

Paredes de tabique submetidas à compressão vertical – proposta de ensaio *in situ* e interpretação dos resultados obtidos

Tabique walls subjected to vertical compression loads –
in situ test proposal and analysis of results

José Padrão

Rui Silva

António Arêde

João Miranda Guedes

Resumo

Apresenta-se o resultado de um ensaio de compressão realizado *in situ* numa parede de tabique, com o objetivo de determinar, à escala real, a sua capacidade resistente na situação com e sem reboco. O local de ensaio foi um edifício situado no centro da cidade do Porto representativo do património edificado antigo corrente desta cidade. A técnica de ensaio foi desenvolvida no Laboratório de Engenharia Sísmica e Estrutural (LESE) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) e o seu *set-up* foi concebido para ser um sistema modular adaptável às diferentes tipologias de paredes de tabique. Trata-se de um sistema autoequilibrado, isto é, que não introduz ações no edifício onde é utilizado e que aplica, num determinado comprimento, uma carga de compressão uniforme à parede ensaiada.

Abstract

The paper presents the result of a compression test carried out *in situ* on a light timber wall, referred to as tabique wall, in order to determine, on a real scale, its load bearing capacity, with and without plaster. The test site was a building located in the city center of Porto, representing the current old built heritage of this city. The testing technique was developed at the Laboratory of Earthquake and Structural Engineering (LESE) of the Faculty of Engineering of the University of Porto (FEUP) and its set-up was conceived to be a modular system adaptable to different types of tabique walls. It is a self-balancing system, that is, a system that introduces a self contained uniform compression load on a given length of wall.

Palavras-chave: Paredes de tabique / Ensaio de compressão *in situ* / Madeira / Comportamento estrutural

Keywords: Tabique walls / *In situ* compression test / Wood / Structural behavior

José Padrão

Departamento de Engenharia Civil da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu
Viseu – Portugal
CONSTRUCT-LESE, Faculdade de Engenharia
Universidade do Porto
Portugal
jpadrao@estgv.ipv.pt

Rui Silva

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

António Arêde

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

João Miranda Guedes

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

Aviso legal

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

Legal notice

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

PADRÃO, J. [et al.] – Paredes de tabique submetidas à compressão vertical – proposta de ensaio *in situ* e interpretação dos resultados obtidos. **Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas**. Ed. LNEC. Série III. n.º 17. ISSN 2183-8488. (novembro 2021) 39-48.

1 Introdução

A necessidade de reabilitar edifícios antigos construídos com recurso a paredes de tabique e a importância de se conhecer adequadamente as suas propriedades mecânicas, nomeadamente da sua estrutura de madeira como principal material resistente deste sistema construtivo, é a principal motivação para o desenvolvimento de ensaios *in situ* eficazes. A incerteza relacionada com o seu comportamento mecânico, bem como o desconhecimento do estado de conservação da madeira, realça a importância da realização deste tipo de ensaios.

O artigo apresenta o resultado de um ensaio de compressão realizado *in situ* em paredes de tabique, com o objetivo de determinar, à escala real, a resistência da estrutura de madeira (tábuas verticais e diagonais), principal elemento resistente deste tipo de paredes. A técnica de ensaio foi desenvolvida no Laboratório de Engenharia Sísmica e Estrutural (LESE) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) [1, 2] e o seu *set-up* foi concebido para ser um sistema modular adaptável a diferentes tipologias de paredes de alvenaria, tendo no presente caso sido adaptado ao ensaio de paredes de tabique. Trata-se de um sistema autoequilibrado, isto é, que não introduz ações no edifício onde é utilizado, e que aplica uma carga de compressão uniforme à parede ensaiada ao longo de um determinado comprimento.

O edifício e a parede de tabique ensaiada consideram-se representativos do património edificado antigo corrente da cidade do Porto. Por outro lado, como as paredes de tabique existentes no interior do edifício se destinavam a ser demolidas, previamente à realização do ensaio procedeu-se ao corte horizontal da estrutura do tabuado junto ao seu topo superior, para melhor garantir o controlo a força aplicada na parede ensaiada.

