

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/305411935>

# CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DE LIGADORES EM PAREDES DE TIJOLO FACE À VISTA...

Conference Paper · January 2016

CITATIONS

0

READS

12

3 authors, including:



[Andreia Martins](#)

University of Minho

18 PUBLICATIONS 14 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Graça Vasconcelos](#)

University of Minho

144 PUBLICATIONS 623 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



ASPASSI - Safety evaluation and retrofitting of infill masonry enclosure walls for seismic demands

[View project](#)



INSYSME [View project](#)

All content following this page was uploaded by [Andreia Martins](#) on 19 July 2016.

The user has requested enhancement of the downloaded file. All in-text references [underlined in blue](#) are added to the original document



## **CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DE LIGADORES EM PAREDES DE TIJOLO FACE À VISTA À TRAÇÃO E À COMPRESSÃO**

### **Andreia Martins**

Estudante  
doutoramento  
Univ. Minho  
Guimarães-  
Portugal

### **Graça Vasconcelos**

Prof. Auxiliar  
Univ. Minho  
Guimarães-  
Portugal

### **Alfredo Campos Costa**

Investigador  
Principal  
LNEC,  
Lisboa-Portugal

### **SUMÁRIO**

O comportamento à compressão e à tração em paredes de alvenaria de fachada foi analisado através de uma campanha experimental. Foi desenvolvido um estudo localizado, precisamente na parte da ligação existente, através de conectores, entre uma parede de tijolo face à vista e uma parede de alvenaria de enchimento, que em situações reais se encontra inserida num pórtico de betão armado estrutural.

Amostras de ligações quer da parede de tijolo face à vista, quer da parede de enchimento foram submetidos individualmente a carregamentos monotónicos de tração e cíclicos tração-compressão, simulando de alguma forma os carregamentos para fora do plano da parede de fachada. Este trabalho experimental teve como objetivos: (i) avaliar a influência de diferentes características dos ligadores, nomeadamente espessura, geometria e rigidez; (ii) avaliar um método de aplicação alternativo (ancoragem química) possível de adaptar a soluções de reabilitação e (iii) descrever e catalogar os tipos de rotura e comportamento de todas as soluções.

Os resultados experimentais deste estudo demonstraram que existem determinados parâmetros que têm mais importância no desempenho da ligação, contribuindo assim para uma melhor compreensão do comportamento das ligações submetidas a diferentes tipos de carga.

### **ABSTRACT**

The tension and compression behavior on masonry veneer walls was analyzed by an experimental campaign. A local study was considered, namely at existing connection through connectors between a brick veneer wall and brick masonry infill, which in real situations is inserted in a reinforced concrete frame (RC), the backing support.

The subassemblies were individually subjected to tension and compression loads under monotonic and cyclic loading, simulating out-of-plane loading of veneer wall

systems. This experimental study aimed to: (i) evaluate the influence of different characteristics of wall ties, including thickness, geometry and stiffness; (ii) evaluate an alternative attaching method (chemical anchoring) possible to adapt in rehabilitation solutions and (iii) describe and catalog the types of failures modes and behavior of all solutions.

The experimental results of this study demonstrated that there are parameters that have more importance on the performance of the connection, contributing to a better understanding of the behavior of this system under different load types.

**PALAVRAS-CHAVE:** Parede de tijolo face à vista, conetores, comportamento à compressão e tração e modos de rotura.

## 1. INTRODUÇÃO

As paredes de alvenaria de fachada são usadas frequentemente na construção residencial em várias partes do mundo, como por exemplo na América do Norte, Austrálias, Inglaterra e sul de Europa. As características comuns neste tipo de edificado tem a ver com a sua aparência estética, durabilidade e desempenho térmico. O tipo de parede de alvenaria de fachada neste tipo de estudo é composto por dois panos de alvenaria conectados por ligadores. A parede exterior é constituída por elementos de tijolo face à vista conectados a um sistema de suporte. Este sistema de suporte é caracterizado por estruturas de madeira e aço primordialmente em países do norte da Europa, América e Austrália e por paredes de alvenaria de enchimento inseridas em pórticos de betão armado em países do sul da europa. O sistema de suporte tem como principal função resistir às cargas transferidas pela parede exterior através dos conetores/ligadores pois esta é considerada não estrutural. Os conetores são geralmente de aço e podem ter diferentes formas e geometria.

As forças de inércia dos sismos atuam quer ao nível estrutural do edifício quer ao nível da parede de alvenaria de fachada. Neste sentido, a rigidez dos ligadores desempenham um papel importante na distribuição e absorção de carga [1, 2]. Tendo em conta que estas paredes tem revelado sinais vulneráveis quando sujeitas a sismos recentes, nomeadamente uma vasta fissuração diagonal e, particularmente, destacamento de uma ou duas paredes do sistema [3], é importante analisar o desempenho do sistema a nível local e a nível global, a fim de compreender o comportamento das paredes do sistema.

Diversos estudos tem sido desenvolvidos no âmbito da análise de paredes de tijolo face à vista conectado a sistemas de madeira essencialmente. O desempenho sísmico do sistema de paredes de tijolo face à vista depende do desempenho dos ligadores no que respeita à sua deformação e rutura (arrancamento e/ou fratura por fadiga dos ligadores) [4]. Para entender melhor o desempenho mecânico e contribuição de ligadores, ensaios de corte monotónicos e cíclicos foram realizadas pelo Zisi and Bennett (2011) [5], considerando subconjuntos de madeira conectados a tijolos. O tipo de ligadores, a excentricidade de fixação, o método de fixação (parafuso ou prego), a posição do ligador em relação à junta vertical e a quantidade de fixadores na madeira ao longo do ligador foram parâmetros avaliados neste estudo. Pormenores de construção, os tipos de ligadores, os fixadores adotados, bem como a configuração de ensaio apresentam-se na Figura 1. A partir dos resultados experimentais obtidos, foi possível concluir que o tipo de ligador e a excentricidade de fixação foram considerados os fatores mais importantes para o comportamento ao corte da ligação. Por outro lado, a localização do ligador em relação à junta vertical, o tipo e número de fixadores foram parâmetros menos importantes no comportamento ao corte da ligação [5]. Outros autores, Choi e LaFave, (2004) [6] e Reneckis e LaFave, (2009) [4], também desenvolveram ensaios semelhantes, demonstrando o mesmo tipo de comportamento. Por outro lado, também desenvolveram ensaios de tração e compressão a fim de analisar a influência da espessura do ligador, posição do ligador em relação à junta vertical, tipos de fixação do ligador (parafuso e prego), tipo de carregamento (monotónico e cíclico), excentricidade de fixação, bem como o comprimento de embebimento do ligador na junta de argamassa horizontal. Foi possível concluir que a

Caracterização experimental do comportamento de ligadores metálicos em 2  
paredes de tijolo face à vista à tração e compressão

espessura do ligador e excentricidade de aplicação afetaram a rigidez de tração, enquanto que o comprimento e tipo de fixação na madeira afetaram principalmente a força de arrancamento.

