

# Avaliação experimental do comportamento mecânico de paredes de tabique

Experimental assessment of mechanical behaviour of *tabique* walls

Mafalda Amorim  
João Miranda Guedes  
Bruno Quelhas  
Tiago Ilharco

## Resumo

Um grande número de edifícios construídos em Portugal até os anos 40 e 50 do século XX, tradicionalmente em alvenaria de pedra e com pavimentos e cobertura em estrutura de madeira, apresenta paredes interiores, nalguns casos exteriores, em tabique. Trata-se de elementos muito esbeltos, constituídos por tábuas de madeira verticais e/ou diagonais justapostas, e por vezes sobrepostas, sobre as quais existe um ripado horizontal que recebe o reboco. Apesar da sua forte presença, as paredes de tabique são vulgarmente consideradas como elementos secundários substituíveis, sem valor material/mecânico/estrutural particular. Este artigo quantifica o “valor estrutural” destas paredes, apresentando resultados de uma campanha de ensaios experimentais à compressão e de ensaios experimentais ao corte no plano sob compressão constante realizada no LESE-FEUP, em protótipos de paredes de tabique à escala real. Estes resultados evidenciam o potencial destas paredes para funcionarem como elementos portantes e/ou de contraventamento horizontal.

## Abstract

A large number of buildings built in Portugal until the 40s and 50s of the 20th century, traditionally made of masonry walls and with timber floors and roof structures, has interior partition walls, and sometimes exterior walls, in *tabique*. These are very slender elements, consisting of vertical and/or diagonal timber boards juxtaposed, sometimes overlapping, on which there are horizontal slats that receive the plaster. Despite their strong presence, *tabique* walls are commonly regarded as replaceable secondary elements with no particular material/mechanical/structural value. This paper quantifies the “structural value” of these walls, presenting results of a campaign of experimental compression tests and in-plane shear-compression tests performed in LESE-FEUP, in real-scale *tabique* walls prototypes. These results evidence the potential of these walls to function as load bearing and/or horizontal bracing elements.

Palavras-chave: Paredes de tabique / Ensaio à compressão / Ensaio ao corte /  
/ Reabilitação

Keywords: *Tabique* walls / Compression tests / Shear-compression tests /  
/ Rehabilitation

## Mafalda Amorim

Engenheira Civil (MIEC)  
FEUP  
Porto, Portugal  
omaa@fe.up.pt

## João Miranda Guedes

Professor Auxiliar  
FEUP  
Porto, Portugal  
jguedes@fe.up.pt

## Bruno Quelhas

Engenheiro Civil (Ph.D.)  
NCREP – Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda.  
Porto, Portugal  
bruno.quelhas@ncrep.pt

## Tiago Ilharco

Engenheiro Civil (M.Sc.)  
NCREP – Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda.  
Porto, Portugal  
tiago.ilharco@ncrep.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.*

AMORIM, M. [et al.] – Avaliação experimental do comportamento mecânico de paredes de tabique. **Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas**. Ed. LNEC. Série III. n.º 10. ISSN 2183-8488. (julho 2019) 51-62.

## 1 Introdução

Em Portugal atravessa-se um período de grande atividade de reabilitação, nomeadamente de edifícios construídos até meados do século XX. Trata-se de edifícios tipicamente constituídos por paredes resistentes de alvenaria e pavimentos e coberturas em estrutura de madeira, e representam uma tipologia construtiva cujo valor histórico-cultural importa reconhecer, valorizar e preservar. Como tal, as ações de reabilitação destas tipologias construtivas devem apoiar-se em procedimentos que incluam levantamentos prévios exaustivos das características e do estado de conservação das existências [1]. Para isso, é fundamental que a comunidade técnica que atua no terreno conheça estas tipologias, os materiais e as técnicas construtivas associadas, os elementos estruturais que as sustentam e o seu comportamento face às solicitações a que estão sujeitos.

O trabalho apresentado neste artigo contribui para um maior conhecimento da comunidade técnica e científica sobre as características mecânicas de um dos elementos estruturais menos valorizados nestas edificações: as paredes de tabique. Apesar da sua forte presença no interior de edifícios antigos, Figura 1 [2,3], são vulgarmente consideradas como elementos secundários substituíveis, sem valor material/mecânico/estrutural particular. Contribui para esta perceção a desvalorização da madeira como material estrutural e o facto de na maioria das situações estas paredes funcionarem como elementos de partição sem uma função estrutural clara, propositada. Apesar disso, assumem muitas vezes funções estruturais, auxiliando no suporte dos pavimentos de madeira sobrejacentes, quer intencionalmente, quer como resultado da deformação/fluência da estrutura de madeira dos pavimentos que acabam ao longo dos anos por se apoiar nessas paredes [4]. Nalguns casos, quando bem ligadas à estrutura dos pavimentos, funcionam como tirantes, suspendendo parcialmente os pavimentos inferiores.

A consulta da bibliografia, nomeadamente [5]-[12], permitiu obter informação importante sobre as características geométricas e mecânicas dos componentes isolados que constituem as paredes de tabique. De um modo geral, e embora existam variantes, os tabiques apresentam duas tipologias distintas: tabique simples e tabique duplo. Estes dois tipos de paredes são construtivamente análogos, variando na forma como são posicionadas e distribuídas as tábuas principais, habitualmente costaneiras e assim designadas por serem retiradas das laterais dos troncos: o tabique simples apresenta apenas tábuas verticais e o tabique duplo apresenta um conjunto de tábuas diagonais sobrepostas e pregadas às anteriores. Em qualquer um dos casos, as tábuas são posicionadas lado a lado criando intervalos que são preenchidos por terra, ou por argamassa de cal. Este sistema de tábuas é normalmente enquadrado por prumos verticais localizados nas zonas das aberturas (portas e janelas), ou eventualmente em zonas centrais das paredes, delimitando painéis de menores dimensões. Sobre este conjunto de tábuas existem ripas de secção transversal habitualmente trapezoidal pregadas na horizontal (vulgarmente designadas por fasquio), sobre as quais é aplicada a argamassa/reboco de acabamento à base de cal.

