



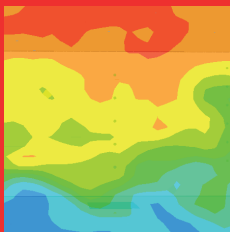
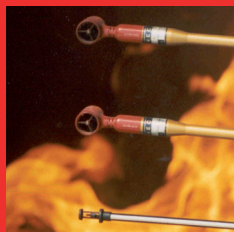
LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



associação luso-brasileira
para a segurança contra incêndio

5.^{as} JORNINC

Jornadas de Segurança
aos **Incêndios Urbanos**



LISBOA • LNEC • 1 e 2 de junho de 2016

PROGRAMA

Programa geral

1 de junho de 2016

Hora	Auditório	Sala
8:00 às 8:30		
8:30 às 9:00	Sessão de abertura	
9:00 às 9:30	Sessão plenária I	
9:30 às 11:00	Comportamento das estruturas e dos materiais ao fogo I	
11:00 às 11:30		
11:30 às 12:00	Sessão plenária II	
12:00 às 13:30	Regulamentação, normalização e certificação em segurança contra incêndios	
13:30 às 14:30		
14:30 às 15:00	Sessão plenária III	
15:00 às 16:30	Comportamento das estruturas e dos materiais ao fogo II	Evacuação e comportamento humano em situação de incêndio
16:30 às 17:00		
17:00 às 17:30	Sessão plenária IV	
17:30 às 19:15	Controlo de fumo	Análise de risco de incêndio

2 de junho de 2016

9:00 às 9:30	Sessão plenária V
9:30 às 10:30	Comportamento das estruturas e dos materiais ao fogo III
10:30 às 11:00	
11:00 às 12:00	Organização e gestão da segurança contra incêndio
12:00 às 12:30	Sessão plenária VI
12:30 às 13:00	Sessão de encerramento

SESSÃO PLENÁRIA I

9:00 ÀS 9:30

Moderador da sessão: António Leça Coelho (Laboratório Nacional de Engenharia Civil)

O Regime Jurídico de SCIE - do D.L. nº 220/2008 ao D.L. nº 224/2015
Carlos Souto (Autoridade Nacional de Proteção Civil)

SESSÃO 1

9:30 ÀS 11:00

Comportamento das Estruturas e dos Materiais ao Fogo I

Moderador da sessão: Luis Laím (Universidade de Coimbra)

- 9:30 Contributo das geociências na investigação de incêndios em edifícios históricos: o caso da Sé de Lisboa
Amélia Dionísio, Maria Amália Sequeira Braga e João Carlos Waerenborgh
- 9:45 Modelação numérica de ensaios experimentais de vigas metálicas à temperatura normal e em situação de incêndio
André Reis, Nuno Lopes, Esther Real e Paulo Vila Real
- 10:00 Comportamento ao fogo de vigas de betão armado reforçadas com laminados de CFRP instalados em rasgos: ensaios de resistência ao fogo e simulação numérica
João Pedro Firmo, Mário Rui Arruda e João Ramôa Correia
- 10:15 Modelação numérica da resposta térmica de perfis pultrudidos tubulares de GFRP em situação de incêndio
Tiago Morgado, Nuno Silvestre, João R. Correia e Fernando Branco
- 10:30 Wooden cellular slabs with and without insulation submitted to fire conditions
Djaafer Haddad, Belkacem Lamri e Elza M. M. Fonseca
- 10:45 Exploratory tests on structures' resistance during forest fires
Luís Mário Ribeiro, Ricardo Oliveira, Jorge Raposo, David Caballero e Domingos Viegas

SESSÃO PLENÁRIA II

11:30 ÀS 12:00

Moderador da sessão: Carlos Souto (Autoridade Nacional de Proteção Civil)

Segurança contra incêndio em edifícios. Facilidades para a intervenção dos bombeiros

Carlos Ferreira de Castro (Action Modulers)

SESSÃO 2

12:00 ÀS 13:30

Regulamentação, Normalização e Certificação em Segurança Contra Incêndios

Moderador da sessão: Carlos Ferreira de Castro (Action Modulers)

