

## **Desenvolvimento de painel sanduíche multifuncional para a reabilitação sustentável de edifícios porticados de betão armado: caracterização de componentes**

**Christoph  
de Sousa<sup>1</sup>**

**Joaquim  
Barros<sup>2</sup>**

**João  
Ramôa Correia<sup>3</sup>**

**Delfina  
Gonçalves<sup>4</sup>**

**Miguel  
Azenha<sup>5</sup>**

### **RESUMO**

Esta comunicação apresenta um trabalho de investigação dedicado ao desenvolvimento de um painel sanduíche compósito multifuncional concebido para a reabilitação estrutural e térmica de edifícios porticados de betão armado construídos em Portugal a partir da década de 1960 e até meados da década de 1980. Este painel é composto essencialmente por três componentes que visam assegurar a multifuncionalidade pretendida, nomeadamente: (i) finas camadas exteriores, de cariz estrutural, em microbetão reforçado com fibras de aço recicladas resultantes do processo de reciclagem de pneus (MBRFR); (ii) núcleo em poliestireno, para assegurar isolamento térmico contínuo ao painel; e (iii) conetores poliméricos reforçados com fibras de vidro (GFRP), para conferir uma adequada conexão entre as diferentes camadas. O presente artigo aborda primeiramente a caracterização mecânica efetuada ao MBRFR (comportamento em compressão e tração) e aos conetores GFRP (ensaios de tração direta), sendo ainda apresentados os testes efetuados para seleção do material de isolamento térmico a adotar na conceção do painel sanduíche em desenvolvimento. Estes testes abrangem a realização de ensaios de corte em elementos compósitos representativos do referido painel, nos quais se fez variar a tipologia de poliestireno adotada para a camada de isolamento, com o objetivo de avaliar a influência que esta camada pode ter nas condições de ligação dos constituintes do painel sanduíche. Os resultados obtidos permitiram tirar conclusões importantes acerca desta influência, revelando que o material e especialmente a superfície de acabamento podem contribuir de forma não-negligenciável para o comportamento estrutural da solução compósita.

**Palavras-chave:** Edifícios porticados; reabilitação; painel sanduíche; fibras recicladas; poliestireno

### **1. INTRODUÇÃO**

As atividades de conservação e reabilitação do património edificado assumem um papel cada vez mais relevante na sociedade moderna, não apenas devido ao natural envelhecimento e consequente degradação das estruturas, mas também pelo facto de os regulamentos e normas de dimensionamento implicarem novas exigências que uma parte significativa dos edifícios existentes não consegue cumprir. No âmbito das diferentes áreas de atuação da Engenharia Civil, o interesse principal da comunidade científica e tecnológica em relação à reabilitação do património edificado está atualmente focado em três principais áreas de investigação, nomeadamente: (i) reabilitação energética, devido às metas estabelecidas pela União Europeia no que toca à eficiência energética, conforto térmico dos utilizadores no interior dos edifícios e redução de emissões de dióxido de carbono; (ii) reabilitação estrutural, com

---

<sup>1</sup>ISISE, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães, Portugal. [christophdesousa@gmail.com](mailto:christophdesousa@gmail.com)

<sup>2</sup>ISISE, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães, Portugal. [barros@civil.uminho.pt](mailto:barros@civil.uminho.pt)

<sup>3</sup>CERIS, Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal. [joao.ramoa.correia@tecnico.ulisboa.pt](mailto:joao.ramoa.correia@tecnico.ulisboa.pt)

<sup>4</sup>CiviTest, Vila Nova de Famalicão, Portugal. [delfinagoncalves@civitest.com](mailto:delfinagoncalves@civitest.com)

<sup>5</sup>ISISE, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães, Portugal. [miguel.azinha@civil.uminho.pt](mailto:miguel.azinha@civil.uminho.pt)

vista à segurança das estruturas edificadas e proteção dos seus utilizadores; e (iii) sustentabilidade na construção civil, promovendo o recurso a materiais sustentáveis para diminuição dos impactos no meio ambiente. O presente trabalho de investigação aborda os tópicos supramencionados através do desenvolvimento de um painel sanduíche multifuncional para reabilitação estrutural e de desempenho energético de edifícios porticados em betão armado construídos em Portugal a partir da década de 1960 e até meados da década de 1980.

Relativamente à redução dos impactos ambientais na indústria, existe um interesse crescente na área da construção civil relacionado com a utilização de materiais reciclados. Neste sentido, tem havido esforços por parte da comunidade científica no sentido de promover o desenvolvimento de estruturas de betão com incorporação de produtos derivados do processo de reciclagem de pneus usados, tais como granulados de borracha [1, 2] e fibras de aço [3, 4]. De facto, a gestão e valorização de resíduos resultantes de pneus usados constitui ainda um desafio importante a nível mundial e, tanto a reutilização de pneus como a recuperação/reutilização dos seus materiais constituintes são apontados como soluções sustentáveis para a valorização deste tipo de resíduo [4]. Estudos científicos mostram que a adição de fibras de aço provenientes de pneus reciclados durante o processo de amassadura constitui efetivamente uma solução de reforço com efeitos favoráveis em termos de eficiência estrutural das estruturas de betão. Estes efeitos traduzem-se num melhoramento significativo ao nível da ductilidade e resistência pós-fissuração destes materiais [5-9]. A sustentabilidade da solução de reabilitação em desenvolvimento no âmbito deste estudo é assim tida em conta através do uso de fibras recicladas como único elemento de reforço dos elementos de betão que constituem o painel sanduíche.

