

# Sistemas passivos de proteção ao fogo dos CFRP

## CFRP passive fire protection systems

Luís Silva  
Débora Macanjo Ferreira  
Luís Mesquita  
Paulo Piloto

### Resumo

É objetivo deste trabalho estudar o comportamento dos materiais compósitos ao fogo, em particular os materiais compósitos à base de fibras de carbono (CFRP). Para tal é apresentada uma campanha de ensaios com amostras de provetes de betão de dimensões 100×100×40 mm. O CFRP é colado na superfície dos provetes com recurso a resina epoxídica e exposto à ação térmica.

A influência dos sistemas passivos de proteção no comportamento ao fogo dos CFRP é analisada considerando os seguintes materiais de proteção: placa de gesso e tinta intumescente.

A superfície do sistema de reforço é exposta à ação de diferentes fluxos de calor por radiação, 35 kW/m<sup>2</sup> e 75 kW/m<sup>2</sup>, provenientes de um calorímetro de perda de massa. A evolução da temperatura é avaliada através de termopares colocados entre as superfícies de ambos os materiais, permitindo uma análise da influência destes materiais de proteção na capacidade de reforço estrutural dos CFRP quando submetidos a elevadas temperaturas.

### Abstract

An experimental programme was performed in order to evaluate the behaviour of composite materials when exposed to fire, in particular composite materials based on carbon fibres (CFRP). Therefore, a campaign of tests on concrete specimens with 100×100×40 mm was developed. The CFRP sheet is bonded on the surface of the specimens using epoxy resin and exposed to thermal action.

The influence of passive protection systems on the burning behaviour of CFRP is analysed using different fire protection materials, such as gypsum plasterboard and intumescent paint.

The surface of the reinforcement system is exposed to the action of different radiant fluxes equal to 35 kW/m<sup>2</sup> and 75 kW/m<sup>2</sup>, from a cone calorimeter. The temperature evolution is determined by thermocouples placed between the concrete surface and CFRP, allowing to analyse the influence of these protective materials in the structural reinforcement capabilities of the CFRP when subjected to high temperatures.

**Palavras-chave:** CFRP / Proteção passiva/ Resistência ao fogo / Calorímetro de cone

**Keywords:** CFRP / Passive protection / Fire resistance / Cone calorimeter

## Luís Silva

Aluno de Mestrado  
Instituto Politécnico de Bragança  
Bragança, Portugal  
luis\_duarte\_silva@hotmail.com

## Débora Macanjo Ferreira

Professora Adjunta  
Instituto Politécnico de Bragança  
Bragança, Portugal  
debora@ipb.pt

## Luís Mesquita

Professor Adjunto  
Instituto Politécnico de Bragança  
Bragança, Portugal  
lmesquita@ipb.pt

## Paulo Piloto

Professor Coordenador  
Instituto Politécnico de Bragança  
Bragança, Portugal  
ppiloto@ipb.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.*

SILVA, L. [et al.] – Sistemas passivos de proteção ao fogo dos CFRP. **Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas**. Ed. LNEC. Série III. n.º 4. ISSN 2183-8488. (julho 2017) 7-16.

## 1 Introdução

O compósito à base de polímeros reforçados com fibras (FRP) é formado por fibras contínuas de reforço orgânico ou inorgânico, por resina termoendurecida (matriz), e por cargas de enchimento ou “fillers” [1]. O comportamento final de um FRP depende dos materiais que o constituem, ou seja, da orientação, do comprimento, da forma e da composição das fibras principais do reforço, das propriedades mecânicas da resina da matriz, bem como da adesão entre as fibras e a matriz. A matriz (resina termoendurecida) tem como funções transmitir os esforços entre as fibras e a estrutura envolvente, bem como proteger as fibras da agressividade ambiental e dos danos mecânicos. Nos sistemas FRP, a resina geralmente aplicada é do tipo epoxídico. A técnica de reforço de estruturas de betão por meio de colagem de compósitos tem vindo a ser aplicada na indústria da construção em substituição dos métodos tradicionais, pois apresentam maior resistência e menor massa específica que, por exemplo, o aço. São vários os exemplos de aplicação destes materiais quer em pontes quer em edifícios, tanto em novas construções como em reabilitação e/ou reforço de estruturas degradadas. Com o aumento da utilização dos FRP são inevitavelmente encontrados novos problemas e desafios. De entre esses problemas, existem preocupações legítimas em relação ao comportamento dos materiais FRP quando expostos ao fogo. A maioria dos compósitos não é diretamente inflamável e apresenta um comportamento satisfatório a elevadas temperaturas [2, 3], contudo a resina utilizada na composição pode comprometer o desempenho do elemento estrutural quando sujeito a um incêndio durante um certo período de tempo.

No caso de exposição direta ao fogo, é recomendável que os FRP sejam aplicados com medidas adicionais de prevenção. Dependendo do tempo desejado para a resistência ao fogo, podem aplicar-se diversos materiais de proteção tais como: gesso cartonado, painéis de sílica e tintas retardadoras de fogo [4-8].