- 12:00 Bocas-de-incêndio armadas: compatibilização do dimensionamento hidráulico
Armando Silva Afonso, Paulo Gomes e Carla Pimentel-Rodrigues
- 12:15 A legislação de segurança ao incêndio na reabilitação de edifícios: resultados de inquérito a entidades e profissionais do sector da construção
António Leça Coelho e João Branco Pedro
- 12:30 Análise dos critérios e fatores que determinam as "categorias de risco" previstas na atual legislação de segurança ao incêndio
António Leça Coelho
- 12:45 A legislação de segurança contra incêndio em diferentes países
António Leça Coelho
- 13:00 A segurança ao incêndio e a reabilitação sustentável de edifícios
José Manuel Silva, António Leça Coelho e Luís Bragança
- 13:15 Elevadores para evacuação - Caso de estudo
Paulo Ramos

SESSÃO PLENÁRIA III

14:30 ÀS 15:00

Moderador da sessão: Paulo Piloto (Instituto Politécnico de Bragança)

Verificação da resistência ao fogo de estruturas de aço e mistas aço-betão

Paulo Vila Real (Universidade de Aveiro)

SESSÃO 3

15:00 ÀS 16:30

Comportamento das Estruturas e dos Materiais ao Fogo II

Moderador da sessão: Paulo Vila Real (Universidade de Aveiro)

- 15:00 Behaviour of cellular beams protected with intumescent coatings
Brahim Lamri, Luís Mesquita, Abdelhak Kada e Paulo Piloto
- 15:15 Estudo numérico e experimental de ligações aparafusadas autoperfurantes de chapas finas a temperaturas elevadas
Armandino Parente, Rui Dias e Luís Mesquita
- 15:30 Estudio analítico de la inestabilidad por pandeo lateral de vigas parcialmente embebidas expuestas a fuego ISO834
Ana Belén Ramos-Gavilán, Paulo Piloto e Luís Mesquita
- 15:45 Modelação numérica de perfis enformados a frio a temperaturas elevadas
Flávio Arrais, Nuno Lopes e Paulo Vila Real
- 16:00 Load carrying capacity of partially encased columns for different fire ratings
Abdelkadir Fellouh, Nourredine Benlakehal, Paulo Piloto, Ana Ramos e Luís Mesquita
- 16:15 Comportamento ao fogo dos CFRP - sistemas passivos de proteção
Débora Ferreira, Luís Duarte, Luís Mesquita e Paulo Piloto

Evacuação e Comportamento Humano em Situação de Incêndio

Moderador da sessão: Pedro Lopes (Autoridade Nacional de Proteção Civil)

- 15:00 Comportamento humano em caso de incêndio
Elisabete Cordeiro, António Leça Coelho, Miguel C. S. Nepomuceno e João Craveiro
- 15:15 Fatores humanos e a segurança contra incêndios em túneis rodoviários
Dirceu Santos e Nelson Tico
- 15:30 Planeamento de emergência baseado em cenários de incêndio
António B. Leiras, João Paulo Rodrigues e Brian J. Meacham
- 15:45 MEECI: a Modelação da Evacuação de Edifícios em Caso de Incêndio
António Leça Coelho
- 16:00 Realidade virtual e jogos sérios: um novo paradigma de treino de pessoas em evacuação de edifícios
João Emílio Almeida, Rosaldo Rossetti e António Leça Coelho
- 16:15 Modelação de incêndios em edifícios de ensino superior - polo I da Universidade de Coimbra
Claude Almeida e António M. Correia

SESSÃO PLENÁRIA IV

17:00 ÀS 17:30

Moderador da sessão: João Viegas (Laboratório Nacional de Engenharia Civil)

Ventilação e controlo de fumo em túneis rodoviários
Jorge Saraiva (Dinâmica Aplicada)

SESSÃO 5

17:30 ÀS 19:15

Controlo de Fumo

Moderador da sessão: Jorge Saraiva (Dinâmica Aplicada)

- 17:30 Controlo de fumo em parques de estacionamento cobertos - Complexo Sky Center, Luanda
Pedro Cordeiro, Rui Vaz, Martin Eimermann e João Carlos Viegas
- 17:45 O sistema de ventilação e controlo de fumo do túnel do Marão; Então...(2007)
Jorge Saraiva, Dirceu Santos e Nelson Tico
- 18:00 Full-size experiments of air curtains for smoke control in case of fire: final results
João Carlos Viegas e Hildebrando Cruz
- 18:15 Controlo de fumo por meios passivos em túneis
João Carlos Viegas
- 18:30 Escoamento longitudinal em túneis longos
Dirceu Santos, Jorge Saraiva e João Paulo Rodrigues
- 18:45 CFD analysis for the evaluation of the thermal radiation on a pool fire in an offshore platform
Aleksandra Mielcarek, Aldina Santiago e Filippo Gentili
- 19:00 Extintor automático de incêndios
Sónia Bergano