Os painéis sanduíche pré-fabricados são geralmente caracterizados por uma camada interior de isolamento térmico e camadas exteriores rígidas: a primeira para assegurar a eficiência térmica e as segundas para garantir ao painel a capacidade portante que se lhe exija. A camada de isolamento térmico é comumente constituída por um conjunto de placas de poliestireno, nomeadamente placas de poliestireno expandido (EPS) ou poliestireno extrudido (XPS). Para além das diferentes camadas que constituem este tipo de sistema construtivo, os painéis sanduíche são ainda constituídos por sistemas de conexão que conferem ligação entre as camadas exteriores do painel e a camada de isolamento. De facto, do ponto de vista do dimensionamento estrutural dos painéis, é senso comum que o tipo de sistema de conexão a adotar influencia significativamente o grau de funcionamento compósito entre as camadas exteriores de betão [10, 11]. No entanto, é possível encontrar na bibliografia estudos que mostram a contribuição importante que o tipo de camada de isolamento pode ter no grau de ação compósita do painel, dependendo das propriedades mecânicas do material a adotar para o núcleo e da rugosidade superficial desta camada, fatores que podem influenciar a adesão na interface entre a camada de isolamento e as camadas exteriores de betão [12, 13].

O trabalho de investigação apresentado nesta comunicação foca-se no programa experimental realizado no âmbito do desenvolvimento de um painel sanduíche concebido para a reabilitação estrutural e térmica de edifícios existentes, mais especificamente através de intervenções ao nível da fachada destes edifícios. O programa experimental realizado até à data consistiu essencialmente na realização dos seguintes ensaios: (i) caracterização material (Secção 2) relativa aos diferentes componentes que constituem o painel sanduíche em desenvolvimento (camadas exteriores de MBRFR, conetores de GFRP e camada do núcleo em poliestireno), com vista à obtenção das propriedades dos materiais constituintes; e (ii) testes em provetes com secções representativas do painel sanduíche em desenvolvimento (Secção 3), efetuados com o objetivo de sustentar o processo de escolha do tipo de placa de poliestireno a usar para a camada de isolamento do painel. A atividade experimental descrita nesta comunicação foi realizada no *Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho (LEST)*, com exceção aos ensaios de caracterização do MBRFR, que foram realizados na empresa *CiviTest – Pesquisa de Novos Materiais para a Engenharia Civil, Lda.*

## 2. CARATERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

### 2.1 Microbetão reforçado com fibras recicladas

O microbetão reforçado com fibras recicladas reportado nesta Secção foi especificamente desenvolvido para a produção de finas lâminas de betão, a serem usadas como camadas externas de painéis sanduíche pré-fabricados. A composição final da mistura encontra-se indicada no Quadro 1. A denominação de “microbetão” atribuída a esta composição tem a ver com o facto de ter sido adotada uma dimensão máxima de agregado de 9 mm para possibilitar a produção das finas lâminas que compõem as camadas externas do painel sanduíche (cada lâmina apresenta uma espessura de 25 mm). Tal como referido, as fibras adicionadas à matriz cimentícia, que, neste caso, resultam num betão com volume de fibras igual a 0.89%, são provenientes da indústria da reciclagem de pneus. Os pneus usados são sujeitos a um processo de trituração, do qual resulta um aglomerado de borracha e fibras metálicas, sendo estas últimas então separadas da borracha através de um sistema de extração eletromagnético. Estas fibras caracterizam-se por apresentarem diferentes diâmetros e comprimentos e configurações geométricas irregulares. De acordo com o fornecedor das fibras recicladas, estas caracterizam-se, em média, pelos seguintes valores: comprimento ( $l_f$ ) de 20 mm, diâmetro ( $d_f$ ) de 0.15 mm, esbelteza ( $l_f / d_f$ ) igual a 133 e resistência à tração igual a 2850 MPa. A resistência à compressão e o módulo de elasticidade do MBRFR foram avaliados aos 28 dias de idade em ensaios efetuados com provetes cilíndricos de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura, de acordo com as normas NP EN 12390-3 [14] e NP EN 12390-13 [15], tendo sido obtidos valores médios de 54.03 MPa e 27.25 GPa, respetivamente.

