

Utilização de derivados de madeira no reforço de paredes de tabique

INÊS Fonseca^{1, a}, ARTUR O. Feio^{2, b} e JOSÉ S. Machado^{3, c}

¹Universidade de Évora, 7000 Évora, Portugal

² Faculdade de Arquitetura e Artes, Universidade Lusíada
Largo Tinoco de Sousa, 4760-108, Vila Nova de Famalicão, Portugal

³ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101
1700-066 Lisboa, Portugal

^ainespfonseca@sapo.pt, ^bemail, ^csaporiti@lnec.pt

Palavras-chave: Tabique, derivados de madeira, corte de diafragma, reforço

Resumo. As paredes de tabique constituem uma forma tradicional de construção de paredes, apresentando uma função não estrutural de compartimentação interna dos espaços. A má qualidade da construção ou processos de deterioração da estrutura do edifício podem alterar a sua função passando a contribuir para a estabilidade da construção. Considerando os danos observados neste tipo de paredes, o objetivo do presente estudo foi avaliar a possibilidade de reforço através da aplicação de placas de derivados de madeira (MDF e contraplacado) nas faces da parede. Foram produzidos em laboratório painéis de parede à escala real mas restritos à análise de um volume parcial (0,90 m x 0,44 m x 0,06 m) de parede. Os painéis foram submetidos a ensaio para caracterização do comportamento ao corte no plano da parede. Estes ensaios compreenderam painéis sem reforço, reforço após dano e reforço sem dano prévio da parede. Os ensaios realizados sobre provetes não reforçados mostraram ser pouco significativa a contribuição da argamassa para a resistência da parede. A rigidez e resistência deste tipo de parede são, assim, asseguradas pela ligação pregada entre o fasquiado e as tábuas de madeira. Os resultados permitem concluir que o reforço dos paramentos destas paredes com placas de derivados de madeira permite em média um aumento substancial da sua rigidez (cerca de 20 vezes).

Introdução

Sistemas construtivos de paredes, com ou sem função resistente, constituídos por um esqueleto em madeira revestido ou preenchido com argamassas e alvenarias encontram-se em diversas zonas de Portugal. Alguns estudos recentes permitem ter uma descrição mais pormenorizada da constituição deste tipo de paredes [1,2]. Os diversos tipos de sistemas construtivos podem ser resumidos consoante o tipo de enchimento e revestimento, Tabela 1, variando as suas denominações consoante a origem geográfica onde se situam.

As paredes com estrutura de madeira e revestimento em argamassa, correntemente designadas por tabique, encontram-se muito pouco estudadas do ponto de vista do seu comportamento mecânico. Alguns autores desconsideram a sua contribuição para o desempenho estrutural da construção dada a sua reduzida rigidez e resistência [3], enquanto que outros [4] defendem que estas constituem uma importante reserva de resistência e apresentam um comportamento elástico, exercendo um papel fundamental no travamento estrutural de edifícios antigos, considerando como tal aqueles construídos antes da utilização do betão armado. A importância desta componente é mais significativa quando da presença de má qualidade de construção ou face a fenómenos de deterioração de componentes estruturais. Embora o comportamento mecânico geral deste tipo de paredes seja referido em bibliografia [4, 5] como apresentando uma notável elasticidade e uma boa

resistência às ações verticais, não existem dados experimentais suficientes de suporte à quantificação deste comportamento.

Tabela 1: Tipos de sistemas construtivos identificados na edificação de paredes exteriores e interiores em Portugal

SISTEMA CONSTRUTIVO	ESQUELETO	ENCHIMENTO	REVESTIMENTO	DENOMINAÇÕES ENCONTRADAS	LOCAL DO EDIFÍCIO
Madeira revestida com materiais vegetais	Madeira	Materiais vegetais	Materiais vegetais / Reboco	Paredes de colmo Barracas Cabanas	Pisos térreos
Madeira com revestimento em tabuado	Madeira	-----	Tabuado Ardósias Chapa		Pisos térreos Pisos elevados
Madeira com revestimento em argamassa	Madeira	Tabuado	Ripado e reboco Caníço e reboco Telha canudo Ardósias	Tabique Taipa de fasquio Frontal à Francesa Taipa de ripa	Pisos elevados
Madeira com enchimento em argamassa	Madeira	Argamassa	Reboco Chapa Ardósias	Terra sobre engradado Tabique não fasquiado Enxaimel Francezas Fachwerk Taipa beiroa Pallabarro	Pisos elevados
Madeira com enchimento em alvenaria	Madeira	Alvenaria de tijolo Alvenaria de pedra	Reboco Chapa Ardósias Telha canudo	Taipa de Rodízio Frontal à galega Frontal Tecido Cruz de Santo André Parede de Gaiola	Pisos térreos Pisos elevados