Análise de Risco de Incêndio

Moderador da sessão: Carlos Pina dos Santos (Laboratório Nacional de Engenharia Civil)

- 17:30 Avaliação do risco de incêndio no Núcleo Urbano de Aljustrel
Lurdes Belgas, Tânia Valentim, Romeu Vicente e Tiago Ferreira
- 17:45 Incêndios em edifícios na cidade de Lisboa, análise e caracterização das ocorrências no período de 2010 a 2014
Paulo Manuel Pereira Nunes e Rui Manuel da Cruz Oliveira
- 18:00 Modelação do comportamento de uma estrutura sujeita a um incêndio de compartimento
Hugo Nunes e António Correia
- 18:15 Avaliação de risco de incêndio urbano - apresentação da aplicação numérica CHICHORRO 2.0
Miguel Chichorro Gonçalves, Ricardo Ferreira e André Correia
- 18:30 MARIE: Modelo de Análise de Risco de Incêndio em Edifícios Existentes
António Leça Coelho
- 18:45 Medidas para a eficiência no combate aos incêndios urbanos
José Pedro Lopes e João Paulo Rodrigues

2 DE JUNHO DE 2016

SESSÃO PLENÁRIA V

09:00 ÀS 09:30

Moderador da sessão: Nuno Lopes (Universidade de Aveiro)

A transmissão do calor e a dinâmica do fogo
João Ventura (IN+, Instituto Superior Técnico)

SESSÃO 7

09:30 ÀS 10:30

Comportamento das Estruturas e dos Materiais ao Fogo III

Moderador da sessão: Elza Fonseca (Instituto Politécnico de Bragança)

- 9:30 Comparação estatística dos resultados da aplicação de métodos diversos na verificação da resistência ao fogo de pilares em betão armado
Miguel Chichorro Gonçalves e Alzira Ramalho
- 9:45 Análise termomecânica de colunas tubulares de aço de secção quadrada e retangular preenchidas com betão em caso de incêndio
João Azevedo, Luís Laím e João Paulo Rodrigues
- 10:00 Aplicação computacional dos métodos simplificados de cálculo da EN 1994 - 1.2
Rui Costa, João Paulo Rodrigues e Luís Laím
- 10:15 O efeito das altas temperaturas na resistência à compressão de um betão com adição de fibras de aço e têxteis reciclados de pneu
Maria Eduarda Mendes Daniel, Cristina Calmeiro dos Santos e João Paulo Rodrigues

SESSÃO 8

11:00 ÀS 12:00

Organização e Gestão da Segurança Contra Incêndio

Moderador da sessão: Aldina Santiago (Universidade de Coimbra)

- 11:00 O papel da direção escolar na gestão da segurança contra incêndio nas escolas
Susana Almeida Monteiro e Rui Cruz Oliveira
- 11:15 Importância da Gestão da Segurança Contra Incêndio em Edifícios: casos de incêndios com falhas de gestão graves
Rui Cruz Oliveira, Lino Forte Marques e João Paulo Rodrigues
- 11:30 Caracterização da combustão de tendas de campismo
Jorge Raposo, Miguel Almeida, Domingos Viegas, Marta Martins e Joel Teixeira
- 11:45 Extinção automática em hottes de cozinha
Jorge Miguel Filipe e Sónia Bergano

SESSÃO PLENÁRIA VI

12:00 ÀS 12:30

Moderador da sessão: João Ventura (IN+, Instituto Superior Técnico)

Sustentabilidade, eficiência energética e os desafios para a segurança face ao incêndio

Carlos Pina dos Santos (Laboratório Nacional de Engenharia Civil)



