

Análise experimental *pushover* de um edifício em Madeira Lamelada Colada Cruzada (MLCC)

Experimental pushover analysis of a building in Cross Laminated Timber (CLT)

Filipe T. Matos
Patrício Rocha
Jorge M. Branco
Paulo B. Lourenço
Hélder S. Sousa
Nuno Mendes

Resumo

O Eurocódigo 8 está em revisão e a possibilidade de aplicar uma análise *pushover* a edifícios de MLCC está entre os inúmeros melhoramentos que a próxima versão incluirá. Na verdade, a atual versão é muito parca na informação relativa a estruturas de madeira. Além disso, a MLCC é um derivado da madeira que é recente, pelo que há ainda muita carência de investigação ao nível do material, sistemas de ligação e comportamento global dos sistemas estruturais. Tendo por base ensaios laterais de um edifício de MLCC à escala real, de dois pisos com dimensões em planta de $4,5 \times 9,1 \text{ m}^2$, realizados nos Laboratórios de Engenharia Civil da Universidade do Minho, apresenta-se neste trabalho uma análise experimental *pushover* do edifício. Apresentam-se aqui os resultados dos dois ensaios monotónicos realizados com aplicação da carga lateral na direção longitudinal e transversal do edifício.

Abstract

Eurocode 8 is under revision and the possibility to apply a pushover analysis to CLT buildings is within the several improvements that the next version will include. In fact, the current version is limited in terms of seismic analysis of timber structures. Moreover, CLT is a recent wood-based material that requires further research at the material level, connections systems and global behaviour of structural systems made of CLT. In this context, a 2-story full-scale model of a CLT house, of $4.5 \times 9.1 \text{ m}^2$ in-plane, with a height of 5.04 m, was tested, under quasi-static monotonic (pushover). Two tests were performed, one in the longitudinal direction and one in the transverse direction. Here the main steps of the tests are presented and the overall response of the structure is analysed focusing the local behaviour of the metal connectors.

Palavras-chave: Madeira laminada colada cruzada / Análise experimental / Pushover / Eurocódigo 8

Keywords:

Filipe T. Matos

Aluno de Doutoramento
ISISE, Universidade do Minho
Guimarães, Portugal
filipetmatos@gmail.com

Patrício Rocha

PhD / Professor Adjunto
proMethuus, CONSTRUCT, Instituto Politécnico de Viana do Castelo
Viana do Castelo, Portugal
procha@estg.ipv.pt

Jorge M. Branco

PhD / Professor Auxiliar
ISISE, Universidade do Minho
Guimarães, Portugal
jbranco@civil.uminho.pt

Paulo B. Lourenço

PhD / Professor Catedrático
ISISE, Universidade do Minho
Guimarães, Portugal
pbl@civil.uminho.pt

Hélder S. Sousa

PhD
ISISE, Universidade do Minho
Guimarães, Portugal
sousa.hms@gmail.com

Nuno Mendes

PhD
ISISE, Universidade do Minho
Guimarães, Portugal
nunomendes@civil.uminho.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.

MATOS, F.T. [et al.] – Análise experimental *pushover* de um edifício em Madeira Lamelada Colada Cruzada (MLCC). **Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas**. Ed. LNEC. Série III. n.º 11. ISSN 2183-8488. (novembro 2019) 61-70.

1 Introdução

O sector da construção em madeira está em crescimento. O interesse na preservação dos sistemas construtivos presentes no património construído é real. Hoje procura-se manter as soluções construtivas em madeira que proliferam no nosso património. Por outro lado, as novas soluções à base de derivados de madeira têm despertado muito interesse, principalmente, da Arquitetura. Já se fala em construir alto em madeira. Entre estes novos materiais, derivados da madeira, é de destacar a madeira lamelada colada cruzada (MLCC). Trata-se de um material inovador, de secção laminada com várias camadas de madeira, orientadas ortogonalmente, e que tem tido um forte desenvolvimento na Europa e América do Norte. Este material promove uma construção rápida, tendo por base painéis maciços de madeira que podem desde logo incluir as aberturas minimizando deste modo as operações em obra. Os painéis têm grande capacidade resistente no plano e fora do plano. São utilizados enquanto elementos de laje, parede e mesmo vigas.

Nos últimos anos, são vários os estudos experimentais e numéricos realizados ao nível do material, o painel propriamente de MLCC, das suas ligações, havendo já estudos ao nível do comportamento de sistemas e de edifícios de MLCC, em particular, sob ação de cargas laterais. Entre estes, são de destacar os testes em mesa sísmica realizados no âmbito do projeto SOFIE, no qual um edifício de 3 pisos, com $7,0 \times 7,0 \text{ m}^2$ em planta e 10 m de altura total, foi testado considerando três diferentes configurações (variação de aberturas). O edifício foi submetido a uma série de 26 sismos, incluindo o grande sismo de Hanshin-Awaji (em Kobe, 1995), no Laboratório NIED, em Tsukuba (Japão), em julho de 2006. Em termos de resultados, o edifício resistiu a um total de 15 sismos destrutivos não sofrendo qualquer dano relevante, e nenhuma torção significativa foi registada [1].