As paredes de tabique podem estar sujeitas a esforços de corte devido a ações gravíticas (cargas verticais) ou a ações sísmicas (cargas horizontais), sendo que assentamentos diferenciais ao nível das fundações levam ao aparecimento de tensões de corte adicionais em paredes secundárias, com e sem funções estruturais, originando fissuração mais ou menos extensa.

A presente comunicação pretende contribuir para o conhecimento do comportamento mecânico das paredes de tabique através da avaliação da sua resistência ao corte no plano e do contributo que as placas de derivados de madeira podem ter na melhoria desse mesmo comportamento.

A aplicação de placas de derivados de madeira justifica-se pela possibilidade de proceder a intervenções de baixo custo, reparando a ocorrência de fissurações através de um processo menos oneroso em termos de mão-de-obra. Com estas soluções elimina-se a necessidade de utilizar argamassas de reparação, evitando o decorrente aumento do teor de água dos elementos de madeira que constituem a estrutura da parede e, conseqüentemente, o risco de degradação biológica.

A reparação de fissurações que possam ocorrer nos rebocos de acabamento é igualmente importante do ponto vista do comportamento ao fogo deste tipo de paredes. As fissuras permitem uma exposição direta da estrutura de madeira ao foco de incêndio, diminuindo significativamente o seu desempenho. A presença de fissuração pode condicionar uma diminuição do desempenho de reação ao fogo de uma classe A1 para uma classe D. A utilização de placas de derivados pode conferir às paredes uma classe de reação ao fogo B.

Por fim, refira-se que a utilização de placas permite a remodelação do interior dos edifícios através da utilização de folhas de revestimento decorativas ou da cor da própria placa adaptando-se a funções distintas e ao gosto pessoal do utilizador final.

Parte experimental

Material. Os ensaios compreenderam painéis representativos de uma tipologia de parede de tabique. A tipologia estudada consiste de tábuas costaneiras de pinho dispostas verticalmente, dispondo-se ortogonalmente a estas tábuas, nas duas faces, um fasquiado igualmente de pinho. A esta estrutura de madeira é adicionada uma argamassa de enchimento e por fim um reboco, Fig. 1.