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



associação luso-brasileira
para a segurança contra incêndio



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

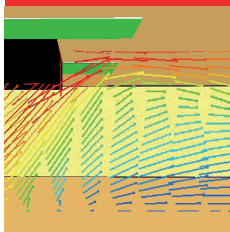
Patrocini-



ORDEM DOS
ENGENHEIROS
TÉCNICOS

Apoio

proteger





5.ª JORNINC

Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos

Lisboa • LNEC • 1 e 2 de junho de 2016



associação luso-brasileira
para a segurança contra incêndio

www.5jorninc.lnec.pt

[Prefácio](#)

[Programa](#)

[Sessões Plenárias](#)

[Sessão 1](#)

[Sessão 2](#)

[Sessão 3](#)

[Sessão 4](#)

[Sessão 5](#)

[Sessão 6](#)

[Sessão 7](#)

[Sessão 8](#)

[Autores](#)

[Comissões](#)

Comissão Organizadora

- Carlos Pina dos Santos (Laboratório Nacional de Engenharia Civil)
- João Viegas (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) - Coordenador
- José Pedro Lopes (Autoridade Nacional de Proteção Civil)
- Luis Laim (Universidade de Coimbra)
- Nuno Lopes (Universidade de Aveiro)
- Paulo Piloto (Instituto Politécnico de Bragança)

Comissão Executiva

- Teresa Fonseca
- José Anacleto
- Maria Fernanda Carvalho
- Dulce Franco

Comissão Científica

- Aldina M. da Cruz Santiago (Universidade de Coimbra)
- António Leça Coelho (Laboratório Nacional de Engenharia Civil)
- Carlos Ferreira de Castro (Action Modulers)
- Carlos Pina dos Santos (Laboratório Nacional de Engenharia Civil)
- Cristina Calmeiro dos Santos (Instituto Politécnico de Castelo Branco)
- Débora Ferreira (Instituto Politécnico de Bragança)
- Elza Fonseca (Instituto Politécnico de Bragança)
- José Carlos M. Góis (Universidade de Coimbra)
- João Carlos Viegas (Laboratório Nacional de Engenharia Civil)
- João Paulo C. Rodrigues (Universidade de Coimbra)
- João Ramôa Correia (Universidade de Lisboa)
- Jorge Gil Saraiva, Coordenador (Dinâmica Aplicada)
- Lino Forte Marques (Universidade de Coimbra)
- Luis Laim (Universidade de Coimbra)
- Luís Mesquita (Instituto Politécnico de Bragança)
- Miguel Chichorro Gonçalves (Universidade do Porto)
- Nuno Lopes (Universidade de Aveiro)



Patrocínios :



ORDEM DOS
ENGENHEIROS
TÉCNICOS



Apoio :





5.ª JORNINC

Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos

Lisboa • LNEC • 1 e 2 de junho de 2016



www.5jorninc.lnec.pt

Prefácio

Programa

Sessões Plenárias

Sessão 1

Sessão 2

Sessão 3

Sessão 4

Sessão 5

Sessão 6

Sessão 7

Sessão 8

Autores

Comissões

PREFÁCIO

A segurança aos incêndios urbanos assume particular importância pelo risco normalmente associado a este tipo de acidentes, tendo como objetivo a redução do número de ocorrências, das vítimas mortais, dos feridos, dos prejuízos materiais, dos danos patrimoniais, ambientais e de natureza social. O conhecimento associado a esta situação accidental é o resultado da evolução do conhecimento empírico, desenvolvido ao longo dos anos com incêndios reais e exercícios, e o resultado do conhecimento científico, normalmente desenvolvido nas instituições do Sistema Científico e Tecnológico, tendo em consideração a complexidade dos fenómenos e a respetiva interdisciplinaridade. Com vista à redução do risco de incêndios urbanos, Portugal tem assistido ao crescimento e atualização desta legislação.

Tendo por objetivo criar um fórum de discussão científica e técnica deste tema, no ano de 2005 foi dado início ao ciclo de Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos, com a realização das 1as Jornadas na Universidade de Coimbra.

Seguiram-se as 2as e as 3as Jornadas, realizadas nos anos de 2011 e 2013 também na Universidade de Coimbra, e as 4as Jornadas, realizadas em 2014 no Instituto Politécnico de Bragança com o apoio da ALBRASCI (Associação Luso-Brasileira para a Segurança Contra Incêndio). As 5as Jornadas pretendem dar continuidade à divulgação do desenvolvimento do conhecimento nos diversos domínios da segurança ao incêndio, de modo a constituir um fórum de debate alargado entre engenheiros, arquitetos, professores, investigadores, técnicos, licenciadores e demais entidades do sistema de proteção civil.