Outro edifício com sete andares foi testado, em 2007, na mesa sísmica do laboratório de E-Defense em Miki, Japão. O edifício, com uma planta de $13,5 \times 7,5 \text{ m}^2$ e uma altura total de 23,5 m, foi submetido aos sismos JMA Kobe, Nocera Umbra e Kashiwazaki. Relativamente aos painéis usados, as paredes do edifício tinham 142 mm no 1.º e 2.º andar, 125 mm no 3.º e 4.º andar e 85 mm nos restantes, incluindo a cobertura. Todos os pisos tinham 142 mm de espessura. Os testes realizados proporcionaram aos investigadores excelentes resultados, pois o edifício resistiu perfeitamente a sismos de grande escala, com danos estruturais irrelevantes [2].

Da mesma forma, dois edifícios MLCC com apenas um andar foram testados em 2006, no Laboratório do Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology, Universidade de Ljubljana, na Eslovénia, onde foram sujeitos a diferentes registos sísmicos com PGA de 0,6 g. Conforme o esperado, nenhum dano relevante foi encontrado [3].

Mais recentemente, outro edifício em grande escala foi testado na mesa sísmica do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), em Portugal. A análise experimental fez parte de um projeto SERIES destinado à avaliação de edifícios altos de madeira, onde participaram investigadores da Universidade de Graz, da Universidade do Minho e do LNEC. O edifício MLCC tinha 3 andares com $5,17 \times 6,79 \text{ m}^2$ em planta e 7,74 m de altura total, incluindo o telhado

(5,36 m no segundo andar). Relativamente aos painéis de MLCC, as paredes tinham 100 mm (3 camadas), os pisos apresentavam 150 mm (5 camadas) e a cobertura 99 mm (3 camadas). Os principais conetores metálicos utilizados foram os AE116 e os HTT22 da Simpson Strong-Tie® com os respetivos pregos e parafusos. O edifício foi submetido a 32 sismos, sendo a aceleração máxima atingida do solo de 0,5 g. Relativamente aos resultados, tal como os outros edifícios, não apresentaram danos relevantes (localizados em alguns conetores metálicos nas paredes), resultando numa diminuição da frequência fundamental de 3,98 Hz para 3,75 Hz [4]. Numa abordagem diferente, baseada agora em testes estáticos, Popovski e Gavric (2015) testaram um edifício de MLCC com 6,0 × 4,8 m² em planta e com uma altura de 4,8 m. A maioria dos conetores metálicos utilizados foi BMF 116 × 48 × 3 × 116 e HTT4, e o seu número e localização foram variáveis em cada teste realizado. O edifício foi testado sob carga lateral monotónica e cíclica, num total de cinco ensaios. Neste caso, ao contrário dos edifícios referidos acima, resultaram em danos mais graves. De referir a rotura dos conetores localizados na fundação através dos pregos inseridos nas paredes, em todos os testes, como consequência de deformações laterais e levantamento das paredes. Relativamente às frequências fundamentais do edifício, mediram-se os valores de 13,5 Hz (E-W) e 11 Hz (N-S) previamente aos testes programados. Após todos os testes realizados, registou-se uma diminuição para 10,13 Hz e 7,63 Hz, respetivamente [5, 6].

No presente trabalho apresenta-se o programa experimental desenvolvido utilizando um edifício de MLCC com 2 pisos, submetido a forças laterais estáticas e cíclicas, na Universidade do Minho, com o objetivo principal de analisar o desempenho do sistema 3D quando sujeito a cargas laterais. As principais variáveis assumidas na campanha experimental foram: i) a análise da resistência lateral e capacidade de deformabilidade; ii) comportamento global da estrutura; iii) as frequências fundamentais da estrutura; e iv) o desempenho dos conetores metálicos (em particular, AE116 e HTT22 da Simpson Strong-tie®). O edifício foi concebido com o objetivo de obter uma estrutura assimétrica, com uma clara distinção entre o eixo longitudinal (mais rígido) e o eixo transversal, onde o centro de massa e de rigidez não eram coincidentes. Adicionalmente, para evitar uma possível sobreposição de efeitos e assim para uma melhor aferição dos resultados obtidos, os conetores metálicos (AE116 e HTT22) apenas foram introduzidos nas paredes de corte na direção (longitudinal ou transversal) do carregamento lateral. No presente artigo, os testes monotónicos realizados e os resultados obtidos, incluindo os trabalhos de preparação, são apresentados e discutidos. Todavia, é importante salientar que os resultados apresentados neste artigo serão importantes para a previsão numérica dos testes realizados, visando a implementação do método *pushover* de estruturas de MLCC nos códigos e recomendações de dimensionamento sísmico.