Quadro 1. Composição do MBRFR (kg/m<sup>3</sup>)

<i>Materiais</i>	<i>Quantidade (kg/m<sup>3</sup>)</i>
Cimento (CEM I 42.5R)	400
Cinzas volantes	200
Brita granítica (9 mm)	597.2
Meia areia de rio (4 mm)	734.7
Areia fina de rio (0.6 mm)	147.5
Água	173
Superplastificante (BASF SKY 617)	7.2
Fibras recicladas	70

Relativamente às propriedades do MBRFR à tração, a resistência pós-fissuração deste material foi estudada, aos 28 dias de idade, através da realização de ensaios de tração direta em provetes com espessura de 30 mm e forma geométrica representada na Fig. 1a (formato comumente designado por “osso de cão”), com dois entalhes laterais para forçar que a fendilhação ocorra na secção central do provete. A Fig. 1b ilustra o sistema de ensaio adotado, que se baseia essencialmente num atuador servo-hidráulico e célula de carga com capacidade de 50 kN, juntamente com duas amarras que asseguram a fixação do provete pelas suas extremidades (com superfícies de contacto nervuradas para evitar escorregamento do provete). A medição da abertura de fissura dos provetes traduz-se no valor médio medido por quatro transdutores de deslocamento (LVDT) colocados um em cada uma das faces do provete, na zona da secção onde foram executados os entalhes (visível na Fig. 1b). Os testes foram efetuados sob controlo de deslocamento (imposta pela amarra superior) à velocidade de 0.1 mm/min. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Fig. 1c, que ilustra a envolvente das curvas obtidas no conjunto de provetes ensaiados e a respetiva curva média. Foram registadas tensões de tração médias para a formação da primeira fenda e carga de pico de 3.38 MPa e 3.78 MPa, respetivamente. No geral, o comportamento pós-fissuração pode ser caracterizado por resistências à tração residuais de 3.51 MPa e 1.72 MPa para aberturas de fissura de 0.5 mm (estado limite de serviço) e 2.5 mm (estado limite último), respetivamente.

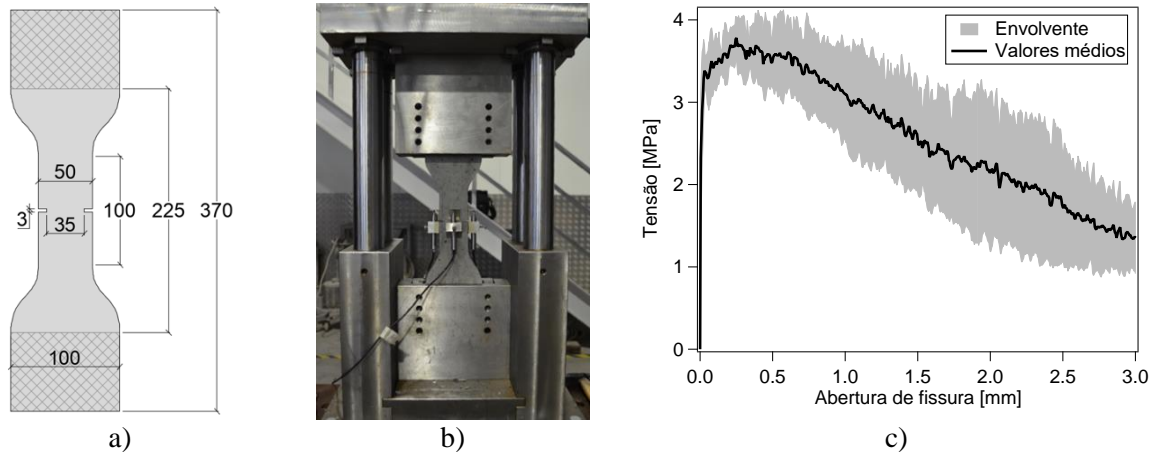


Figura 1. MBRFR ensaiado à tração: a) geometria dos provetes ensaiados [mm]; b) configuração de ensaio; c) respostas obtidas.

## 2.2 Conectores em GFRP

Os conectores em GFRP utilizados consistem num modelo utilizado na indústria de pré-fabricação especificamente para a produção de painéis sanduíche. A Fig. 2a ilustra uma representação tridimensional da configuração geométrica dos conectores utilizados no presente trabalho, cujas dimensões se apresentam na Fig. 2b. É possível constatar que este conector é especificamente indicado para secções sanduíche com espessura total de 100 mm, contendo camadas exteriores de betão de 25 mm de espessura e uma camada interior de isolamento de 50 mm de espessura. Os dados facultados pelo fornecedor indicam que o material GFRP que constitui estes conectores apresenta uma resistência à tração e um módulo elástico à tração igual a 91.0 MPa e 10.1 GPa, respetivamente. As propriedades fornecidas foram confirmadas através dos ensaios de tração direta (Fig. 2c), pois foram obtidos valores médios para a resistência última e módulo de elasticidade de 95.6 MPa e 10.4 GPa, respetivamente (Fig. 2d).