Constitui um objetivo deste trabalho estudar o comportamento dos materiais compósitos quando sujeitos à ação do fogo, em particular os materiais compósitos à base de fibras de carbono (CFRP). Para tal, é apresentada uma campanha de ensaios com amostras de provetes de betão, utilizando o método de ensaio preconizado na norma EN ISO 13927 [9, 10]. Os provetes de betão são reforçados com manta ou com laminados de CFRP. Ambos os materiais de reforço são colados na superfície do betão exposta à ação térmica, com recurso a resina epoxídica. É globalmente analisado o comportamento ao fogo do elemento de betão reforçado com CFRP.

A superfície do sistema de reforço é exposta à ação de dois fluxos de calor por radiação provenientes de um calorímetro de perda de massa: 35 kW/m<sup>2</sup> e 75 kW/m<sup>2</sup>, e a evolução da temperatura é registada através de termopares colocados entre as superfícies de ambos os materiais [11].

A influência dos sistemas passivos de proteção no comportamento ao fogo dos CFRP é analisada considerando como materiais de proteção a placa de gesso e a tinta intumescente. A evolução da temperatura das superfícies de contacto dos diferentes materiais é determinada para os dois fluxos de calor considerados permitindo uma análise da influência destes materiais de proteção na

capacidade do reforço estrutural dos CFRP quando submetidos a elevadas temperaturas.

## 2 Programa experimental

### 2.1 Preparação dos provetes de ensaio

No Quadro I são apresentadas as diferentes séries de ensaio conduzidas e os diferentes sistemas de proteção bem como as designações adotadas. Foram ensaiados provetes reforçados com manta de CFRP, designados por S, enquanto os provetes reforçados com laminados de CFRP são designados por L. Os provetes sem proteção correspondem à série U; os provetes protegidos com a placa de gesso, de 12,5 mm de espessura, correspondem à série PB; a série IP corresponde aos provetes protegidos com tinta intumescente para as três espessuras ensaiadas: 0,5 mm, 1,0 mm e 2,0 mm. Os valores 35 e 75 são referentes aos dois fluxos de calor considerados.

Quadro I Séries de provetes ensaiados

Séries experimentais	Proteção ao fogo	Fluxo de calor (kW/m <sup>2</sup> )	Designação dos provetes
Série U	s/proteção	35	U-S-35
		75	U-S-75
		35	U-L-35
		75	U-L-75
Série PB	placa de gesso	35	PB-S-35
		75	PB-S-75
		35	PB-L-35
		75	PB-L-75
Série IP	tinta intumescente	35	IP-S-35-0,5
			IP-S-35-1,0
			IP-S-35-2,0
		75	IP-S-75-0,5
			IP-S-75-1,0
			IP-S-75-2,0
		35	IP-L-35-0,5
			IP-L-35-1,0
			IP-L-35-2,0
		75	IP-L-75-0,5
			IP-L-75-1,0
			IP-L-75-2,0

Os provetes analisados foram realizados em betão de dimensões 100x100x40 mm. Quer a manta (camada única) quer o laminado de CFRP (camada única) foram colados à superfície do betão com resina epoxídica (S&P Resin Epoxy 55), Figuras 1 e 2. As características técnicas nominais da manta e do laminado de CFRP, indicadas pelo fabricante (S&P), são apresentadas no Quadro II.

Quadro II Características técnicas dos materiais compósitos aplicados

Tipo de CFRP	Espessura (mm)	Tensão máxima (MPa)	Extensão máxima (%)	Módulo de elasticidade (GPa)
Manta – CF 130 (S&P) 240	0,176	3800	1,55	240
Laminado – CFK 150/2000 (S&P)	1,400	2800-3000	1,40	165-175