2 Campanha experimental

O edifício sob análise foi submetido a três ensaios, um monotónico para cada uma das direções (longitudinal e transversal) e um cíclico apenas para a direção transversal. No entanto, é importante referir

que apenas os testes monotónicos são apresentados e discutidos. O edifício tinha em planta 4,5 × 9,1 m², dois andares e uma altura total de 5,04 m. Os painéis de MLCC foram produzidos pela empresa Stora Enso Wood Products Ltd., com madeira de abeto (*Picea abies*). Os painéis de parede tinham 100 mm de espessura (5 camadas de 20 mm) e os pisos 120 mm (3 camadas com 40 mm). Relativamente aos conetores metálicos, foram instalados vários espalhados pela estrutura, mas são de destacar os conetores de corte AE116 e os conetores de tração HTT22 ambos da Simpson Strong-Tie®. No entanto, é importante salientar que, tendo estes um papel importante nos resultados finais e querendo evitar uma possível sobreposição de efeitos, apenas foram aplicados nas paredes de corte com a direção sob a qual o ensaio estava a ser realizado. Uma imagem panorâmica e as plantas do edifício com a localização dos principais conetores metálicos (AE116 e HTT22) podem ser visualizadas na Figura 1.

Foram criadas diversas paredes divisórias e várias aberturas (ver Figura 2), com o intuito de obter uma estrutura assimétrica propensa à torção e com representação real de uma tipologia T2. Todavia, por motivos de transporte, as paredes e os pisos foram segmentados, sendo a conexão realizada através de uma tábua laminada colada com a introdução de parafusos para garantir a sua continuidade.

Para a definição e conceção das ligações de resistência ao corte AE116 utilizadas no edifício de MLCC, foi adotada a metodologia proposta pelo Eurocódigo 8 [7], que resultou num corte basal de 138 kN para ambas as direções. Por outro lado, as ligações de resistência ao levantamento HTT22 foram introduzidas na proximidade de todas as aberturas e em todos os cantos das paredes de corte em contacto com os pisos (Figura 1). Dentro desse mesmo processo e para quantificação das frequências naturais do edifício em estudo, foi utilizado o método de Rayleigh. Obtiveram-se frequências de 3,6 Hz e 2,6 Hz, para as direções longitudinal e transversal, respetivamente.

2.1 Ensaios monotónicos

Os ensaios monotónicos consistiram na aplicação de um deslocamento a uma taxa constante, respeitando a norma ISO/FDIS 21581:2010 [8]. Dois hidráulicos foram utilizados, um por piso, com a aplicação de deslocamentos sob uma taxa constante de 0,08 mm/s e 0,04 mm/s no segundo e no primeiro piso, respetivamente. Devido a limitações técnicas, nomeadamente pela capacidade de carga do hidráulico instalado no segundo piso, o critério de paragem adotado foi de 300 kN.

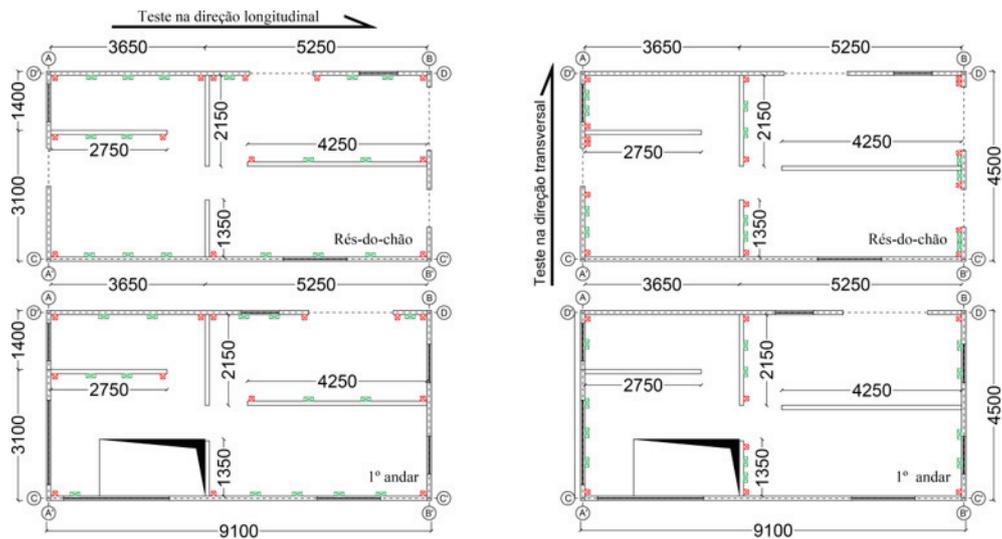
2.2 Instrumentação e esquema de ensaio

De forma a assegurar a qualidade da campanha experimental, o esquema de ensaio e a instrumentação foram definidos com muito cuidado e detalhe. Nesse contexto, as principais preocupações do esquema de ensaio foram:

