

4^{as} JORNADAS de Segurança aos Incêndios Urbanos



Instituto Politécnico de Bragança

Atas dos Artigos



TÍTULO:

Atas dos Artigos das 4^{as} Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos

EDIÇÃO:

ALBRASCI (Associação Luso-Brasileira para a Segurança Contra Incêndio)

EDITORES:

Débora Ferreira (IPB), Elza Fonseca (IPB), João Carlos Viegas (LNEC), João Paulo C. Rodrigues (UC - ALBRASCI), José Pedro Lopes (ANPC), Luís Mesquita (IPB), Nuno Lopes (UA), Paulo Piloto (IPB)

DESIGN GRÁFICO:

Soraia Maduro – CIPweb IPB

EDIÇÃO:

1^a, Novembro de 2014

ISBN:

978-989-97210-2-9

DEPÓSITO LEGAL:

382800/14

IMPRESSÃO:

Bringráfica – Indústrias Gráficas, Lda

OBSERVAÇÃO:

Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida sem autorização escrita dos autores e da editora

PREFÁCIO

A Segurança Contra Incêndio de Edifícios (SCIE) atingiu a sua maturidade em Portugal fruto do desenvolvimento sustentado que tem tido na última década não só ao nível da investigação com a realização de vários projetos nacionais e europeus em várias instituições Portuguesas, como com o aparecimento de formação avançada (mestrado e doutoramento) e formação profissional em várias áreas da SCIE e da criação duma regulamentação uniforme para a área, suportada por uma normalização também ela completa e abrangente de toda a área da SCIE. Este desenvolvimento trará enormes retornos não só ao nível da segurança das edificações, bens e pessoas, como económicos, com um reflexo positivo para a sociedade. Portugal está hoje na primeira linha do desenvolvimento na área da SCIE. Poderemos dizer que projetar e construir hoje é mais seguro em termos de SCIE do que há quinze anos atrás e por isso temos que nos sentir orgulhosos.

No acompanhamento deste desenvolvimento, os Laboratórios das instituições públicas Portuguesas também se apetrecharam com novos e importantes equipamentos, que permitem o ensaio e certificação dos produtos das indústrias nacionais, tornando estas mais competitivas na sua ação não só no mercado nacional como internacional.

Portugal é hoje uma referência mundial na área da SCIE, sendo respeitado no Brasil e restantes PALOP como no resto do mundo. Neste relacionamento deve se destacar a ligação com o Brasil não só ao nível dos bombeiros, dos técnicos da empresas e dos professores e investigadores que na ALBRASCI – Associação Luso-Brasileira para a Segurança Contra Incêndio encontraram um espaço de discussão e colaboração em diferentes iniciativas em SCIE.

As Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos começaram em 2006, aquando da realização do primeiro Mestrado em Segurança Contra Incêndios Urbanos na Universidade de Coimbra, e em cada nova edição o sucesso vai-se renovando com o aparecimento de novos trabalhos científicos com um nível científico cada vez maior. Estas Jornadas têm constituído um fórum de debate alargado entre técnicos e demais interessados na área da SCIE.

As 4^{as} Jornadas em SCIE (4JORNINC) realizam-se este ano em Bragança, no Instituto Politécnico, pois esta é uma Escola que ao longo das últimas décadas tem realizado trabalho na área e criou um grupo de investigação que tem atuado ao maior nível em termos nacionais e internacionais. O número e qualidade das publicações submetidas a este evento foi muito bom pelo que o sucesso das 4JORNINC está assegurado.

Para finalizar queria agradecer a sua participação nestas Jornadas que serão certamente do seu maior interesse e profícuas para o seu desenvolvimento profissional.

João Paulo C. Rodrigues

COMISSÃO ORGANIZADORA

Débora Ferreira (IPB)
Elza Fonseca (IPB)
João Paulo C. Rodrigues (UC - ALBRASCI)
João Carlos Viegas (LNEC)
Luís Mesquita (IPB)
Nuno Lopes (UA)
José Pedro Lopes (ANPC)
Paulo A. G. Piloto (IPB)



Laboratório Nacional de Engenharia Civil



COMISSÃO CIENTÍFICA

Aldina M. da Cruz Santiago (FCTUC)
António Moura Correia (IPC)
A. Sérgio Miguel (U Minho)
Carlos Ferreira de Castro (Action Modulers)
Carlos Pina dos Santos (LNEC)
Cristina Calmeiro dos Santos (IPCB)
Débora Ferreira (IPB)
Elza Fonseca (IPB)
José Carlos M. Góis (FCTUC)
João Carlos Viegas (LNEC)
João Ferreira (IST)
João Paulo C. Rodrigues (FCTUC)
João Pinheiro (CDOS Bragança – ANPC)
João Ramôa Correia (IST)
Joaquim Barros (U Minho)
Jorge Gil Saraiva (LNEC)
Lino Forte Marques (FCTUC)
Luís Laím (FCTUC)
Luís Mesquita (IPB)
Miguel Chichorro Gonçalves (FEUP)
Nuno Lopes (UA)
Paulo A. G. Piloto (IPB)
Paulo Jorge M. F. Vila Real (UA)
Paulo Lourenço (U Minho)
Pedro Martins Arezes (U Minho)
Pedro Vieira Carvalheira (FCTUC)
Rui Faria (FEUP)
Vítor Carlos T. Abrantes (FEUP)

