

Cinpar  
2016

# PROGRAMME

XII INTERNATIONAL CONFERENCE ON  
STRUCTURAL REPAIR AND REHABILITATION

PORTO | PORTUGAL  
26-29 OCTOBER 2016

### **Conference scope**

Structural engineering experts in strengthening and repair of structures need to have a comprehensive knowledge over a set of issues: the materials used (masonry, adobe, timber, steel, concrete and others); the geometrical properties of the structures; the available surveying techniques for determining the physical and mechanical properties of the materials; the behaviour of the structural elements and the types of validated strengthening and repair techniques available for the different types of constructions.

Over the last years, the advances in structural expertise have revealed a substantial appeal from the intervenients and their roles in the construction industry as well as the appearance of new materials and construction techniques. Recent construction market forecasts indicate a considerable growth in the investment on the strengthening and repair activity (EuroConstruct Statistics).

The CINPAR 2016 international conference is an opportunity for the participants to acquire knowledge on new materials, techniques and construction technologies, and to exchange personal experiences on strengthening and repair of structures.

### **Principal aims**

Present and discuss the surveying and diagnosis techniques for material characterization;

Present and discuss common construction defects;

Identify and analyse the main causes of defects, whose knowledge is crucial for a successful repair action;

Present materials used in the repair and strengthen existing structures;

Present and discuss techniques to repair and strengthen existing structures;

Promote the communication and sharing of knowledge among different professionals working on this field;

To identify, discuss and encourage future research directions for the strengthening and repair of structures.

For the Organizing Committee, it is a pleasure to welcome keynote-speakers, authors and other participants to the XII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation and to the city of Porto. We hope that you will profit from the scientific program, from the interaction with colleagues and that you will enjoy the charming city of Porto.

## COMMITTEES

### Executive Committee

Humberto Varum – FEUP (Portugal)

António Arêde – FEUP (Portugal)

Esequiel Mesquita – FEUP (Portugal)

Esmeralda Paupério – IC (Portugal)

Hugo Rodrigues – IPL (Portugal)

José Melo – FEUP (Portugal)

Xavier Romão – FEUP (Portugal)

### Advisory Committee

Francisco Carvalho – UVA (Brazil) - *Coordinator*

Alexandre Bertini – UFC (Brazil)

Angel Oshiro – UTN (Argentina)

Bernardo Fonseca Tutikian – UNISINOS (Brazil)

César Daher – IDD (Brazil)

César de Luca – IDD (Brazil)

Eduardo Ballán Ballán – UCJC (Spain)

Gibson Rocha Meira – IFPB (Brasil)

Humberto Varum – FEUP (Portugal)

Jorge Sota – LEMIT (Argentina)

Luis Traversa – LEMIT (Argentina)

Maria Positieri – UTN (Argentina)

Pablo Maturana Barahona – PUC (Chile)

Petr Stepánek – VUTBR (Czech Republic)

Soledad Gomez Lorenzini – PUC (Chile)

### Local Organizer Committee

Humberto Varum – FEUP (Portugal)

Alexandre Costa – ISEP (Portugal)

Aníbal Costa – UA (Portugal)

António Arêde – FEUP (Portugal)

Bruno Quelhas – FEUP (Portugal)

Celeste Almeida – FEUP (Portugal)

Esequiel Mesquita – FEUP (Portugal)

Esmeralda Paupério – IC (Portugal)

Hipólito Sousa – FEUP (Portugal)

Hugo Rodrigues – IPL (Portugal)

João Guedes – FEUP (Portugal)

José Melo – FEUP (Portugal)

Mário Marques – FEUP (Portugal)

Miguel Castro – FEUP (Portugal)

Nelson Vila Pouca – FEUP (Portugal)

Patrício Rocha – IPVC (Portugal)

Pedro Delgado – IPVC (Portugal)

Vasco Freitas – FEUP (Portugal)

Xavier Romão – FEUP (Portugal)

### Secretariat

Maria Amélia

Maria de Lurdes Lopes

Manuel Carvalho

### Organization



## Scientific Committee

Abílio de Jesus (INEGI-FEUP), Portugal  
 Alessandra Aprile (UFerrara), Italy  
 Alessandra Marini (UBergamo), Italy  
 Alexandre Bertini (UFC), Brazil  
 Alexandre Costa (ISEP), Portugal  
 Alicia Fortis (UCJC), Spain  
 Almir Sales (UFSCar), Brazil  
 Alper Ilki (ITU), Turkey  
 Ana Velosa (UA), Portugal  
 Anabela Paiva (UTAD), Portugal  
 André Barbosa (OSU), USA  
 Angel Oshiro (UTN-FRC), Argentina  
 Aníbal Costa (UA), Portugal  
 António Arêde (FEUP), Portugal  
 Antonio Borri (UPeruggia), Italy  
 Antonio Formisano (UNaples), Italy  
 Artur Pinto (ELSA-JRC), Italy  
 Arturo Tena (UAM), Mexico  
 Bernardo Tutikian (UNISINOS), Brazil  
 Bruno Briseghella (Fuzhou Univ), China  
 Camillo Nuti (URoma3), Italy  
 Carlos Baronetto (UNC- UTN), Argentina  
 Carlos Chastre (UNL), Portugal  
 Carlos Félix (ISEP), Portugal  
 Carlos Marín (UC), Chile  
 Carmen Andrade (CISDEC/DUREM), Spain  
 César Daher (IDD), Brazil  
 César de Luca (IDD), Brazil  
 Daniel Oliveira (UM), Portugal  
 Débora Ferreira (IPB), Portugal  
 Delgado Rodrigues (LNEC), Portugal  
 Edinson Guanchez (UCarabobo), Venezuela  
 Eduardo Ballán (UCJC), Spain  
 Eduardo Cabral (UFC), Brazil  
 Eduardo Júlio (IST), Portugal  
 Enio Pazini (UFG), Brazil  
 Enrico Spacone (UChieti-Pescara), Italy  
 Ezio Giuriani (Univ. Brescia), Italy  
 Fernanda Rodrigues (UA), Portugal  
 Fernando Pinho (UNL), Portugal  
 Francisco Carvalho (UVA/IEMAC), Brazil  
 Fulvio Parisi (UNaples), Italy  
 Gibson Meira (IFPB), Brazil  
 Giorgio Monti (URome), Italy  
 Giovanni Fabbrocino (UMolise), Italy  
 Graciela Maldonado (UTN), Argentina  
 Guido Camata (UChieti-Pescara), Italy  
 Guillermo Martínez (UMSNH), Mexico  
 Gustavo Ayala (UNAM), Mexico  
 Hipólito de Sousa (FEUP), Portugal  
 Hugo Rodrigues (IPL), Portugal  
 Humberto Varum (FEUP), Portugal  
 Ignacio Lombillo (UCantabria), Spain  
 Jaime Gálvez (UPM), Espanha  
 Jitendra Agarwal (UBristol), UK  
 João Appleton (A2P), Portugal  
 João Lanzinha (UBI), Portugal  
 João Mascarenhas Mateus (FAUL), Portugal  
 João Miranda Guedes (FEUP), Portugal  
 Jorge Branco (UM), Portugal  
 Jorge de Brito (IST), Portugal  
 Jorge Sota (LEMIT), Argentina  
 José Aguiar (FAUTL), Portugal  
 José Amorim Faria (FEUP), Portugal