- i) uma base de aço rígida para garantir uma fixação adequada do edifício ao piso de reação do laboratório, incluindo a fixação dos conetores AE116 e HTT22 presentes nas paredes MLCC (Figura 3a);



a)



⊠ HTT22 Simpson Strong-Tie
 ⊠ AE116 Simpson Strong-Tie

b)

c)

Figura 1 Imagem panorâmica a) e plantas do edifício (dimensões em mm) com localização dos principais conectores metálicos nos ensaios na direção longitudinal b) e transversal c)

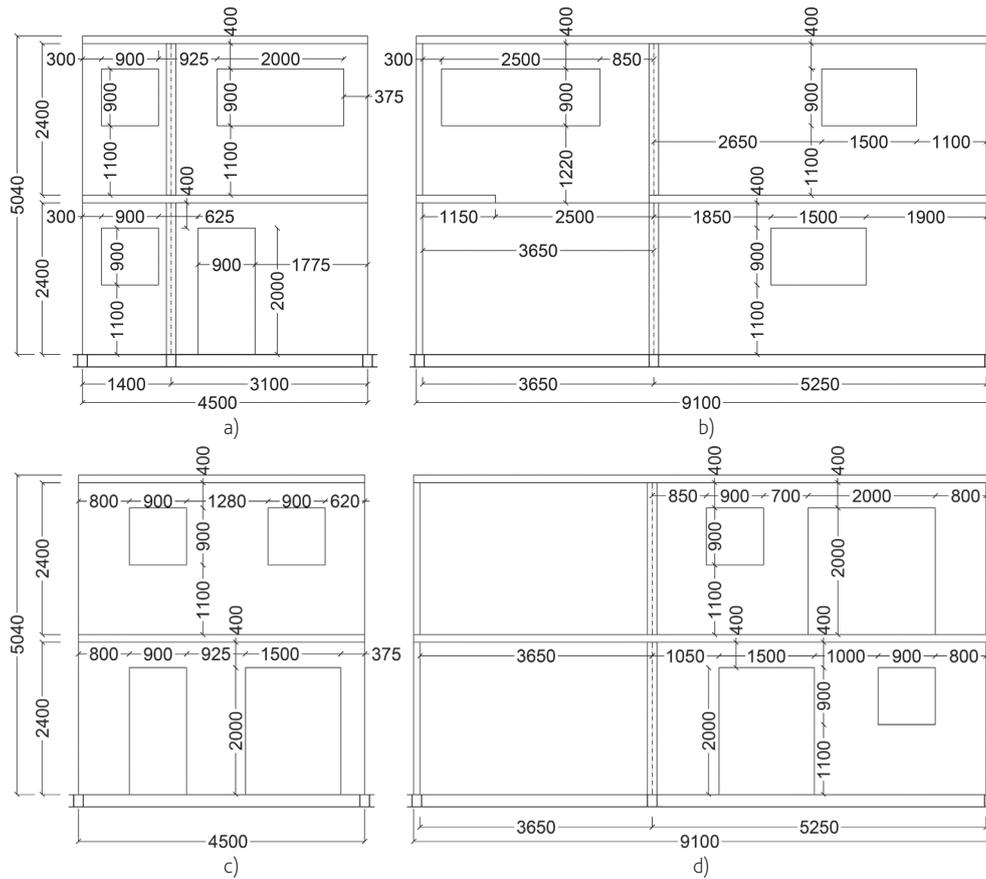


Figura 2 Fachadas do edifício (dimensões em mm). a) A-A'; b) C-C'; c) B-B'; d) D-D'

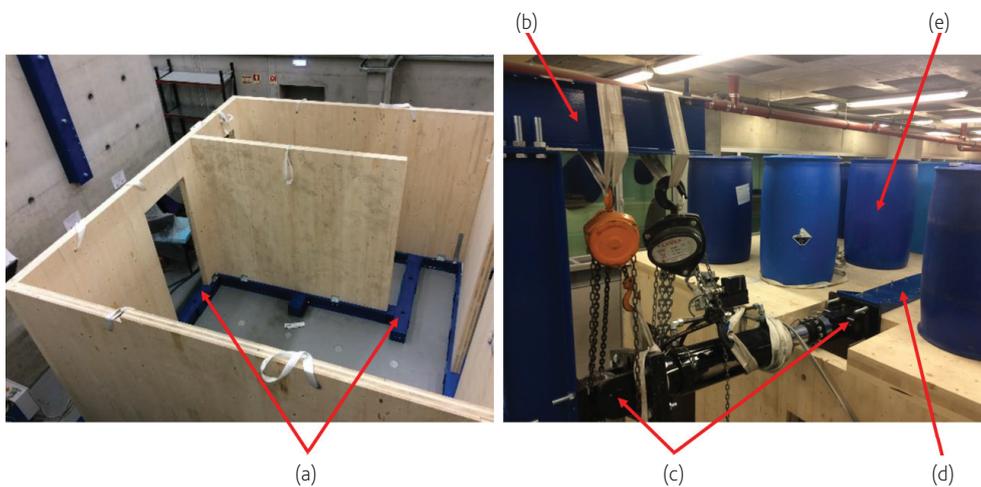


Figura 3 Base metálica (a), estrutura para fixação dos hidráulicos (b), rótulas inseridas nos hidráulicos (c), chapas metálicas sobre os pisos do edifício (d) e massa adicional usada nos testes (e)