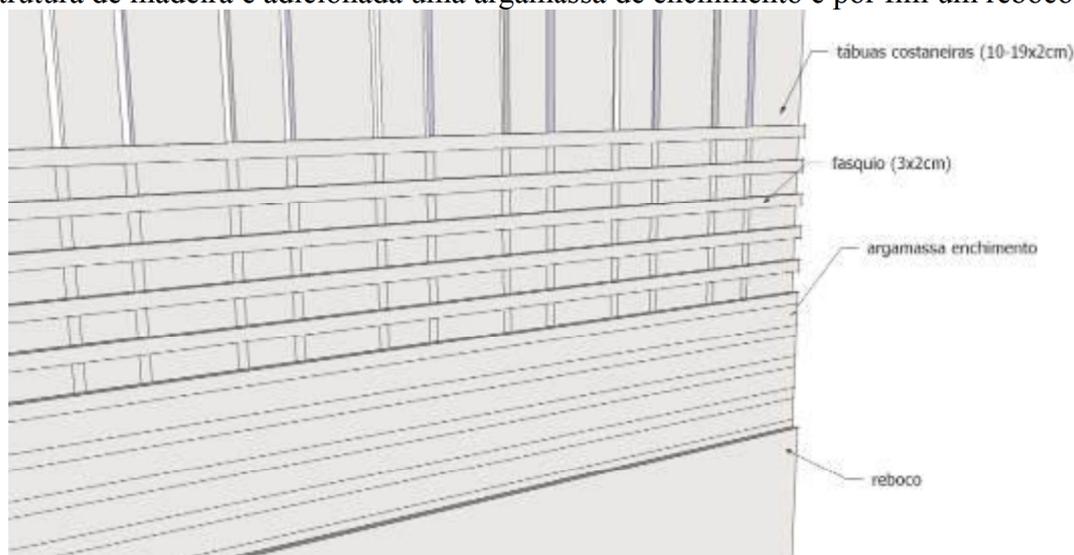


Figura 1. Tipologia de tabique estudada – desenho esquemático

Os painéis para ensaio foram feitos à escala real mas restritos à análise de um volume parcial de parede (0,90 m x 0,44 m x 0,06 m) dado o objetivo do estudo. A estrutura de madeira foi feita com pinho bravo (*Pinus pinaster* Ait.). Os painéis são constituídos por tábuas de secção retangular com 100 mm x 30 mm colocadas na vertical, dispondo-se ortogonalmente um fasquiado de secção trapezoidal com 18 mm na face exterior, 10 mm na face interior e 15 mm de largura. A ligação tábua-fasquia foi efetuada por meio de prego de secção quadrada 1,38 mm e 30 mm de comprimento.

Foram produzidos quarenta painéis sendo vinte com um afastamento entre tábuas costaneiras de 10 mm (tipo E) e outros vinte com um afastamento de 20 mm (tipo L).

Os painéis foram revestidos com uma argamassa de cal e areia numa só camada até cobrir o fasquiado. A argamassa foi aplicada em ambas as faces e apertada com a talocha. Previamente à aplicação do revestimento as estruturas foram molhadas à trincha para evitar a absorção em excesso da água da amassadura pela madeira. Atendendo a que a madeira absorve facilmente água, decidiu-se aplicar, previamente, uma camada de leite de cal com características hidrófugas (CH) em dez painéis (cinco do tipo E e cinco do tipo L) de forma a evitar a absorção de água da amassadura e reduzir a ocorrência de eventual fissuração no reboco durante a secagem. Esperava-se com este procedimento melhorar a aderência entre a argamassa e a madeira.

A argamassa utilizada resultou da mistura de cal em pasta não hidrófuga ao traço 1:4 de areia média lavada e 20 % do volume da cal em aditivo pozolânico. À mistura foi adicionado um litro de água na amassadura (argamassa nº 1). Para os painéis com a estrutura previamente caiada foi utilizada uma mistura de cal em pasta e areia média lavada ao traço 1:4, mas com 30 % do volume da cal em aditivo pozolânico e 2,5 litros de pó de mármore. Nesta mistura foi adicionado secante na proporção de 8 % para cada 10 litros de cal (argamassa nº 2). O pó de mármore permite uma argamassa mais compacta e de acabamento mais uniforme, uma vez que este agregado vai preencher os vazios da areia. O secante permitiu um endurecimento mais rápido.

O ensaio dos painéis foi iniciado decorridos 90 dias sobre o término da aplicação das argamassas. Antes do ensaio foram reforçados cinco painéis E e L com placas de aglomerado de fibras de madeira de média densidade de 8 mm de espessura para aplicação estrutural em ambientes húmidos (MDF.HLS) e outro cinco painéis de cada tipo com placas de contraplacado leve de Okoumé de 10 mm de espessura com fins estruturais para ambientes húmidos (PW).

A aplicação das placas foi feita com recurso a parafusos com um diâmetro de 2,6 mm e com 25 mm de comprimento. Na definição do procedimento de aplicação dos parafusos foi seguida a especificação técnica europeia CEN/TS 12872 [6].

Ensaio de corte no plano do painel. Os ensaios de corte foram conduzidos de acordo com o preconizado na norma europeia EN 789 [7], sendo o ensaio conduzido até à imposição de uma deformação máxima de 25 mm no ponto de leitura de deslocamento 1A, Fig. 2.