ÍNDICE

PREFÁCIO	i
COMISSÃO ORGANIZADORA	iii
COMISSÃO CIENTÍFICA	iv
PALESTRAS	1
O DIMENSIONAMENTO AO FOGO DE ESTRUTURAS E OS EUROCÓDIGOS ESTRUTURAIS	3
PREVENÇÃO E PROTEÇÃO CONTRA OS RISCOS DERIVADOS DE ATMOSFERAS EXPLOSIVAS.....	27
GRAU DE PRONTIDÃO DOS MEIOS DE SOCORRO E A EFICÁCIA DOS BOMBEIROS PORTUGUESES	37
CONTROLO DE FUMO EM GRANDES ÁTRIOS.....	47
VALIDAÇÃO NUMÉRICA DE ENSAIOS EXPERIMENTAIS EM CONDIÇÕES DE INCÊNDIO.....	61
ARTIGOS	111
SESSÃO DE ARTIGOS 1:	111
ANÁLISE DA REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS E PROPOSTA DA SUA APLICAÇÃO EM MOÇAMBIQUE.....	113
UMA VISÃO SISTÊMICA DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES NO BRASIL E A POSSIBILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UM REGULAMENTO NACIONAL.....	127
ANÁLISE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO SEGUNDO OS PRECEITOS DE DESEMPENHO, DURABILIDADE E SEGURANÇA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO CONFORME AS PRESCRIÇÕES NORMATIVAS BRASILEIRAS.....	139
SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM INSTALAÇÕES DE ARMAZENAMENTO DE MERCADORIAS.....	149
INCÊNDIOS EM TÚNEIS RODOVIÁRIOS – ENSAIOS À ESCALA REAL	157
IMPLEMENTAÇÃO DA DIRETIVA ATEX NO SETOR INDUSTRIAL	167
CONCEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE REDES SECAS.....	177
COMPUTATIONAL SIMULATION ON THE PERFORMANCE OF AIR PLANE JETS FOR SMOKE CONTROL.....	187
CARACTERIZAÇÃO DOS JATOS GERADOS POR VENTILADORES DE IMPULSO.....	199
SESSÃO DE ARTIGOS 2:	213
ANÁLISE DO PERIGO DE INCÊNDIO NA ANTIGA VILA DOS PESCADORES EM PORTO ALEGRE (RIO GRANDE DO SUL - BRASIL).....	215
ADEQUAÇÃO DO MÉTODO DE GREENER À AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO NOS CENTROS URBANOS ANTIGOS.....	225
ANÁLISE DE SENSIBILIDADE NA AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO DE EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS.....	235

AVALIAÇÃO DE RISCO DE INCÊNDIO URBANO – PROPOSTA DE UM MÉTODO PARA ANÁLISE E GESTÃO DO EDIFÍCIO EXISTENTE	245
ORGANIZAÇÃO E GESTÃO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS: PRINCIPAIS GRUPOS DE INTERESSE.....	253
A SEGURANÇA OPERACIONAL NA ATIVIDADE DE SALVAMENTO E DE COMBATE A INCÊNDIOS	263
SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS GESTÃO NO USO DOS EDIFÍCIOS	273
ESTUDO DA EVACUAÇÃO EM CASO DE INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS.....	283
O CONTROLO DE FUMO POR MEIOS ATIVOS E A EVACUAÇÃO EM LOCAIS DE RISCO.....	293
SESSÃO DE ARTIGOS 3:	305
ANÁLISE NUMÉRICA DA ENCURVADURA POR ESFORÇO TRANSVERSO EM VIGAS SUJEITAS A INTERAÇÃO ENTRE ESFORÇO TRANSVERSO E MOMENTO FLETOR A TEMPERATURAS ELEVADAS	307
ESTUDO PARAMÉTRICO DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE VIGAS EM C ENFORMADAS A FRIO	319
EFFECT OF ELEVATED TEMPERATURES ON THE BOND STRENGTH OF FRP-STRENGTHENED BRICKS	331
ESTUDIO NUMÉRICO DE VIGAS PARCIALMENTE EMBEBIDAS SOMETIDAS A FLEXIÓN A ALTAS TEMPERATURAS.....	341
RESISTÊNCIA AO FOGO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE AÇO INOXIDÁVEL COM SECÇÕES TUBULARES QUADRADAS DE CLASSE 4 SUJEITOS A FLEXÃO COMPOSTA COM COMPRESSÃO	351
COMPORTAMENTO AO FOGO DE ELEMENTOS DE COMPARTIMENTAÇÃO DE BASE GESSO SUJEITOS A INCÊNDIO NATURAL	363
COMPORTAMENTO AO FOGO DE VIGAS DE BETÃO ARMADO REFORÇADAS À FLEXÃO COM LAMINADOS DE CFRP COLADOS EXTERIORMENTE. ESTUDO EXPERIMENTAL	375
ANÁLISE NUMÉRICA DE VIGAS MISTAS PARCIALMENTE REVESTIDAS DE AÇO E CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.....	387
ANÁLISE TÉRMICA DE PILARES DE AÇO EXPOSTOS A INCÊNDIOS LOCALIZADOS.....	399
SESSÃO DE ARTIGOS 4:	411
PROPAGAÇÃO DE CHAMAS ATRAVÉS DE VÃOS DE FACHADA EM EDIFÍCIOS.....	413
COMPORTAMENTO AO FOGO DE COLUNAS DE GFRP. ESTUDO EXPERIMENTAL	425
BETÕES CORRENTES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.....	435
ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS MODELOS DE CÁLCULO DA EN1993-1-2 PARA O DIMENSIONAMENTO AO FOGO DE VIGAS C EM AÇO ENFORMADAS A FRIO.....	445
BETÃO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO E TÊXTEIS RECICLADAS DE PNEU SUJEITO A ALTAS TEMPERATURAS.....	457
ANÁLISE TÉRMICA 2D E 3D DE UM PAVIMENTO/COBERTURA EM MADEIRA COM PERFURAÇÕES.....	467
RESISTÊNCIA AO FOGO DE VIGAS EM MADEIRA E SECÇÕES DE PERFIS EM AÇO.....	475