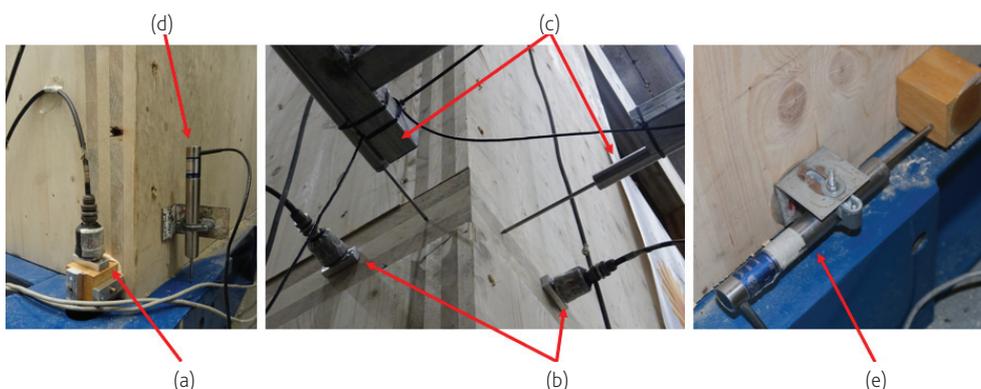


Figura 4 Exemplos de acelerómetros (a e b) e LVDTs instalados no edifício: c) deformação no plano e rotação dos pisos; d) elevação dos painéis de parede; e e) deslizamento

- ii) estrutura metálica para fixação dos dois hidráulicos responsáveis pela aplicação das cargas laterais nos dois eixos do edifício (Figura 3b). Os hidráulicos foram colocados no centro das fachadas, e incluíram uma rótula em cada extremidade, com o intuito de evitar deformações e tensões parasitas (Figura 3);
- iii) chapas metálicas aparafusadas ao longo dos pisos, de forma a garantir uma boa distribuição das cargas horizontais aplicadas (Figura 3d);
- iv) introdução de bidões de água sob os dois pisos do edifício, com um total de 2 kN/m² e 1,7 kN/m² para o primeiro e segundo piso do edifício, respetivamente (Figura 3e). As cargas são representativas de um edifício real, às quais foi adicionada uma percentagem das cargas variáveis pertencentes à combinação da ação sísmica, como define o Eurocódigo 8.

A instrumentação incluiu 12 acelerómetros (Figura 4a e 4b), colocando 4 em cada nível do edifício, fundamentais na obtenção das frequências naturais do edifício, utilizadas com o intuito de deteção dos danos provocados à estrutura após cada ensaio.

Para a medição de deslocamentos, foram colocados 21 transdutores (LVDTs) em posições definidas, garantindo que fossem registados, não apenas a deformação global do edifício em cada direção, mas também a deformação no plano (Figura 4c), rotação dos pisos (Figura 4c), elevação dos painéis de parede (Figura 4d) e deslizamento horizontal (Figura 4e).

3 Resultados e discussão

Esta secção apresenta os principais resultados dos ensaios monotónicos. A Figura 5 exhibe as curvas experimentais da força atingida por cada um dos hidráulicos em relação ao tempo despendido em cada um dos ensaios. É importante salientar que os ensaios foram interrompidos quando atingidos os 300 kN no macaco hidráulico do segundo piso.

A análise dos gráficos da Figura 5 apresentou, como esperado, uma maior capacidade de carga da direção longitudinal. Além disso, é possível observar a plastificação dos conectores metálicos na base (cerca de cinco minutos nos dois testes). No entanto, o mesmo comportamento não ocorreu nos conectores do 1.º andar devido à limitação do macaco hidráulico do 2.º andar.

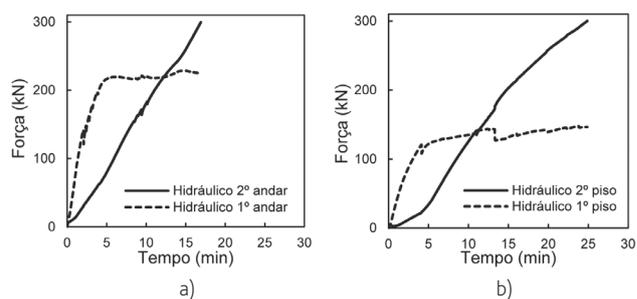


Figura 5 Força-tempo registados nos hidráulicos durante os ensaios monotónicos

Tal como se esperava, sobrepondo as curvas de capacidade dos ensaios realizados (ver Figura 6), estas demonstram que o edifício é mais rígido na direção longitudinal quando comparada com a direção transversal, com um aumento significativo da capacidade de carga da estrutura nessa direção. Como se poderia esperar, mesmo para a capacidade máxima registada, nenhum dano considerável foi observado no sentido longitudinal. O mesmo não aconteceu no ensaio realizado com aplicação da carga lateral na direção transversal, sendo visíveis danos nos painéis de parede e conectores metálicos.