Patrocínios :



ORDEM DOS ENGENHEIROS TÉCNICOS

TEIXEIRA DUARTE ENGENHARIA E CONSTRUÇÕES, S.A.

Sinalux®

Tecnilab

Apoio :

proteger



5.^{os} JORNINC

Jornadas de Segurança
aos Incêndios Urbanos

Lisboa • LNEC • 1 e 2 de junho de 2016



COMPORTAMENTO AO FOGO DOS CFRP – SISTEMAS PASSIVOS DE PROTEÇÃO

Débora Ferreira
Professora
IPB - Bragança

Luís Duarte
Estudante
IPB - Bragança

Luís Mesquita
Professor
IPB - Bragança

Paulo Piloto
Professor
IPB - Bragança

SUMÁRIO

Os materiais compósitos de matriz polimérica reforçada com fibras (FRP) têm vindo a ser continuamente aplicados na indústria da construção. Apesar das inúmeras vantagens que os FRP apresentam tais como rapidez e facilidade de execução, leveza e resistência à corrosão, têm como desvantagem a sua limitada resistência ao fogo devida à instabilidade da resina quando exposta a elevadas temperaturas. O trabalho desenvolvido pretende dar um contributo no conhecimento de sistemas passivos à base de placas de gesso e tinta intumescente na proteção ao fogo de mantas de fibras de carbono (CFRP) coladas em provetes de betão. A influência da proteção ao fogo dos CFRP é analisada através de ensaios experimentais conduzidos num calorímetro de perda de massa, considerando diferentes fluxos de calor por radiação.

PALAVRAS-CHAVE: CFRP, Proteção passiva; Resistência ao fogo; Calorímetro de cone.

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 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. 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], contudo a resina utilizada na composição pode 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. 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.

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 de dimensões 100x100x40 [mm], utilizando o método de ensaio preconizado na norma EN ISO 13927 [3]. A manta de CFRP é colada na superfície dos provetes com resina epoxídica exposta à ação térmica.

A superfície do sistema de reforço é exposta à ação de diferentes fluxos de calor por radiação: 35 [kW/m²] e 75 [kW/m²], 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 [4].

A influência dos sistemas passivos de proteção no comportamento ao fogo dos CFRP é analisada considerando como material de proteção as placas de gesso, mantas de fibras cerâmicas e tintas intumescentes. A evolução da temperatura das superfícies de contacto dos diferentes materiais é determinada, para os dois fluxos de calor utilizados, 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 das amostras

Diversos ensaios foram conduzidos para o estudo do comportamento dos CFRP ao fogo com e sem proteção. Os provetes analisados foram realizados em betão de dimensões 100x100x40 [mm], figura 1. Após a cura dos provetes, a superfície foi tratada, figura 2, e a manta de CFRP foi colada com resina epoxídica, figura 3.



Figura 1: Provetes em betão



Figura 2: Tratamento da superfície

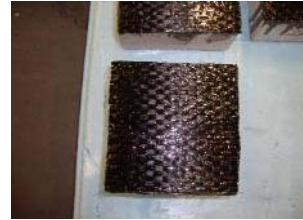


Figura 3: Colagem da manta de CFRP

2.2 Sistemas de proteção

Os sistemas de proteção aplicados neste trabalho são apenas sistemas passivos de segurança ao fogo. Estes materiais devem possuir reduzido peso volúmico, de forma a não representarem um acréscimo de carga significativo no elemento, baixa condutibilidade térmica e elevado calor específico [5, 6]. 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 diferentes materiais de proteção contra o fogo.

2.1.1 Placa de gesso laminado

As placas de gesso laminado aplicadas, fabricadas pela empresa Gyptec Ibérica, 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 [7], figura 4.