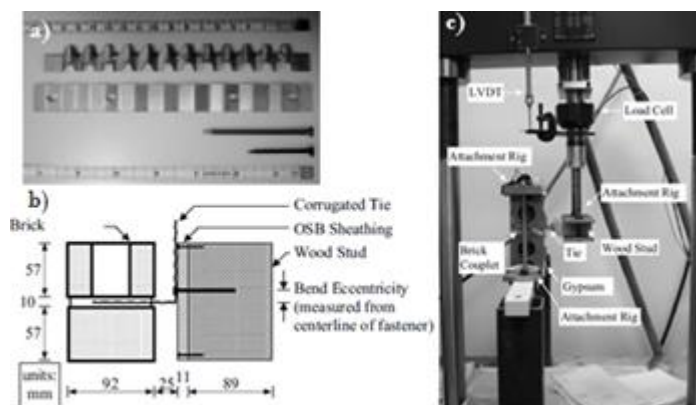


Figura 1: Detalhes das conexões em ensaio ao corte: a) conetores e fixadores, b) esquema da amostra e c) configuração de ensaio [5]

O modo de rotura tipicamente observado nos ensaios monotônicos resume-se ao arrancamento total do parafuso da madeira, o que permite justificar a razão pela qual a espessura do ligador não afeta a resistência à tração da conexão, mas sim o fixador apresentou um efeito significativo. Nos testes cíclicos, além do arrancamento do fixador, outros modos de rotura foram observados, nomeadamente, esmagamento do ligador e dano na abertura do ligador para passagem do prego, permitindo que a cabeça do prego passasse através da abertura e deixasse de fixar (Figura 2) [4].

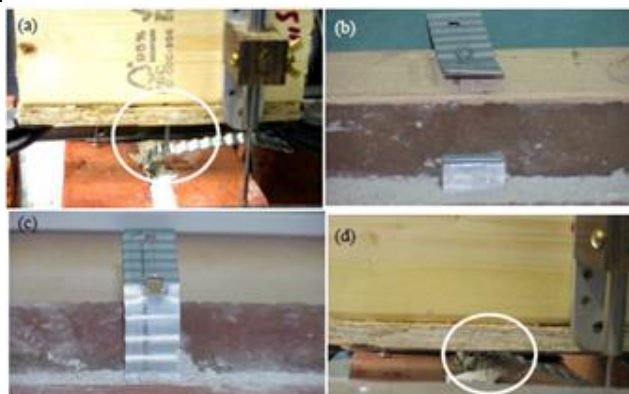


Figura 2: Modos de rotura sob carregamento de tração e compressão: (a) arrancamento do parafuso da madeira, (b) rotura do ligador, (c) Dano na abertura do ligador para passagem da cabeça do fixador, e (d) esmagamento do ligador [4]

Semelhantes ensaios de tração e compressão monotônicos foram realizados em amostras possíveis de replicar paredes duplas. Para isso foram considerados três diferentes tipos de ligador com diâmetros diferentes, comprimento de embebiamento e tipos de fixação diferente (aplicados na junta de argamassa ou no próprio tijolo através de uma ancoragem mecânica) [7]. Conclui-se que a força de esmagamento dos ligadores foi o fator determinante a considerar na determinação do número de ligadores por metro quadrado em termos de dimensionamento, enquanto que para os ligadores com uma ancoragem no próprio tijolo, a força de tração assumiu um papel principal no seu dimensionamento.

Recentemente, Ribeiro et al., (2014) [8] analisou o comportamento de ligadores também usados em paredes duplas possíveis de implementar quer em soluções novas, quer em soluções de reabilitação. Os ligadores são fixos nos tijolos quer

através de ancoragens mecânicas, inserção de um ligador em forma de parafuso, ou químicas, inserção do ligador numa cavidade preenchida previamente com argamassa expansível. Conclui-se que a injeção de argamassa pode influenciar fortemente a eficácia da solução, bem como o comprimento dos ligadores inseridos na cavidade de argamassa. O tempo de trabalhabilidade da argamassa também foi um aspeto que deve proporcionar fluidez adequada para que possa ser injetado na cavidade.

No âmbito do programa de doutoramento relacionado com o comportamento sísmico de paredes de alvenaria de fachada, nomeadamente paredes de tijolo face à vista, aplicadas como panos externos em edifícios de betão armado, pretende-se desenvolver um trabalho experimental ao nível da área local dos ligadores. Assim, este trabalho visa analisar o comportamento mecânico de amostras de tijolo-ligador-tijolo sob carregamento monotónicos e cíclicos de compressão e tração, avaliando assim o desempenho de vários tipos de ligadores.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Materiais

A parede de alvenaria de fachada que tem sido usada em edifícios de betão armado, desde algumas décadas é comumente designada por parede de tijolo face à vista. Esta parede é conectada à parede de alvenaria de enchimento por ligadores, principalmente ligadores metálicos. Para caracterizar o comportamento mecânico deste sistema assumindo configurações de carregamento comuns à ação externa do vento e sismos, foram consideradas zonas locais do sistema. O objetivo é avaliar o comportamento em termos de resistência e rigidez dos ligadores das paredes com diferentes espessuras e formas aplicados sob duas metodologias (embebido na junta de argamassa e aplicado sob a forma de ancoragem química no tijolo), representando a prática comum de construção.