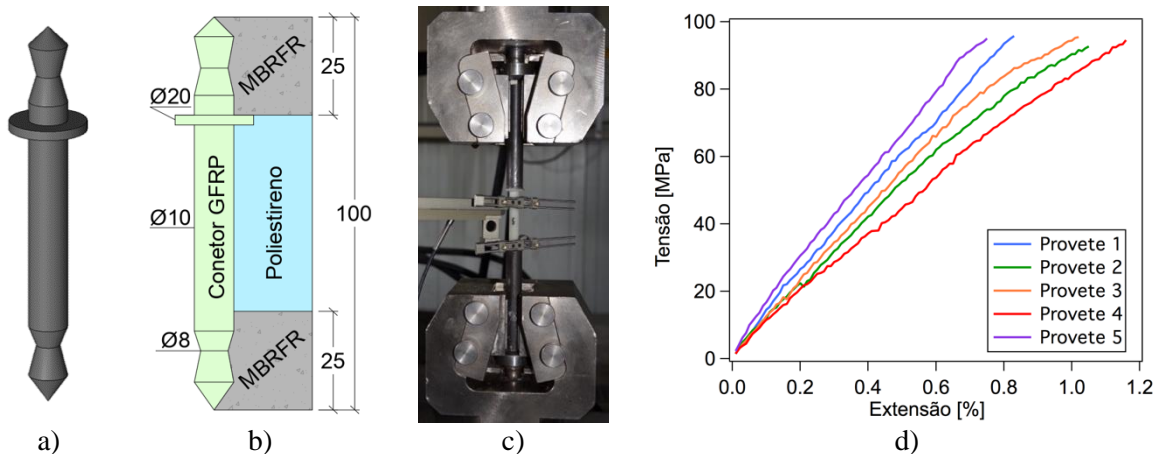
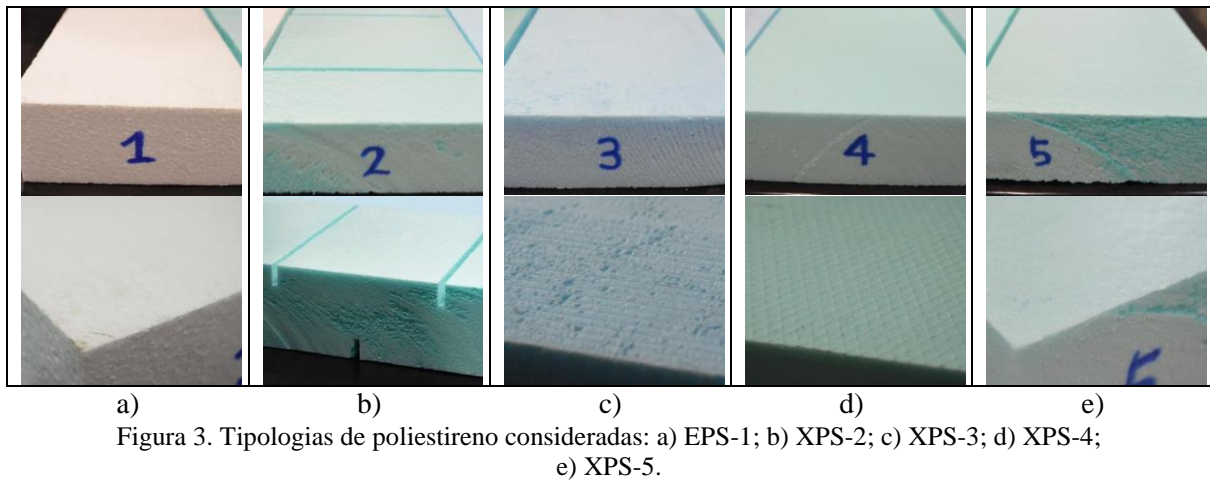


Figura 2. Caracterização efetuada aos conectores GFRP: a) representação 3D; b) dimensões do conector [mm]; c) configuração de ensaio; d) respostas obtidas.

## 2.3 Poliestireno

Para este programa experimental foram considerados diferentes tipos de placas de poliestireno com o objetivo final de avaliar a influência que o material de isolamento térmico e a aderência entre este e as camadas exteriores de MBRFR podem ter no comportamento estrutural do painel sanduíche, quando sujeito a esforços de corte. Para esse efeito foram considerados cinco tipologias de poliestireno: (i) solução corrente de EPS (EPS-1, ver Fig. 3a); (ii) XPS com superfície lisa, na qual foram executados entalhes com espessura de 3 mm em ambas as faces (de forma intercalada – ver Fig. 3b) espaçados de 100 mm e com profundidade de 12.5 mm (XPS-2, ver Fig. 3b); (iii) XPS com superfície rugosa (XPS-

3, Fig. 3c); (iv) XPS com superfície nervurada (XPS-4, ver Fig. 3d); e (v) solução corrente de XPS com superfície lisa (XPS-5, ver Fig. 3e). As propriedades destas tipologias de poliestireno, indicadas pelos fornecedores/fabricantes [16-18], são apresentadas no Quadro 2.



Quadro 2. Propriedades materiais das tipologias de poliestireno estudadas (fornecidas pelos fabricantes)

Material	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	Resistência à compressão para 10% de deformação [kPa]	Condutibilidade térmica [W/mK]
EPS-1	20	100	0.036
XPS-2	[30-33]	[200 – 300]	0.035
XPS-3	32	> 200	0.036
XPS-4	[30-33]	[200 – 300]	0.035
XPS-5	[30-33]	[200 – 300]	0.035