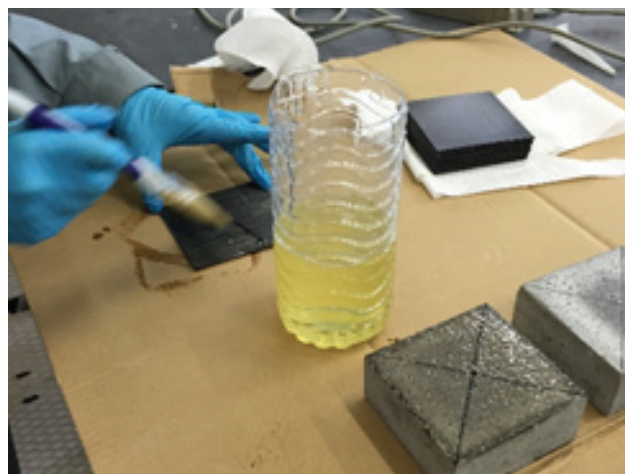


Figura 1 Aplicação da resina epoxídica

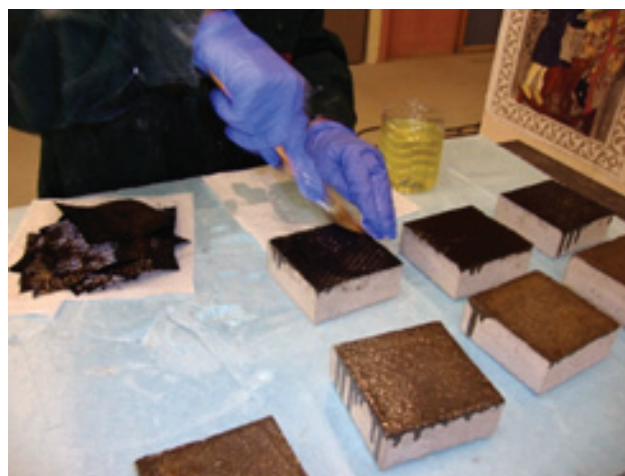


Figura 2 Aplicação do CFRP

## 2.2 Sistemas de proteção

Normalmente, os sistemas de proteção passivos baseiam-se no isolamento dos elementos estruturais, evitando a propagação do fogo e posterior colapso da estrutura. Os sistemas de proteção aplicados neste trabalho são sistemas passivos de segurança ao fogo. Estes materiais devem apresentar reduzido peso volúmico, de forma a não representarem um acréscimo de carga significativo no elemento, baixa condutibilidade térmica e elevado calor específico [5]. Este tipo de proteção tem como objetivo principal prevenir a ignição do material ao fogo mediante a redução do fluxo de calor, fumo e gases tóxicos libertados pelo FRP. No âmbito da presente campanha experimental, pretendeu-se estudar a eficiência de dois materiais de proteção contra o fogo: placa de gesso e tinta intumescente.

As placas de gesso laminado aplicadas, fabricadas pela empresa Gyptec Ibérica [12], são formadas por duas lâminas de papel com gesso de alta qualidade no interior, reforçadas com fibra de vidro para melhorar a reação ao fogo da alma de gesso. Estas placas são adequadas para zonas que necessitem de uma elevada resistência ao fogo, Figura 3.



Figura 3 Provetes protegidos com placa de gesso

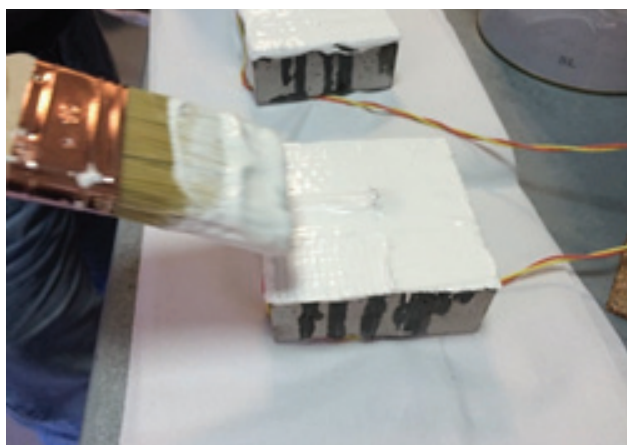


Figura 4 Provetes protegidos com tinta intumescente

Uma tinta intumescente, Interchar 1260 [13], com acabamento mate e cor branca, foi também utilizada para proteção contra o fogo, Figura 4. A tinta Interchar é uma tinta de base aquosa que permite tempos de proteção até 60 min, apresentando massa específica de aproximadamente  $1400 \text{ kg/m}^3$ . A tinta foi aplicada com trincha e os provetes foram cobertos com três espessuras diferentes de tinta: 0,5 mm, 1,0 mm e 2,0 mm.

## 2.3 Calorímetro de perda de massa

Os ensaios experimentais foram realizados num calorímetro de perda de massa. Os testes realizados no calorímetro de perda de massa foram efetuados, com fluxos de calor de  $35 \text{ kW/m}^2$  e  $75 \text{ kW/m}^2$ , em prismas de betão com manta e com laminado de CFRP colado na superfície sem proteção e com proteção (placa de gesso ou a tinta intumescente). O calorímetro de perda de massa foi calibrado para uma distância, entre a base inferior do cone e a superfície superior da amostra, de 25 mm. Este aparelho está equipado de uma balança de alta precisão permitindo o registo da perda massa da amostra ao longo do tempo, quando submetida a um dado fluxo de calor. Para a análise da evolução da temperatura no CFRP em função do tempo de exposição ao fluxo de radiação, foi utilizado um termopar, do tipo K, introduzido no provete de betão em contacto com a face inferior do CFRP colada à superfície do betão, designado por (T1). Nos provetes protegidos com placa de gesso, as temperaturas foram registadas através de dois termopares, do tipo K, sendo um deles inserido na face inferior do CFRP (T1) e o outro (T2) entre o sistema de proteção e o CFRP para medir a temperatura considerando o fluxo de calor que atravessa o sistema de proteção. Os provetes protegidos com tinta intumescente foram igualmente monitorizados com dois termopares: à semelhança dos anteriores um deles foi inserido na face inferior do CFRP (T1) e o outro entre o CFRP e a tinta intumescente (T2), Figuras 5, 6 e 7 [7].