Contudo, existe ainda muito pouca informação experimental sobre o comportamento mecânico das paredes de tabique no seu conjunto, fator que motiva e justifica largamente o presente

trabalho de investigação. Recentemente foram realizados estudos numéricos que apontam para que as paredes de tabique possam apresentar um bom comportamento quando submetidas a cargas verticais e a cargas horizontais no plano sob compressão constante [13,14]. Em particular, mostram que uma parede de tabique constituída por um alinhamento único de tábuas verticais com 4,0 cm de espessura e 3,0 m de altura, sem reboco, possa apresentar uma capacidade resistente à compressão de 46,4 kN/m. Relativamente ao corte no plano, esse estudo aponta para que a capacidade resistente seja particularmente sensível à tipologia da parede, nomeadamente à existência, ou não, de tábuas diagonais pregadas sobre as tábuas verticais. Considerando paredes com a mesma espessura e altura total, a existência das tábuas diagonais fez aumentar consideravelmente a rigidez horizontal, passando de 997 kN/m para 23363 kN/m, ou seja, para um valor cerca de 23 vezes superior.



(a)



(b)

**Figura 1** Interior de edifícios antigos com paredes de tabique e pavimentos em estrutura de madeira no Porto: a) paredes de tabique com reboco; b) paredes de tabique após remoção do reboco (créditos: NCREP)

O presente artigo suporta estes estudos numéricos, apresentando resultados de uma campanha experimental realizada no Laboratório de Engenharia Sísmica e Estrutural (LESE) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) sobre protótipos de paredes de tabique à escala real com o apoio técnico do NCREP, Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda. ([www.ncrep.pt](http://www.ncrep.pt)) e financeiro das empresas CS Construtora ([www.csconstrutora.com](http://www.csconstrutora.com)) e PORTILAME ([www.portilame.com](http://www.portilame.com)).

## 2 Campanha experimental

### 2.1 Caracterização geométrica e material dos modelos de paredes

Foram ensaiadas 4 paredes de tabique designado como simples (PTS) e 4 paredes de tabique designado como duplo (PTD), com 3,0 m de altura por 2,5 m de comprimento, construídas com *Pinus pinaster* (espécie de madeira mais comumente utilizada no contexto das paredes de tabique), Figura 2. Os espécimes construídos retratam de forma representativa, média, as paredes de tabique existentes nas construções antigas, em particular na cidade do Porto, quer nas dimensões quer na disposição dos seus elementos [15].

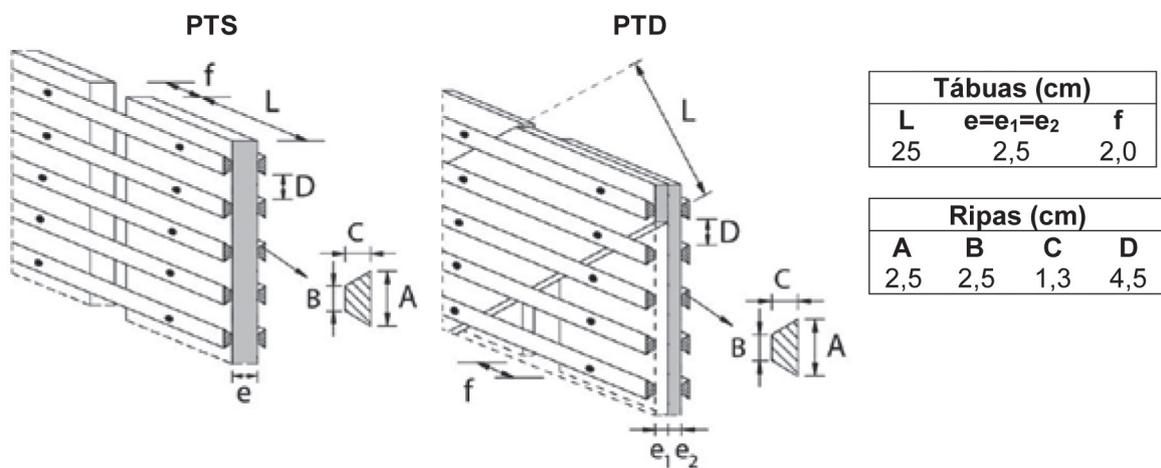
A designação de tabique simples e duplo está associada ao número de camadas de tábuas de madeira que constituem o esqueleto principal portante destas paredes. No presente caso, as PTS são constituídas por um conjunto de 9 tábuas verticais justapostas e separadas entre si de cerca de 2,0 cm. Já as PTD, sobre o conjunto de tábuas verticais apresentam uma camada de 35 tábuas diagonais com diferentes comprimentos que pregam contra as tábuas verticais, utilizando pregos de aço com cabeça, corpo quadrangular com 3 mm de lado e 6,5 cm de comprimento. As tábuas diagonais são dispostas nas duas direções, fazendo um ângulo de cerca de 60° em relação à horizontal, e descrevem um desenho geométrico, Figura 2c e d. Na ligação, foram utilizados 2 a 3 pregos em cada cruzamento entre tábuas.

A Figura 3 apresenta as dimensões médias dos elementos dos modelos físicos de ambas as tipologias testadas. Não se introduziu qualquer material de enchimento ou revestimento, tal como se ilustra na Figura 4b. Nas PTS, e sobre a fileira de tábuas verticais é pregado um fasquio (no presente caso de secção retangular,  $A = B$ ) constituído por ripas de secção trapezoidal e utilizando pregos de aço com cabeça, corpo quadrangular com 2,0 mm de lado e 4,0 cm de comprimento. Foi utilizado um prego na ligação de cada ripa a cada tábua; na extremidade de cada ripa existe um prego, independentemente de já existir, ou não, um outro prego a ligar a ripa à tábua onde se efetua a emenda. Tal como se encontra *in situ* em paredes reais, existem ripas mais largas, com 6,0 cm de largura, dispostas a cerca de 1/3 e 2/3 da altura da parede; neste caso foram utilizados dois pregos na ligação de cada uma destas ripas a cada tábua.

Nas extremidades superior e inferior da parede existem frechais com 8x8 cm<sup>2</sup> pregados às tábuas (sentido de pregagem: das tábuas para o frechal, Figura 2a, tal como era efetuado *in situ*) utilizando pregos de aço com cabeça, corpo quadrangular com 3,5 mm de lado e 7,5 cm de comprimento. As PTD apresentam a mesma estrutura,



**Figura 2** Construção das paredes de tabique em fábrica: a) PTS ligação das tábuas ao frechal; b) PTS pregagem do fasquio à fileira de tábuas verticais; c) PTD pregagem das tábuas diagonais contra as tábuas verticais; d) PTD pregagem do fasquio (créditos: Andreia Rebelo)



**Figura 3** Dimensão média dos elementos de madeira constituintes das paredes (adaptado de [13])

diferindo apenas na existência das tábuas diagonais, dispostas a 60° em relação à horizontal, que pregam e se sobrepõem às tábuas verticais. Mais informação sobre estas paredes pode ser encontrada em [15].