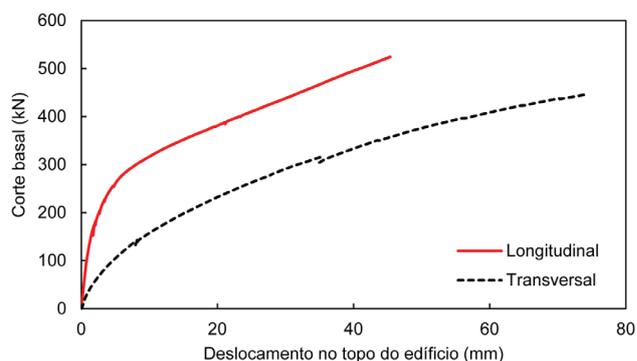


Figura 6 Curva de capacidade registada no teste longitudinal e transversal

A Tabela 1 apresenta os resultados mais relevantes registados pelo sistema de instrumentação, ou seja, o deslocamento horizontal

ao nível dos pisos, levantamento registado entre os painéis, deslizamento entre andares, forças atingidas em cada um dos hidráulicos e o corte basal para uma melhor percepção da capacidade de carga de cada um dos testes. Da mesma forma, a Figura 7 mostra a deformação no plano do edifício nos diferentes níveis. No entanto, é importante referir que os dados foram todos retirados da região onde estavam localizados os macacos hidráulicos.

Tabela 1 Principais resultados dos ensaios monotónicos realizados

Teste	Longitudinal	Transversal
Força de corte 1º piso (kN)	228,4	147,7
Força de corte 2º piso (kN)	300,0	300,0
Corte basal (kN)	528,4	447,7
Deslocamento horizontal 1º piso (mm)	34,5 (1,4% h)	47,4 (1,9% h)
Deslocamento horizontal 2º piso (mm)	45,9 (1,8% h)	74,3 (3,0% h)
Deslizamento horizontal 1º andar (mm)	8,0 (0,3% h)	14,1 (0,6% h)
Deslizamento horizontal 2º andar (mm)	0,9 (0,0% h)	2,2 (0,1% h)
Levantamento paredes 1º andar (mm)	7,9 (0,3% h)	16,6 (0,7% h)
Levantamento paredes 2º andar (mm)	1,6 (0,0% h)	2,7 (0,1% h)

h – Altura por piso

Com base nos valores globais medidos durante os dois ensaios para os deslocamentos horizontais, foi possível concluir que os valores de deformação são relativamente baixos, mesmo para valores altos das forças aplicadas. Novamente, é possível visualizar a diferença de rigidez do edifício em ambas as direções. Em relação ao levantamento das paredes de corte, ambos os ensaios tiveram elevação nas paredes do 1.º andar, no qual o maior valor foi atingido na direção transversal. Como era esperado, e pelos baixos valores de

levantamento do 2.º andar, os valores atingidos são praticamente irrelevantes. Todavia, é importante salientar que o ensaio na direção longitudinal obteve um comportamento com maior presença de atrito entre a base de aço e as paredes MLCC e, por outro lado, na direção transversal verificou-se uma maior rotação global do edifício. Relativamente aos resultados dinâmicos registados pelos acelerómetros colocados no edifício, a Tabela 2 apresenta as frequências naturais para os casos com e sem massas adicionais e antes e após cada ensaio realizado.

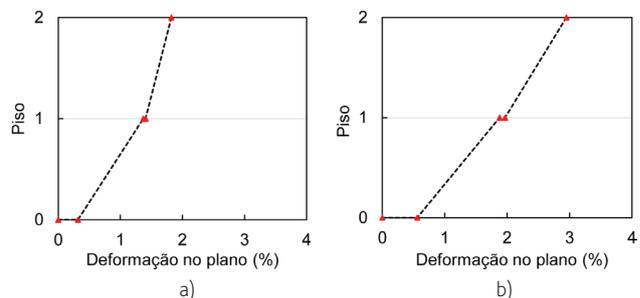


Figura 7 Deformação lateral do edifício nos diferentes níveis no teste longitudinal (a) e transversal (b)

Tabela 2 Frequências naturais obtidas durante os testes

Teste	Frequências (Hz)					
	Direção Transversal			Direção Longitudinal		
	Antes	Depois	Δ (%)	Antes	Depois	Δ (%)
Identificação*	8,2	5,0	38,6	19,2	12,5	34,9
Longitudinal	5,0	4,9	2,4	12,5	11,0	12,2
Transversal	6,0	4,9	18,5	6,4	5,8	9,8