2 Ensaio de compressão *in situ*: sistema e procedimentos

A realização de ensaios de compressão *in situ* em paredes de estrutura de madeira não é comum. A pesquisa bibliográfica efetuada refere apenas a realização de campanha de ensaios em laboratório em paredes reais, ou em protótipos construídos à escala real com dimensões e respeitando os sistemas construtivos utilizados em paredes reais [3, 4]. Os testes *in situ*, comparativamente aos de laboratório, têm a vantagem de considerar o comportamento mecânico de paredes de tabique nas suas condições reais, em particular eventuais degradações materiais ou nas ligações que existam. A constituição das paredes de tabique, nomeadamente a disposição justaposta das tábuas verticais, torna o ensaio facilmente adaptável às suas diferentes tipologias [4, 5]. Esta modularidade permite de uma forma metódica e consistente estimar uma das propriedades mais importantes deste tipo de estruturas, a sua resistência a esforços de compressão vertical e, ao mesmo tempo, ao seu comportamento (deformada) para fora do plano por efeito de encurvadura.

A escolha das áreas/paredes a ensaiar deve ser realizada no início

do procedimento e deve-se evitar a ocorrência de excentricidades na imposição da carga. Os deslocamentos são medidos através de transdutores (dispostos na vertical e na horizontal), colocados nos dois lados da parede. Como se trata de ensaios *in situ* que têm de ser montados localmente, os equipamentos de ensaio foram idealizados para serem o mais leve e modulares possível. Assim, para o sistema de reação e carregamento foram adotados, pela sua forma e leveza, perfis metálicos da série UPN 200. Como se ilustra na Figura 1, os perfis (e consequentemente os módulos) têm 0,50 m de comprimento, podendo atingir um comprimento máximo de 2,00 m através da justaposição de 4 módulos.

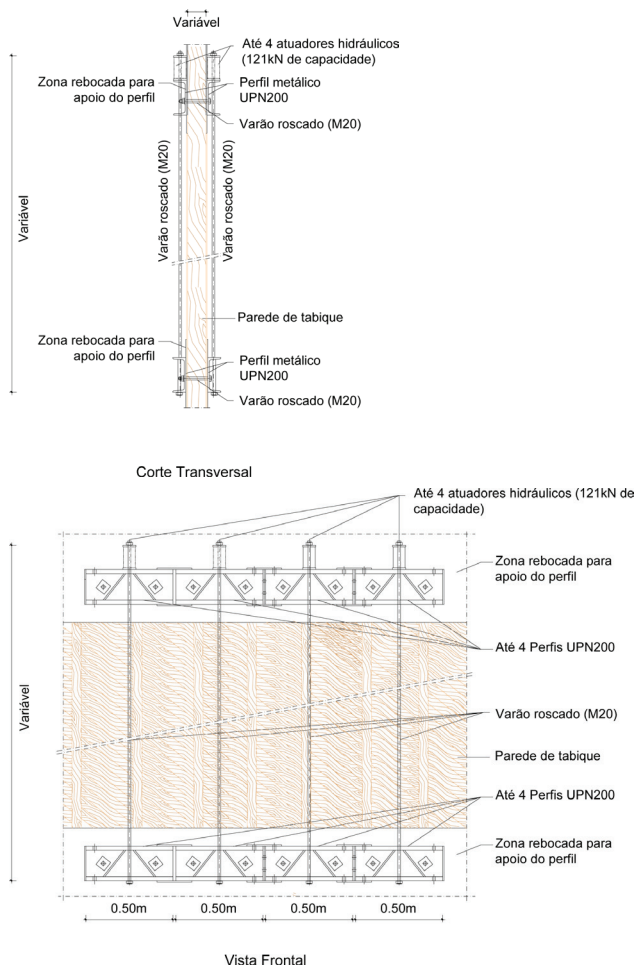
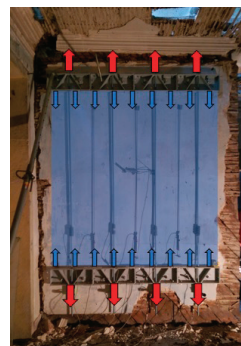