Figura 4: Preparação dos provetes com gesso laminado

2.1.2 Tinta intumescente

Foi utilizada uma tinta intumescente para proteção contra o fogo, fornecida pela empresa International (produto Interchar 1160), com acabamento mate e cor branca, figura 5. A tinta Interchar é uma tinta de base aquosa que permite tempos de proteção até 60 [min], apresentando uma massa específica de aproximadamente $1400 \text{ [kg/m}^3\text{]}$. Esta tinta é aplicada para proteção de estruturas metálicas [8]. A tinta pode ser aplicada com pistola convencional, *airless*, trincha ou rolo, figura 6. Os provetes foram cobertos com três espessuras diferentes de tinta: 0.5 [mm], 1.0 [mm] e 2.0 [mm], figura 7.



Figura 5: Tinta intumescente



Figura 6: Aplicação da tinta



Figura 7: Espessura da tinta aplicada

3. ENSAIOS EXPERIMENTAIS

3.1 Ensaios no calorímetro de perda de massa

O calorímetro é um equipamento que permite medir a perda de massa de um material quando submetido a um determinado fluxo de calor. Este aparelho possui uma balança de alta precisão permitindo o registo da massa da amostra ao longo do tempo, figura 8 [9].



Figura 8: Calorímetro de perda de massa

Os testes realizados no calorímetro de perda de massa foram efetuados, com fluxos de calor de 35 [kW/m²] e 75 [kW/m²], em prismas de betão com manta de CFRP colada 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, figura 9. A figura 10 mostra o comportamento do provete quando exposto à ação do fogo para o fluxo de 35 [kW/m²], e a figura 11 refere-se ao fluxo de 75 [kW/m²].



Figura 9: Termopar do tipo K para medição das temperaturas no CFRP



Figura 10: Comportamento do provete sem proteção com fluxo de 35 [kW/m²]



Figura 11: Comportamento do provete sem proteção com fluxo de 75 [kW/m²]

Da observação das figuras 10 e 11 verifica-se que 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/m²], e de aproximadamente 1 [min] para o fluxo de 75 [kW/m²]. Até à extinção da chama ocorreu libertação de fumo, figura 12.

As figuras 13 e 14 mostram o aspeto do provete, sem proteção, findo o ensaio.



Figura 12: Libertação de fumo durante o ensaio



Figura 13: Aspeto final dos provetes sem proteção com fluxo de 35 [kW/m²]



Figura 14: Aspeto final dos provetes sem proteção com fluxo de 75 [kW/m²]

3.1.1 Placa de gesso laminado

Os provetes de betão com manta de CFRP colada na superfície 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), figura 15. Não houve registo de ignição no decurso do ensaio, figura 16. As figuras 17 e 18 mostram o aspeto final dos provetes para ambos os fluxos de calor.



Figura 15: Aplicação dos termopares nos provetes protegidos com placa de gesso

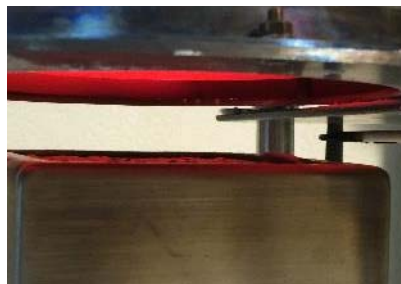


Figura 16: Ausência de ignição nos provetes protegidos com placa de gesso



Figura 17: Aspeto final dos provetes protegidos com placa de gesso para um fluxo de 35 [kW/m²]



Figura 18: Aspeto final dos provetes protegidos com placa de gesso para um fluxo de 75 [kW/m²]

3.1.2 Tinta intumescente

Os provetes protegidos com tinta intumescente foram igualmente monitorizados com dois termopares do tipo K, figura 19, sendo um deles inserido na face inferior do CFRP (T1) e o outro entre o CFRP e a tinta Intumescente (T2).



Figura 19: Colocação dos termopares do tipo K

Para ambos os fluxos de calor houve registo de ignição no decurso do ensaio, figura 20. As figuras 21 e 22 mostram o aspeto final dos provetes para ambos os fluxos de calor.



Figura 20: Ignição da tinta intumescente durante o ensaio



Figura 21: Aspeto final dos provetes protegidos com tinta intumescente para um fluxo de 35 [kW/m²]



Figura 22: Aspeto final dos provetes protegidos com tinta intumescente para um fluxo de 75 [kW/m²]

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os resultados obtidos nos ensaios realizados no calorímetro de perda de massa são seguidamente apresentados, quer para os provetes sem proteção (CFRP) como para os provetes protegidos com placa de gesso (CFRP-PB) e com tinta intumescente (CFRP-IP) de espessura 0.5 [mm] (CFRP-IP-0.5), 1.0 [mm] (CFRP-IP-1) e 2 [mm] (CFRP-IP-2). A designação 35 e 75 refere-se aos provetes sujeitos a fluxos de calor de 35 [kW/m²] e 75 [kW/m²], respetivamente. Os resultados dizem respeito aos valores registados no termopar colocado na superfície inferior do CFRP (T1).