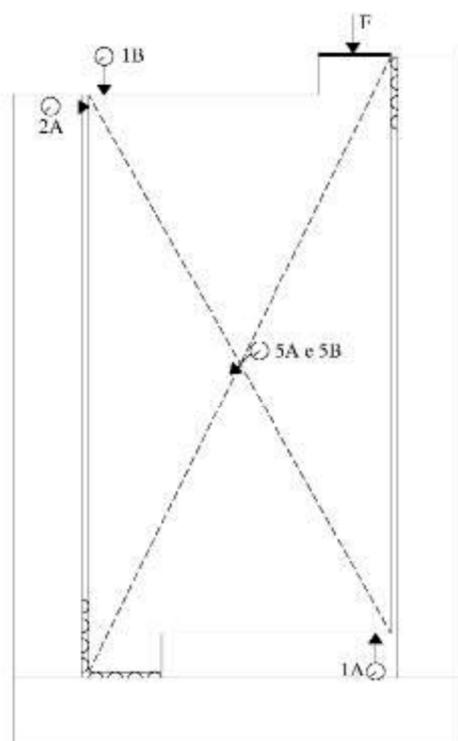


Figura 2. Esquema de ensaio com indicação dos pontos de leitura de deslocamento e ponto de introdução da carga (F)

No ensaio foi definido o esquema de carga indicado na norma portuguesa NP EN 380 [8], embora adaptado, tendo em vista a introdução de um limite de deformação e não de carga com a norma preconiza. O ensaio foi conduzido numa máquina de ensaios Shimadzu de 250 kN de capacidade com uma classe de precisão 0,5. O ensaio foi conduzido por controlo de velocidade de deslocamento tendo sido adotada a velocidade de 2 mm/min. Na medição dos deslocamentos foram utilizados sensores de deslocamento LVDT.

Após os ensaios foi determinado o módulo de distorção em corte de diafragma (G_v), Eq. 1, e o módulo de distorção no plano do painel (R), Eq. 2.

$$G_v = 0,5 \frac{\Delta_F l_1}{\Delta_d l_t} \quad (1)$$

Onde: Δ_F/Δ_d declive da curva força/deslocamento na zona linear; l_1 comprimento do vão de medição do deslocamento; l comprimento do painel ao longo da diagonal; t espessura média do painel.

$$R = \frac{\Delta_F}{\Delta_d} \quad (2)$$

Análise e discussão dos resultados

Na tabela 2 são apresentados os resultados globais obtidos para as diversas situações testadas para os painéis de tabique sem reforço.

Tabela 2: Resultados globais para os dois tipos de painel considerando ou não a aplicação de leite de cal com características hidrófugas (CH)

	PAINÉIS SEM REFORÇO					
	Tipo-E		Tipo-L		Tipo-E	Tipo-L
	Sem CH	Com CH	Sem CH	Com CH	Resultados globais (com e sem CH)	
Módulo de distorção em corte de diafragma – G_v (N/mm ²)						
Valor médio	0,47	0,51	0,54	0,59	0,49	0,57
Desvio padrão	0,06	0,16	0,09	0,12	0,12	0,10
Módulo de distorção no plano do painel – R (N/mm ²)						
Valor médio	61,00	60,43	73,78	76,28	60,72	75,03
Desvio padrão	6,33	18,72	14,89	15,43	13,18	14,35

Os resultados obtidos permitem verificar que os painéis de tabique apresentam uma baixa rigidez. A rigidez do conjunto é determinada unicamente pela ligação pregada tábuas-fasquia, moldando-se a argamassa aos movimentos verticais da estrutura de madeira. Para a deformação imposta (25 mm) observa-se que a argamassa perde aderência ao suporte, não ocorrendo destacamentos devido à geometria do fasquiado que prende a argamassa. Observa-se em algumas ligações pregadas ligeira fissuração da madeira, mas sem relevância estrutural.

Comparando as diversas situações ensaiadas através de um teste *t-student* observa-se que não existem diferenças significativas entre as médias obtidas para as duas soluções testadas (painéis do tipo E e L). Face a este resultado as duas amostras foram combinadas numa única nas análises subsequentes. Após o ensaio os painéis apresentavam uma deformação residual de 3 mm (medida 60 s após a remoção da carga) com um desvio padrão de 0,69 mm.