**Scientific Committee**

José Correia (INEGI), Portugal  
 José Jara (UMSNH), Mexico  
 Juan García (Univ Jaume I), Spain  
 Kleber Franke Portella (Inst. Lactec), Brazil  
 Lorenzo Jurina (P Milan), Italy  
 Luigi Ascione (USalerno), Italy  
 Luís Romera (UCoruña), Spain  
 Luis Villegas (UCantabria), Spain  
 Luiz Branco (FUMEC), Brazil  
 Manuel Fernández (UPM), Espanha  
 Marcial Blondet (PUC), Peru  
 María Inés Sastre (UNSA), Argentina  
 Maria Positieri (UTN-FRC), Argentina  
 Maurizio Piazza (UTrento), Italy  
 Mehrtash Motamedi (Islamic Azad Univ), Iran  
 Michelangelo Laterza (UBasilicata), Italy  
 Miguel E. Ruiz (UNCórdoba), Argentina  
 Miguel Pando (UNCCharlotte), USA  
 Nelson Vila Pouca (FEUP), Portugal  
 Néstor Ortega (UNS), Argentina  
 Nicola Tarque (PUC), Peru  
 Pablo Maturana (PUC), Chile  
 Panagiotis Asteris (SPTE), Greece  
 Paolo Riva (UBergamo), Italy  
 Paulo Cruz (UM), Portugal  
 Paulo Fernandes (IPL), Portugal  
 Paulo Helene (USP), Brazil  
 Paulo Lourenço (UM), Portugal  
 Petr Stepánek (VUTBR), Czech Republic  
 Radu Vacareanu (UTCB), Romania  
 Rafael Aguilar (PUC), Peru  
 Raimundo Mendes da Silva (FCTUC), Portugal  
 Raúl Zerbino (LEMIT- UNLP ), Argentina  
 Robson Gaiofatto (UCPetrópolis), Brazil  
 Romeu Vicente (UA), Portugal  
 Rosário Veiga (LNEC), Portugal  
 Rui Póvoas (FAUP), Portugal  
 Sergio Lagomarsino (UGenoa), Italy  
 Soledad Gomez (PUC), Chile  
 Thanasis Triantafillou (UPatras), Greece  
 Tiago Pinto (UTAD), Portugal  
 Tiziana Rossetto (UCL), UK  
 Válder Lúcio (UNL), Portugal  
 Vasco Freitas (FEUP), Portugal

11:30-12:30

**SESSION S28-B-1 (Room 1)**

*Chairs: Kleber Franke Portella, Márcio Buson*

[PT] Estudo do efeito da fibra de polipropileno em concreto exposto a altas temperaturas

*Daiane dos Santos da Silva Godinho, Felipe Rocha Cimolin, Elaine Guglielmi Pavei Antunes, Ângela Piccinini, Alexandre Vargas*

[PT] Avaliação do desempenho mecânico em pisos compostos de resíduos de bagaço da cana de açúcar e folhas de bambu

*Rosane Battistelle, Danielli Mika Fujino,IVALDO D. VALLARELL, Francisco Antonio Rocco Lahr, Humberto Varum*

[PT] Sistemas passivos de proteção ao fogo dos CFRP

*Luís Silva, Débora Ferreira, Luís Mesquita, Paulo Piloto*

[PT] Estudo do efeito da fibra de polipropileno nas propriedades mecânicas do concreto submetido a altas temperaturas

*Kelen Cristina Luiz dos Santos da Silva, Daiane dos Santos da Silva Godinho, Elaine Guglielmi Pavei Antunes, Ângela Piccinini, Alexandre Vargas, Márcio Vito*

11:30-12:30

**SESSION S28-B-2 (Room 2)**

*Chairs: Gustavo Ayala, José Melo*

[CA] Influencia de variables geométricas y de ejecución de la perforación en el comportamiento de cordones de fibra de carbono embebidos en hormigón

*Paula Villanueva Llauradó, Jaime Fernández Gómez, Francisco José González Ramos*

[CA] Análisis de parámetros de durabilidad frente a ataque por corrosión en hormigones con zeolita

*Barbara Belen Raggiotti, María Josefina Positieri, Angel Oshiro, María Soledad Gómez Lorenzini*

[CA] Refuerzo de vigas de hormigón armado con láminas de PRFV

*Alberto Pedro Busnelli, Rubén Edgardo López, Jorge Carlos Adué*

[EN] Single step joint: Overview of European standardized approaches and experimentations

*Maxime Verbist, Jorge Branco, Elisa Poletti, Thierry Descamps, Paulo Lourenço*

## **Sistemas passivos de proteção ao fogo dos CFRP**

Luís SILVA<sup>1</sup>, Débora FERREIRA<sup>2</sup>, Luís MESQUITA<sup>3</sup>, Paulo PILOTO<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal, [luis\\_duarte\\_silva@hotmail.com](mailto:luis_duarte_silva@hotmail.com)

<sup>2</sup> Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal, [debora@ipb.pt](mailto:debora@ipb.pt)

<sup>3</sup> Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal, [lmesquita@ipb.pt](mailto:lmesquita@ipb.pt)

<sup>4</sup> Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal, [ppiloto@ipb.pt](mailto:ppiloto@ipb.pt)

**Resumo:** A técnica de reforço de estruturas de betão por meio de colagem de compósitos à base de polímeros reforçados com fibras (FRP) tem vindo a ser aplicada na indústria da construção. 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. A aplicação de FRP no reforço é atraente para os técnicos de construção e são várias as vantagens que estes materiais apresentam, nomeadamente, a facilidade de colocação em obra, a resistência a agentes agressivos, a sua leveza, e a introdução do confinamento desejado sem aumentar a secção transversal dos elementos estruturais.