Figura 1 Esquema do *set-up* do ensaio: a) corte vertical e b) vista frontal

Os módulos são instalados nos dois lados da parede de tabique e a sua ligação é assegurada pela introdução e aperto de 2 varões de aço rosçado por pares de módulos. A verticalidade e planura das tábuas (e/ou do material de revestimento) permite um encosto uniforme e regular dos perfis na parede. Este sistema é instalado a

dois níveis horizontais colocados acima e abaixo da altura da parede a ensaiar, sendo a ligação entre os dois níveis garantida por um par de varões de aço rosçados, um em cada face da parede, que permite transmitir a carga entre eles. A força é introduzida nos varões através de pequenos macacos hidráulicos cilíndricos ligados em paralelo. Quando submetidos a tensão, os varões criam uma área comprimida entre os dois níveis da parede de tabique ensaiada (Figura 2).



a)



b)

Figura 2 Pormenor geral do esquema de ensaio: a) área comprimida e b) pormenor dos atuadores

O *set-up* prevê a utilização de, no máximo, 4 módulos justapostos com, no total, oito macacos hidráulicos, cada um com capacidade de 121 kN (968 kN no total), quando acionados por uma bomba hidráulica com pressão máxima de 700 bar e um curso máximo de 76 mm. A colocação de células de carga (com capacidade máxima de leitura de 100 kN) nos varões rosçados verticais permite a aquisição contínua da força aplicada em todas as etapas do ensaio.

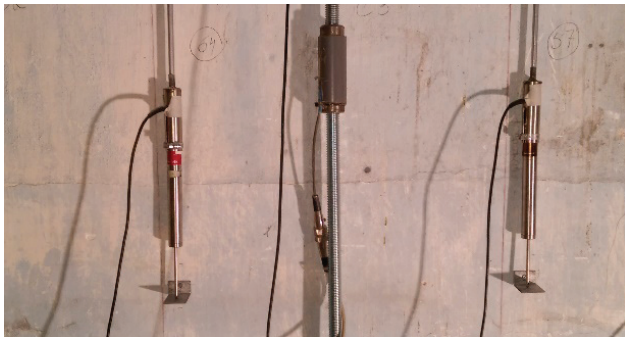
Em cada uma das faces da parede de tabique são instalados transdutores de deslocamento (TD), que registam continuamente as deformações verticais e horizontais. A aquisição das leituras, quer das células de carga, quer dos TD, é feita de forma contínua através de placas eletrónicas de aquisição de dados e de um computador portátil, permitindo o pós-processamento dos dados obtidos. A configuração do ensaio permite obter a resposta da parede às cargas verticais impostas, nomeadamente a sua resistência e deformabilidade. A Figura 3 ilustra a fase de montagem do *set-up*.



a)



b)



c)



d)



e)



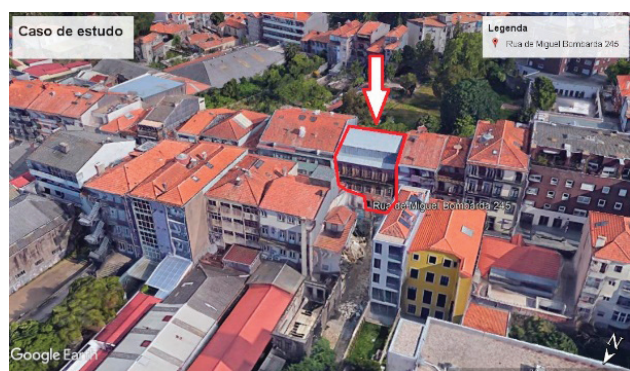
f)