## 2.2 Setup experimental no LESE

Os ensaios foram realizados no LESE da FEUP, no âmbito de duas dissertações de mestrado [15,16], tiveram o apoio técnico do NCREP e foram financiados pelas empresas CS Construtora e PORTILAME. O *setup*, Figuras 4 e 5, procurou representar as condições de fronteira das paredes de tabique encontradas *in situ*. O sistema é composto por dois atuadores que se encontram representados esquematicamente na Figura 4a: um vertical situado no piso inferior e que utiliza o pavimento como estrutura de reação; e um horizontal ligado a um pórtico vertical de reação. A carga vertical é exercida através da tração de dois varões verticais que transmitem a força a um cabeço metálico que a desmultiplica em 4 forças iguais equidistantes que foram aplicadas no topo da parede e que, de acordo com [15], exercem na parede um efeito aproximadamente equivalente ao do carregamento uniformemente distribuído que era pretendido aplicar-se. A desmultiplicação da força é conseguida através dum sistema constituído por três perfis metálicos (Figura 4) de 2,0 m e 1,0 m de comprimento. Cada varão vertical contém duas “rótulas”, Figura 5a, que permitiram que, durante o deslocamento horizontal do topo da parede nos ensaios ao corte sob compressão constante, a força vertical fosse aplicada sem distorção do *setup*.

Uma base em madeira fixada ao pavimento com recurso a quatro perfis metálicos, um em cada extremidade, encastra o frechal inferior dos protótipos numa calha, Figura 5b. Durante os ensaios, estes frechais são impedidos de se deslocar nas direções horizontal e vertical através de uma estrutura metálica que abraça as extremidades dos frechais à base, Figura 5b. Este esquema obriga as tábuas da parede a deslocarem-se em relação ao frechal, *i.e.*, a solicitar os pregos da ligação, tal como se julga acontecer numa situação real. O frechal superior das paredes encaixa no negativo de uma viga/cabeço de madeira idêntico ao da viga central da estrutura da base, Figura 5c. Para bloquear o deslocamento do topo da parede para fora do seu plano, construiu-se um pórtico metálico que suportava três “braços” horizontais em consola (Figura 5c) que tocavam no cabeço de madeira através de esferas em três pontos na face anterior da parede e em dois pontos na face posterior, e adicionaram-se três escoras diagonais como elementos suplementares de travamento.

A pressão/força vertical exercida pelo atuador durante o ensaio foi medida por uma célula de carga interna do próprio atuador e por duas células de carga externas colocadas uma em cada varão vertical. Por sua vez, para medir a pressão/força horizontal aplicada foi interposta uma célula de carga entre o êmbolo do atuador horizontal e a parede. Para avaliar as deformações das paredes durante os ensaios, mediram-se, com recurso a transdutores de deslocamento (LVDT – Linear Variable Differential Transformers), deslocamentos horizontais, verticais e diagonais de um conjunto de

pontos distribuídos na parede, conforme se ilustra na Figura 6. Foi ainda medida a rotação do cabeço de madeira (que coincide com a rotação do frechal superior) em torno dos dois eixos horizontais com recurso a um clinómetro que foi colocado no centro do cabeço.

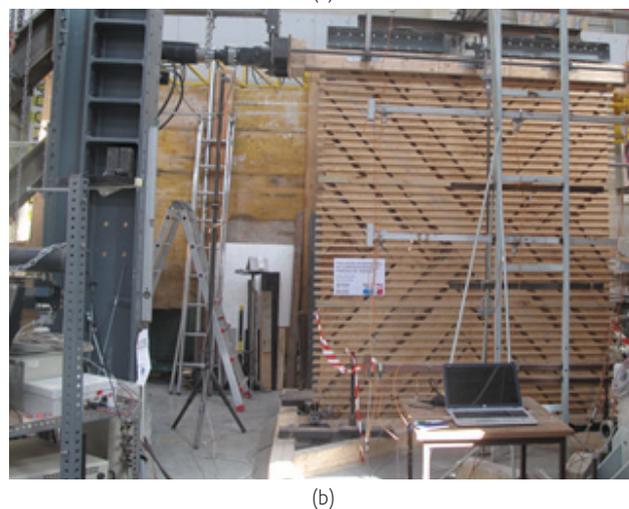
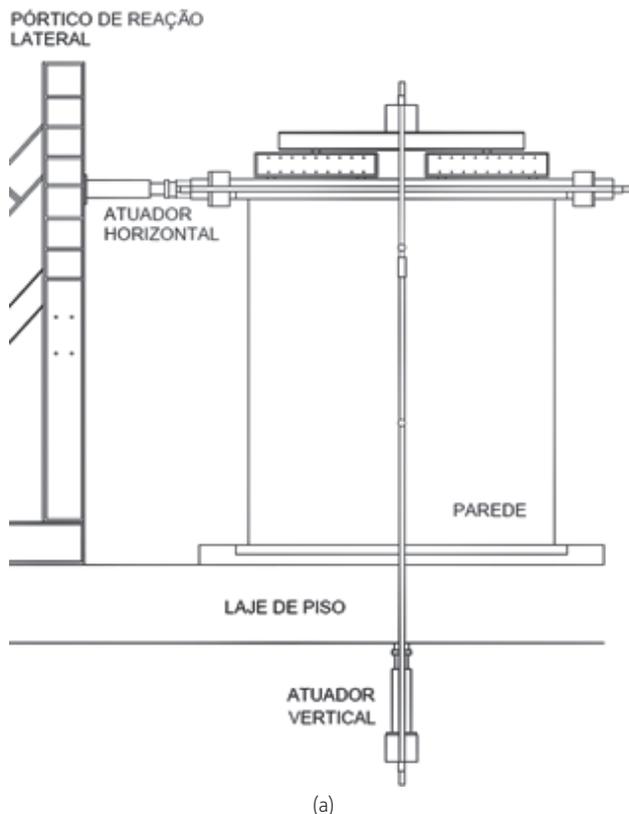
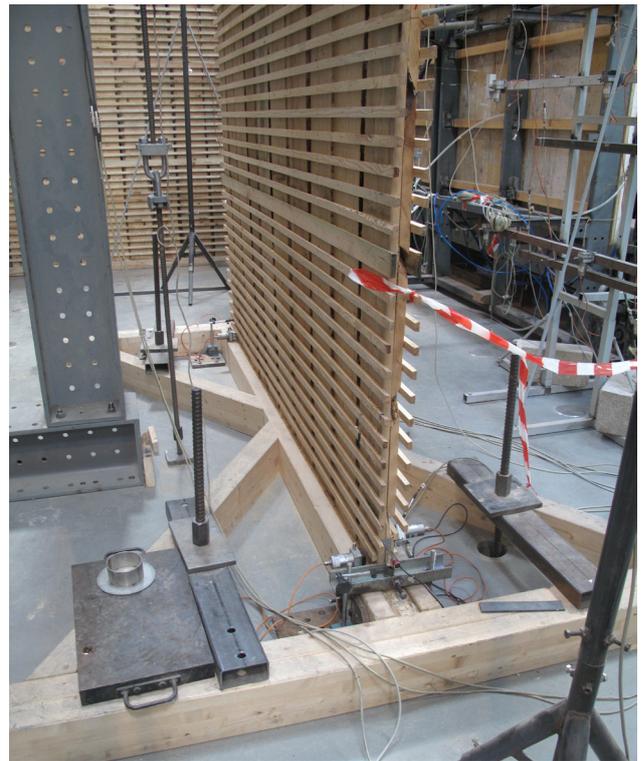