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, ainda que a resina utilizada na composição possa comprometer o elemento estrutural quando sujeita 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. As medidas passivas estudadas neste trabalho são destinadas a impedir a ignição do fogo e a diminuir o impacto dos incêndios através de mecanismos que não necessitam de intervenção humana ou automatismos. 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.

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

A influência dos sistemas passivos de proteção no comportamento ao fogo dos CFRP é analisada considerando como 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 temperaturas elevadas.

**Palavras-chave:** CFRP, proteção passiva; resistência ao fogo; calorímetro de cone

The technique of reinforcing concrete structures by means of bonding composite fibre reinforced polymers (FRP) has been applied in the construction industry. There are several examples of application of these materials in bridges and buildings, both in new construction and rehabilitation and/or strengthening of damaged structures. Repair with externally bonded FRP reinforcement is attractive to owners, engineers and constructors because of the ease and speed of installation, the structural efficiency of the repair, the corrosion resistance of the materials, and the minimal effect that these materials have on structural aesthetics, and versatility.

Although many tests have been conducted to investigate strengthening reinforced concrete members with FRP composites materials, there are still many aspects of their use that remain to be investigated. Composites

present some disadvantages such as low through-thickness mechanical properties, poor impact damage tolerance, and anisotropic properties. Among these subjects, there are legitimate concerns about the behaviour of FRP materials when exposed to fire action.

Therefore, different strategies of fire protection measures may be necessary in order to improve the fire performance of FRP materials. Among those, passive measures are intended to prevent the ignition of fires and decrease the impact of fires through mechanisms that require no human intervention or automate response.

In addition to the above applications of passive fire protections for FRP composites on the material behaviour, implementation of fire protective material on structural members FRP surface are also common approaches, especially for structural engineers, as these approaches are well accepted or practiced in fire protection. Such surface fire protective materials include fire resistance gypsum plasterboards (PBs), cementitious mortar and intumescent coating.

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). The materials used were the sheet and the carbon laminate fibre. Therefore a campaign of tests on concrete specimens with 100×100×40 mm was developed. The dimensions and the test method were established according to the EN ISO 13927 standards. The CFRP sheet is glued on the surface of the specimens using epoxy resin and exposed to thermal action.

The surface of the reinforcement system is exposed to the action of different radiant heat fluxes (HF) equal to 35 kW/m<sup>2</sup> and 75 kW/m<sup>2</sup>, from a cone calorimeter and changes in temperature are measured by thermocouples placed between the surface of concrete and CFRP.

The influence of passive protection systems on the burning behaviour of CFRP is analysed using different fire protection material, such as gypsum plasterboard (PB) and intumescent paint (IP). The temperature evolution of the contact surface of the different materials is determined for the two heat fluxes referred above, allowing to analyse the influence of these protective materials in the structural reinforcement capabilities of the CFRP when subjected to high temperatures.

**Keywords:** CFRP, passive protection, fire resistance, cone calorimeter

## 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”, Juvandes (2001). O comportamento final de um FRP depende dos materiais que o constituem, ou seja, da orientação, do comprimento, da forma e 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, 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, Schwartz (1992), 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, Green *et al.* (2007), Correia (2008), Morgado (2012), Firmo (2016), Ferreira *et al.* (2016).

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 (2003). A manta de CFRP é colada com resina epoxídica na superfície dos provetes exposta à ação térmica.

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 e a evolução da temperatura é determinada através de termopares colocados entre as superfícies de ambos os materiais, Correia *et al.* (2000).

A influência dos sistemas passivos de proteção no comportamento ao fogo dos CFRP é analisada considerando como materiais de proteção as placas 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

Os provetes analisados foram realizados em betão de dimensões 100×100×40 mm. Quer a manta quer o laminado de CFRP foram colados com resina epoxídica, Figura 1.



Figura 1 — Preparação dos provetes de ensaio

### 2.2 Sistemas de proteção

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, Morgado, (2012). Este tipo de proteção tem como objetivo principal prevenir a ignição do material ao fogo mediante a redução do calor, fumo e gases tóxicos libertados pelo FRP. Normalmente, os sistemas de proteção passivos baseiam-se

no isolamento dos elementos estruturais, evitando a propagação do fogo e posterior colapso da estrutura. No âmbito da presente campanha experimental, pretendeu-se estudar a eficácia 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 (2012), são formadas por duas lâminas de papel com gesso de alta qualidade no interior, reforçada com fibra de vidro para melhorar a reação ao fogo da alma de gesso. Estas placas são adequadas para zonas que necessitem de alta resistência ao fogo, Figura 2.

Uma tinta intumescente, Interchar 1160 (2015), com acabamento mate e cor branca, foi utilizada para proteção contra o fogo, Figura 3. A tinta Interchar é uma tinta de base aquosa que permite tempos de proteção até 60 min, apresentando uma 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.