Após este primeiro ensaio os painéis (20 unidades) foram forçados a retomar a sua ortogonalidade (através da aplicação de força nos montantes). Esta ação revelou-se fácil sem que tivessem sido introduzidos danos aparentes na estrutura de madeira e na argamassa de recobrimento.

Após esta correção da deformação, dez painéis foram reforçados em ambas as faces por meio de placas de MDF e os restantes dez painéis com placas de contraplacado. A Fig. 3 mostra um exemplo típico da curva força-deslocamento obtida antes e após reforço, com placa de MDF e de contraplacado, respectivamente.

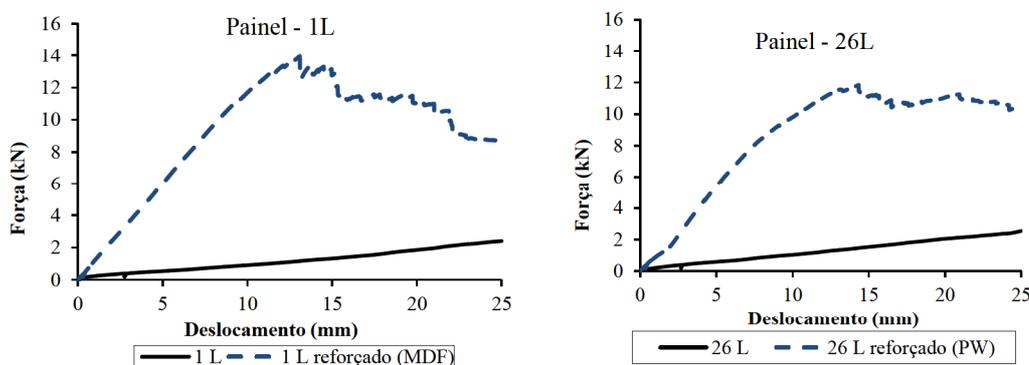


Figura 3. Curvas força-deslocamento respeitante à determinação do módulo de distorção no plano do painel. Gráfico da esquerda relativo ao painel 1L antes e após reforço (já com dano) com placa de MDF; gráfico da direita painel 26L antes e após reforço (já com dano) com placa de PW

Foram conduzidos igualmente ensaios sobre vinte painéis reforçados sem prévia introdução de dano. Metade destes painéis foi reforçada com placas de MDF e os restantes com placas de contraplacado. A tabela 3 permite observar os resultados obtidos.

Tabela 3: Resultados globais para os diversos tipos de painel e solução de reforço estudados

PAINÉIS COM REFORÇO APÓS DANO				
	Tipo-E		Tipo-L	
	MDF	PW	MDF	PW
Módulo de distorção em corte de diafragma – G_v (N/mm ²)				
Valor médio	153,88	205,10	178,63	169,99
Desvio padrão	60,50	66,18	49,64	32,62
Módulo de distorção no plano do painel – R (N/mm ²)				
Valor médio	1431,29	1323,97	1435,81	1191,86
Desvio padrão	172,63	135,99	117,98	111,41
PAINÉIS COM REFORÇO SEM DANO				
	Tipo-E		Tipo-L	
	MDF	PW	MDF	PW
Módulo de distorção em corte de diafragma – G_v (N/mm ²)				
Valor médio	176,65	127,24	200,85	161,76
Desvio padrão	31,15	37,51	44,13	49,97
Módulo de distorção no plano do painel – R (N/mm ²)				
Valor médio	1419,60	1351,16	1523,84	1340,82
Desvio padrão	156,93	138,95	143,32	182,08

Uma análise *t-student* indica que, considerando a variabilidade associada aos resultados de ensaio, não existem diferenças significativas entre as médias obtidas para os painéis reforçados após dano e os painéis reforçados sem dano, com ligeira exceção do Tipo-E reforçado com PW onde o valor é um pouco inferior no caso dos painéis com reforço sem dano, que se justifica pela diferença entre o módulo de distorção (G_v) indicativo do PW (300 N/mm²) e do painel danificado.