Figura 4 Setup experimental no LESE: a) esquema em alçado; b) vista geral



(a)



(b)



(c)

Figura 5 Detalhes do *setup* experimental

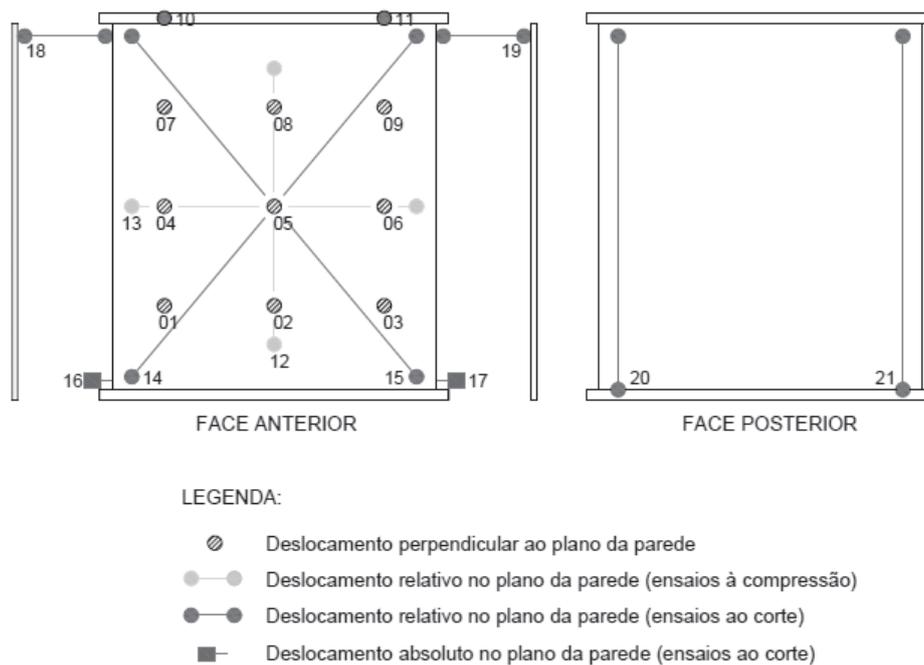


Figura 6 Posicionamento dos LVDT nas paredes durante os ensaios

Todos os ensaios foram realizados com controlo de deslocamentos. Os ensaios de compressão terminaram quando a respetiva curva força vertical aplicada vs. deslocamento vertical medido tendeu para uma linha horizontal. A força vertical máxima exercida nessas condições é referida no texto como carga crítica. No caso dos ensaios de corte, os ensaios terminaram quando: (i) a curva força horizontal aplicada vs. deslocamento horizontal medido tendeu para uma linha horizontal, (ii) o deslocamento horizontal obtido se considerou representativo de uma situação de dano claro, ou (iii) o deslocamento máximo do atuador foi atingido. Em qualquer dos casos, intencionalmente os ensaios pararam antes da rotura das paredes e sem causar danos importantes nas estruturas para que pudessem ser facilmente reabilitadas e reutilizadas em novas campanhas experimentais.

Antes da apresentação dos resultados, importa salientar que as paredes de tabique (i) são compostas pela justaposição/sobreposição de elementos de madeira, ou seja, de elementos constituídos por um material natural com defeitos inerentes, e (ii) encaixam-se no grupo dos *non-engineered elements*, ou seja, são elementos estruturais que seguem procedimentos construtivos, mas sem um dimensionamento associado. É por isso expectável que as paredes de tabique apresentem uma maior variabilidade no comportamento estrutural e nos resultados obtidos nos ensaios mecânicos, relativamente a outros materiais mais fiáveis e/ou elementos estruturais de dimensionamento regulamentarmente estabelecido.

## 2.3 Resultados experimentais

### 2.3.1 Ensaio de compressão

Foram realizados oito ensaios experimentais de compressão no plano: dois monotónicos (MC) e dois cíclicos (CC) em cada tipologia de parede de tabique. Cada ensaio consistiu na aplicação de uma carga vertical descendente, igualmente distribuída em 4 pontos equidistantes, no plano e no topo da parede. A força vertical foi imposta com controlo de deslocamento que foi aplicado a uma velocidade constante de 0,01 mm/s durante a carga e 0,05 mm/s durante a descarga. A Figura 7 apresenta as curvas força vertical aplicada vs. deslocamento vertical medido obtidas para ambas as tipologias de parede de tabique [15].