Figura 2 – Provetes protegidos com placa gesso

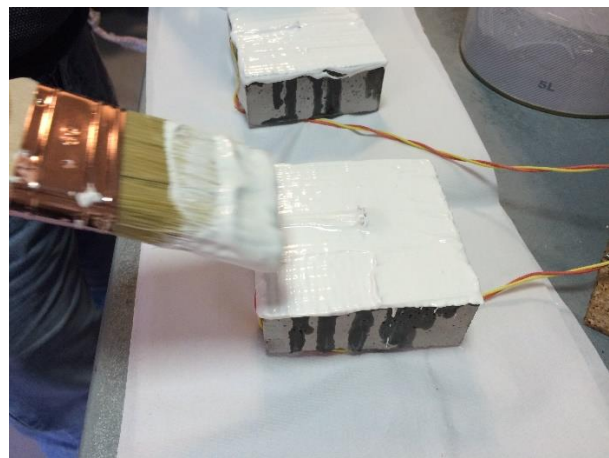


Figura 3 – Provetes protegidos com tinta intumescente

### 3. Ensaios experimentais

#### 3.1 Calorímetro de perda de massa

Os ensaios experimentais foram realizados num calorímetro de perda de massa. Este aparelho possui uma balança de alta precisão permitindo o registo da perda massa da amostra ao longo do tempo, quando submetida a um determinado fluxo de calor.

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. Para a análise da evolução da temperatura no CFRP com o 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, Ferreira (2016).

No Quadro 1 são apresentadas as diferentes séries de ensaio conduzidas e os diferentes sistemas de proteção bem como as designações adotadas. Foram ensaiados provetes colados com manta de CFRP, designados por S, enquanto os provetes colados com laminados de CFRP são designados por L. Os provetes sem proteção correspondem à série U; os provetes protegidos com a placa de gesso, com 4 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.

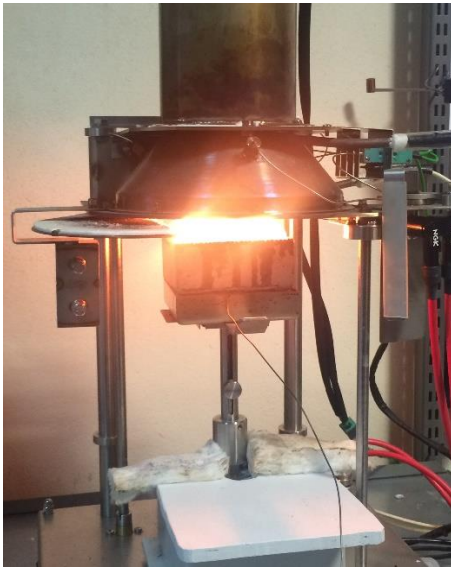
Quadro 1 – Séries de provetes ensaiados

Séries experimentais	Designação dos provetes	Proteção ao fogo	Fluxo de calor (kW/m <sup>2</sup> )
Série U	U-S-35	s/proteção	35
	U-S-75		75
	U-L-35		35
	U-L-75		75
Série PB	PB-S-35	placa de gesso	35
	PB-S-75		75
	PB-L-35		35
	PB-L-75		75
Série IP	IP-S-35-0.5	tinta intumescente	35
	IP-S-35-1.0		
	IP-S-35-2.0		
	IP-S-75-0.5		75
	IP-S-75-1.0		
	IP-S-75-2.0		
	IP-L-35-0.5		35
	IP-L-35-1.0		
	IP-L-35-2.0		
	IP-L-75-0.5		75
	IP-L-75-1.0		
	IP-L-75-2.0		

### 3.2 Provetes sem proteção

Os provetes reforçados com manta e com laminado de CFRP, sem qualquer proteção, tiveram um comportamento similar, ou seja, em ambos os provetes ocorreu ignição da resina epoxídica aplicada na colagem do CFRP. 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, Figura 4.

O aspeto final dos provetes reforçados com manta e com laminado de CFRP é apresentado nas Figuras 5 e 6, respetivamente, para um fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>. Nas Figuras 7 e 8 apresenta-se o aspeto final dos provetes para um 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.



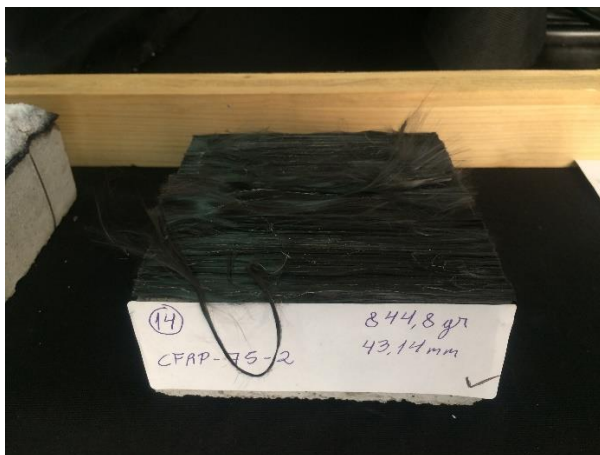
**Figura 4** – Comportamento dos provetes de CFRP sem proteção



**Figura 5** – Provetes reforçados com mantas de CFRP, para um fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>



**Figura 6** – Provetes reforçados com laminado de CFRP, para um fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>



**Figura 7** – Provetes reforçados com mantas de CFRP, para um fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup>



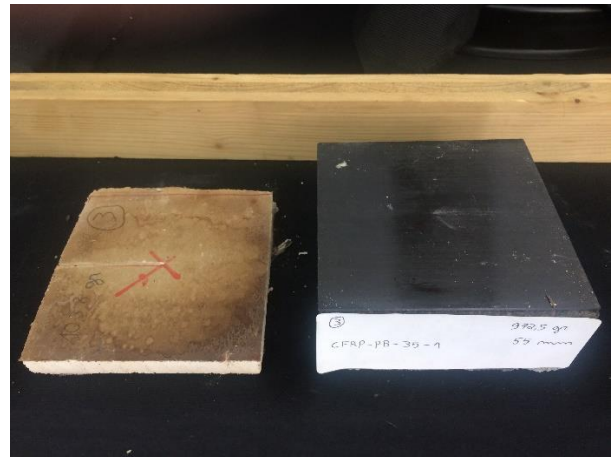
**Figura 8** – Provetes reforçados com laminado de CFRP, para um fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup>

### 3.3 Provetes protegidos com placa de gesso

Os provetes de betão com manta e com laminado de CFRP colado na superfície e protegidos com placa de gesso laminado, de 4 mm de espessura, foram igualmente submetidos aos dois fluxos de calor considerados. Nestes ensaios, as temperaturas foram registadas através de dois termopares, do tipo K, sendo um deles inserido na face inferior do CFRP (T1) e o outro na face inferior da placa de gesso (T2). Não houve registo de ignição no decurso dos ensaios. O aspeto final dos provetes reforçados com manta e com laminado de CFRP e protegidos com placa de gesso é apresentado nas Figuras 9 e 10, respetivamente, para um fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>. Nas Figuras 11 e 12 apresenta-se o aspeto final dos provetes para um fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup>.