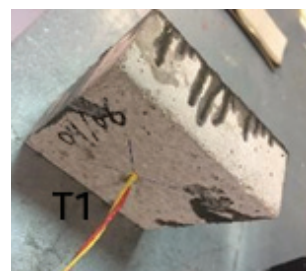


Figura 5 Provetes sem proteção



Figura 6 Provetes protegidos com placa de gesso

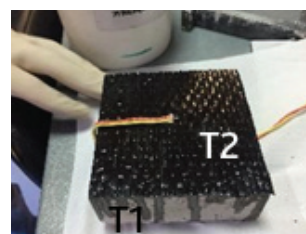


Figura 7 Provetes protegidos com tinta intumescente

### 3 Resultados experimentais

#### 3.1 Comportamento dos provetes sem proteção

Os provetes reforçados com manta e com laminado de CFRP, sem qualquer proteção ao fogo, apresentam um comportamento similar, ou seja, em ambos os provetes ocorreu ignição da resina epoxídica aplicada na colagem do CFRP, Figura 8. O tempo decorrido até à ignição foi de aproximadamente 4 min para o fluxo de calor de

35 kW/m<sup>2</sup>, e de aproximadamente 1 min para o fluxo de 75 kW/m<sup>2</sup>. Até à extinção da chama ocorreu libertação de fumo, como se verifica na Figura 9. O aspeto final dos provetes reforçados com manta e com laminado de CFRP é apresentado nas Figuras 10 e 11, respetivamente, para o fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>. Nas Figuras 12 e 13 apresenta-se o aspeto final dos provetes submetidos ao fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup>. Os provetes sujeitos ao maior fluxo de calor apresentam um aspeto mais deteriorado comparativamente aos provetes ensaiados para um menor fluxo de calor.

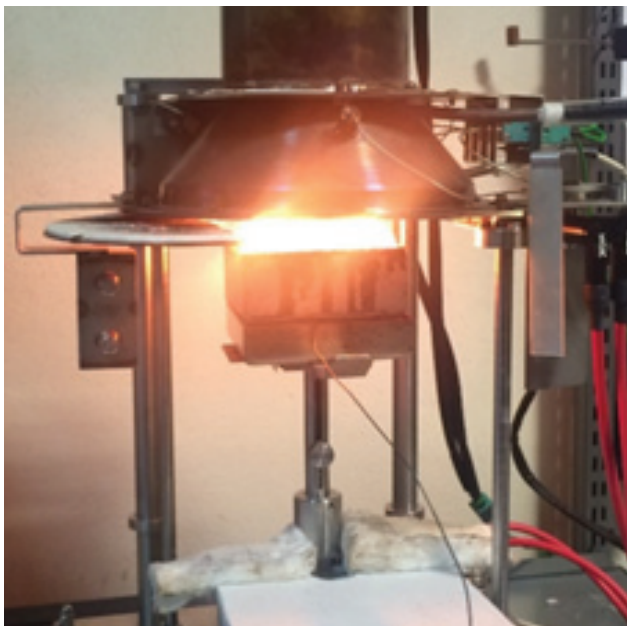


Figura 8 Ignição da resina epoxídica



Figura 9 Libertação de fumo



Figura 10 Provetes reforçados com mantas de CFRP, para o fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>

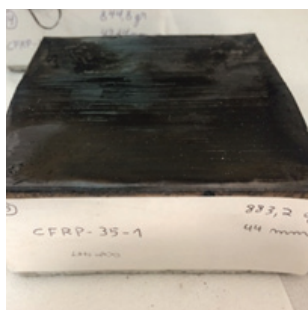


Figura 11 Provetes reforçados com laminado de CFRP, para o fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>

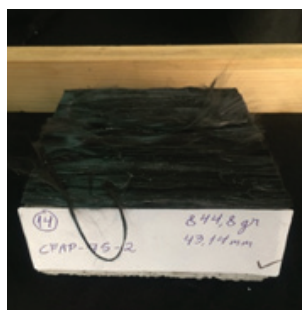


Figura 12 Provetes reforçados com mantas de CFRP, para o fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup>

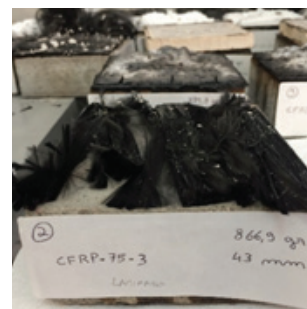
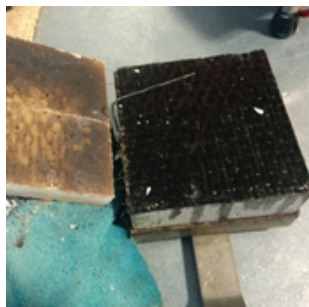


Figura 13 Provetes reforçados com laminado de CFRP, para o fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup>

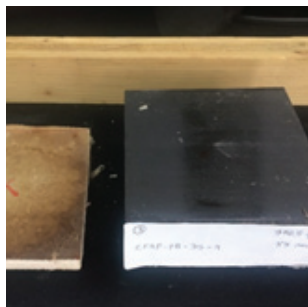
### 3.2 Comportamento dos provetes protegidos com placa de gesso

Os provetes de betão protegidos com placa de gesso laminado, de 12,5 mm de espessura, foram igualmente submetidos aos dois fluxos de calor considerados.

O aspeto final dos provetes reforçados com manta e com laminado de CFRP e protegidos com placa de gesso é apresentado nas Figuras 14 e 15, respetivamente, para o fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>. Nas Figuras 16 e 17 apresenta-se o aspeto final dos provetes para o fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup>.