4^{as} Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos
Instituto Politécnico de Bragança - Portugal - 6-7 de Novembro de 2014

REDUÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS SECÇÕES METÁLICAS PARCIALMENTE EMBEBIDAS COM BETÃO SUJEITAS AO FOGO	483
COMPORTAMENTO AO FOGO DE PAREDES EM TABIQUE.....	493
SESSÃO DE ARTIGOS 5:.....	505
RESISTÊNCIA AO FOGO DE LAJES CELULARES EM MADEIRA COM DIFERENTES PERFURAÇÕES – ANÁLISE EXPERIMENTAL.....	507
RESISTÊNCIA AO FOGO DE LAJES CELULARES EM MADEIRA COM DIFERENTES PERFURAÇÕES – ANÁLISE NUMÉRICA.....	517
RESISTÊNCIA AO FOGO DE BLOCOS DE BETÃO LEVE À BASE DE CAROÇO DE ESPIGA DE MILHO	527
REAÇÃO AO FOGO DE BETÃO COM E SEM FIBRAS DE POLIPROPILENO – ANÁLISE EXPERIMENTAL E VALIDAÇÃO NUMÉRICA.....	537
VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE ELEMENTOS NÃO UNIFORMES EM AÇO - VALIDAÇÃO NUMÉRICA DO MÉTODO GERAL DO EC3.....	549
FORMULAÇÃO E COMPORTAMENTO DE TINTAS INTUMESCENTES.....	559
ESTUDIO NUMÉRICO DE VIGAS PARCIALMENTE EMBEBIDAS SOMETIDAS A FLEXIÓN EXPUESTAS A FUEGO ISO834.....	569
COMPORTAMENTO AO FOGO DE PERFIS C E Z ENFORMADOS A FRIO	579
ENSAIOS DE REAÇÃO AO FOGO DE TINTAS INTUMESCENTES COM GRANULADO DE CORTIÇA.....	589
FATOR DE REDUÇÃO DO NÍVEL DE CARREGAMENTO, η_n : VALORES DE PROJETO E CONSEQUÊNCIAS DA SIMPLIFICAÇÃO APONTADA NO EC2-1-2.....	599
NÍVEL DE CARREGAMENTO À TEMPERATURA NORMAL, n : VALORES DE PROJETO E VALORES MÁXIMOS APONTADOS NO EC2-1-2	609

FORMULAÇÃO E COMPORTAMENTO DE TINTAS INTUMESCENTES



Sandra Cunha*
Investigação e Des.
Barbot



Luís Mesquita
Professor
IPB - Bragança



Paulo Piloto
Professor
IPB - Bragança

PALAVRAS-CHAVE: Proteção ao Fogo; Tinta Intumescente; Testes Experimentais; Calorímetro de Cone

RESUMO

A tinta intumescente reage por ação do calor, expande, criando uma camada isolante para os materiais metálicos. Normalmente é aplicada com auxílio de pistola ou trincha e com espessuras variáveis DFT, entre 500 μm e 1000 μm , dependendo da massividade dos materiais a proteger e da temperatura crítica definida. As tintas intumescentes são uma tecnologia inovadora de revestimento de superfícies metálicas que utilizam a formação de espuma para reduzir a transferência de calor. Quando submetidas ao fogo podem aumentar o seu volume até cem vezes DFT. Neste trabalho são avaliadas 17 formulações desenvolvidas pela BARBOT, comparando o desempenho térmico do substrato a proteger para diferentes período de exposição de referência e para diferentes temperaturas de referência do substrato. Foram identificadas 3 formulações e estudadas com mais detalhe, no forno de resistência ao fogo e no calorímetro de cone.

1. INTRODUÇÃO

A publicação do regulamento segurança contra incêndios em edifícios [1] definiu um novo regime jurídico relativo à classificação da reação ao fogo de produtos de construção e ao sistema de classificação da resistência ao fogo. Nesse sentido, importa garantir condições mínimas de exigência para que se proceda à classificação dos produtos de construção. O relatório de progresso da implementação, harmonização e desenvolvimento dos Eurocódigos,

*Autor correspondente –Investigação e Desenvolvimento, Barbot. Rua da Palmeira, 240, 4431-953 V. N. Gaia.

Telef.: +351 227 169200, Fax: +351 227 169219, E-mail: sandracunha@barbot.pt

elaborado pela Comissão Europeia (*Joint Research Centre*), refere a necessidade do desenvolvimento e alargamento dos métodos de avaliação dos materiais de proteção ao fogo para utilização nos métodos de cálculo simplificados e nos métodos avançados [2].