Foram consideradas amostras individuais de alvenaria de tijolo face à vista (TFV) e de alvenaria de enchimento (AE), ver Figura 3. De modo a aumentar a representatividade das amostras, só metade das amostras de cada tipologia possuem junta vertical na construção da amostra, afetando assim a distância entre a aplicação do ligador e a junta vertical (Figura 3).

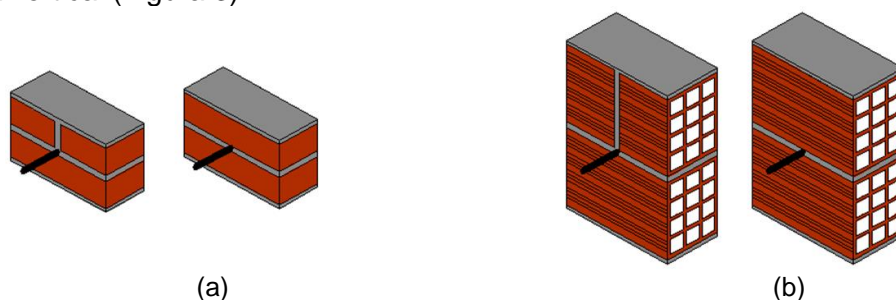


Figura 3: Esquemas representativos das amostras consideradas: (a) na alvenaria de tijolo face à vista e (b) na alvenaria de enchimento

As unidades de tijolo face à vista tinham de dimensões 237 milímetros x 115 milímetros x 60 milímetros (comprimento x espessura x altura) com perfurações verticais. As amostras foram construídas com argamassa pré-doseada hidrófuga usada especialmente neste sistema em práticas de construção e recomendada pelo fabricante dos tijolos. Esta argamassa tem uma força de compressão de 5 MPa (com um coeficiente de variação, COV de 15%) e resistência à flexão de 3 MPa (com um coeficiente de variação de 12%). Para alvenaria de enchimento, foram selecionadas as unidades de tijolo com aproximadamente 300 milímetros de comprimento, 150 milímetros de espessura e 200 milímetros de altura, tendo em conta a tipologia comum das paredes duplas usadas desde os anos oitenta. A argamassa de assentamento pré-doseada usada para construir as unidades de alvenaria (M10) possui uma resistência à compressão de 6 MPa (COV de 3,41%) e 2,5 MPa (COV de 6%) de resistência à flexão.

Foram considerados seis tipos de ligadores, como se representa na Figura 4, sendo as propriedades geométricas gerais indicadas na Tabela 1. Quase todos os ligadores são de metal inoxidável, com exceção do ligador de tipologia T6, que é composto de fibra de basalto. Foram consideradas 6 provetes em cada tipologia de ligador, e em cada tipologia de alvenaria.

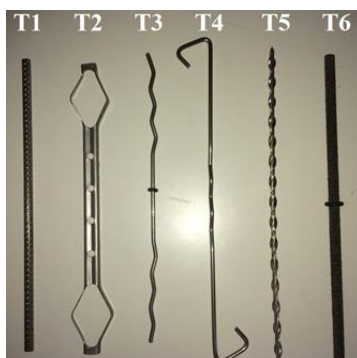


Figura 4: Tipologias de ligadores considerados na campanha experimental

Tabela 1: Resumo das principais características dos ligadores considerados na campanha experimental

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Dimensão (mm)	225	225	220	250	245	225
Espessura (mm)	6	5.5/12	3	3	8	7.5

Todos os ligadores foram colocados nas juntas de argamassa horizontais na alvenaria de tijolo face à vista (Figura 5 (a)). Por outro lado, quase todos os ligadores foram também incorporados na argamassa de alvenaria de enchimento à exceção do ligador de tipologia T5 (Figura 5 (b)). O ligador de tipologia T5 foi fixado diretamente no tijolo de alvenaria de enchimento através de ancoragem química (Figura 5 (c)) seguindo as recomendações do fabricante e prática construtiva. Relativamente ao comprimento de embebedimento, nas amostras de tijolo face à vista, foi considerado o comprimento de cerca 60 milímetros e 70 mm nos tijolos de alvenaria de enchimento. No caso de ligador de tipologia T5 o comprimento de ancoragem foi de aproximadamente 75 milímetros dentro do tijolo.

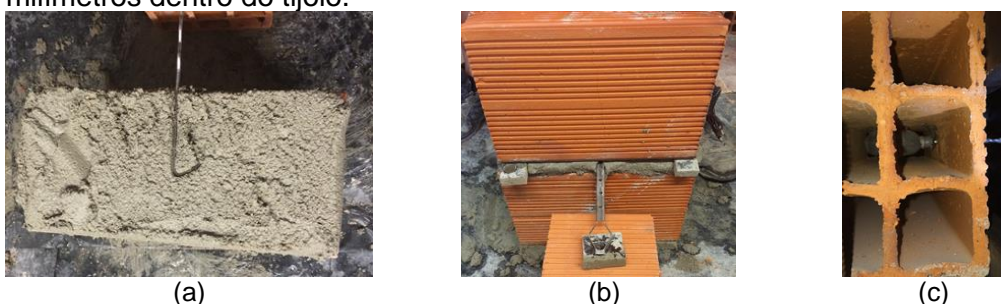


Figura 5: Construção dos provetes e aplicação dos ligadores: (a) na alvenaria de tijolo face à vista; (b) na alvenaria de enchimento e (c) no tijolo, sendo o ligador de tipologia T5

## 2.2. Procedimento de ensaio

Os ensaios foram realizados numa estrutura de aço rígida associada a um sistema de controlo e um sistema de aquisição de dados ligado a um computador que permite o registo das informações importantes do ensaio, ou seja, cargas e deslocamentos. A carga de tração e de compressão foi aplicada por meio de um atuador hidráulico e medido através de uma célula de carga com uma capacidade máxima de 10 kN, e o deslizamento linear dos ligadores foi medido através de 2 LVDTs (transdutor



diferencial variável linear) ligados ao atuador e ao ligador, ver Figura 6. O LVDT 1 mede o deslocamento do atuador e o LVDT 2 mede o arrancamento do ligador.