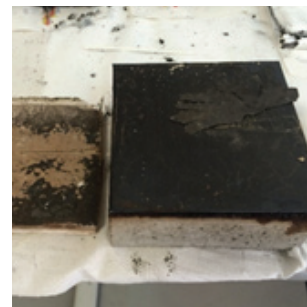
**Figura 14** Provete reforçado com mantas de CFRP e protegido com placa de gesso, sujeito ao fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>



**Figura 15** Provete reforçado com laminado de CFRP e protegido com placa de gesso, sujeito ao fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>



**Figura 16** Provete reforçado com mantas de CFRP, e protegido com placa de gesso, sujeito ao fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup>

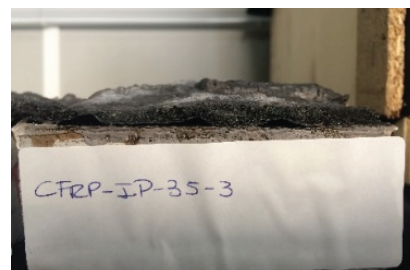
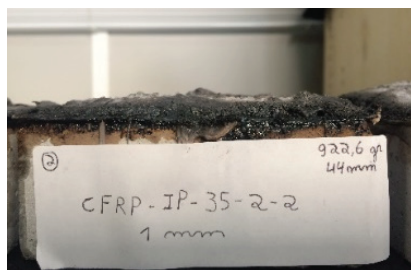
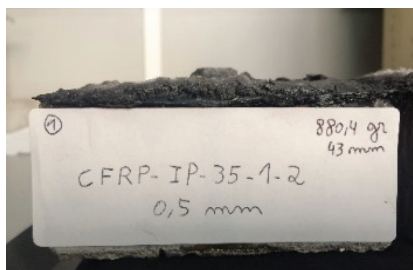


**Figura 17** Provete reforçado com laminado de CFRP e protegido com placa de gesso, sujeito ao fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup>

### 3.3 Comportamento dos provetes protegidos com tinta intumescente

Nos provetes protegidos com tinta intumescente houve registo de ignição no decurso do ensaio.

O aspeto final dos provetes reforçados com manta e protegidos com tinta intumescente, para as três espessuras e para o fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup> é apresentado na Figura 18. Na Figura 19 apresenta-se o aspeto final dos provetes reforçados com laminado de CFRP, para o mesmo fluxo de calor. Para o fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup> e para os provetes com manta e com laminado de CFRP, o aspeto final é o apresentado nas Figuras 20 e 21.



**Figura 18** Provetes reforçados com manta de CFRP e protegidos com tinta intumescente, submetidos ao fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>



**Figura 19** Provetes reforçados com laminado de CFRP e protegidos com tinta intumescente, submetidos ao fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>



Figura 20 Provetes reforçados com manta de CFRP e protegidos com tinta intumescente, submetidos ao fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup>

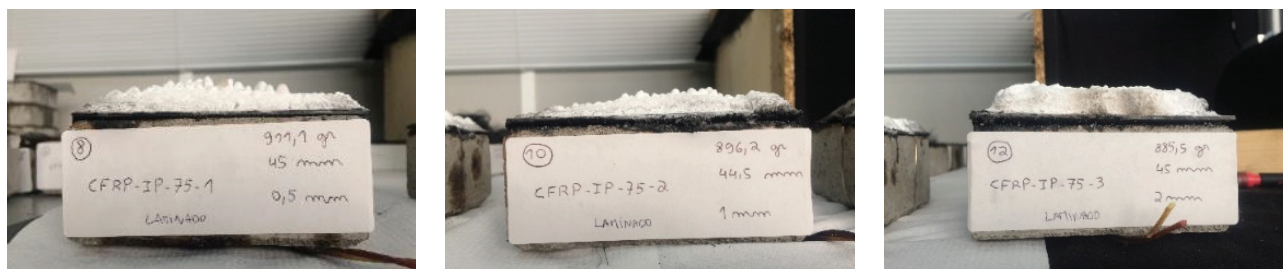


Figura 21 Provetes reforçados com laminado de CFRP e protegidos com tinta intumescente, submetidos ao fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup>

Nas figuras acima pode comprovar-se o comportamento característico da decomposição oxidativa da camada intumescente, de cor branca. O aspeto final dos provetes reforçados com manta e com laminado é similar.

### 3.4 Discussão dos resultados experimentais

Os resultados obtidos nos ensaios são seguidamente apresentados, quer para os provetes sem proteção (U) quer para os provetes protegidos com placa de gesso (PB) e com tinta intumescente (IP). Os resultados dizem respeito aos valores registados no termopar colocado na superfície inferior do CFRP (T1, ver Figuras 5 a 7). São apresentadas no Quadro III as temperaturas obtidas decorridos 30 min de exposição ao fogo (T<sub>30</sub>).

Quadro III Valores de T<sub>30</sub>

	Fluxo de calor (kW/m <sup>2</sup> )	U	PB	IP-0,5	IP-1	IP-2
T <sub>30</sub> - S [°C]	35	420	118	242	212	186
T <sub>30</sub> - L [°C]		260	110	223	215	169
T <sub>30</sub> - S [°C]	75	610	167	399	308	280
T <sub>30</sub> - L [°C]		545	173	352	352	273

Nas Figuras 22 e 23 são registadas as curvas da temperatura em função do tempo, para o fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup> nos provetes reforçados com manta e laminado de CFRP, respetivamente.