Um dos procedimentos utilizados para dotar uma estrutura com a capacidade de resistência ao fogo pode passar pelo dimensionamento sem a utilização de proteção adicional, recorrendo à utilização de perfis de gama superior, de aços de melhor qualidade ou de elevada resistência ao fogo. Em alternativa, é comum a aplicação de sistemas de proteção passiva, como o betão, placas de gesso, fibras minerais ou tintas intumescentes, dotando os elementos estruturais de uma proteção ao fogo total ou parcial. O aquecimento do substrato protegido (perfis metálicos) é provocado pela transferência de calor por condução, já que o aço não se encontra diretamente exposto à ação do fogo ou em contacto com os seus gases [3]. A aplicação de tintas intumescentes depende das respetivas propriedades físicas e térmicas, do fator de massividade do elemento a proteger e do tempo de resistência ao fogo pretendido. O aumento do tempo de resistência ao fogo pode ser obtido com o aumento da espessura de proteção ou, para a mesma espessura de proteção, utilizando perfis de massividade inferior.

Embora as formulações atuais das tintas intumescentes possam fornecer uma resistência ao fogo adequada, estas ainda possuem alguns pontos fracos, tais como: (i) a solubilidade em água de alguns dos seus ingredientes, tornando-as menos eficientes em ambientes com elevado teor de humidade; (ii) a possibilidade da sua aplicação das formas tradicionais, com trincha ou rolo, originando deficiente acabamento superficial e obrigando à aplicação de uma camada decorativa final; (iii) o custo da matéria-prima e (iv) o custo da sua aplicação limitam a sua utilização, [4]. Para além dos pontos fracos mencionados, importa referir a perda das propriedades de intumescência e a consequente perda de resistência térmica com o tempo em serviço (envelhecimento), [5].

Foi objetivo da BARBOT desenvolver uma tinta intumescente de alto desempenho, totalmente caracterizada em termos das suas propriedades térmicas e mecânicas que facilite aos projetistas o dimensionamento e a verificação de segurança contra incêndios. Estas propriedades devem permitir a determinação do tempo de resistência ao fogo das estruturas sujeitas a outras curvas de incêndio, a utilização das suas propriedades na aplicação dos métodos simplificados de verificação da segurança contra incêndios existentes nos Eurocódigos e a utilização destas propriedades em projetos que necessitem da aplicação de métodos de cálculo avançados.

2. DESENVOLVIMENTO DE TINTAS INTUMESCENTES

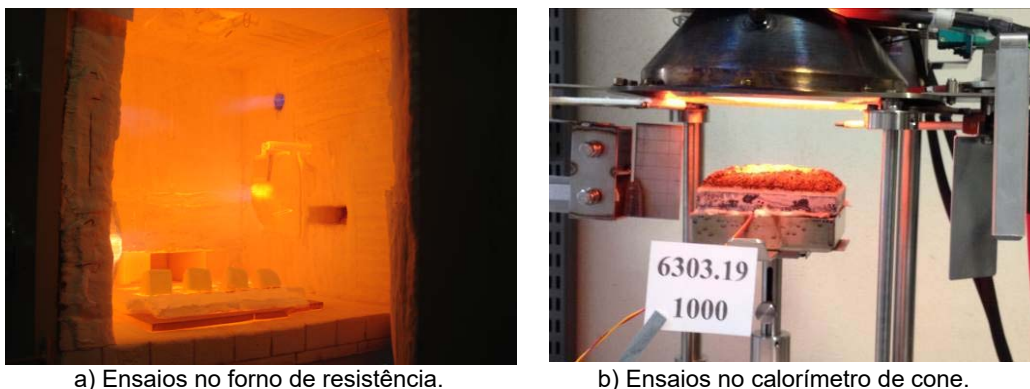
Uma tinta intumescente tem na sua composição vários constituintes (APP-PER-MEL), pigmentos, cargas, resinas e aditivos, cada um com a respetiva função. Os constituintes principais são: Pentaeritritol (PER) que funciona como um dador de carbono; Polifosfato de amónio (APP) que funciona como dador ácido; Melamina (MEL) que funciona como agente de expansão; Resina que proporciona a ligação dos componentes, confere adesão ao substrato, permite a expansão dos produtos, deve ainda possuir capacidade resistente ao calor e estabilidade mecânica a temperaturas elevadas, podendo ser de base aquosa ou solvente. Os

Formulação e comportamento de tintas intumescentes

pigmentos (dióxido de titânio, óxidos de ferro, etc.) são produtos que devido ao seu elevado índice de refração (superior a 1.75), quando estão dispersos são opacos cobrindo o substrato onde são aplicados. As cargas são produtos de menor índice de refração que ajudam os pigmentos a cumprir a sua função. Os aditivos são necessários para conferir bom comportamento reológico à tinta, facilitar a aplicação, melhorar a conservação na embalagem, garantir estabilidade no armazenamento, proporcionar a formação de filme, etc. O Regulamento Reach [6] determina que as empresas que fabriquem e importem produtos químicos devem avaliar os riscos decorrentes da sua utilização e tomem as medidas necessárias para gerir todos aqueles que identificarem. O objetivo do Reach é assegurar a proteção da saúde humana e do ambiente e como tal obriga à transmissão de informações sob a forma de fichas de segurança.