A partir dos resultados experimentais apresentados na Figura 7 e na Tabela 1 extraíram-se as seguintes principais conclusões:

- a carga crítica de Euler, ou carga crítica de encurvadura ( $P_{cr}$ ) das PTS e das PTD é cerca de 20,0 kN/m e 22,6 kN/m, respetivamente;
- as PTD, com o dobro da espessura das PTS, ou seja, com metade da esbelteza, apresentam uma carga crítica que é, em média, apenas cerca de 15% superior à carga crítica das PTS. Este resultado mostra que as tábuas diagonais possuem capacidade para resistir às ações verticais muito inferior à das tábuas verticais;

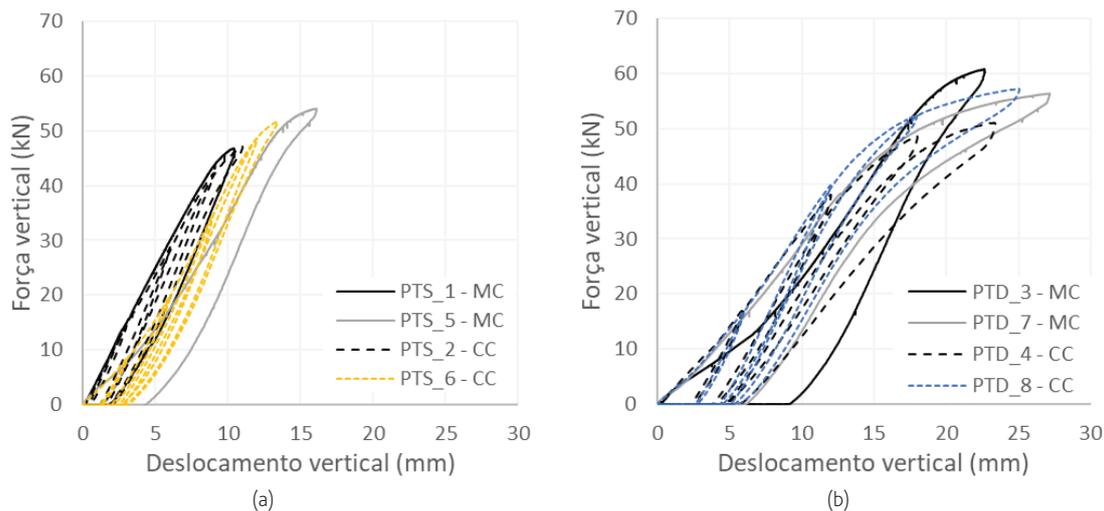


Figura 7 Força vertical aplicada vs. deslocamento vertical medido: a) PTS; b) PTD

- utilizando os ensaios cíclicos como referência, os deslocamentos residuais imediatamente após a descarga foram cerca de 18% e 26% dos respetivos deslocamentos máximos para as PTS e para as PTD, respetivamente. No entanto, estes deslocamentos tenderam a diminuir ao longo do tempo;
- a rigidez à compressão na fase elástica (inicial) das PTS, considerando a espessura total da parede, é maior do que a rigidez das PTD. A menor rigidez das PTD reflete o *layout* não simétrico das tábuas em relação ao plano médio da parede e à posição de carga. Como o lado das tábuas diagonais é mais flexível às forças verticais, promove a flexão da parede, antecipando o fenómeno de encurvadura;
- como consequência do ponto anterior, e dos maiores deslocamentos verticais impostos, as PTD exibem maiores deformações de flexão para fora do plano quando comparadas com as PTS, como se mostra na Figura 8.

Os resultados expressos pelos perfis transversais da Figura 8 mostram ainda que as paredes rodam em ambas as extremidades. Apesar de a estrutura da fundação poder impedir a rotação do frechal inferior, não impede a rotação das tábuas, ou seja, a ligação entre as tábuas e o frechal inferior (através de pregos, como acontece na realidade) é flexível; restringe, mas não impede completamente que as tábuas rodem em torno do frechal.

Quanto ao frechal superior, o *setup* foi estabelecido para permitir a sua rotação livre. Note-se, no entanto, que o *setup* não conseguiu evitar deslocamentos residuais para fora do plano, no instante da carga máxima aplicada. Finalmente, importa referir que, após a descarga, as PT recuperam a sua forma inicial (os deslocamentos residuais após a descarga tenderam para zero ao longo do tempo), confirmando que os ensaios não causaram danos relevantes nas paredes.

Tabela 1 Carga crítica vertical das paredes

PT	Carga crítica vertical		Carga crítica vertical média (kN/m)	
	(kN)	(kN/m)		
PTS	PTS_1 – MC	46,8	18,7	20,0
	PTS_2 – CC	47,2	18,9	
	PTS_5 – MC	54,0	21,6	
	PTS_6 – CC	51,7	20,7	
PTD	PTD_3 – MC	60,8	24,3	22,6
	PTD_4 – CC	51,2	20,5	
	PTD_7 – MC	54,6	22,6	
	PTD_8 – CC	57,3	22,9	

Em termos comparativos com os resultados das simulações numéricas efetuadas em [13] em paredes de tabique com a mesma altura de 3,0 m, conclui-se que o valor experimental obtido se encontra dentro dos valores expectáveis, estimados com base na relação entre inércias e comprimentos de encurvadura. Em particular, o rácio entre as cargas críticas do protótipo PTS experimental e numérico:  $(20,0 \text{ kN/m} / 46,4 \text{ kN/m}) = 0,43$ , é idêntico ao rácio entre as espessuras dos dois protótipos ao cubo (relação entre inércias), multiplicado pela relação inversa entre os comprimentos de encurvadura:  $(2,5 \text{ cm} / 4,0 \text{ cm})^3 \times (3,0 \text{ m} / (0,7 \times 3,0 \text{ m})) = 0,35$ . Nesta operação supõe-se que o protótipo experimental tem,

de algum modo, a rotação da base restringida/encastrada e não rotulada como acontecia no protótipo numérico.