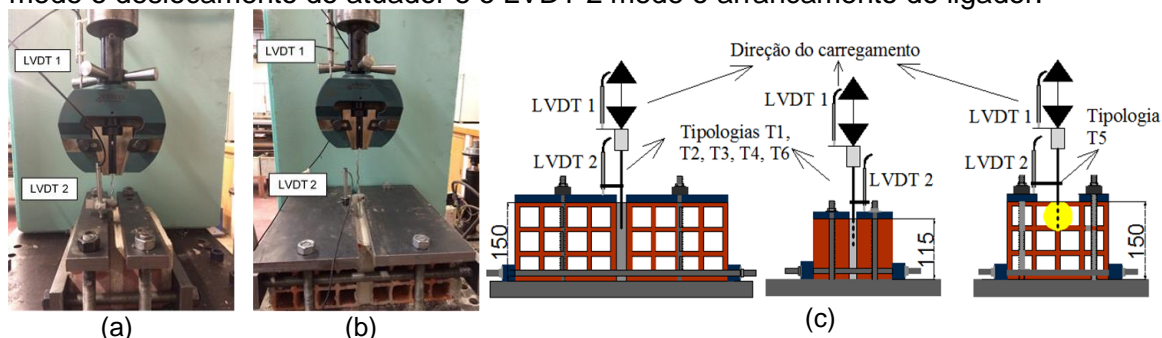


Figura 6: Configuração de ensaio: (a) no caso de tijolo face à vista e (b) no caso de alvenaria de enchimento e (c) esquemas representativo da configuração de ensaio

Foi utilizada uma amarra rígida de modo a fixar a extremidade livre do ligador durante a atuação de carga. A distância livre entre a amarra e o provete de alvenaria foi de 100mm, sendo este o valor considerado para a espessura da cavidade de ar em termos de prática construtiva. As fiadas dos tijolos foram confinadas através da utilização de placas de aço previamente niveladas, a fim de evitar qualquer deformação inadequada da amostra e para promover o deslocamento relativo entre o ligador e provete (Figura 6). Além disso, os provetes também foram confinados na direção transversal ao arrancamento do ligador para simular o confinamento em situação real existente. Este confinamento teve um valor entre 2% a 3% da capacidade resistente à compressão nessa mesma direção de cada tipologia de tijolo. O ensaio monotónico foi realizado sob controlo de deslocamento a uma velocidade de cerca de 0,010 milímetros/s, o que corresponde a uma duração de ensaio de aproximadamente 30-45 min. Nos testes cíclicos tração-compressão, considerou-se a lei de deslocamento apresentada na Figura 8, sendo cada ciclo completado em cerca de 200 segundos, perfazendo cerca de 28 ciclos. O LVDT usado para controlar os ensaios foi o LVDT ligado ao atuador. A repetição dos ciclos em cada amplitude de deslocamento foi considerada para explorar a degradação da força e rigidez. Todos os ensaios foram realizados pelo menos 28 dias após a construção da amostra.

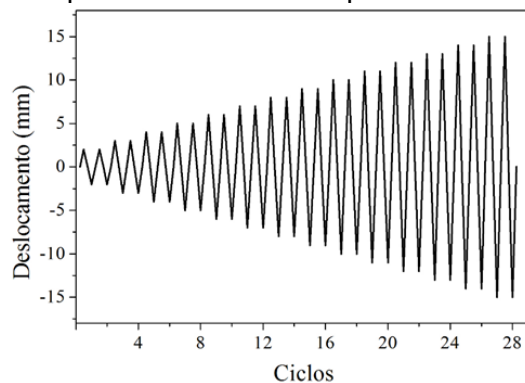


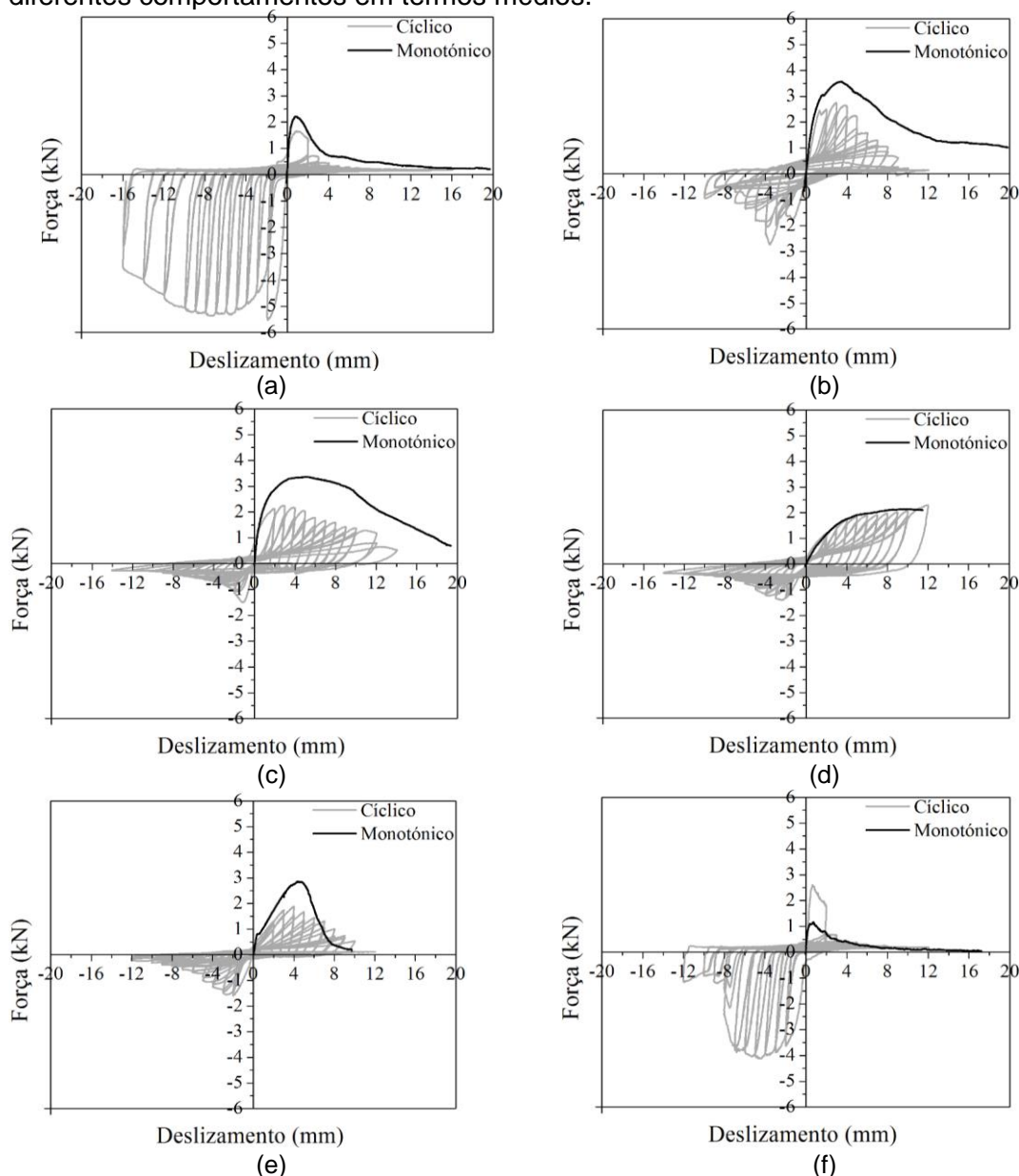
Figura 7: Lei de deslocamento adotada para os ensaios cíclicos tração-compressão