O desenvolvimento de tintas mais ecológicas, impulsionadas pelas restrições na emissão de compostos orgânicos voláteis (COVs), determinada pela Diretiva Europeia 2004/42/CE, [7], deu origem a uma nova geração de tintas intumescentes de base aquosa. Estas tintas possuem uma cura mais rápida, podendo-se aplicar uma demão mais espessa, afigurando-se mais versáteis do que as tintas de base solvente, por possuírem uma superfície de maior dureza, minimizando o dano produzido no manuseamento dos elementos protegidos. Numa formulação tradicional baseada nos compostos APP-PER-MEL, a primeira reação que ocorre é a decomposição do catalisador ou agente desidratante ácido, normalmente polifosfato de amónio ($\text{NH}_4 \text{PO}_3$) em amoníaco (NH_3) e ácido fosfórico (H_3PO_4). Dependendo das ligações do polifosfato de amónio esta decomposição pode ocorrer no intervalo de temperatura de 150 a 250 [°C]. No intervalo de temperaturas, entre os 200 e 300 [°C], o ácido formado reage com o agente carbonífero, como o Pentaeritritol ($\text{C}(\text{CH}_2\text{OH})_4$), e ou com o polímero através de uma reação com perda de água, originando um produto carbonoso. Paralelamente, dependendo do agente expensor, dá-se a decomposição deste formando-se gases que vão expandir o resíduo carbonoso, gerando uma espuma carbonosa e porosa de cor preta. A melamina ($\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$) também atua como dissipador de calor já que a sua decomposição, a temperaturas superiores a 300 [°C], e a dos seus gases são processos endotérmicos. Para além da formação dos produtos gasosos, a melamina também contribui para a formação do resíduo carbonoso, [8]. A temperaturas mais elevadas, próximas dos 700 [°C], a camada carbonosa sofre um processo de oxidação e transforma-se numa camada cerâmica, porosa de cor branca e de baixa condutividade térmica. O processo de decomposição e a expansão do intumescente é acompanhado pela perda de massa do material de proteção.

No âmbito do projeto QREN-FC17/SI/2011 PO No. 24767 [9], o Instituto Politécnico de Bragança (IPB) e a BARBOT, estudaram a eficiência da proteção ao fogo de várias formulações de tintas intumescentes. Os ensaios foram realizados num forno de resistência ao fogo do IPB, com amostras de pequena dimensão colocadas numa manta de isolamento (baixo relevo), adaptando as recomendações das normas EN1363-1 [10] e EN13381-8 [11]. Foram ainda realizados ensaios num calorímetro de cone, utilizando um fluxo de calor por radiação constante, 75 [kW/m^2], representativo de condição de incêndios desenvolvidos.



a) Ensaios no forno de resistência.

b) Ensaios no calorímetro de cone.

Figura 1: Ensaios de amostras 100x100x14 mm.

Na tabela 1 são apresentadas as diferentes formulações (amostras), apresentando os principais constituintes, os aditivos (Ad.#), o valor médio da espessura de proteção (DFT nominal de 1 mm) e os restantes parâmetros estatísticos (SD- desvio padrão, maior e menor), tendo em consideração 16 medições em cada placa.

Tabela 1: Identificação das amostras ensaiadas no forno com DFT nominal de 1mm.

AMOSTRA	Resina %	PER %	MEL %	APP %	Ad.1 %	Ad.2 %	Ad.3 %	Ad.4 %	Ad.5 %	Ad.6 %	DFT [μm]	SD [μm]	Maior [μm]	Menor [μm]
6156.4	28.04	8.36	8.36	19.68							1020	1080	934	44.6
6303.4	27.35	8.40	8.40	19.76							1091	126.9	1282	834
6303.5	27.35	8.40	8.40	19.76							1033	119.8	1248	790
6303.6	27.35	8.40	8.40	19.76							1276	198.9	1504	871
6303.7	25.70	8.64	8.64	20.32							1277	163.8	1504	1003
6303.8	21.59	9.07	9.07	21.33							1139	180	1455	824
6303.9	27.35	8.40	8.40	19.76	1						908	84.4	1019	782
6303.1	27.35	8.40	8.40	19.76		1					1150	163.6	1363	840
6303.11	27.35	8.40	8.40	19.76		2					1307	191.4	1524	856
6303.12	27.19		8.40	19.64			8.95				988	104.6	1137	696
6303.13	27.19		8.40	19.64				8.95			958	94.4	1021	789
6303.14	26.34	8.09							7.7	24	1296	164.8	1563	1073
6303.15	27.50	7.40	8.40	19.84							1329	130.7	1583	1109
6303.16	25.70	8.60	8.60	20.30							935	139.4	1109	702
6303.17	21.68	9.10	9.10	21.42							936	120.3	1117	767
Tinta A-01											1086	95.9	1226	936
6303.19	27.11		8.43	20.08		2		11.04			1014	51.4	1121	925
6303.22	27.38		8.52	20.28		1		11.16			1126	63.5	1197	999
6303.23											1178	70.4	1261	1020

Na tabela 2 estão identificadas as amostras que conferem melhor desempenho térmico e que serão ensaiadas num calorímetro de cone.

3. ENSAIOS EXPERIMENTAIS

A eficiência da proteção da tinta intumescente foi analisada através de vários ensaios realizados no forno de resistência ao fogo e no calorímetro de cone. A proteção foi aplicada em placas de aço quadradas, com 100 [mm] de lado e 14 [mm] de espessura, pintadas numa das faces com uma espessura seca nominal (DFT) de 1.0 [mm]. As placas de aço foram

submetidas à curva de incêndio padrão ISO834 [12], e a um fluxo de calor no calorímetro. A variação da temperatura das placas de aço é medida através de termopares do tipo K soldados na superfície inferior da placa (superfície não exposta).