Comparando as médias dos painéis iniciais e os painéis após reforço (englobando o conjunto dos painéis reforçados após e sem dano) constata-se um aumento de cerca de 22 vezes no caso de reforço com MDF e de cerca de 16 vezes no caso de contraplacado (NOTA: isto para o módulo de distorção no plano do painel, pois em corte de diafragma o valor é muito superior). Esta diferença é explicada por um lado pela diferença da massa volúmica associada a cada tipo de placa utilizada (MDF – 770 kg/m³, PW – 500 kg/m³), com influência na resistência ao esmagamento localizado do painel junto aos parafusos, e pela diferença do módulo de distorção (G_v) indicativo mais elevado no caso do MDF (1000 N/mm²) do que no caso do PW, valores estes indicados na norma europeia EN 12369, partes 1 e 2 [9, 10].

Os valores indicativos do módulo de distorção (G_v) das placas de reforço quando comparados com os valores do módulo de distorção dos painéis reforçados, Tabela 3, indicam que a transmissão de esforços no plano do painel é reduzida, embora significativamente superior aos valores obtidos para os painéis não reforçados. Os esforços introduzidos no ensaio concentram-se nas ligações pregadas situadas junto da periferia do painel (tábuas exteriores). Em consequência, verifica-se uma maior concentração de parafusos partidos nessas zonas, observando-se no decorrer do ensaio que os parafusos situados no interior do painel sofrem rotura após a rotura dos parafusos situados na periferia, Fig. 4.

Conclusões

Os ensaios realizados permitem concluir que o comportamento mecânico dos painéis de tabique ao corte no plano é determinado pelo comportamento das ligações pregadas fasquiado-tábuas costaneiras, sendo a contribuição da argamassa para este comportamento residual ou mesmo nula.

Os dados experimentais permitem inferir que as paredes de tabique apresentam um fraco comportamento ao corte no plano da parede, apresentando uma elevada deformabilidade correspondente a um módulo médio de distorção no plano do painel de 67,87 N/mm². O reforço por meio de placas de derivados de madeira permite aumentar significativamente esse comportamento, apresentando em média os painéis reforçados um módulo médio de distorção no plano do painel de 1377,29 N/mm², correspondendo a um aumento de cerca de 20 vezes relativamente aos painéis de

tabique não reforçados. Os ensaios indicam igualmente não existir uma diferença significativa entre os resultados obtidos para os painéis de tabique reforçados após dano e os reforçados sem dano prévio.