### 3. ENSAIOS DE CORTE EM PROVETES REPRESENTATIVOS DO PAINEL SANDUÍCHE

#### 3.1 Procedimento e configuração de ensaio

Os ensaios descritos nesta secção foram realizados em provetes com dimensões 300 × 300 mm<sup>2</sup>, e com a mesma configuração sanduíche que se pretende adotar para o painel em desenvolvimento (ver representação 3D na Fig. 4). De forma a assegurar as condições necessárias para fixação/imobilização da camada inferior de MBRFR, a camada do núcleo localiza-se numa porção central do provete, perfazendo uma área de contato com as camadas de MBRFR equivalente a 150 × 300 mm<sup>2</sup>. A necessidade de preparar os provetes com esta configuração pode ser entendida com mais clareza através da visualização das Figs 5a e 5b, que ilustram a configuração de ensaio adotada. Foi utilizado um atuador com capacidade de 50 kN, impondo uma ação de corte no provete através de um carregamento horizontal aplicado na camada superior de MBRFR (ver Figs 5a e 5b) em controlo de deslocamento (0.3 mm/min). É de referir ainda que o deslocamento relativo entre as camadas de MBRFR foi obtido recorrendo a um LVDT com precisão ± 0.25 μm.

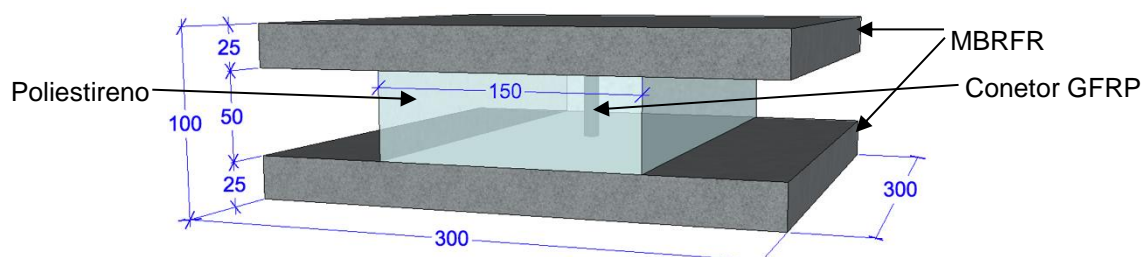


Figura 4. Geometria dos provetes adotados para os ensaios de corte e compressão [mm].

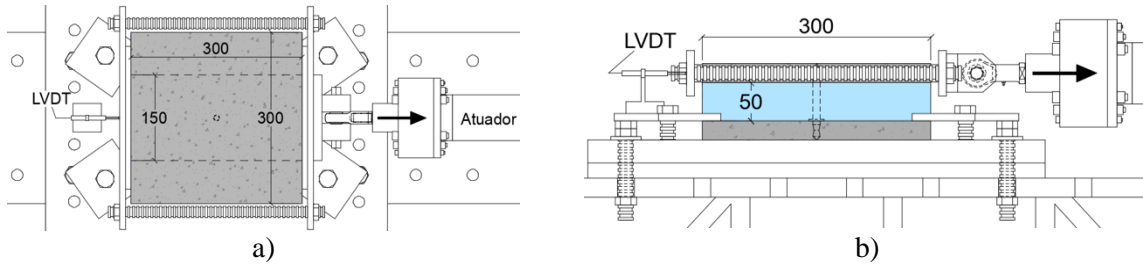


Figura 5. Configuração de ensaio para os ensaios de corte [mm]: a) vista superior; b) vista lateral.

### 3.2 Apresentação e discussão de resultados

Foram realizados treze ensaios, tendo sido considerados dois provetes com EPS-1 e XPS-2 e três provetes para cada uma das restantes tipologias de XPS em estudo. As Figs 6a, 6b, 6c, 6d e 6e apresentam os resultados obtidos para os ensaios de cortes realizados em todos os provetes de tipologias EPS-1, XPS-2, XPS-3, XPS-4 e XPS-5, respetivamente. A comparação entre séries de ensaio é ilustrada na Fig. 6f, que apresenta as curvas médias obtidas para cada uma das tipologias de provete ensaiadas.