Para o fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>, os provetes reforçados com

manta sem proteção atingiram valores de temperatura na ordem dos 420 °C. Nos provetes reforçados com laminados de CFRP, a temperatura máxima registada foi de 260 °C. No caso dos provetes protegidos com placa de gesso a temperatura registada foi de 164 °C e de 150 °C para os provetes reforçados com manta e com laminado, respetivamente.

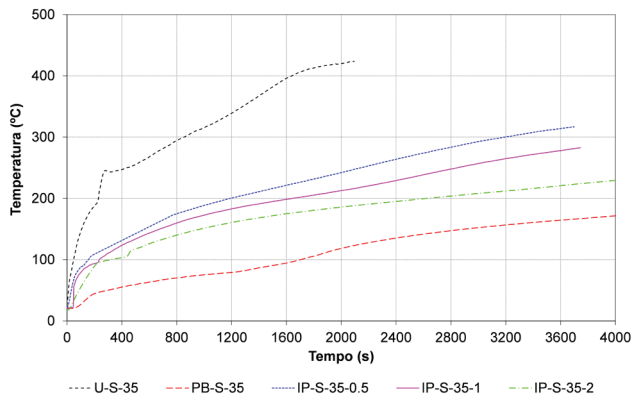
Nos provetes protegidos com tinta intumescente, as temperaturas mais elevadas (310 °C) foram registadas nos provetes com 0,5 mm de tinta, enquanto para espessuras de 2 mm foram da ordem dos 220 °C. Neste caso não se verificaram diferenças significativas entre as temperaturas atingidas nos provetes reforçados com manta e com laminados. Para ambos os sistemas de reforço, verificou-se ser a placa de gesso o melhor sistema de proteção, com um registo de menos 70 °C quando comparados com os provetes protegidos com 2 mm de tinta intumescente.

Nas Figuras 24 e 25 são apresentadas as curvas da evolução da temperatura em função do tempo registada nos provetes reforçados com manta e com laminado de CFRP, respetivamente, quando submetidos ao fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup>.

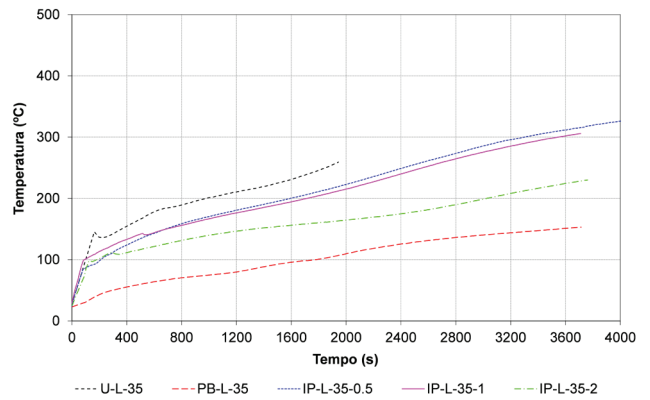
Relativamente aos provetes sem proteção submetidos ao fluxo de 75 kW/m<sup>2</sup>, os valores mais elevados da temperatura são de 610 °C e de 545 °C para os provetes reforçados com manta e com laminados de CFRP, respetivamente.

Também no caso dos provetes com proteção se obteve melhor desempenho nos provetes protegidos com a placa de gesso (cerca de 250 °C) em comparação com os provetes protegidos com tinta intumescente em que o valor mais baixo foi de 370 °C obtido nos provetes protegidos com 2 mm de espessura de tinta.

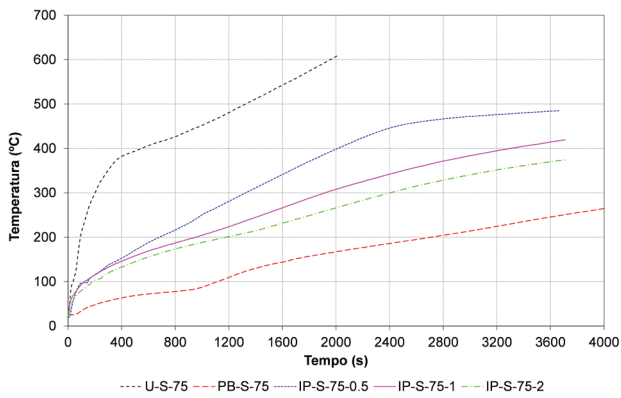
Durante os ensaios, a taxa de libertação de calor e a perda de massa foram medidas. Estas propriedades são apresentadas nas Figuras 26 e 27, para os provetes sem qualquer sistema de proteção ao fogo.