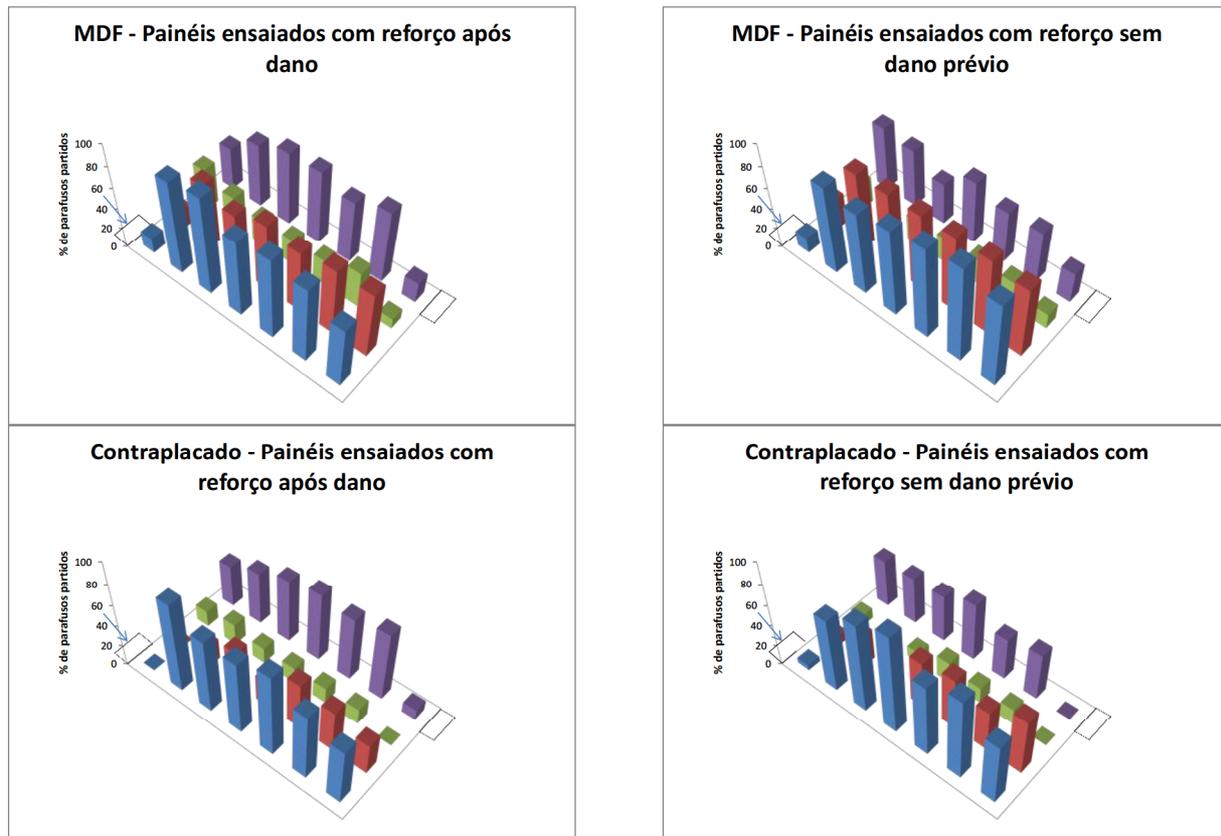


Figura 4. Localização dos parafusos de ligação entre placas de derivados e painel de tabique partidos durante o ensaio

Os resultados agora obtidos permitem concluir da possível viabilidade da utilização de placas de derivados de madeira para a consolidação/reforço de paredes de tabique apresentando já algum dano. Trabalhos futuros deverão incluir a validação numérica/experimental em paredes de tabique de dimensão real, que tenham em conta as ligações estruturais entre as paredes e os restantes elementos da estrutura, tais como pavimentos e paredes resistentes.

Agradecimentos

Agradece-se ao Engenheiro Fernando Cartaxo a disponibilidade demonstrada pela cedência da cala para elaboração das argamassas, pelas sugestões e contribuições para a realização dos painéis. Agradece-se à VALBOPAN, SA o fornecimento de placas de aglomerado de fibras de média densidade.

Referências

- [1] I. Fonseca, J. S. Machado: in CIMAD 11 – 1.º Congresso Ibero-Latino-Americano da Madeira na Construção, Coimbra, 2011. S31-T13-6.
- [2] J. Pinto, H. Varum, D. Cruz, D. Sousa, P. Morais, P. Tavares, J. Lousada, P. Silva, J. Vieira: WSEAS Transactions on Environment and Development Vol. 6 (2010), p. 105-114.
- [3] H. Varum et al: Engenharia Estudo e Pesquisa Vol. 8 (2005), p. 47-65.
- [4] J. Appleton, Reabilitação de Edifícios Antigos: Patologias e tecnologias de intervenção. Amadora: Edições Orion, 2003.

- [5] F. Pinho: in Paredes Divisórias: Passado, Presente e Futuro. Edited by Paulo B. Lourenço, Graça Vasconcelos, Paulo M. A. Camões, Ricardo Mateus, Luís Bragança, Luís Ramos. Escola de Engenharia Universidade do Minho. p. 1-13.
- [6] CEN/TS 12872:2007, Wood-based panels - Guidance on the use of load-bearing boards in floors, walls and roofs.
- [7] EN 789:2004, Timber structures. Test methods. Determination of mechanical properties of wood based panels.
- [8] NP EN 380: 2010, Estruturas de madeira. Métodos de ensaio. Princípios gerais para ensaios estáticos de carga.
- [9] EN 12369-1:2001, Wood-based panels. Characteristic values for structural design. Part 1: OSB, particleboards and fibreboards.
- [10] EN 12369-2:2011, Wood-based panels. Characteristic values for structural design. Part 2: Plywood.