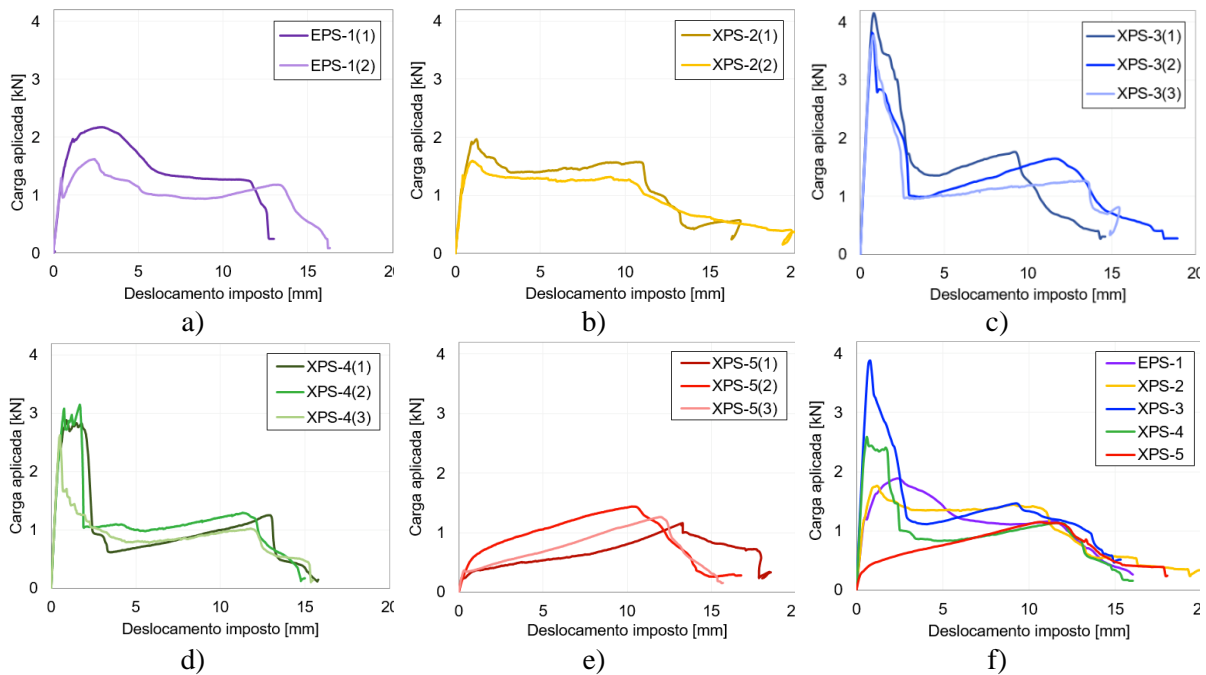


Figura 6. Resultados obtidos nos ensaios de corte: a) EPS-1; b) XPS-2; c) XPS-3; d) XPS-4; e) XPS-5; f) curvas médias para cada tipologia de ensaio

Na generalidade das tipologias ensaiadas, o comportamento estrutural dos provetes sob ação de corte pode ser dividido essencialmente em 4 fases: (i) fase linear-elástica até aproximadamente 1 mm de deformação relativa entre camadas de MBRFR; (ii) começo do comportamento não-linear, registando-se uma perda de rigidez inicial, seguida de uma diminuição da carga aplicada com o aumento de deformação, sendo esta redução mais abrupta para as tipologias de poliestireno que promovem maior aderência às camadas de MBRFR; (iii) fase de endurecimento, na qual se observa um aumento gradual de carga associado à ação de fricção que ocorre na interface entre a camada de poliestireno e a camada inferior de MBRFR durante o processo contínuo de perda de aderência e conseqüente descolamento entre as referidas camadas; (iv) fase de amolecimento desencadeada pela rotura do conector GFRP (Figs 7c, 7f, 7i, 7l e 7o) junto à interface entre poliestireno e camada inferior de MBRFR (que ocorre sensivelmente entre 10 e 12 mm de deformação relativa entre camadas de MBRFR), a qual ocorre até se dar o descolamento total entre o poliestireno e a camada de MBRFR na referida interface.