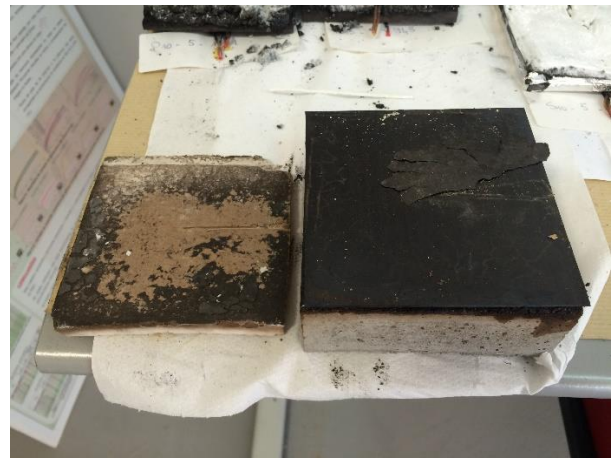
**Figura 9** – Provedor reforçado com mantas de CFRP e protegido com placa de gesso, sujeito a um fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>



**Figura 10** – Provedor reforçado com laminado de CFRP e protegido com placa de gesso, sujeito a um fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>



**Figura 11** – Provedor reforçado com mantas de CFRP, e protegido com placa de gesso, sujeito a um fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup>



**Figura 12** – Provedor reforçado com laminado de CFRP e protegido com placa de gesso, sujeito a um fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup>

### 3.4 Provetes protegidos com tinta intumescente

Os provetes protegidos com tinta intumescente foram igualmente monitorizados com dois termopares do tipo K, sendo um deles inserido na face inferior do CFRP (T1) e o outro entre o CFRP e a tinta intumescente (T2). Em todos os provetes 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 um fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup> é apresentado na Figura 13. Na Figura 14 apresenta-se o aspeto final dos provetes com laminado de CFRP, para o mesmo fluxo de calor. Para um 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 apresentado nas Figuras 15 e 16.



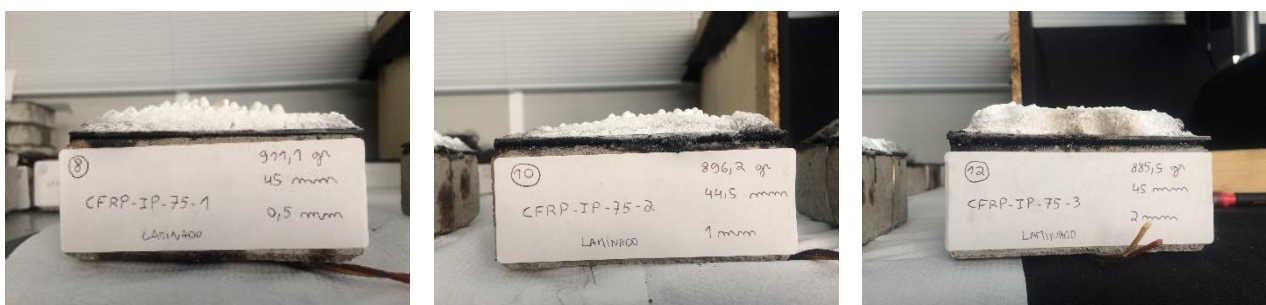
**Figura 13** – Provetes reforçados com manta de CFRP e protegidos com tinta intumescente, sujeitos a um fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>



**Figura 14** – Provetes reforçados com laminado de CFRP e protegidos com tinta intumescente, sujeitos a um fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>



**Figura 15** – Provetes reforçados com manta de CFRP e protegidos com tinta intumescente, sujeitos a um fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup>



**Figura 16** – Provetes reforçados com laminado de CFRP e protegidos com tinta intumescente, sujeitos a um fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup>

As figuras apresentam um comportamento característico da decomposição oxidativa da camada intumescente, de cor branca, para esta intensidade do fluxo de calor e que não se verifica para o fluxo de calor mais reduzido. O aspeto final dos provetes reforçados com manta e com laminado é similar.

#### 4. Resultados experimentais

Os resultados obtidos nos ensaios realizados no calorímetro de perda de massa são seguidamente apresentados, quer para os provetes sem proteção (U) como para os provetes protegidos com placa de gesso (PB) e com tinta intumescente (IP) de espessura 0.5 mm (IP-0.5), 1.0 mm (IP-1) e 2 mm (IP-2). A designação 35 e 75 refere-se aos provetes sujeitos a fluxos de calor de 35 kW/m<sup>2</sup> e 75 kW/m<sup>2</sup>, respetivamente. Os resultados dizem respeito aos valores registados no termopar colocado na superfície inferior do CFRP (T1). É feita igualmente a comparação entre os provetes reforçados com manta e com laminado de CFRP, Figura 17.