Figura 3 Fases da montagem do ensaio: a) furação das tábuas verticais; b) colocação dos perfis UPN 200 e dos varões roscados (verticais e horizontais); c) colocação dos LVDT e das células de carga; d) pormenor do sistema hidráulico; e) escoramento de segurança (alçado nascente) e f) aspeto final do *set-up*

3 Caso de estudo

A escolha do caso de estudo foi determinada por uma questão de oportunidade. Com efeito, para o edifício escolhido estava prevista uma obra de reabilitação urbana em que se preconizava a demolição de todas as paredes de tabique interiores existentes, que neste caso apenas tinham uma função de compartimentação. Uma inspeção prévia permitiu constatar que as paredes de tabique existentes eram representativas do processo construtivo das paredes de tabique do Porto [6].

O edifício onde se realizou o ensaio situa-se no centro da cidade do Porto. Possuía uma cave e três pisos elevados. A cobertura era inclinada com duas vertentes. Trata-se de um edifício condizente com uma típica casa burguesa do Porto. As paredes exteriores são em alvenaria de granito com folha dupla e uma espessura de 0,60 m. As paredes interiores divisórias eram de tabique. A estrutura dos pavimentos e a da cobertura era de madeira maciça.



a)



b)

Figura 4 Localização do caso de estudo; a) vista aérea (imagem retirada de Google Earth Pro) e b) fachada principal do edifício

Apresentava um estado de degradação avançado (num número significativo de pavimentos existiam apenas algumas das vigas principais), nomeadamente nos pisos superiores e nas escadas de acesso (em madeira maciça), (Figura 5). O revestimento original da

cobertura (em telha cerâmica) tinha sido removido e substituído por chapas metálicas simples, com o objetivo de proteger o interior do edifício da chuva enquanto não se iniciava a obra que iria decorrer. Este facto impediu a realização de ensaios experimentais nos pisos superiores, tendo-se optado por realizar a campanha experimental no piso térreo com a escolha de uma parede de tabique junto à entrada principal do edifício (maior facilidade de colocação do material, mais luminosidade, acesso facilitado, etc.).



a)



b)

Figura 5 Estado geral do edifício há data do ensaio: a) na zona da parede ensaiada e b) no pavimento do 1.º piso

A parede de tabique escolhida possuía um comprimento total de 2,48 m e uma altura livre de 3,5 m. Era uma parede de tabique de tabuado duplo, constituída por uma camada de tábuas verticais, com uma espessura média de 30 mm, sobreposta a uma camada de tábuas dispostas na diagonal com 15 mm de espessura (ver Figura 6). As ripas tinham seção retangular com uma espessura de 6 mm (ver Tabela 1). A argamassa de enchimento e revestimento era feita à base de saibro e cal, totalizando uma espessura total de cerca de 35 mm. Todos os valores apresentados são valores médios. No total, a parede de tabique possuía uma espessura de cerca de 100 mm. A ligação entre as tábuas e entre as tábuas e as ripas