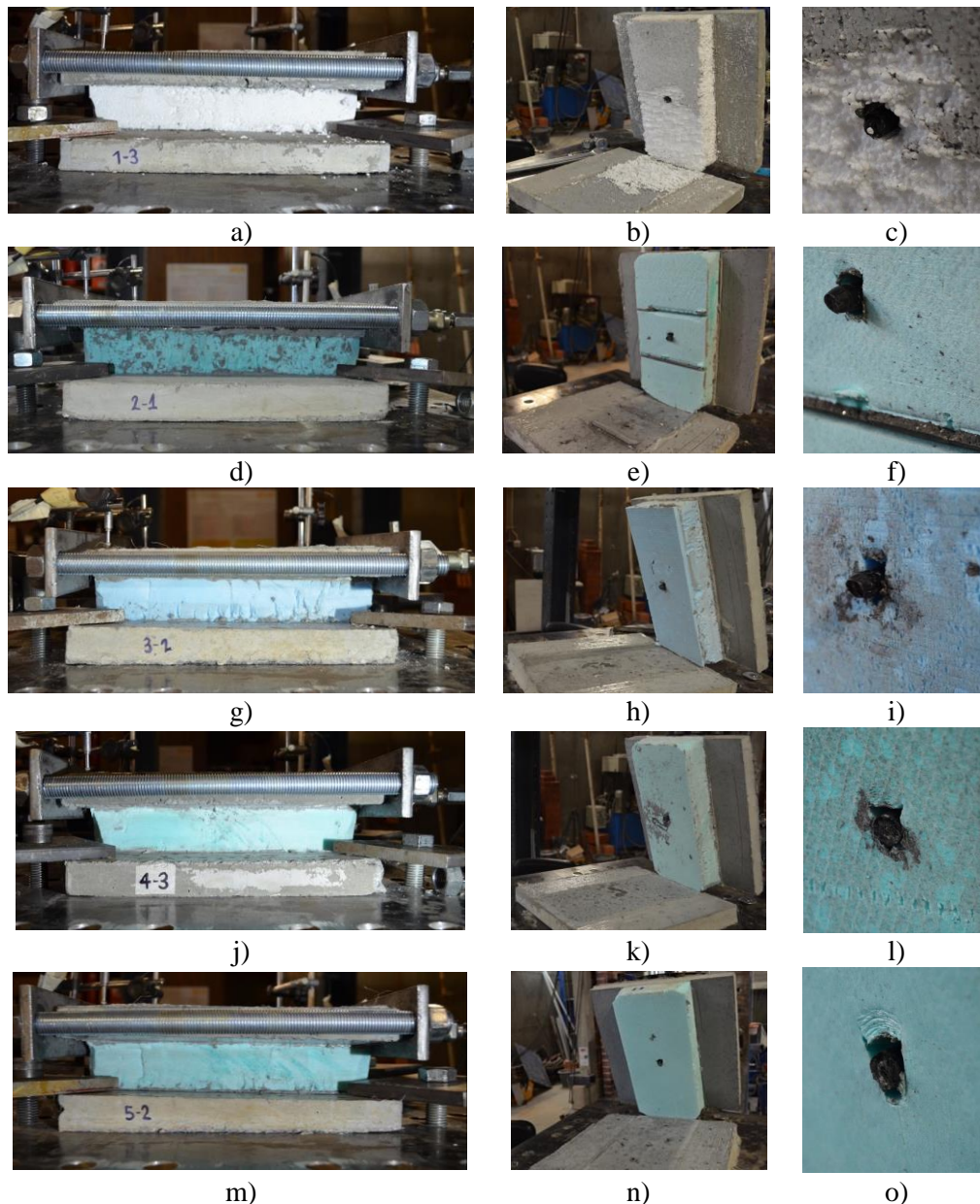


Figura 7. Aspeto dos provetes antes (à esquerda) e após (ao centro e à direita) execução dos ensaios de corte: a,b,c) EPS-1; d,e,f) XPS-2; g,h,i) XPS-3; j,k,l) XPS-4; m,n,o) XPS-5.

A Fig. 7 mostra fotografias tiradas antes e após realização dos ensaios para cada uma das tipologias de provete consideradas. Procedendo a uma análise mais detalhada dos resultados obtidos, é possível verificar que: (i) ao contrário das restantes tipologias ensaiadas, os provetes com EPS não registaram descolamento total entre poliestireno e MBRFR (o descolamento registado é parcial, ocorrendo em aproximadamente metade da área de interface - Fig. 7b); (ii) os provetes com camada de isolamento do tipo XPS-3 (XPS com superfície de acabamento rugosa) apresentaram a máxima capacidade de carga ao corte até uma deformação lateral de aproximadamente 3 mm, registando uma carga de pico média de 3.94 kN; e (iii) a maior discrepância ao nível do comportamento estrutural foi obtida para a tipologia de ensaio XPS-5 (XPS com superfície de acabamento lisa), na qual se registou a menor capacidade de carga entre tipologias ensaiadas, atingindo-se o ponto de transição entre fase linear e não linear para um nível de carga significativamente mais baixo (aproximadamente 0.3 kN), seguido de um aumento de carga até ao ponto em que ocorre a rotura do conector GFRP. Este comportamento contrasta com a anteriormente mencionada segunda fase do comportamento estrutural, descrita como sendo caracterizada por uma diminuição da carga instalada, ao invés de um aumento de carga.

#### **4. CONCLUSÕES**

Este trabalho apresenta a atividade experimental realizada para a avaliação do comportamento estrutural de um conceito de painel sanduíche em desenvolvimento para a reabilitação estrutural e térmica de edifícios existentes. O primeiro grupo de testes incidiu no estudo das propriedades mecânicas dos componentes individuais que compõem o referido painel (microbetão reforçado com fibras recicladas, conectores poliméricos reforçados com fibras de vidro e poliestireno expandido/extrudido). O segundo grupo de testes incluiu ensaios de corte em pequenos provetes representativos do painel sanduíche em desenvolvimento, por forma a estudar a influência da interação entre os componentes individuais, nomeadamente da interação entre as camadas externas de MBRFR e a camada interior de poliestireno, no comportamento compósito da solução sanduíche proposta. Com base nos resultados obtidos, é possível retirar as seguintes conclusões:

- Constatou-se ser viável e oportuno o uso de fibras recicladas como único reforço de lâminas finas de betão pré-fabricadas no contexto do painel em desenvolvimento. De facto, o MBRFR desenvolvido para este estudo apresentou propriedades mecânicas adequadas - resistência à compressão de 54.0 MPa, e resistências à tração de 3.38 MPa, 3.51 MPa e 1.72 MPa no início da fendilhação e para aberturas de fissura de 0.5 e 2.5 mm, respetivamente.
- Os ensaios de corte realizados em provetes com configuração sanduíche a adotar para o painel em desenvolvimento foram reveladores acerca da contribuição que a camada de isolamento pode ter no comportamento estrutural global da solução compósita. De facto, foram observadas diferenças apreciáveis entre as respostas obtidas para as diferentes tipologias de poliestireno consideradas. Com base nos resultados obtidos, o poliestireno do tipo XPS-3 (que apresenta uma superfície de acabamento rugosa) foi selecionado para a produção do primeiro protótipo de painel sanduíche, a realizar futuramente: os provetes com XPS-3 apresentaram a maior capacidade de carga ao corte até uma deformação relativa entre camadas de ~3 mm.
- Ainda no âmbito dos ensaios de corte realizados, foi possível comparar os resultados obtidos para provetes que contemplaram as tipologias de poliestireno mais utilizadas na indústria de construção (EPS-1 e XPS-5): embora o EPS apresente propriedades mecânicas inferiores quando comparadas com todas as tipologias de XPS, os provetes com EPS-1 desenvolveram um comportamento ao corte mais satisfatório do que os provetes com XPS-5, apresentando uma resistência à ação de corte superior para praticamente todos os níveis de deformação a que foram sujeitos. Pode concluir-se que este comportamento está também relacionado com o diferente tipo de acabamento superficial das referidas placas de poliestireno, que, neste caso, influencia consideravelmente a aderência entre camadas nas interfaces entre poliestireno e MBRFR; de facto, o EPS-1 apresenta um acabamento superficial mais irregular em comparação com o XPS-5, cujas superfícies de contacto são completamente lisas.