Tabela 2: teste das amostras no calorímetro de cone, com DFT nominal de 1 mm

AMOSTRA	Resina %	PER %	Mel %	APP %	Ad.1 %	Ad.2 %	Ad.3 %	Ad.4 %	Ad.5 %	Ad.6 %	DFT [μm]	SD [μm]	Maior [μm]	Menor [μm]
6303-19	27.11		8.43	20.08		2		11.04			1110	86.8	1277	993
6303-22	27.38		8.52	20.28		1		11.16			1117	38.1	1187	1053
6303.23											1200	75.8	1313	1083

O registo da variação da temperatura do forno e das placas de aço foi efetuado com o sistema de aquisição de sinal MGCPlus. Para efeitos de comparação é também apresentada a variação da temperatura de uma placa de aço sem proteção intumescente (NP). A variação da temperatura da placa sem proteção e das placas protegidas com as diferentes formulações é apresentada na figura 2. Na figura 3 pode ser avaliado o efeito da variação da resina (esquerda) e do constituinte PER (direita). Na figura 4 pode ser avaliado o efeito da variação do constituinte MEL (esq.) e dos componentes estabilizadores e endurecedores (dta).

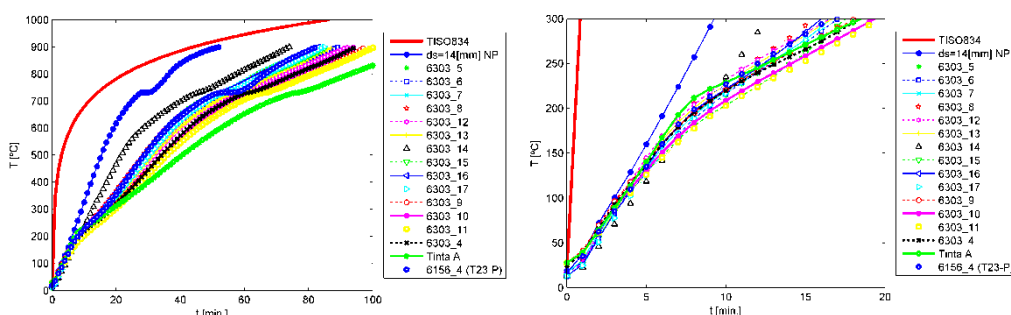


Figura 2: Evolução da temperatura da superfície inferior das amostras.

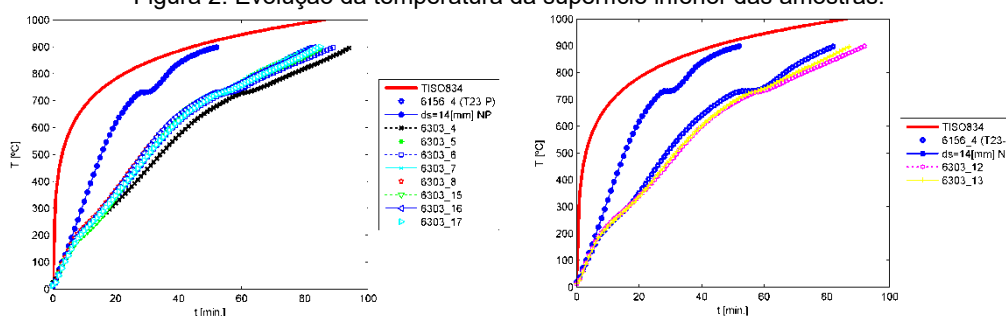


Figura 3: Evolução da temperatura da superfície inferior das amostras.

A análise da evolução da temperatura, para cada um dos testes, permite determinar qual a temperatura do aço ao fim de um determinado período de tempo de exposição ao fogo, ou em alternativa, qual o tempo de exposição necessário para o aço atingir uma determinada temperatura de referência. A tabela 3 tem em consideração os tempos de resistência ao fogo mais frequentes, com maior aplicação prática corrente, estabelecidos na classificação dos

produtos da construção [13]. Nesta tabela estão determinados os tempos necessários correspondentes às temperaturas críticas de referência, 350 a 750 [°C], [11].

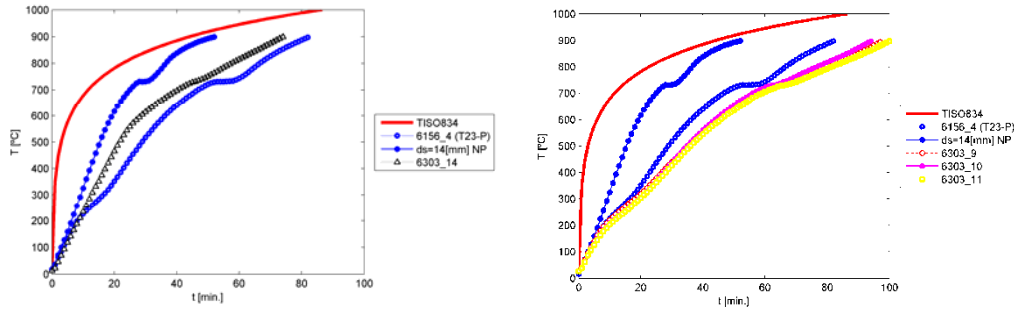


Figura 4: Evolução da temperatura da superfície inferior das amostras.