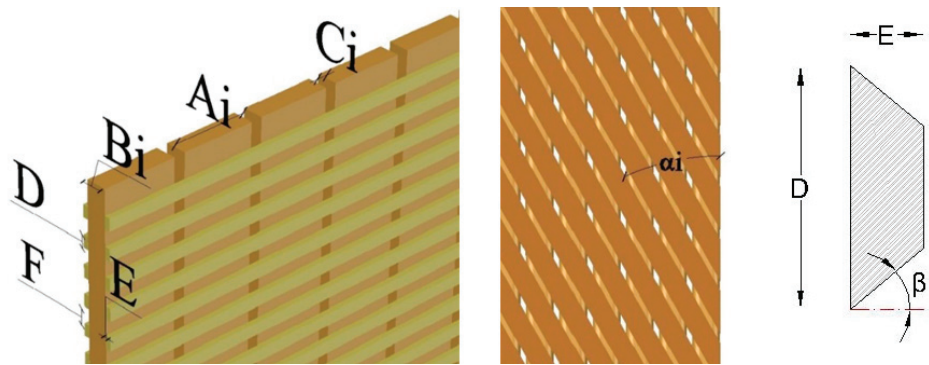


Figura 6 Esquema construtivo da parede de tabique ensaiada

Tabela 1 Dimensões médias dos elementos que compunham a parede de tabique

Espessura total da parede de tabique (mm)	Espessura média da camada de revestimento (mm)	Caracterização das tábuas verticais (X1) / Diagonais (X2)							Caracterização ripas			
		A1 (mm)	A2 (mm)	B1 (mm)	B2 (mm)	C1 (mm)	C2 (mm)	α (°)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	β (°)
Parede de tabique dupla												
100	35	250	250	30	15	20	20	30°	25	6	50	0°



a)



b)

Figura 7 Alçado da parede de tabique: a) com e b) sem o reboco de revestimento

era efetuada através de pregos. A parede de tabique não possuía qualquer ligação com a parede de alvenaria adjacente. Esta parede foi ensaiada duas vezes: com e sem o reboco de revestimento (Figura 7).

4 Instrumentação

Como referido anteriormente, foram colocados vários transdutores de deslocamento (TD) nas duas faces de cada parede para registar, de forma contínua, os deslocamentos verticais (três em cada face) e horizontal (um em cada face), de acordo com a Figura 8. A variação no número de módulos a utilizar é justificada pelo comprimento da parede disponível para cada teste. No presente ensaio foram utilizados 4 módulos, ou seja 4 varões verticais por face, prefazendo um número total de 8 atuadores hidráulicos e 8 células de carga. O afastamento entre alinhamentos horizontais de módulos, ou seja, a altura de parede ensaiada foi de 2,12 m. A carga foi aplicada de forma monotónica e controlada recorrendo a uma válvula proporcional eletrónica de pressão disponível na central hidráulica. A obtenção das leituras das células de carga e dos TDs foi realizada de forma contínua conforme já referido anteriormente.

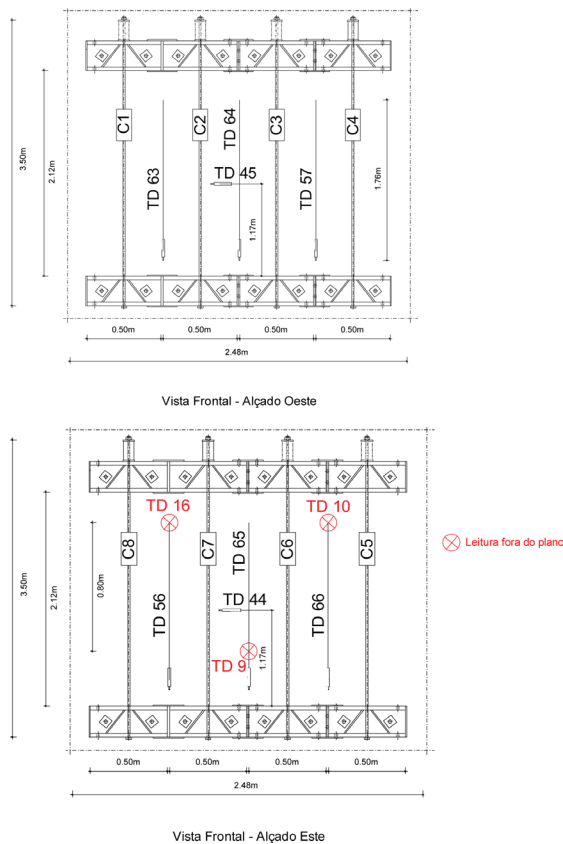


Figura 8 Set-up do ensaio de compressão: esquema com posicionamento dos TDs por alçado

Os TDs foram considerados de acordo com a sua posição relativa na parede, designada a partir de agora por alinhamento, tendo

sido agrupados os resultados dos TDs correspondentes ao mesmo alinhamento da parede em faces opostas, nomeadamente:

- Alinhamento 1 (vertical norte): TD 63 / TD 66;
- Alinhamento 2 (vertical central): TD 64 / TD 65;
- Alinhamento 3 (vertical sul): TD 57 / TD 56;
- Alinhamento 4 (horizontal central): TD 45 / TD 44.