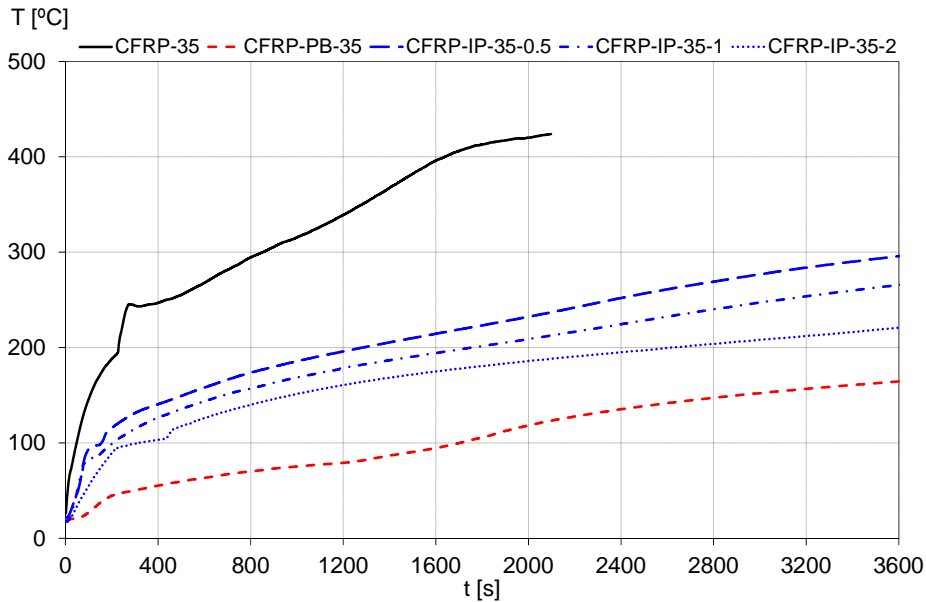


Figura 23: Evolução da temperatura ao longo do tempo para um fluxo de 35 [kW/m²]

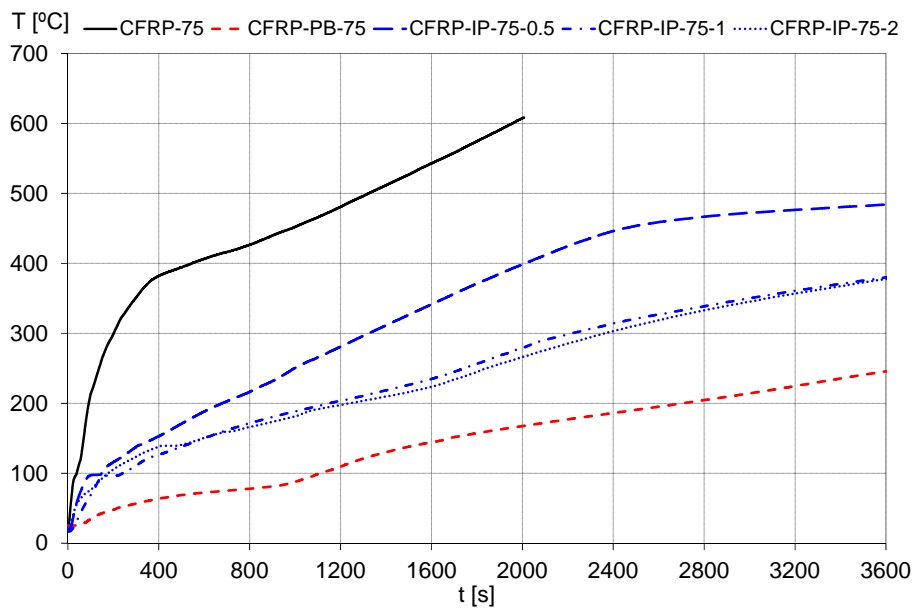


Figura 24: Evolução da temperatura ao longo do tempo para um fluxo de 75 [kW/m²]

