DE ALVENARIA COM ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO À BASE DE CIMENTO E À BASE DE CAL AÉREA

Como referido anteriormente, os provetes de parede de alvenaria construídos com argamassa de cimento exibiram uma tensão de corte consideravelmente alta quando comparados aos resultados obtidos nos provetes de parede originais (extraídos diretamente de um edifício de alvenaria antigo), sendo constituídos pelo mesmo tipo de tijolo e argamassa de assentamento de cal aérea [6]. A Tabela 3 apresenta os resultados do ensaio de compressão diagonal obtidos nos provetes de parede originais (extraídos diretamente de um edifício de alvenaria antigo) [5, 6]. Os resultados demonstram que o valor médio da força máxima e da tensão de corte máxima nos provetes de parede originais são de 41 kN e 0,15 MPa, respectivamente. Os valores obtidos no ensaio de compressão diagonal em prove-

Tabela 3 | Resultados obtidos no ensaio de compressão diagonal dos provetes de parede originais com argamassa de assentamento à base de cal aérea [5, 6]

Identificação do provete de parede	Força máxima P_{max} [kN]	Tensão de corte S_s [MPa]	Modulo de distorção G [GPa]
M0M4	49,51	0,18	0,13
M0M5	37,48	0,14	0,06
M0M6	35,9	0,13	0,07
Valor médio	40,96	0,15	0,09
Desvio-padrão	7,44	0,03	0,04
Coefficiente de variação	0,18	0,17	0,43

tes de parede com argamassa de assentamento à base de cimento são de cerca de 400 kN e 1,3 MPa, respetivamente. Os resultados obtidos nos provetes de parede com argamassa de assentamento à base de cimento são aproximadamente dez vezes superiores do que os provetes de parede originais com argamassa de assentamento à base de cal aérea.

Em termos de módulo de distorção, os provetes de parede originais com argamassa de assentamento à base de cal aérea exibiram um valor bastante mais reduzido que os provetes de parede com argamassa de assentamento à base de cimento.

Os mecanismos de rotura de todos os provetes de parede originais (extraídos diretamente de um edifício de alvenaria antigo) exibiram uma rotura frágil, pelas interfaces das unidades de tijolos e as juntas de argamassa de assentamento. (denteada pela diagonal do provete).

Os mecanismos de rotura de todos os provetes de parede com argamassa de assentamento à base de cimento, embora frágeis, apresentam fissuras diagonais ao longo dos tijolos e juntas de argamassa (não denteadas pelas juntas de argamassas de assentamento).

A Figura 8 apresenta os mecanismos de rotura dos provetes de parede originais (extraídos diretamente de um edifício de alvenaria antigo) obtidos após a realização do ensaio de compressão diagonal.

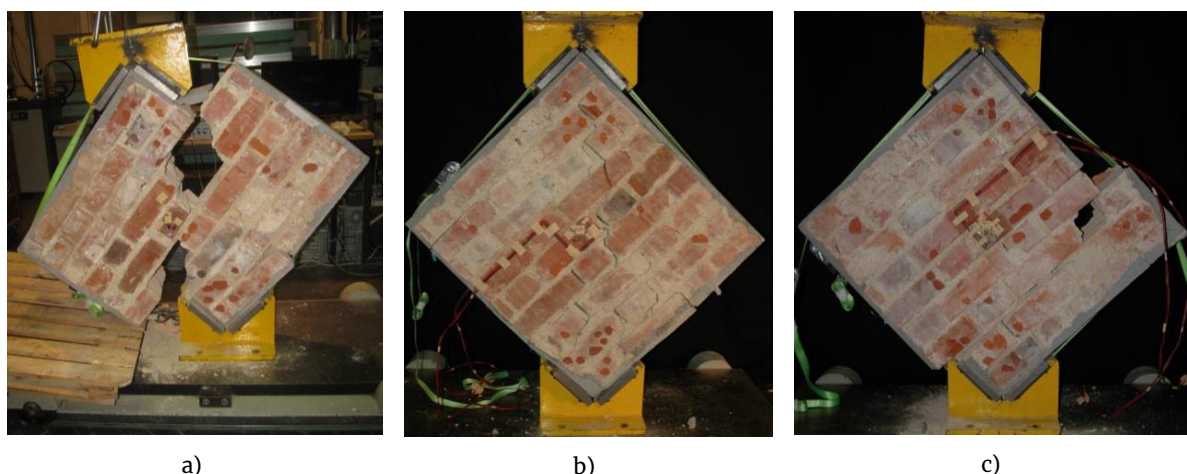


Fig. 8 | Mecanismos de colapso obtidos nos provetes originais de argamassa à base de cal aérea extraídas diretamente de um edifício [5]: a) M0M4, b) M0M5 e c) M0M6.