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Comportamento cíclico

O comportamento cíclico foi avaliado através de diagramas médios de força-deslocamento apresentados na Figura 8 e Figura 9, para cada tipologia de ligador nos provetes de alvenaria de tijolo face à vista (TFV) e nos provetes de alvenaria de enchimento (AE), respetivamente. Com base nestes diagramas, foram determinados alguns parâmetros que contribuem para uma melhor análise e comparação das diferentes soluções de ligação, nomeadamente a capacidade máxima à tração e compressão ( $F_{max}$ ), respetivo deslocamento ( $\delta_{max}$ ) e rigidez inicial ( $E$ ). A resistência

à tração de cada ligação é definida como a carga máxima obtida durante o ensaio. A rigidez inicial é determinada através da secante da carga versus deslocamento, para um deslocamento correspondente ao final do primeiro ciclo de carga, ou seja, 2mm. Estes parâmetros estão representados na Figura 10 para todos os tipos de ligadores e amostras, a fim de ajudar a compreensão e comparação das ligações com as diferentes tipologias. As curvas envolventes dos ensaios cíclicos de cada tipologia de ligador para as duas tipologias de alvenaria foram preparadas e representadas graficamente em conjunto na Figura 11, permitindo uma melhor comparação dos diferentes comportamentos em termos médios.



**Figura 8:** Resumo das curvas força-deslocamento para os ligadores em amostras de alvenaria de tijolo face à vista da (a) Tipologia 1; (b) Tipologia 2; (c) Tipologia 3; (d) Tipologia 4; (e) Tipologia 5 e (f) Tipologia 6.

As histereses médias apresentadas em todos os ligadores não são simétricas, resultado do comportamento diferente das amostras em compressão e tração. O comportamento apresentado nos ensaios cíclicos apresenta histereses não lineares até ao nível dos pequenos deslocamentos, em quase todos os ensaios, com exceção das amostras com os ligadores de tipologia T1 e T6 principalmente nos carregamentos iniciais de tração.



Quer nos provetes de TFV, quer nos provetes de AE, o efeito “pinching” é menos pronunciado quanto mais resistente for a ligação à tração e compressão, porém, torna-se pronunciado com o aumento gradual dos deslocamentos. A diminuição da energia de dissipação de energia é provocada pela gradual degradação de argamassa nas juntas nos carregamentos de tração e deformação do ligador em compressão (Figura 8 e Figura 9).