Tabela 3: Temperatura [°C] no substrato para diferentes períodos de resistência ao fogo e tempo [min] necessário para várias temperaturas críticas, DFT nominal de 1 mm.

AMOSTRA	R15	R30	R45	R60	350 °C	400 °C	450 °C	500 °C	550 °C	600 °C	650 °C	700 °C	750 °C
NP	489	732	871	924	10	12	13	15	17	19	21	24	32
6156.4	282	517	685	743	19	22	25	28	32	36	40	46	61
6303.4	266	445	625	727	22	26	30	34	38	42	47	55	66
6303.5	275	489	680	772	20	24	27	30	33	37	41	47	56
6303.6	274	490	666	747	20	23	27	30	34	38	43	49	60
6303.7	277	515	689	774	19	22	26	29	32	35	40	46	56
6303.8	292	522	687	768	18	22	25	28	31	35	40	46	57
6303.9	271	440	597	707	22	26	30	35	39	45	51	58	70
6303.1	258	437	611	722	23	27	30	34	39	43	49	56	67
6303.11	253	426	594	705	24	27	31	35	40	45	51	59	71
6303.12	284	468	646	733	20	24	28	32	35	40	45	52	63
6303.13	282	478	650	740	20	24	28	31	35	39	44	51	61
6303.14	351	615	729	816	14	17	19	21	24	28	33	40	49
6303.15	262	509	687	760	20	23	26	29	32	36	40	46	58
6303.16	285	520	690	769	19	22	25	28	31	35	40	46	56
6303.17	277	494	672	756	20	23	27	30	33	37	42	48	59
Tinta A-01	271	399	538	652	24	30	35	40	46	52	59	68	82
6303.19	253	472	671	775	22	25	28	31	34	38	42	48	56
6303.22	246	481	673	747	22	25	28	31	34	38	42	48	60
6303.23	283	439	594	705	22	26	30	35	40	45	51	59	70

Foi ainda efetuada uma análise mais detalhada das formulações com melhor desempenho, em amostras semelhantes, mas com diferentes espessuras de proteção: DFT nominal de 800 e 2000 [µm], para comparação com DFT nominal de 1000 [µm]. A tabela 4 apresenta um resumo das amostras, com medição da expansão do intumescente. A espessura da intumescência foi medida no centro da placa com uma régua. Não foi identificada qualquer diferença significativa na porosidade das tintas em análise.

A análise da evolução da temperatura permite verificar o efeito da espessura de proteção. Na tabela 5 é apresentado o resultado da temperatura do aço ao fim de um determinado período de tempo de exposição ao fogo e o tempo de exposição necessário para o aço atingir uma determinada temperatura de referência. As curvas de aquecimento do substrato evidenciaram

Formulação e comportamento de tintas intumescentes

uma diferença da eficiência da proteção das três tintas analisadas. Para a mesma tinta é evidente o aumento do tempo de resistência ao fogo com o aumento da espessura de proteção.

Tabela 4: Identificação das amostras ensaiadas no forno, DFT nominal de 0,8, 1,0 e 2,0 mm.

AMOSTRA	DFT [μm]	SD [μm]	Maior [μm]	Menor [μm]	D final [mm]	EF= D_final / DFT
6303.19	870	60.7	916	707	24	28
6303.19	1014	51.4	1121	925	28	28
6303.19	2160	181	2450	1800	50	23
6303.22	814	77	907	666	45	55
6303.22	1126	63.5	1197	999	66	59
6303.22	1960	155	2190	1620	72	37
6303.23	827	34.4	907	755	23	28
6303.23	1178	70.4	1261	1020	22	19
6303.23	2230	101	2400	2060	65	29

Tabela 5: Temperatura [°C] no substrato para diferentes períodos de resistência ao fogo e tempo [min] necessário para várias temperaturas críticas, DFT nominal de 0,8, 1 e 2 mm.

AMOSTRA	DFT [μm]	R15	R30	R45	R60	350 °C	400 °C	450 °C	500 °C	550 °C	600 °C	650 °C	700 °C	750 °C
NP		489	732	871	924	10	12	13	15	17	19	21	24	32
6303.19	870	261	487	683	789	21	24	27	30	34	37	41	46	54
6303.19	1014	253	472	671	775	22	25	28	31	34	38	42	48	56
6303.19	2160	211	406	620	730	26	29	32	35	39	43	48	53	68
6303.22	814	283	528	702	806	19	22	25	28	31	35	39	44	53
6303.22	1126	246	481	673	747	22	25	28	31	34	38	42	48	60
6303.22	1960	206	385	586	716	27	30	34	38	41	46	51	58	67
6303.23	827	303	453	599	709	20	24	29	34	39	45	51	58	76
6303.23	1178	283	439	594	705	22	26	30	35	40	45	51	59	70
6303.23	2230	218	415	635	746	26	29	32	35	38	42	46	51	60

Tabela 6 – Expansão máxima do intumescente no calorímetro de cone.