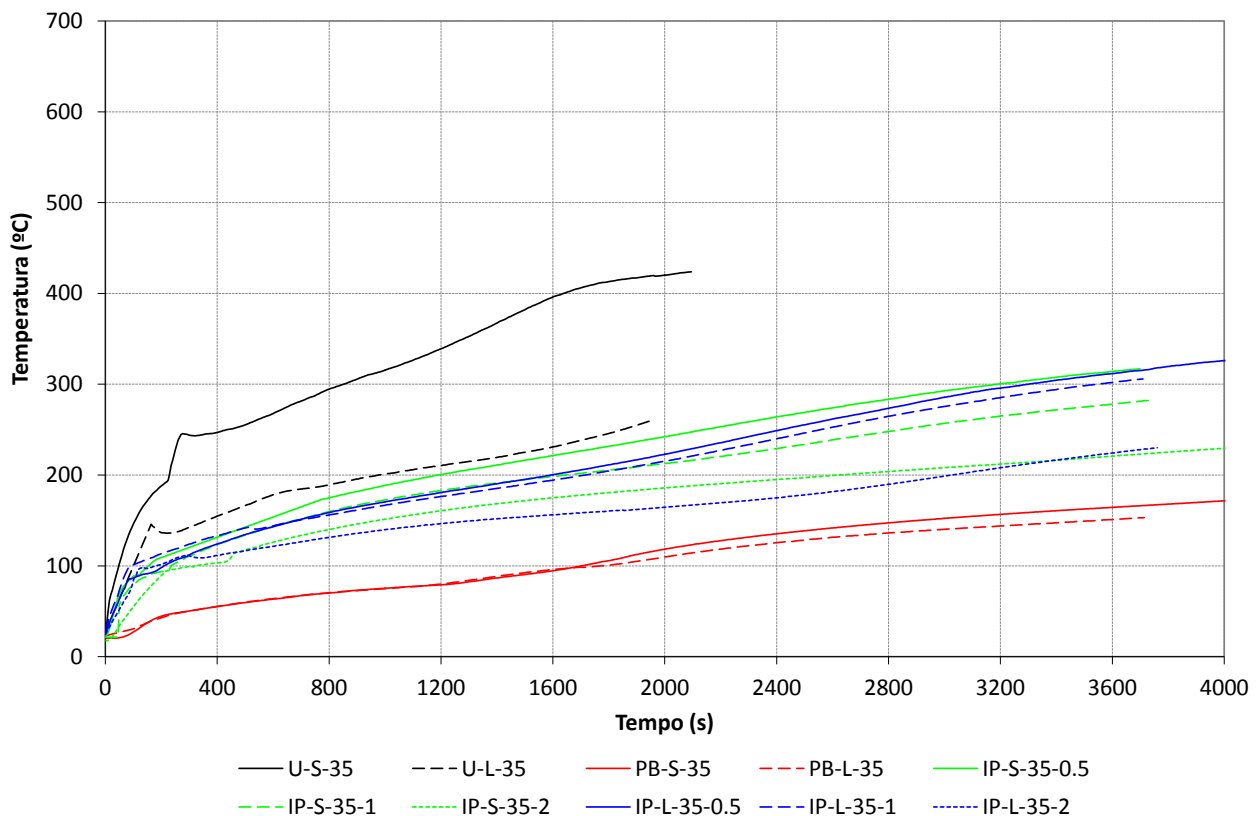
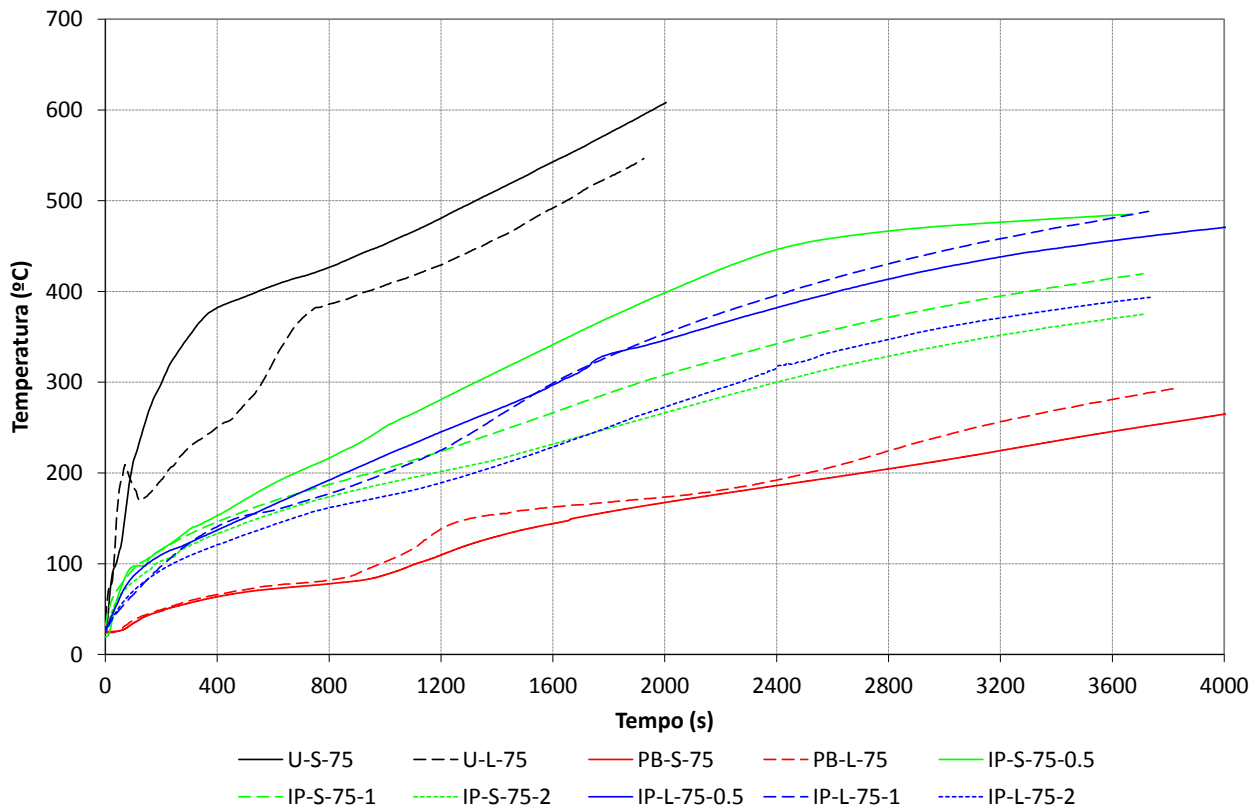


Figura 17 – Evolução da temperatura ao longo do tempo para um fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>

Para um fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>, os provetes reforçados com manta sem proteção atingiram valores de temperatura consideravelmente mais elevados (420 °C) em comparação com os provetes reforçados com laminados de CFRP (260 °C). Esta tendência manteve-se nos restantes ensaios para os diferentes sistemas de proteção. No caso dos provetes protegidos com placa de gesso a diferença 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 foram registadas nos provetes com 0.5 mm de tinta, 310 °C e para espessuras de 2 mm foram da ordem dos 220 °C. Neste caso não se verificou diferenças significativas entre as temperaturas atingidas nos provetes reforçados com manta e com laminados.