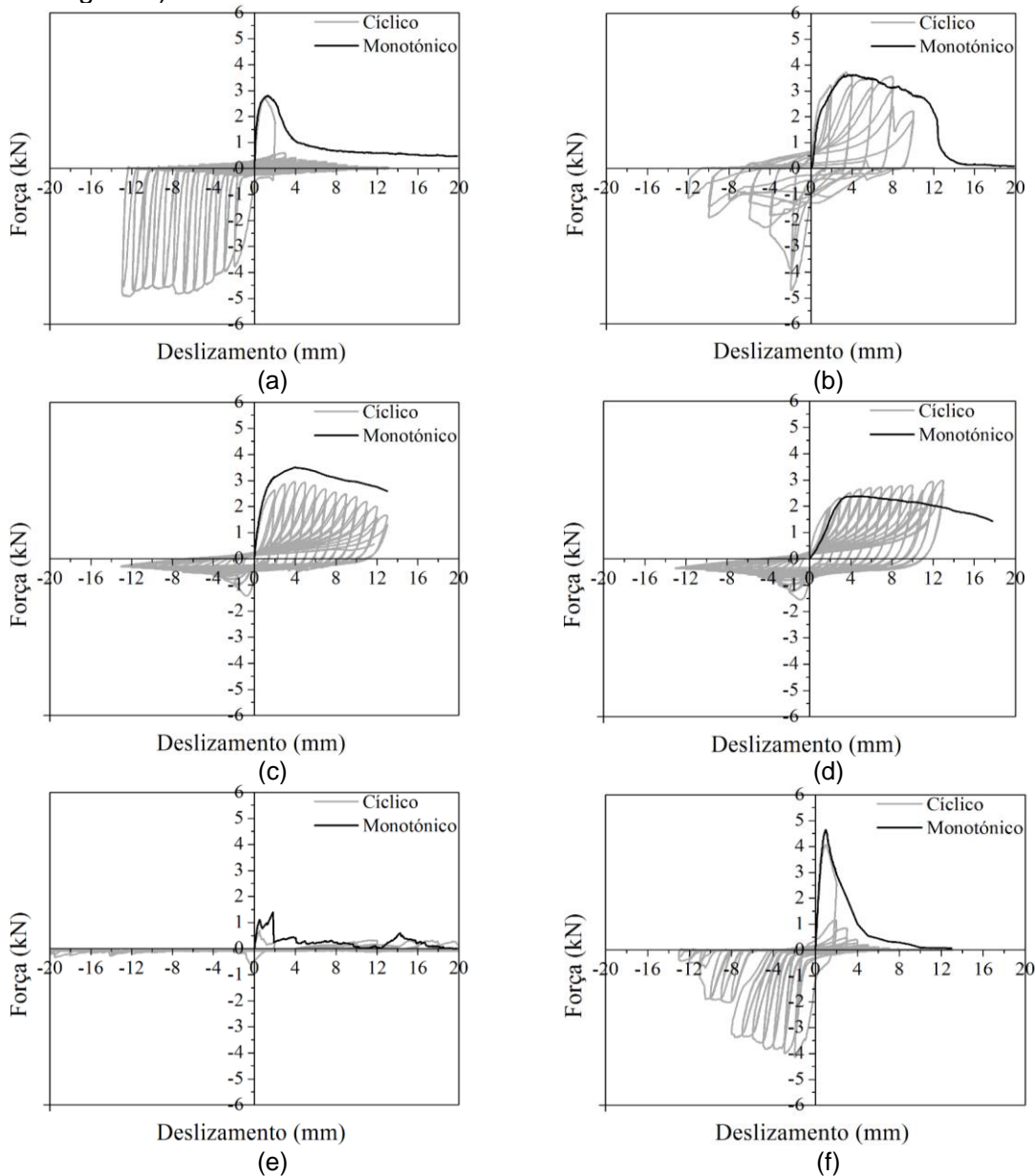


Figura 9: Resumo das curvas força-deslizamento para os ligadores em amostras de alvenaria de enchimento da (a) Tipologia 1; (b) Tipologia 2; (c) Tipologia 3; (d) Tipologia 4; (e) Tipologia 5 e (f) Tipologia 6.

A partir dos valores máximos apresentados na Figura 10 e com base na análise das curvas envolventes apresentadas na Figura 11, é possível identificar dois grupos de ligações com um comportamento semelhante em termos de resistência, tanto em tração e em compressão, quer nas amostras de TFV quer na AE. Quer nas amostras de TFV quer na AE, as conexões com ligadores de tipologias T1, T2 e T6 apresentam valores maiores à compressão e um comportamento mais dúctil do que as restantes tipologias.

Relativamente ao comportamento cíclico à tração, os valores máximos são muito semelhantes entre si à exceção das amostras com os ligadores de tipologia T5, contudo o comportamento das amostras de ambas as alvenarias com os ligadores T2, Caracterização experimental do comportamento de ligadores metálicos em 8 paredes de tijolo face à vista à tração e compressão

T3 e T4 apresentam um comportamento à tração muito mais dúctil do que as amostras T1 e T6. Relativamente às amostras com o ligador T5 embebido na argamassa, ou seja as amostras TFV, este apresentou um comportamento dúctil semelhante aos ligadores T2, T3 e T4, ao contrário do que acontece quando é inserido na ancoragem química no tijolo de AE, em que apresentou muito baixa resistência.

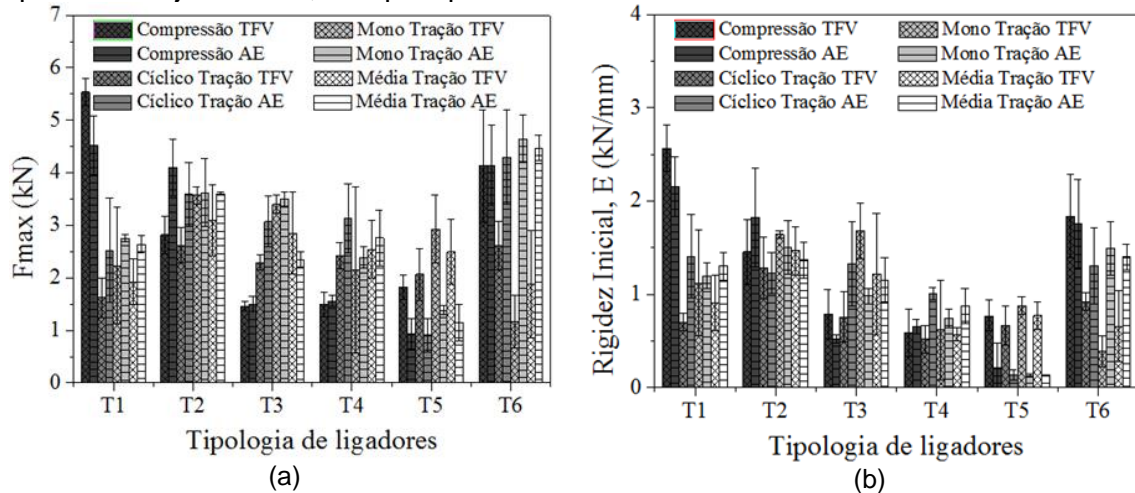


Figura 10: Valores máximos de (a) força máxima de resistência à compressão e à tração e (b) rigidez inicial à compressão e tração

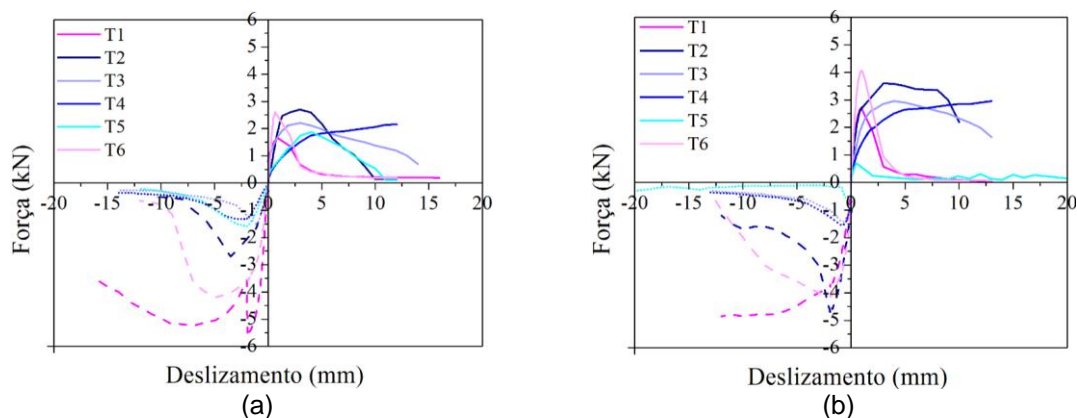


Figura 11: Resumo das curvas envolventes para (a) as amostras de alvenaria de tijolo face à vista e (b) as amostras de alvenaria de enchimento

Quanto ao comportamento à tração, depreende-se que a geometria do ligador pode proporcionar uma maior dificuldade de arrancamento devido à sua forma, como acontece nos ligadores T2, T3 e T4. Estes possuem uma geometria que melhora a aderência à argamassa, promovendo o imbricamento mais prolongado na mesma. Sugere-se assim, que o uso de um ligador mais esbelto não significa necessariamente que a resistência à tração de uma ligação fica comprometida, pois existem outras características mais importante, nomeadamente a forma do ligador, principalmente nas zonas a serem embebidas na argamassa. Ao nível do comportamento à compressão, a espessura e rigidez do ligador tem um papel mais importante no desempenho das ligações, como se verifica nos ligadores T1, T2 e T6, em que apresenta maiores valores de área de secção.