#### **AGRADECIMENTOS**

O primeiro autor deste trabalho agradece à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) o apoio financeiro concedido através da bolsa de doutoramento PD/BD/52657/2014, atribuída no âmbito do Programa Doutoral em Construção e Reabilitação Eco-eficientes (EcoCoRe). Agradece-se ainda à FCT o apoio financeiro prestado, nomeadamente no âmbito do projeto PTDC/ECM-EST/2635/2014, e toda a colaboração e apoio prestado pelas empresas Twincon, BVT-Rausch, PreConTech, Danosa/Eurofoam e IberFibran, através do fornecimento do material necessário para a realização da atividade experimental descrita neste artigo.



## **REFERÊNCIAS**

- [1] Aslani, F. [et al.] (2018). Development of high-performance self-compacting concrete using waste recycled concrete aggregates and rubber granules. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 182, pp. 553-566.
- [2] Marques, A. M.; Correia, J. R.; de Brito, J. (2013). Post-fire residual mechanical properties of concrete made with recycled rubber aggregate. *Fire Safety Journal*, Vol. 58, pp. 49-57.
- [3] Lourenço, L. [et al.] (2018). Shear strengthening of RC beams with thin panels of mortar reinforced with recycled steel fibres. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 194, pp. 112-126.
- [4] Pilakoutas, K.; Neocleous, K.; Tlemat, H. (2004). Reuse of tyre steel fibres as concrete reinforcement. *Proceedings of the ICE - Engineering Sustainability*, Vol. 157, pp. 131-138.
- [5] Aiello, M. A. [et al.] (2009). Use of steel fibres recovered from waste tyres as reinforcement in concrete: Pull-out behaviour, compressive and flexural strength. *Waste Management*, Vol. 29, pp. 1960-1970.
- [6] Centonze, G.; Leone, M.; Aiello, M. A. (2012). Steel fibers from waste tires as reinforcement in concrete: A mechanical characterization". *Construction and Building Materials*, Vol. 36, pp. 46-57.
- [7] Zamanzadeh, Z.; Lourenço, L.; Barros, J. (2015). Recycled Steel Fibre Reinforced Concrete failing in bending and in shear. *Construction and Building Materials*, Vol. 85, pp. 195-207.
- [8] Caggiano, A. [et al.] (2017). On the mechanical response of Hybrid Fiber Reinforced Concrete with Recycled and Industrial Steel Fibers. *Construction and Building Materials*, Vol. 147, pp. 286-295.
- [9] Lourenço, L. [et al.] (2018). Reforço ao corte de vigas em betão armado recorrendo a painéis em micro betão auto compactável reforçado com fibras metálicas de pneus reciclados. V Congresso Ibero-americano sobre Betão Auto-compactável e Betões Especiais (HAC2018), Valência, Espanha.
- [10] Lameiras, R. [et al.] (2013), Development of sandwich panels combining fibre reinforced concrete layers and fibre reinforced polymer connectors. Part II: Evaluation of mechanical behaviour. *Composite Structures*, Vol. 105, pp. 460-470.
- [11] Tomlinson, D. G.; Teixeira, N.; Fam, A. (2016). New Shear Connector Design for Insulated Concrete Sandwich Panels Using Basalt Fiber-Reinforced Polymer Bars. *Journal of Composites for Construction*, Vol. 20, 13 p.
- [12] Frankl, B. A. [et al.] (2011). Behavior of precast, prestressed concrete sandwich wall panels reinforced with CFRP shear grid. *PCI Journal*, Vol. 56, pp. 42-54.
- [13] Choi, K.-B. [et al.] (2015). In-plane shear behavior of insulated precast concrete sandwich panels reinforced with corrugated GFRP shear connectors. *Composites Part B: Engineering*, Vol. 79, pp. 419-429.
- [14] Instituto Português da Qualidade (2011). NP EN 12390-3. Ensaio do betão endurecido - Parte 3: Resistência à compressão de provetes.
- [15] Instituto Português da Qualidade (2014). NP EN 12390-13. Ensaio do betão endurecido - Parte 13: Determinação do módulo de elasticidade secante à compressão.
- [16] EPS – Empresa de Poliestireno Expandido, Lda. (2017). EPS 100. Ficha técnica. 1 p.
- [17] Fibran (2009). fibranXPS ETICS GF. Technical data sheet. 2 p.
- [18] Danosa (2018). DANOPREN FS-P 50. Ficha técnica. 4 p.