Com base nos resultados obtidos, foi determinada a curva força vertical-extensão vertical média, permitindo a detetar zonas mais rígidas em cada painel bem como estimar a influência das condições de contorno nos resultados. Para medir o deslocamento para fora do plano da parede de tabique foram colocados 3 TDs: os TD 10 e TD 16 a uma cota superior e o TD 9 a uma cota intermédia, que utilizaram uma parede contígua de alvenaria de granito como referência fixa. A distância entre a parede de tabique e a parede de alvenaria era de 1,92 m. O posicionamento dos TDs é apresentado na Figura 8 e na Figura 7b.

5 Apresentação e análise dos resultados obtidos

A parede de tabique foi ensaiada à compressão para 2 situações distintas: parede com e sem reboco. A Figura 9 apresenta o gráfico (força por metro linear vs. extensão vertical, sendo extensões positivas as de compressão) com os resultados obtidos, por TD e considerando os valores médios (a tracejado) por alçado, para as duas situações. Nestes gráficos percebe-se que a encurvadura ocorreu com a face côncava no alçado Este.

A Figura 10 apresenta o gráfico com o valor da carga de compressão (por unidade de comprimento) vs. extensões médias verticais, que permite determinar o módulo de rigidez inicial (i.e. EA, em que E se refere ao módulo de elasticidade e A à área da seção transversal com 1 m de desenvolvimento) da parede nas duas situações avaliadas e que se apresentam na Tabela 2. Destas curvas infere-se que a carga crítica das paredes (carga de encurvadura – P_{crit}) é aproximadamente igual a 48 kN/m e a 33 kN/m, nos casos com e sem reboco de revestimento (ver Tabela 2), evidenciando que o reboco contribui em mais 43% para a carga crítica. De forma idêntica, na Tabela 2 reportam-se os valores do módulo de rigidez axial (EA), mostrando que o reboco incrementa a rigidez em cerca 40%.

Tabela 2 Resultados obtidos através dos ensaios

Parede de tabique	Espessura (m)	P_{crit} (kN/m)	Módulo de Rigidez axial – EA (kN/m)
Com reboco	0,10	47,83	74033
Sem reboco	0,045	33,46	53033

Estes ensaios permitiram, assim, avaliar as características de resistência (cargas críticas) e de rigidez axial vertical da parede de tabique, abrindo horizontes para, numa eventual campanha de

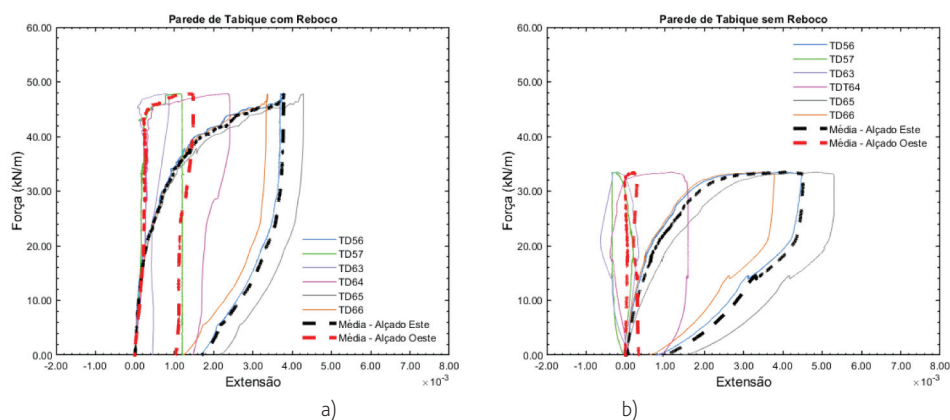


Figura 9 Gráfico força vertical vs extensão na parede de tabique: a) com reboco e b) sem reboco