Em relação à rigidez inicial da ligação, este parâmetro é diretamente relacionado com a força máxima na generalidade dos casos, tal como esperado.

Durante o ensaio cíclico, foram observados vários modos de rotura, incluindo o arrancamento do varão de dentro de argamassa e de dentro do tijolo no caso das amostras de AE com o ligador T5, a fratura do varão quer no seu comprimento livre quer na interface da junta de argamassa de acordo com a sua geometria, o esmagamento ao longo do varão e na extremidade embebida do varão, tal como se apresenta na Figura 12. Estes modos de rotura são resultado do desgaste e fadiga

que os ligadores são submetidos quer nos carregamentos à tração, quer nos carregamentos à compressão.

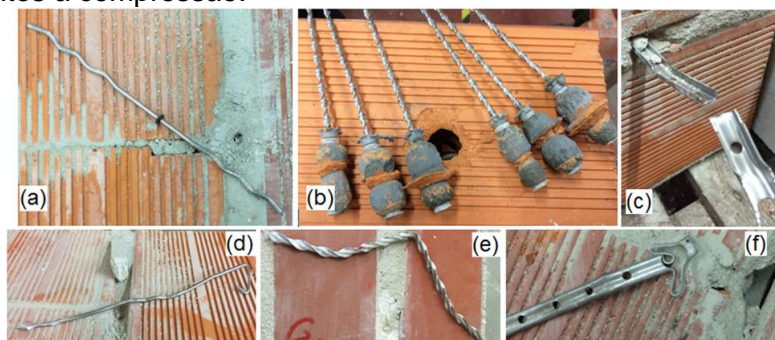


Figura 12: Modos de rotura: (a) Arrancamento do varão de dentro de argamassa; (b) Arrancamento dos varões de dentro do tijolo; (c) fratura do varão no seu comprimento livre; (d) fratura do varão na interface da argamassa; (e) Esmagamento ao longo do varão e (f) esmagamento na extremidade embebida do varão

### 3.2. Comportamento monotónico

Os ensaios monotónicos foram realizados apenas sob forças de tração e os diagramas médios podem ser analisados na Figura 8 e Figura 9 para as duas tipologias de alvenaria. Tal como nos ensaios cíclicos, os valores de máxima força e deformação correspondente, bem como a rigidez inicial foram determinados e apresentam-se na Figura 10. Para melhor compreensão em termos gerais, encontra-se na Figura 13 o resumo de todas as curvas médias dos ensaios monotónicos, quer para as amostras de TFV, quer para AE.

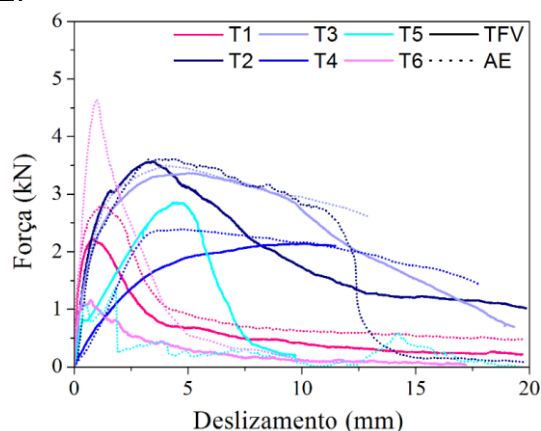


Figura 13: Resumo das curvas monotónicas para cada tipologia e em cada tipo de alvenaria

À semelhança do que aconteceu nos ensaios cíclicos, é possível analisar dois comportamentos de ligações diferentes. Por um lado, amostras com os ligadores de tipologia T2, T3 e T4 apresentaram valores de força máxima interessantes associado a um comportamento pós pico muito dúctil, quer nas amostras de TFV como de AE. Por outro lado, amostras de tipologias T6 no caso de AE exibiram força máxima de tração, e um comportamento bastante frágil, associado porventura à sua geometria simples de varão que causa fraca aderência. As resistências das amostras TFV com ligadores de tipologia T1 e T5 foram semelhantes, apesar da ligação com a tipologia T5 ser muito menos rígida. Nas amostras de AE, a capacidade resistente das conexões com o ligador T1 é muito mais alta do que as ligações com o ligador T5, sendo estas as amostras de tijolo com a ancoragem química.

O modo de rotura comum de todas as amostras foi o arrancamento total do varão, tal como se apresenta a Figura 12 (a) e (b).

### **3.3. Carregamento monotónico vs cíclico**

Relativamente às amostras TFV, verifica-se que a força máxima obtida nos ensaios monotónicos é quase sempre maior do que a força máxima registada nos ensaios cíclicos, à exceção das amostras com ligadores T4 e T6 em que são praticamente iguais. Nas amostras de AE, existe uma semelhança significativa entre os ensaios monotónicos e cíclicos, tendo apenas as ligações com a tipologia T3 apresentado claramente um desempenho superior. De qualquer forma, em quase todos os casos, o regime pós-pico em ensaios monotónicos apresentam uma redução menos acentuada da força de tração à medida que os deslocamentos aumentam. Este comportamento era expectável dado o dano acumulado durante o carregamento cíclico.

A rigidez secante determinada não é muito afetada de acordo com o tipo de carregamento, principalmente nas amostras AE, porém, nas amostras TFV apresenta valores um pouco superiores nos ensaios monotónicos em relação aos cíclicos.