Em ambos os sistemas de reforço o melhor sistema de proteção foi verificado para a placa de gesso, com um registo de menos 70 °C em relação aos provetes protegidos com 2 mm de tinta intumescente.

Para um fluxo de 75 kW/m<sup>2</sup>, nos provetes sem proteção os valores mais elevados de temperatura são alcançados para os provetes reforçados com manta, 610 °C e de 545 °C nos provetes reforçados com laminados de CFRP. Tal como observado no menor fluxo de calor, os provetes reforçados com manta atingem temperaturas mais elevadas do que os provetes reforçados com laminado, embora esta diferença não seja tão acentuada, cerca de 65 °C de diferença sendo no caso anterior de 160 °C, Figura 18.



**Figura 18** – Evolução da temperatura ao longo do tempo para um fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup>

Nos provetes com proteção, também neste caso, 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 19 e 20, para os provetes sem qualquer sistema de proteção ao fogo.

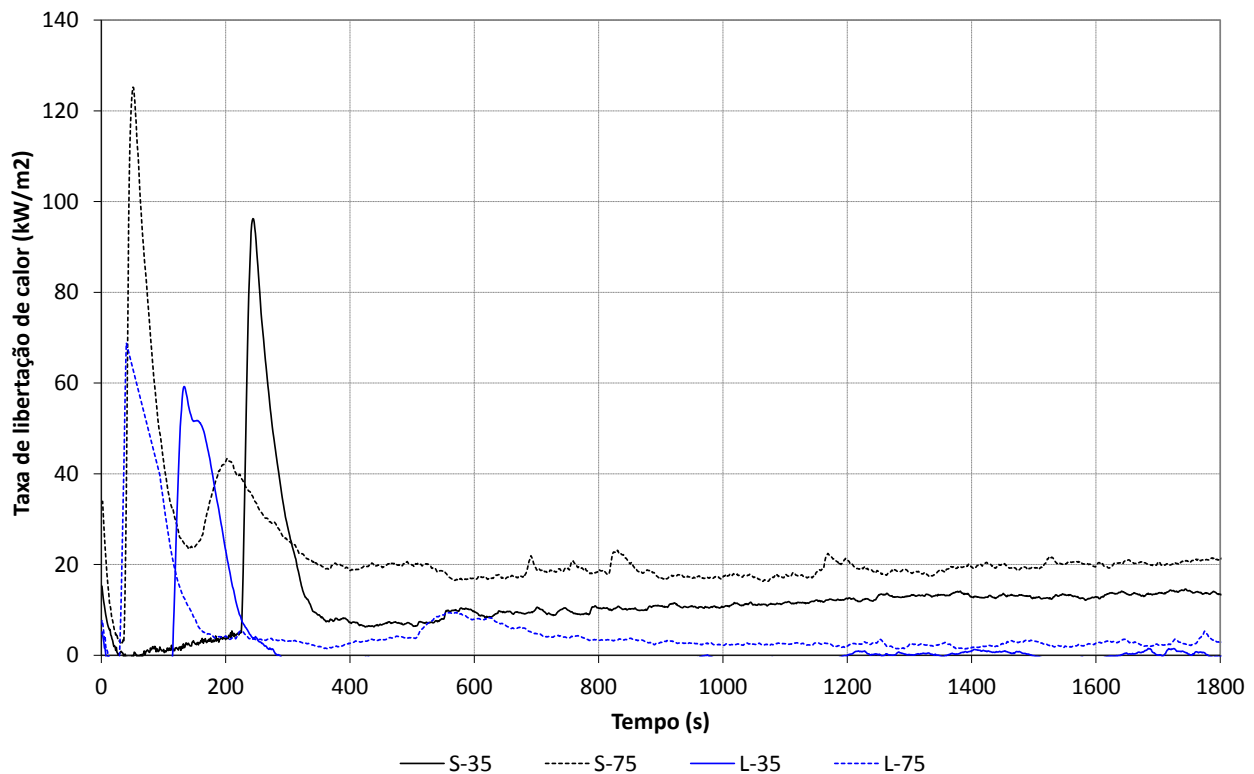


Figura 19 – Taxa de libertação de calor (kW/m<sup>2</sup>)

No que diz respeito à taxa de libertação de calor, para ambos os fluxos de calor e para ambos os sistemas de reforço, há um período inicial onde 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 fluxo de calor, a taxa de libertação de calor sofre um rápido aumento 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 verifica-se um valor residual da taxa de libertação de calor.

Os valores máximos registados para a taxa de libertação de calor foram de 185 kW/m<sup>2</sup> para um fluxo de calor de 75 kW/m<sup>2</sup> e de 94 kW/m<sup>2</sup> para um 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 um fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup> e de 75 kW/m<sup>2</sup>, respetivamente.

As curvas apresentadas na Figura 20 são referentes à perda de massa registada nos provetes reforçados quer com manta quer com laminado de CFRP para os provetes 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 referente ao instante em que a resina epoxídica entra em combustão. Após este pico as amostras continuam a perder massa de forma mais lenta devida à continua decomposição térmica da massa residual. A perda de massa total do provete de betão reforçado 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.