* antes e após a introdução de massas adicionais

A partir dos valores apresentados na Tabela 2, como era esperado, para a direção em que os testes foram realizados, o teste transversal

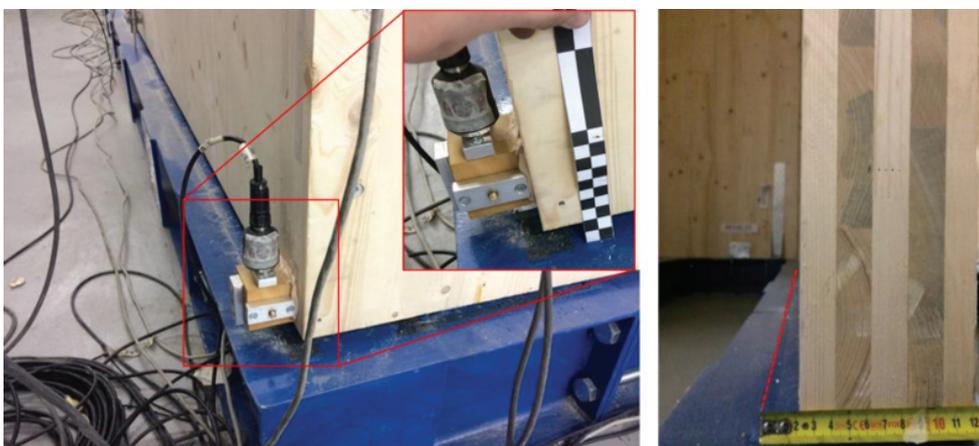


Figura 8 a) Rotação global do edifício; b) translação das paredes interiores sem a presença dos conetores AE116 e HTT22

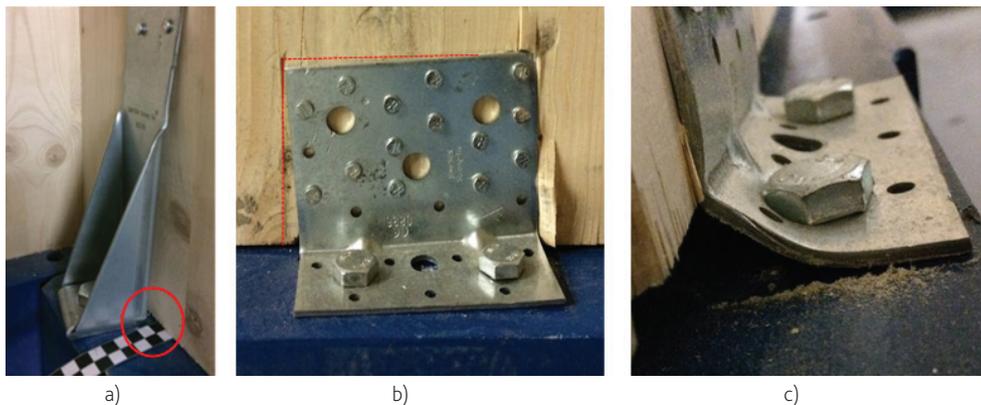


Figura 9 Principais danos observados nos conetores na base: a) rotação do conetor HTT22; b) rotação e deslizamento do conetor AE116; c) levantamento do conetor AE116

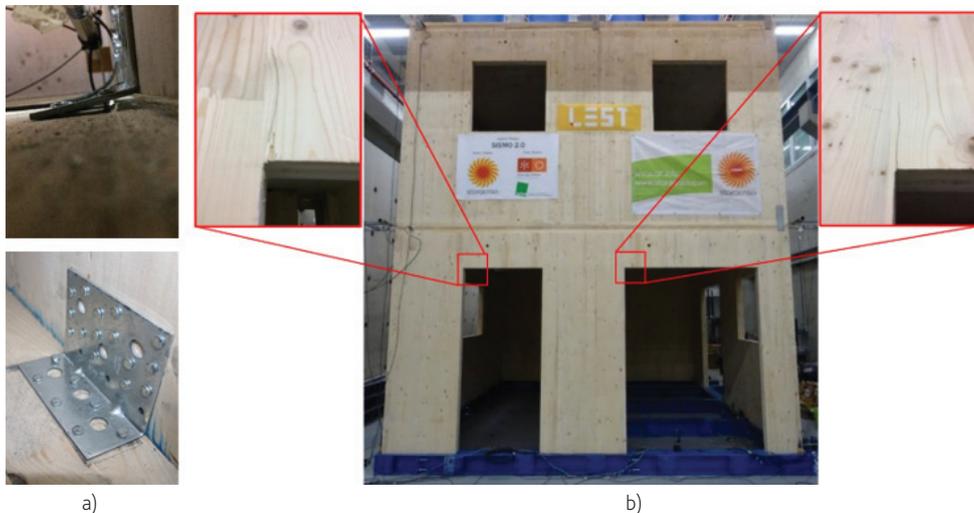


Figura 10 Danos observados no ensaio na direção transversal: a) levantamento e deslizamento do conetor AE116; b) fissuras nas paredes do rés do chão na fachada B-B'

obteve maior dano quando comparado com o teste longitudinal. No sentido longitudinal obteve uma redução de rigidez de 12,2%, enquanto no sentido transversal obteve 18,5%. Relativamente ao aumento da massa, resultou num decréscimo de frequência de 38,6% e 34,9% para a direção transversal e longitudinal, respetivamente.