No que diz respeito aos modos de rotura, os testes cíclicos causou mais tipos de ruturas severas, em alguns casos até a rutura do ligador, devido à fadiga predominante durante o ensaio de carga e descarga.

### **3.4. Alvenaria de tijolo face à vista vs alvenaria de enchimento**

De um modo geral, as amostras de AE apresentam sempre valores de resistência de tração superiores às amostras TFV (à exceção das amostras com o ligador T5) e um comportamento bastante semelhante, quer sujeitas a carregamento cíclicos ou monotónicos. No carregamento à compressão, não existem diferenças significativas no comportamento entre as tipologias de alvenaria, embora as amostras com os ligadores do tipo T1 e T2 apresentem valores de resistência ligeiramente diferentes.

Estas observações devem-se ao facto da capacidade resistente à tração das ligações também ter que ver com a argamassa envolvida, e assim sendo, nas amostras AE, a argamassa usada é mais resistente em termos mecânicos em relação à argamassa usada nas amostras TFV e, por isso estas últimas apresentarem um desempenho menos resistente. Por outro lado, o desempenho das ligações quando sujeitas à compressão, deve-se em grande parte às capacidades intrínsecas do ligador, o que nestes casos, é comum em ambos tipos de alvenaria, e por isso não existem diferenças muito significativas no seu desempenho.

Relativamente ao cálculo da rigidez secante, não foram detetadas correlações imediatas entre a alvenaria TFV e AE, variando de caso para caso.

Quanto aos modos de rotura das ligações, não existem diferenças claramente evidentes, apesar em algumas amostras de AE o dano presente nos ligadores e na argamassa envolvente ser mais significativo, ao nível do esmagamento de ligadores e degradação da argamassa, associado também às cargas mais elevadas que apresentavam.

## **4. CONCLUSÕES**

Este artigo apresenta e discute os resultados experimentais obtidos em ensaios monotónicos e cíclicos de tração e compressão em amostras individuais de conexões existentes entre a alvenaria de tijolo face à vista e alvenaria de enchimento. Este trabalho é parte de uma campanha experimental ampliada de 220 conexões envolvendo ensaios globais e individuais sujeitas a carregamento monotónicos e cíclicos de tração-compressão e corte.

Em termos de desempenho das amostras sujeitas à compressão, o principal fator que influencia o desempenho quer em termos de ductilidade, quer em termos de resistência máxima é a espessura do ligador associado à sua rigidez. Quanto mais esbelto o ligador é, maior será a sua tendência para instabilizar por encurvadura lateral, o que condiciona uma maior resistência à compressão.

Em termos de desempenho das amostras sujeitas à tração, a geometria apresentada nas extremidades do ligador é determinante na sua capacidade resistente. Uma Caracterização experimental do comportamento de ligadores metálicos em paredes de tijolo face à vista à tração e compressão

geometria adequada nas partes em que o ligador é envolvido pela argamassa pode proporcionar uma aderência maior e um comportamento mais dúctil.

Relativamente ao método de fixação alternativo, a ancoragem química, não foram detetadas melhorias significativas no comportamento das soluções estudadas.

De um modo geral, a carga cíclica é considerado como fator desfavorável tanto ao nível da resistência à tração, como ao nível dos modos de rotura. Os modos de rotura nos ensaios cíclicos foram basicamente o arrancamento do varão, rotura e esmagamento do varão. Ao nível dos ensaios de tração monotónicos, apenas foi detetado o arrancamento do varão como modo de rotura.

Relativamente ao tipo de alvenaria estudado, no que diz respeito ao comportamento à tração, verifica-se que a alvenaria de tijolo face à vista apresenta de um modo geral mais suscetibilidades no comportamento do que a alvenaria de enchimento, principalmente devido à diferença das propriedades mecânicas das argamassas de assentamento. No que diz respeito ao comportamento à compressão, não existem diferenças significativas no comportamento tendo em conta que o desempenho das ligações à compressão é essencialmente influenciado pelas características intrínsecas dos ligadores e estes são comuns nos dois tipos de alvenaria.

## 5. AGRADECIMENTOS

O primeiro autor gostaria de reconhecer o apoio financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia Português (FCT) através da concessão da bolsa de investigação SFRH/BD/96484/2013 no âmbito do POCH - Programa Operacional Capital Humano, participado pelo Fundo Social Europeu e por fundos nacionais do MEC. Este trabalho também foi apoiado pela FCT através do ISISE, UID projeto/IPI/04029/2013. Além disso, teve também uma colaboração importante com *Ancon Building Products*, uma empresa inglesa, e *Cortartec*, a empresa representante portuguesa.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] Arumala, J.O., (2007), Brick Veneer Steel Stud Wall Systems: State-of-the-Art. *TMS Journal*.
- [2] [Desai, N. and McGinley, W.M., \(2013\), A study of the out-of-plane performance of brick veneer wall systems in medium rise buildings under seismic loads. \*Engineering Structures\*. 48\(0\): p. 683-694.](#)
- [3] Martins, A., Vasconcelos, G., and Costa, A.C., (2014), Comportamento sísmico de paredes de alvenaria de fachada - uma breve revisão in JPEE- Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas. Lisboa
- [4] Reneckis, D. and LaFave, J.M., (2009), Seismic Performance of Anchored Brick Veneer, *NSEL Report Series: Report No. NSEL-016*, University of Illinois at Urbana-Champaign, Department of Civil and Environmental Engineering
- [5] Zisi, N.V. and Bennett, R.M., (2011), Shear Behavior of Corrugated Tie Connections in Anchored Brick Veneer–Wood Frame Wall Systems. *Journal of Materials in Civil Engineering* p. 121-130.
- [6] [Choi, Y.-H. and LaFave, J.M., \(2004\), Performance of corrugated metal ties for brick veneer wall systems. \*J. Mater. Civ. Eng.\* 16\(3\): p. 202-211.](#)
- [7] Mertens, S., Smits, A., and Grégoire, Y., (2014), Experimental parametric study on the performance of wall ties, in 9th International Masonry Conference. Guimarães.
- [8] Ribeiro, S., Vicente, R., Varum, H., Graça, J., Lobo, B., and Ferreira, T., (2014), Development of retrofitting solutions: remedial wall ties for masonry enclosure brick walls, in 9th International Masonry Conference 2014 in Guimarães.