Da análise dos resultados apresentados nas figuras 23 e 24 verifica-se que os sistemas de proteção utilizados proporcionaram uma diminuição da temperatura no CFRP. No caso dos ensaios realizados para um fluxo de calor de 35 [kW/m²], os provetes sem proteção atingiram

valores na ordem dos 420 [°C] diminuindo para 300 [°C], 250 [°C] e 220 [°C] nos provetes protegidos com tinta intumescente, com 0.5 [mm], 1.0 [mm] e 2.0 [mm] de espessura, respetivamente, e 160 [°C] nos provetes protegidos com placa de gesso. Nos ensaios para um fluxo de calor de 75 [kW/m²], os valores obtidos para a temperatura foram mais elevados que nos ensaios anteriores, na ordem dos 600 [°C] nos provetes sem proteção, 480 [°C] e 380 [°C] nos provetes protegidos com tinta intumescente, para 0.5 [mm] e 1.0 [mm], respetivamente. Nos provetes com 2 [mm] de espessura de tinta intumescente obtiveram-se os mesmos valores que nos provetes com 1 [mm] de espessura de tinta intumescente. Nos provetes protegidos com placa de gesso, os valores obtidos atingem 245 [°C]. O sistema mais eficaz de proteção revelou ser a placa de gesso para ambos os fluxos de calor considerados.

4. CONCLUSÕES

O comportamento ao fogo do 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/m²] e 75 [kW/m²]. 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 incêndios originaram uma significativa redução das temperaturas no CFRP. Nos provetes protegidos com tinta intumescente, e para um fluxo de calor de 35 [kW/m²], registaram-se reduções de temperatura no CFRP de 29%, 40% e 47% para as espessuras de 0.5 [mm], 1.0 [mm] e 2.0 [mm], respetivamente. Com estes resultados verifica-se que a eficácia da proteção com tinta intumescente tende a estabilizar apesar do aumento da sua espessura. Para fluxos de calor de 75 [kW/m²] as reduções de temperatura foram de 25% e 37% para 0.5 [mm] e 1.0 [mm] de espessura de tinta, respetivamente. Com 2 [mm] de espessura obtiveram-se valores de temperatura idênticos aos alcançados com 1 [mm]. Para fluxos de calor de 75 [kW/m²] parecem não se justificar espessuras de tinta intumescente superiores a 1 [mm].

O desempenho da placa de gesso na redução da temperatura alcançada no provete reforçado com CFRP foi de 62% e 59% para os dois fluxos de calor de 35 [kW/m²] e 75 [kW/m²], 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.

A eficácia deste sistema de proteção foi superior à registadas 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

- [1] Juvandes, L. – Materiais Compósitos Reforçados com Fibras, FRP, Tech. Report, Ciências dos Materiais, Licenciatura em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia do Porto, 2001, 76 p.
- [2] Schwartz, M. – Composites Materials Handbook, 2nd ed. McGraw-Hill Co., New York, 1992.
- [3] EN ISO 13927. Plastics – Simple heat release test using a conical heater and a thermopile detector. Brussels: CEN – Comité Européen de Normalisation. 2003.
- [4] Correia, J.; Branco, F.; Ferreira, J. - 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, march 2000.
- [5] Firmo, J. – Comportamento ao fogo de vigas de betão armado reforçadas à flexão com laminados de fibras de carbono (CFRP) - Desenvolvimento de sistemas de proteção ao fogo. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2010.
- [6] Morgado, T. – Comportamento ao fogo de vigas de compósito de GFRP. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2012.
- [7] Gyptec, Ibérica – Ficha técnica, placa F – EN 520 (anti-fogo), DOC 05.01-21, 2012.
- [8] Interchar 1160 – Ficha técnica, Pintura intumescente de base aquosa – International, Ref: 4585, 2015.
- [9] ISO 5660-1 International standard. Reaction-to-fire tests – Heat release, smoke production and mass loss rate, part 1: heat release rate (cone calorimeter method), second edition, 2002.

LNEC
LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

albrasci
associação de investigadores
para a segurança estrutural

5.ª JORNADA
Jornadas de Segurança
aos Incêndios Urbanos
LISBOA • LNEC • 1 e 2 de junho de 2016