Por último, os danos observados foram bastante semelhantes para todos os testes realizados, onde a principal diferença foi dada pelo nível de dano imposto ao edifício. O edifício sofreu levantamento global localizado na base do edifício (Figura 8a). Em termos de rotação do edifício, como o centro de massa e de rigidez não coincidiam e os conetores AE116 e HTT22 apenas foram introduzidos nas paredes de corte alinhadas na direção de aplicação da carga lateral, o edifício sofreu uma translação lateral significativa nas paredes interiores (Figura 8b).

Como se poderia esperar, a maioria dos danos observados foi encontrada nos conetores AE116 e HTT22, em consequência do

deslocamento horizontal e rotação, como é possível observar na Figura 9. Além disso, em alguns casos, os conetores AE116 sofreram uma pequena elevação, embora os parafusos que conectam à estrutura de aço da base não apresentaram qualquer dano (Figura 9c).

Consequentemente, como o teste na direção transversal apresentava menor rigidez no plano, já foi possível visualizar danos localizados nos conetores AE116 entre o primeiro piso e as paredes do segundo andar (Figura 10a) e fissuras perpendiculares ao fio nos lintéis sobre as aberturas da parede do rés do chão da fachada B-B' (Figura 10b).

4 Conclusões e recomendações

Analisados os resultados obtidos na campanha experimental aqui apresentada, é possível concluir que os edifícios de MLCC continuam a apresentar um bom desempenho sob ação de cargas laterais. No

entanto, como era esperado, obteve-se uma grande diferença de desempenho nas diferentes direções de carregamento. No caso longitudinal, uma vez que a estrutura era mais rígida, nenhum dano significativo foi observado. Foram observados alguns danos reduzidos nos conectores metálicos (AE116 e HTT22), com sinais de deslocamento horizontal, rotação e elevação. Por outro lado, no sentido transversal, com menor rigidez, foi possível observar danos mais graves. A rotação da estrutura foi bastante visível e foram encontradas fissuras provenientes de tensões perpendiculares ao fio. As frequências fundamentais do edifício MLCC foram identificadas com e sem massas adicionais, antes e após cada ensaio realizado, de forma a quantificar a redução de peso e rigidez, respetivamente. Como era esperado, a menor frequência é sempre proveniente do sentido transversal. Todavia, é de salientar, na análise dos resultados, o sentido transversal evidenciou-se sempre como o mais fiável no tratamento de dados.

Agradecimentos

Um agradecimento muito especial à Simpson Strong-Tie®, pelo fornecimento de todos os conectores metálicos utilizados, e aos técnicos do Laboratório de Estruturas (LEST) do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, pelo tempo e dedicação dados, durante todo o programa experimental.

Referências

- [1] Ceccotti, A.; Follesa, M. – “Seismic behavior of multi-story X-Lam buildings”, in: *Int. Workshop on Earthquake Engineering on Timber Structures*, 2006. 2006; 81-95.
- [2] Ceccotti, A. *et al.* – “SOFIE project - 3D shaking table test on a seven-storey full-scale cross-laminated building”. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* 2013; 42 (13) 2003-21. <https://doi.org/10.1002/EQE.2309>.
- [3] Dujic, B. *et al.* – “Experimental Investigation of Massive Wooden Wall Panel Systems Subjected to Seismic Excitation”, in: *Proceedings of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismicity*, Geneva, Switzerland 2006.
- [4] Costa, A.C. *et al.* – “Seismic performance of multi-storey timber buildings: TUGraz building”. Series Report, Lisbon, Portugal 2013a.
- [5] Popovski, M.; Gavric, I. – “Performance of a 2-Story CLT House Subjected to Lateral Loads”. *Journal of Structural Engineering* 2016; 142 (4) E4015006. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001315](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001315).
- [6] Popovski, M. *et al.* – “Performance of two-storey CLT house subjected to lateral loads”. *Proceedings of the 12th World Conference on Timber Engineering WCTE 2014*, Quebec, Canada. 2015. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3582.9280>.
- [7] European Committee for Standardization (CEN) – EN 1998-1:2004, Eurocode 8, *Design of structures for earthquake resistance, part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings*, CEN, Brussels, 2004.
- [8] ISO/FDIS 21581 – *Timber structures – Static and cyclic lateral load test methods for shear walls*, 2010.