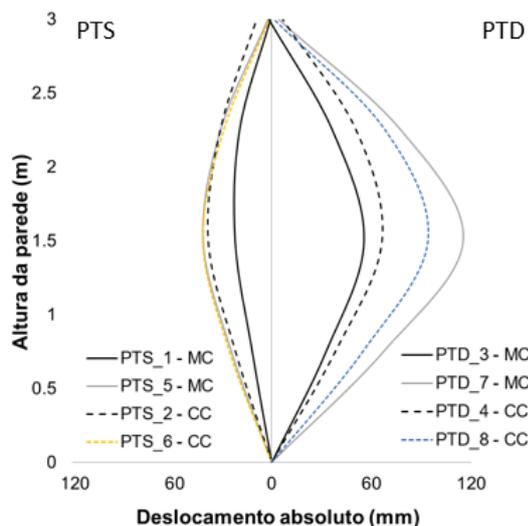


Figura 8 Perfis/deslocamentos transversais das 8 PT no instante de aplicação da força vertical máxima

### 2.3.2 Ensaios de corte com compressão constante

Foram realizados oito ensaios experimentais de corte no plano sob compressão constante: dois monotónicos (MC) e dois cíclicos (CC) em cada tipologia de parede de tabique. Cada ensaio consistiu na aplicação de uma carga horizontal variável no topo e plano da

parede combinada com uma carga vertical descendente que se manteve constante ao longo de todo o ensaio. A carga horizontal pretende simular uma eventual ação, ou evento que possa causar impulsos horizontais sobre a parede; a carga vertical representa a ação gravítica resultante da descarga de um pavimento de madeira, da estrutura de um telhado e/ou de outras eventuais paredes de tabique, em condições de serviço. No presente caso, foi aplicada uma carga vertical de 10 kN que pretende representar o peso-próprio e a sobrecarga aplicada num pavimento de madeira com 5,0 m de vão que utiliza a parede como apoio intermédio.

Nos ensaios monotónicos, a força foi aplicada com controlo de deslocamento e a uma velocidade constante de 0,01 mm/s durante a carga e 0,04 mm/s durante a descarga. Nos ensaios cíclicos foi adotada a lei de deslocamentos horizontais indicada na Tabela 2, com ciclos de amplitude crescente e velocidade variável por ciclo, e repetindo cada ciclo duas vezes. O deslocamento horizontal foi considerado positivo quando se empurra a parede, *i.e.* quando se move a parede na direção oposta à do atuador [16].

Como primeira conclusão, os ensaios mostram que as duas tipologias de paredes de tabique apresentam comportamentos distintos. Quando sujeitas a ações horizontais, as PTS comportam-se como uma sequência de elementos verticais (tábuas) independentes que rodam em torno da base, Figura 9a. A ligação entre as tábuas conferida pelos frechais superior e inferior e pelas barras horizontais (fasquio) apenas obrigam as tábuas a inclinar-se da mesma forma, fazendo com que a parede sofra, essencialmente, distorção por corte. Este comportamento é confirmado pela leitura do gráfico da Figura 10a que mostra deslocamentos relativos simétricos medidos pelos dois LVDT dispostos na diagonal. Salienta-se que este resultado é válido para as condições ensaiadas, *i.e.* para as paredes sem qualquer reboco de revestimento.

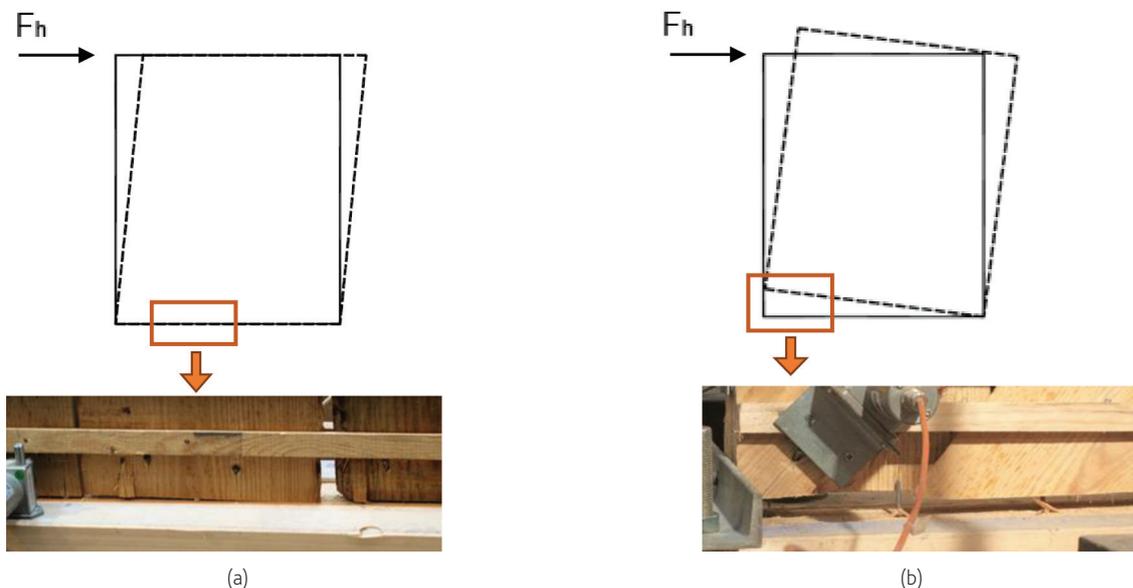
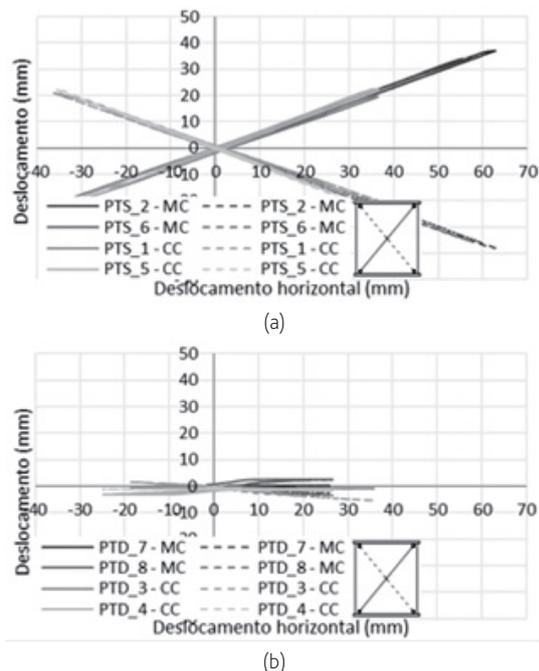


Figura 9 Comportamento experimental das paredes submetidas à carga horizontal ( $F_h$ ), incluindo fotografias da base para o instante de aplicação da carga horizontal máxima: a) PTS; b) PTD