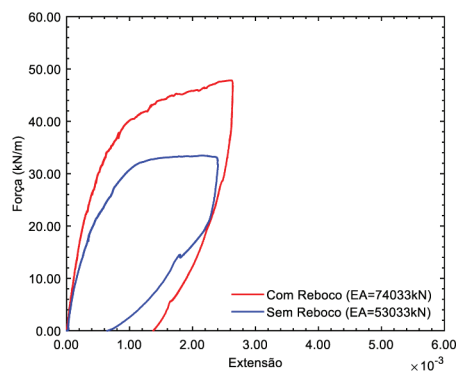


Figura 10 Gráfico força vertical vs extensão média na parede de tabique

reabilitação de paredes de tabique com características e dimensões idênticas, estimar o potencial destas paredes para funcionarem como elementos portantes, principais, ou secundários.

6 Conclusões

A realização do ensaio de compressão *in situ* numa parede de tabique utilizando o *set-up* desenvolvido no LESE mostrou a eficácia e potencialidades deste sistema neste tipo de ensaios. Os procedimentos do ensaio são de fácil execução e o tempo de ensaio é relativamente curto. Apesar de ser a primeira vez que o ensaio foi aplicado neste tipo de paredes, os dois ensaios (parede com e sem reboco) foram realizados no mesmo dia. Relativamente aos resultados, verifica-se um acréscimo de cerca de 43% da carga crítica devido ao reboco em relação à parede apenas com a estrutura de madeira. Por outro lado, a rigidez axial apresenta um acréscimo de 40% no caso da parede de tabique com reboco. Como a capacidade

de carga das paredes de tabique é normalmente desprezada, este estudo dá uma ideia da ordem de grandeza da sua contribuição em relação à resistência à compressão vertical. Tomando como referência um edifício de habitação com vãos médios de 4,5 metros, o acréscimo de resistência à ação vertical é de 1,71 kN/m² (valor da ação permanente) em paredes de tabique revestidas com 3 metros de altura.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por: Financiamento Base – UIDB/ /04708/2020 e Financiamento programático – UIDP/04708/2020 da Unidade de Investigação CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções - financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

Os autores agradecem aos técnicos do Laboratório de Engenharia Sísmica e Estrutural – LESE pelo apoio na preparação dos ensaios.

Referências

- [1] Silva, Rui (2019) – Mechanical characterization of stone masonry walls of Porto region: experimental and numerical contributions. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, PhD Thesis.
- [2] Silva, Rui *et al.* (2019). A Novel Approach to the *in situ* Compression Testing of Stone Masonry Walls. *Structural Analysis of Historical Constructions*, pp. 741-750.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-99441-3_80
- [3] Rebelo, A. *et al.* (2015) – Assessment of the Mechanical Behaviour of Tabique Walls through Experimental Tests. 2nd International Conference on Historic Earthquake-Resistant Timber Frames in the Mediterranean Region – H.Ea.R.T.2015, LNEC, Lisboa, Portugal.
- [4] Padrão, J. *et al.* (2019) – Experimental Characterization of Mechanical Behaviour of Existing Tabique Walls Under Compressive and Shear Loading. In: Aguilar, R., Torrealva, D., Moreira, S., Pando, M.A., Ramos, L.F. (eds) *Structural Analysis of Historical Constructions*. RILEM Bookseries, vol 18. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-99441-3_61.
- [5] Padrão, J. *et al.* (2020) – As paredes de tabique em Viseu – Detalhes construtivos e caracterização material. *RPEE – Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas*, série III, n.º 14, pp. 71 a 84.
- [6] Teixeira, J.J.L. (2014) – Salvaguarda e Valorização do Edifício Habitacional da Cidade Histórica. Metodologia de Intervenção no Sistema Construtivo da Casa Burguesa do Porto. Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto, PhD Thesis.