3- CONCLUSÕES

Para a reabilitação sísmica de edifícios antigos de alvenaria, os ensaios experimentais de caracterização mecânica têm uma importância fundamental. É através destes ensaios que se pode estudar o comportamento das paredes de alvenaria relativamente aos sismos. O ensaio de compressão diagonal é um tipo de ensaio de execução relativamente simples que permite a determinação da resistência ao corte e o módulo de distorção que são parâmetros essenciais para modelos numéricos que simulam o comportamento de paredes de alvenaria. Com este ensaio podemos também fazer análises comparativas do comportamento ao corte de paredes de alvenaria de diferentes tipos e tipologias, conforme se apresentou também neste trabalho. A caracterização mecânica de paredes de alvenaria resistente que compõem os edifícios “de placa” não está amplamente estudada. Assim, a campanha experimental realizada no âmbito do projeto RESIST-2020 fornece uma boa contribuição sobre o comportamento ao corte das paredes de alvenaria de tijolo cerâmico maciço e argamassa de assentamento à base de cimento que compõem os edifícios “de placa”. Para cumprimento desse objetivo, três provetes de parede de alvenaria com as dimensões de 86 x 86 x 25 cm³ foram construídos com tijolos originais (retirados de um edifício de alvenaria antigo) e argamassa de assentamento à base de cimento ao traço 1:5 (cimento:areia) e submetidos ao ensaio de compressão diagonal, realizado de acordo com a norma ASTM E519 / E519M-10 [4].

Os provetes de parede alvo de estudo, e que foram sujeitos a ensaios de compressão diagonal, apresentaram um comportamento frágil, porém com um valor elevado de resistência ao corte, de aproximadamente 1,3 MPa. Este valor é essencialmente atribuído às características da argamassa de assentamento à base de cimento, que contribuem de forma significativa para o comportamento monolítico da parede de alvenaria, isto é, o comportamento ao corte da parede funciona como um material homogêneo. Os mecanismos de rotura dos provetes de parede ensaiados apresentam fissuras na diagonal, típicas de roturas por corte.

Os resultados obtidos nos provetes de parede com argamassa de assentamento à base de cimento foram comparados com os resultados do ensaio de compressão diagonal dos provetes de parede originais (extraídos diretamente de um edifício de alvenaria antigo) [2, 6], construídos com o mesmo tipo de tijolo mas com argamassa de assentamento à base de cal aérea. Ambos os tipos de parede apresentaram um comportamento frágil, mas os últimos apresentaram valores de força máxima consideravelmente mais baixos e, conseqüentemente, uma menor resistência ao corte e um menor módulo de distorção. Os provetes de parede originais de argamassa de cal obtiveram uma resistência ao corte média de 0,15 MPa em enquanto os provetes de parede com argamassa de assentamento à base de cimento obtiveram uma resistência ao corte média de 1,3 MPa.

No que diz respeito ao reforço estrutural de paredes de alvenaria, a sua rigidez ao corte desempenha um papel importante na decisão sobre a(s) técnica(s) mais eficazes na redução da vulnerabilidade sísmica dessas paredes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Fundação para a Ciência e a Tecnologia – através do projeto “RESIST-2020 – Reabilitação Sísmica de Edifícios Antigos de Alvenaria-Betão”, PTDC/ECI-EGC/30567/2017.

Os ensaios experimentais foram realizados no LNEC (Laboratório Nacional da Engenharia Civil), Lisboa, Portugal.

REFERÊNCIAS

- [1] Sousa, M., Oliveira, C. S. e Costa, A. (2006). Caracterização do parque habitacional de Portugal Continental para estudos de risco sísmico. *Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas*. Número 55, pp. 35-50.
- [2] Pinho, Fernando F. S. (2008). *Paredes de edifícios antigos em Portugal*. Edições LNEC. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, pp. 61-90.
- [3] Arquivo Municipal de Lisboa (AFML). Núcleo Fotográfico. Portugal: Lisboa. Disponível em: <http://arquivomunicipal.cm-lisboa.pt>.
- [4] ASTM (2010). *ASTM E519-10. Standard test method for diaogonal tension (shear) in masonry assemblages*. s.l.: American Society for Testing and Materials. West Conshohocken: PA.
- [5] Marques A. I. (2020). *Reabilitação de edifícios antigos: redução da vulnerabilidade sísmica através do reforço de paredes*. Portugal: Lisboa. Instituto Superior Técnico. Tese de doutoramento.
- [6] Marques, A. I., Ferreira, J. G., Candeias, P. X. e Veiga, M. R. (2018). *Ensaio de compressão diagonal em paredes antigas de alvenaria de tijolo*. *Construção 2018*. Portugal: Porto.
- [7] IPQ (2011). *NP EN 772-1:2011 + A1:2015. Metodos de ensaio para unidades de alvenaria – Part 1: Determinação da resistência à compressão*. Instituto Português da Qualidade. Portugal: Caparica.
- [8] CEN (2019). *EN 1015-11:2019. Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*. Comité Europeu da Normalização. Bélgica: Bruxelas.