**Tabela 2** Lei de deslocamentos imposta nos ensaios cíclicos de corte com compressão constante

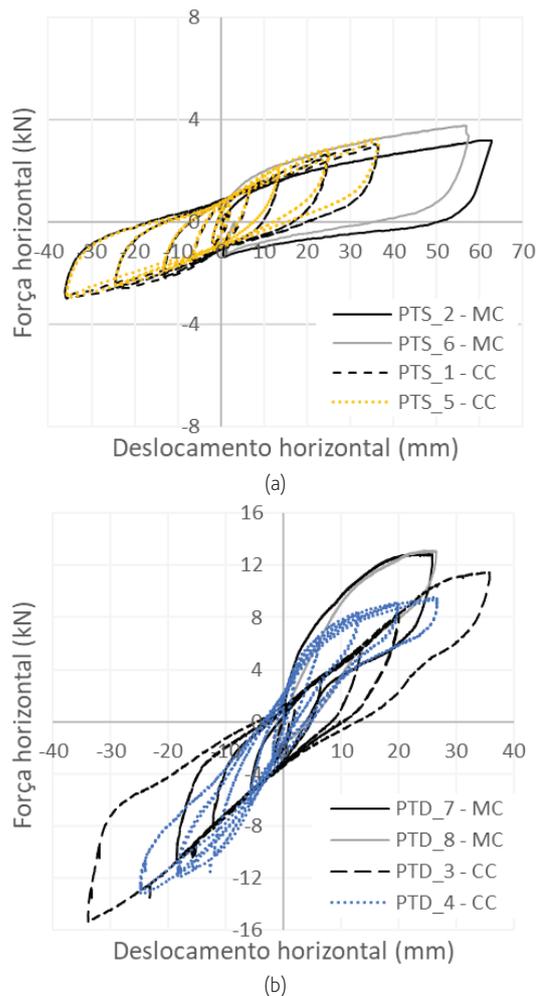
Ciclo	Amplitude do deslocamento horizontal (mm)		Velocidade de aplicação (mm/s)
	PTS	PTD	
1 - 2	2,5	2,5	0,04
3 - 4	7,5	7,5	0,06
5 - 6	15,0	15,0	0,08
7 - 8	27,5	22,5	0,08
9 - 10	40,0	30,0	0,08

Ao contrário das PTS, as tábuas verticais das PTD estão bem ligadas entre si e funcionam em conjunto graças à contribuição das tábuas diagonais que providenciam o comportamento monolítico esquematizado na Figura 9b. Os deslocamentos quase nulos medidos pelos LVDT dispostos na diagonal, Figura 10b, e o destacamento da parede em relação ao frechal inferior, Figura 9b, confirmam o movimento de corpo rígido, sem distorção relevante ocorrido nas PTD. O levantamento da parede para o instante de carga máxima aplicada variou entre 9 mm e 12 mm.



**Figura 10** Deslocamento diagonal relativo medido no plano vs. deslocamento horizontal imposto: a) PTS; b) PTD

Estes dois comportamentos distintos justificam as curvas força horizontal aplicada vs. deslocamento horizontal medido obtidas e apresentadas na Figura 11 (alerta-se para a escala diferente em que foram representadas). A Tabela 3 apresenta os valores máximos da força horizontal aplicada e do deslocamento horizontal medido e ainda o deslocamento horizontal residual obtido, para cada ensaio.



**Figura 11** Força horizontal aplicada vs. deslocamento horizontal medido: a) PTS; b) PTD

**Tabela 3** Força horizontal máxima aplicada e deslocamentos horizontais máximos e residuais medidos

	PT	Força horizontal (kN)	Deslocamento horizontal (mm)	Deslocamento residual (mm)
PTS	PTS_2 - MC	3,2	62,8	50,0
	PTS_6 - MC	3,8	57,5	35,1
	PTS_1 - CC	3,1 / -3,0*	36,0 / -36,0*	-
	PTS_5 - CC	3,3 / -3,0*	35,7 / -34,9*	-
PTD	PTD_7 - MC	12,9	25,9	4,0
	PTD_8 - MC	13,1	26,6	4,5
	PTD_3 - CC	11,5 / -15,3*	35,8 / -33,9*	-
	PTD_4 - CC	9,5 / -13,2*	26,7 / -24,8*	-

\*Valores correspondentes a empurrar/puxar a parede

As curvas anteriores mostram a diferente capacidade resistente horizontal das paredes PTS e PTD e salientam o seu comportamento bi e trilinear, respetivamente. A cada regime "linear" corresponde uma rigidez horizontal tangente distinta (rácio entre variação de força horizontal e correspondente variação de deslocamento horizontal), nomeadamente valores médios em situação de carga no regime "linear" inicial de 240 kN/m para as PTS e 1100 kN/m para as PTD, e de 45 kN/m e 70 kN/m para as mesmas paredes no regime "linear" final. Consta-se ainda que:

- graças ao contributo das tábuas diagonais, as PTD, com o dobro da espessura das PTS, têm uma capacidade para resistir a ações horizontais cerca de 3,5 vezes superior. Faz-se notar que este rácio é bastante inferior ao obtido nas simulações numéricas referidas em [13], já que esses resultados não tiveram em consideração o levantamento do frechal em relação à base, situação que determina e influencia fortemente o comportamento das PTD;
- o valor médio do deslocamento horizontal máximo aplicado às PTS sem atingir dano visível foi de 60 mm, enquanto nas PTD o deslocamento atingido nas mesmas condições foi cerca de metade desse valor, ou seja, as PTS aparentam ser capazes de acomodar maiores deslocamentos;
- ao contrário das PTS, as PTD apresentam alguma heterogeneidade na forma das curvas força horizontal aplicada vs. deslocamento horizontal medido. No entanto, ambas as PTD responderam com maior capacidade resistente no sentido negativo de aplicação da ação horizontal e esse resultado está relacionado com as condições do *setup*; ao empurrar a parede, a extremidade oposta do frechal superior move-se mais para fora do plano do que quando a parede é puxada, exigindo menor carga para provocar o mesmo deslocamento;
- entre ciclos, a redução de resistência para a mesma amplitude é quase nula, indicando que as paredes não sofreram danos significativos. A redução de rigidez observada, embora pouco significativa, resulta do "desgaste" das ligações, em particular das tábuas do frechal inferior cujos pregos são continuamente pregados e despregados durante os movimentos cíclicos.