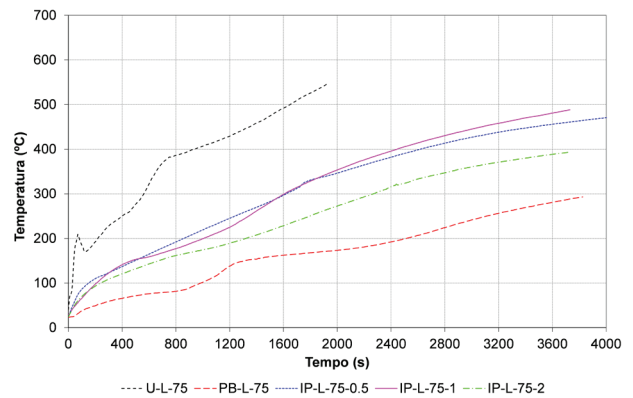
**Figura 22** Evolução da temperatura ao longo do tempo nos provetes reforçados com manta de CFRP (fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>)



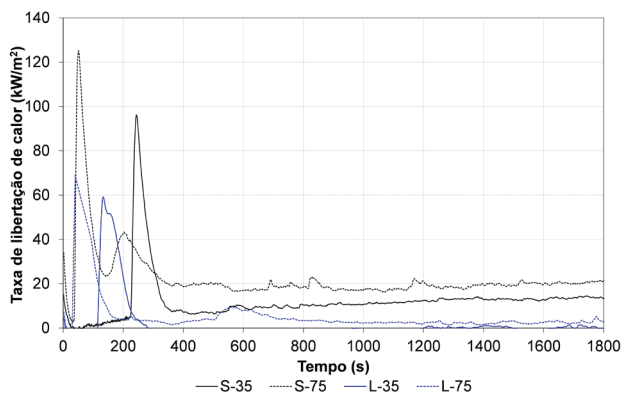
**Figura 23** Evolução da temperatura ao longo do tempo nos provetes reforçados com laminado de CFRP (fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>)



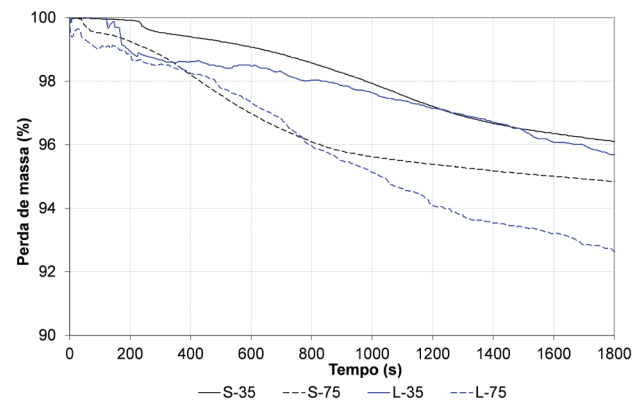
**Figura 24** Evolução da temperatura ao longo do tempo nos provetes reforçados com manta de CFRP (fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup>)



**Figura 25** Evolução da temperatura ao longo do tempo nos provetes reforçados com laminado de CFRP (fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup>)



**Figura 26** Taxa de libertação de calor



**Figura 27** Perda de massa



No que diz respeito à taxa de libertação de calor, para ambos os fluxos de calor e para ambos os sistemas de reforço, foi identificado um período inicial em que os provetes sem proteção não libertam calor, dado que a temperatura nos provetes é inferior à temperatura de pirólise da resina polimérica. Findo este período inicial, cuja duração diminuiu com o aumento do fluxo de calor, a taxa de libertação de calor é consideravelmente incrementada devido à combustão da resina que rapidamente atinge o seu valor de pico. Seguidamente, a taxa de libertação de calor diminui gradualmente com o tempo devido ao início da extinção da chama e do processo de combustão. Após a decomposição de toda a resina usada na colagem do CFRP, verifica-se um valor residual da taxa de libertação de calor, resultando num comportamento similar verificado por outros autores [11, 14].

Os valores máximos registados para a taxa de libertação de calor foram de 185 kW/m<sup>2</sup> para o fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup>, e de 94 kW/m<sup>2</sup> para o fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>, no caso dos provetes reforçados com manta de CFRP. No caso dos provetes reforçados com laminado de CFRP, os valores de pico foram mais baixos: 69 kW/m<sup>2</sup> e 58 kW/m<sup>2</sup> para os fluxos de calor de 35 kW/m<sup>2</sup> e de 75 kW/m<sup>2</sup>, respetivamente.

As curvas apresentadas na Figura 27 são referentes à perda de massa registada nos provetes reforçados quer com manta quer com laminado de CFRP, sem qualquer tipo de proteção. Estas curvas seguem a tendência das curvas referentes à taxa de libertação de calor mostrando um patamar inicial sem perda de massa, seguido de quebra acentuada de perda de massa relacionada com o instante em que tem início a combustão da resina epoxídica. Após este pico, as amostras continuam a perder massa de forma mais lenta devido à contínua decomposição térmica da massa residual. O valor médio da perda de massa total dos provetes de betão reforçados com manta foi de 4% e 6% para os fluxos de calor de 35 kW/m<sup>2</sup> e 75 kW/m<sup>2</sup>, respetivamente. Para as amostras de betão reforçadas com laminado, a perda de massa total foi de 5% e 7% para os fluxos de calor de 35 kW/m<sup>2</sup> e 75 kW/m<sup>2</sup>, respetivamente.

## 4 Conclusões

O comportamento ao fogo de manta e de laminado de CFRP foi avaliado recorrendo a ensaios no calorímetro de perda de massa. Os ensaios foram realizados em provetes sem qualquer sistema de proteção (referência) e protegidos com dois sistemas passivos de proteção: placa de gesso laminada e tinta intumescente com três espessuras diferentes. Os ensaios realizaram-se para dois fluxos de calor 35 kW/m<sup>2</sup> e 75 kW/m<sup>2</sup>.