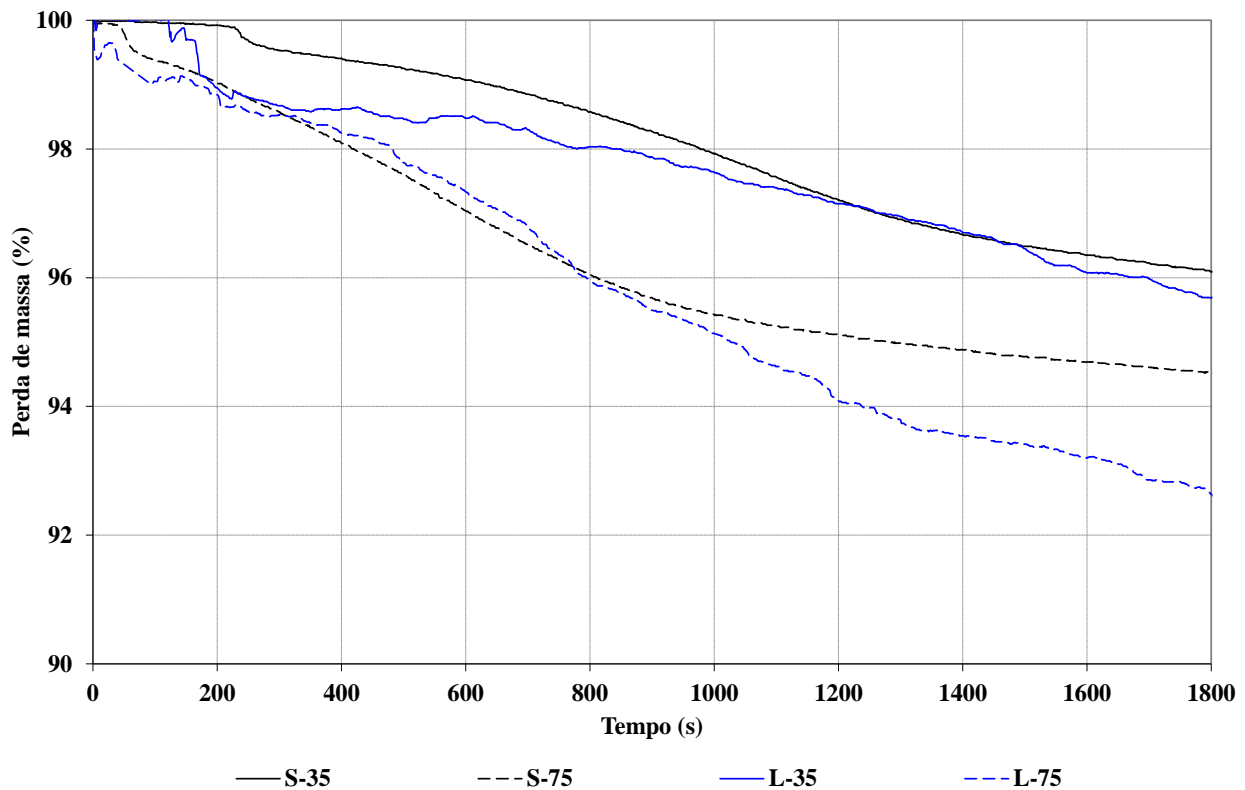


Figura 20 – Perda de massa (%)

## 5. 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 laminado 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>. As temperaturas na face inferior do CFRP foram medidas recorrendo a um termopar do tipo K.

Dos ensaios realizados verificou-se que:

- as temperaturas medidas mostraram que ambos os materiais de proteção contra incêndio originaram uma significativa redução das temperaturas no CFRP;
- nos provetes reforçados com manta de CFRP, protegidos com tinta intumescente, e para um fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>, registaram-se 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 eficácia da proteção com tinta intumescente tende a aumentar com o aumento da sua espessura;
- para fluxos de calor de 75 kW/m<sup>2</sup> as reduções de 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;
- o desempenho da placa de gesso na redução da temperatura alcançada no provete reforçado com manta CFRP foi de 72% e 71% para os dois 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 laminado de CFRP, protegidos com tinta intumescente, e para um fluxo de calor de 35 kW/m<sup>2</sup>, registaram-se reduções de temperatura no CFRP de 14%, 16% e 34% 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 eficácia da proteção com tinta intumescente tende a aumentar com o aumento da sua espessura. Para fluxos 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;
- O desempenho da placa de gesso na redução da temperatura alcançada no provete reforçado com manta CFRP foi de 57% e 68% para os dois fluxos de calor de 35 kW/m<sup>2</sup> e 75 kW/m<sup>2</sup>, respetivamente. A eficácia deste sistema de proteção foi superior à registada nos provetes protegidos com a tinta intumescente para as espessuras de tinta consideradas.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Reconco pelo fornecimento das placas de gesso.

## Referências Bibliográficas

- Correia, J. (2008). GFRP pultruded profiles in civil engineering: hybrid solutions, bonded connections and fire behaviour. PhD thesis, Technical University of Lisbon.
- Correia, J.; Branco, F.; Ferreira, J. (2000). 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, Elsevier, Volume 41 A, Issue 3.
- EN ISO 13927. Plastics (2003). Simple heat release test using a conical heater and a thermopile detector. Brussels: CEN – Comité Européen de Normalisation.
- Ferreira, D., Duarte, L., Mesquita, L., Piloto, P. (2016). CFRP fire behaviour – passive protection system. Proceedings of the 7th International Conference on Safety and Durability of Structures-ICOSADOS, UTAD, Portugal.
- Firmo, J. Arruda, M., Correia, J. (2016). Comportamento ao fogo de vigas de betão armado reforçadas com laminados de cfrp instalados em rasgos: ensaios de resistência ao fogo e simulação numérica. 5ª Jornadas de segurança aos incêndios urbanos, LNEC, Lisboa.
- Green, M., Benichou, N., Kodur, V., Bisby, L. (2007). Design guidelines for fire resistance of FRP strengthened concrete structures. Eighth International Conference on FRP in Reinforced Concrete Structures (FRPRCS-8), Patras, Greece, 1-10.
- Gyptec, Ibérica (2012). Ficha técnica, placa F – EN 520 (anti-fogo), DOC 05.01-21.
- Interchar 1160 (2015). Ficha técnica, Pintura intumescente de base aquosa – International, Ref: 4585.
- Juandes, L. (2001). Materiais Compósitos Reforçados com Fibras, FRP, Tech. Report, Ciências dos Materiais, Licenciatura em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia do Porto, 76 p.
- Morgado, T. (2012). Comportamento ao fogo de vigas de compósito de GFRP. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico de Lisboa.