### 3 Conclusões

O artigo apresenta os resultados de uma campanha experimental de ensaios à compressão e de ensaios ao corte sob compressão constante realizada no LESE, FEUP, em paredes de tabique representativas de duas tipologias construtivas diferentes: paredes de tabique simples (PTS) e duplo (PTD). Estes resultados constituem ferramentas fundamentais de apoio a modelos de intervenção sustentados no conhecimento do verdadeiro comportamento dos materiais e elementos estruturais; contribuem para a valorização desta técnica construtiva e apoiam a manutenção das paredes de tabique nas construções reabilitadas.

Em particular, os resultados dos ensaios realizados mostram que as paredes de tabique, mesmo sem o reboco de revestimento, apresentam uma boa capacidade portante a cargas verticais. Com efeito, as PTS, com tábuas verticais de 2,5 cm de espessura, e as PTD, com tábuas verticais de 2,5 cm de espessura mais tábuas

diagonais de 2,5 cm de espessura, apresentam cargas verticais críticas de encurvadura médias de cerca de 20,0 kN/m e 22,6 kN/m, respetivamente. Note-se, no entanto, que as PTD, com o dobro da espessura das PTS, apresentam uma carga crítica que é apenas cerca de 15% maior (em média) do que a carga crítica das PTS, mostrando que a contribuição das tábuas diagonais para a capacidade resistente a ações verticais é muito inferior à das tábuas verticais.

No que diz respeito aos ensaios ao corte no plano das paredes sob compressão constante, os resultados mostram que o comportamento das paredes de tabique é condicionado, em primeiro lugar, pela existência ou não de tábuas diagonais pregadas às tábuas verticais e, em segundo, pelas ligações pregadas entre as tábuas e o frechal inferior. Os valores máximos médios da força e do deslocamento horizontais aplicados às PTS foram de 3,5 kN e 60 mm, respetivamente, enquanto as PTD apresentaram valores de 12,6 kN e 30 mm. Estes resultados mostram que as PTD resistem a uma carga horizontal aproximadamente 3,5 vezes superior, embora as PTS sejam capazes de acomodar maiores deslocamentos. De facto, quando submetidas a cargas horizontais, as PTD respondem com uma rigidez horizontal inicial cerca de cinco vezes superior à das PTS. Estes resultados mostram que as tábuas diagonais são fundamentais para a capacidade resistente ao corte no plano das paredes de tabique, permitindo que estas paredes possam funcionar como elementos de contraventamento horizontal.

Por fim, importa salientar que esta campanha experimental mostra que as paredes de tabique têm capacidade para desempenhar um papel estrutural importante no comportamento global das construções onde estão inseridas, devendo a sua remoção ser devidamente ponderada e justificada. Decisões que contemplem a sua remoção arbitrária para dar lugar a novos elementos devem por isso ser combatidas.

### Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por: Projeto POCI-01-0145-FEDER-007457 - CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construções, financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do COMPETE2020 – Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI), e por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P.; Bolsa FCT SFRH/BPD/88115/2012. Os autores agradecem também a colaboração do NCREP ([www.ncrep.pt](http://www.ncrep.pt)), bem como o apoio financeiro da PORTILAME ([www.portilame.com](http://www.portilame.com)) na construção dos protótipos e da CS CONSTRUTORA ([www.csconstrutora.com](http://www.csconstrutora.com)) na realização dos ensaios.

### Referências

- [1] ICOMOS – *Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage*. By Int. Scientific Committee for Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage, 2003.
- [2] Fernandes, F. B. – *Transformação e permanência na habitação portuense. As formas da casa na forma da cidade*, FAUP Publicações, 1999.

- [3] Teixeira, J. – *Salvaguarda e Valorização do Edifício Habitacional da Cidade Histórica. Metodologia de Intervenção no Sistema Construtivo da Casa Burguesa do Porto*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto (FAUP), 2014.
- [4] Pinto, J. et al. – “Save the tabique construction” em *Structural rehabilitation of old buildings*, edited by A. Costa, Guedes, J., Varum, H., Springer, 2014, p. 157-185.
- [5] Padrão, J. et al. – “A contribution for tabique walls characterization”. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International conference on safety and durability of structures*. 10th-12th May 2016, UTAD, Vila Real, Portugal.
- [6] Cardoso, R. et al. – “Building details of a tabique dwelling in Trás-os-Montes e Alto Douro region”. *XII DBMC: 12<sup>th</sup> International Conference on Durability of Building Materials and Components*, FEUP, Porto, Portugal, 2011.
- [7] Pinto, J. et al. – “Tabique construction characterization in Douro North Valley, Portugal: A first step to preserve this architectural heritage”. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> WSEAS International Conference on Urban Rehabilitation and Sustainability*, URES'09, 2009.
- [8] Cardoso, R. – *Caracterização da construção em tabique de Lamego e Alto Douro*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia, Universidade da Beira Interior (UBI), 2013.
- [9] Carvalho, J. – *Construções em tabique na região de Trás-os-Montes e Alto Douro*. Dissertação de Mestrado, Escola de Ciências e Tecnologia (ECT), Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), 2009.
- [10] Cepeda, A. – *Construções de tabique existentes na associação de municípios do Alto Tâmega*. Dissertação de Mestrado, Escola de Ciências e Tecnologia (ECT), Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), 2009.
- [11] Martinho, J. – *Construção de tabique na Associação de Municípios da Terra Fria do Nordeste Transmontano*. Dissertação de Mestrado, Escola de Ciências e Tecnologia (ECT), Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), 2010.
- [12] Pinto, R. – *Caracterização das paredes de tabique do centro histórico de Viseu*. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu (ESTGV), Instituto Politécnico de Viseu (IPV), 2013.
- [13] Pires, A. et al. – “Análise de paredes de tabique: estudo numérico”. *Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas, rpee* | Série III | n.º 1 |, pp 55-66, julho de 2016.
- [14] Guedes, J. et al. – “Análise de medidas de reforço de paredes de tabique. Estudo numérico”. *Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas, rpee* | Série III | n.º 8 | p. 71-82, novembro de 2018.
- [15] Rebelo, A. – *Avaliação das características mecânicas de paredes de tabique à compressão no plano*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 2015.
- [16] Amorim, M. – *Avaliação experimental do comportamento de paredes de tabique ao corte no plano*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 2016.