Dos ensaios realizados verificou-se que:

- As temperaturas medidas mostraram que ambos os materiais de proteção contra incêndio originaram uma redução significativa das temperaturas no CFRP.
- Ao fim de 30 min de exposição ao fogo, o desempenho da placa de gesso na redução da temperatura alcançada no provete reforçado com manta CFRP foi de 72% e 71% para os fluxos de calor de 35 kW/m<sup>2</sup> e 75 kW/m<sup>2</sup>, respetivamente. Os valores obtidos são semelhantes, o que leva a concluir que a placa de

gesso não altera a sua eficiência com o aumento do fluxo de calor.

- Nos provetes reforçados com manta de CFRP e protegidos com tinta intumescente registaram-se, para o fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>, reduções de temperatura no CFRP de 43%, 49% e 56% para as espessuras de 0,5 mm, 1,0 mm e 2,0 mm, respetivamente, ao fim de 30 min de exposição ao fogo. Com estes resultados, verifica-se que a eficiência da proteção com tinta intumescente tende a aumentar com o aumento da sua espessura. Relativamente ao fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup>, as reduções da temperatura foram de 35%, 49% e 55% para 0,5 mm, 1,0 mm e 2,0 mm de espessura de tinta, respetivamente, e para o mesmo tempo de exposição ao fogo.
- Nos provetes reforçados com laminado de CFRP, a influência da placa de gesso na redução da temperatura alcançada no provete reforçado com laminado de CFRP foi de 57% e 68% para os fluxos de calor de 35 kW/m<sup>2</sup> e 75 kW/m<sup>2</sup>, respetivamente. A eficiência deste sistema de proteção foi superior à registada nos provetes protegidos com tinta intumescente para as espessuras de tinta consideradas. Para o fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>, registaram-se reduções de temperatura no CFRP, decorridos 30 min de exposição ao fogo, de 14%, 16% e 34% para as espessuras de 0,5 mm, 1,0 mm e 2,0 mm, respetivamente. Com estes resultados confirma-se que a eficácia da proteção com tinta intumescente tende a aumentar com o aumento da sua espessura. Relativamente ao fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup>, as reduções de temperatura foram de 36%, 35% e 50% para 0,5 mm, 1,0 mm e 2,0 mm, de espessura de tinta, respetivamente, e para o mesmo tempo de exposição ao fogo.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o fornecimento dos materiais utilizados no estudo às empresas: Reconco e International Coatings.

## Referências

- [1] Juvandes, L. F. P. – *Reforço e Reabilitação de Estruturas de Betão Usando Materiais Compósitos de CFRP*, Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil (DEC), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1999.
- [2] Schwartz, M. – *Composites Materials Handbook*: McGraw-Hill Co, New York, 1992.
- [3] Green, M. F.; *et al.* – "Design guidelines for fire resistance of FRP-strengthened concrete structures," presented at the *Eighth International Conference on FRP in Reinforced Concrete Structures - FRPRCS8*, Patras, Greece, 2007.
- [4] Bai, Y.; Keller, T. – *High temperature performance of polymer composites ed.* : Wiley-VCH, 2014.
- [5] Correia, J. R. – *CFRP pultruded profiles in civil engineering: hybrid solution, bonded connection and fire behaviour*, PhD, Civil Engineering, Instituto Superior Técnico, 2008.

- [6] Morgado, T. M. R. – *Comportamento ao fogo de vigas de compósito de GFRP*, Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2012.
- [7] Ferreira, D. M.; *et al.* – "CFRP fire behaviour – passive protection system," in *7<sup>th</sup> International Conference on Safety and Durability of Structures* - ICOSADOS, Vila Real, 2016.
- [8] Firmo, J. P.; *et al.* – "Comportamento ao fogo de vigas de betão armado reforçadas com laminados de CFRP instalados em rasgos: ensaios de resistência ao fogo e simulação numérica," in *5ª JORNINC- Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos*, LNEC, Lisboa, 2016.
- [9] 5660-1, I. – ISO 5660-1 - *Reaction-to-fire tests - Heat release, smoke production and mass loss rate. Heat release rate (cone calorimeter method)*, vol. ISO 5660-1:2002(E), ed: ISO, 2002.
- [10] 13927, E. I. – EN ISO 13927 - *Plastics – Simple heat release test using a conical radiant heater and a thermopile detector*, ed. Brussels: European Committee for Standardization, 2003.
- [11] Correia, J. R.; *et al.* – "The effect of different passive fire protection systems on the fire reaction properties of GFRP pultruded profiles for civil construction", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 41, pp. 441-452, 3// 2010.
- [12] Gyptec Ibérica – Gessos Técnicos, S.A., "Ficha técnica, Placa F - EN 520," vol. DOC 05.01-21, ed, 2012.
- [13] International Coatings – "Interchar® 1260 – Pintura Intumescente Base Agua", vol. Ref:10180, ed, 2015.
- [14] Correia, J. R.; *et al.* – "Fire protection systems for building floors made of pultruded GFRP profiles: Part 1: Experimental investigations", *Composites Part B: Engineering*, vol. 41, pp. 617-629, 12// 2010.