AMOSTRA	DFT [μm]	Maior [μm]	Menor [μm]	SD [μm]	D final [mm]	EF= D_final / DFT
6303-19	1110	1277	993	86.8	48	43
6303-22	1117	1187	1053	38.1	60	54
6303.23	1200	1313	1083	75.8	46	38

As tintas intumescentes com melhor desempenho foram analisadas num calorímetro de cone sob a ação de um fluxo de calor por radiação de 75 [kW/m²], determinado por um medidor de fluxo de calor posicionado a uma distância de 60 [mm] da base do cone, adaptando as recomendações da norma ISO5660-1 [14]. Este fluxo é obtido para uma temperatura de 996 [°C] na resistência do cone. As placas de aço são equivalentes às utilizadas nos ensaios do forno, quadradas com 100 [mm] de lado e com 14 [mm] de espessura, protegidas numa das faces com uma espessura de proteção DFT nominal de 1 [mm], resultando nos valores de espessura real apresentados na tabela 6. A variação da temperatura do aço foi medida através de um termopar do tipo k soldado no centro da placa da superfície inferior. Com o objetivo de demonstração da eficiência da proteção, foi submetida uma placa de aço sem proteção (NP) às

mesmas condições de funcionamento do calorímetro, soldando-se neste caso um termopar na superfície superior e outro na superfície inferior.

Os resultados da variação dos testes realizados são apresentados na Figura 6, sendo evidente a eficiência da proteção das três tintas intumescentes em estudo, por comparação com a temperatura da placa não protegida (NP). A exposição da tinta intumescente à ação térmica proveniente do calorímetro de cone origina uma decomposição térmica, associada a uma transformação física que resulta na sua expansão. Durante este processo, as várias etapas de decomposição originam a transformação de matéria sólida em gases que acabam por fluir para o exterior da camada intumescente. A perda de massa de cada uma das amostras é apresentada na Figura 6. A perda de massa absoluta da amostra 6303.23 é significativamente inferior às restantes, com uma perda de massa final de 8.72 [g], enquanto que as amostras 6303.19 e 6303.22 possuem uma perda de massa de 10.90 [g] e 10.68 [g], respetivamente, ver figura 7. A expansão do intumescente, medido após o fim do ensaio, foi de 48, 60 e 46 [mm] para a amostras 6303.19, 6303.22 e 6303.23, respetivamente, ver tabela 6 e Figura 7.

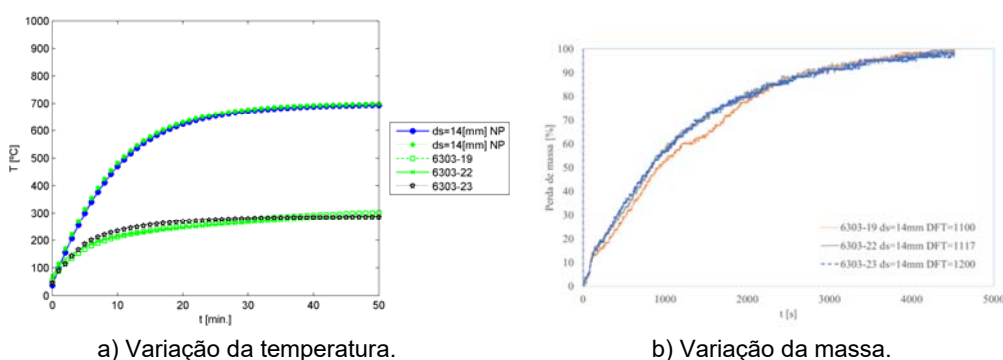


Figura 6: Desempenho térmico e perda de massa das amostras sujeitas a um fluxo de calor de 75 [kW/m²].

Na tabela 7 são apresentados os resultados da temperatura no substrato para diferentes períodos de exposição calorimétrica e os tempos necessário para determinação das novas temperaturas especificadas.

Tabela 7 – Temperatura [°C] no substrato para diferentes períodos de resistência ao fogo e tempo [min] necessário para várias temperaturas críticas, DFT nominal de 1 mm.

AMOSTRA	DFT [μm]	R15	R30	R45	R60	140 °C	160 °C	180 °C	200 °C	220 °C	240 °C	260 °C	280 °C
NP	0	570	672	692	699	1	2	2	2	3	3	4	4
6303.19	1110	234	276	298	311	3	4	6	8	11	16	23	31
6303.22	1117	232	265	284	297	2	3	5	7	11	17	27	40
6303.23	1200	256	280	285	286	2	3	4	5	7	11	16	30



Figura 7: Expansão das amostras ensaiadas no calorímetro de cone.

4. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta os resultados dos 19 ensaios experimentais realizados no forno de resistência ao fogo do IPB com várias amostras de tinta intumescente desenvolvidas pela BARBOT. Foi avaliado o desempenho térmico das placas de aço com 14 [mm] de espessura e protegidas com espessura intumescente DFT nominal de 1000 [μm]. Foram ainda realizados 9 ensaios, num número mais reduzido de amostras (3), no forno de resistência com diferentes espessuras de proteção DFT nominal de 800, 1000 e 2000 [μm]. Foram ainda realizados 4 ensaios de placas semelhantes no calorímetro de cone com fluxo de calor de 75 [kW/m^2], utilizando uma espessura de proteção nominal DFT de 1000 [μm]. Os resultados dos ensaios ao fogo mostram um aumento significativo do tempo de resistência ao fogo com a aplicação de qualquer uma das três amostras analisadas. Ao fim de 30 minutos de exposição ao fogo a placa de aço não protegida (NP) já se encontra a uma temperatura de 732 [$^{\circ}\text{C}$] e ao fim de 60 minutos a 924 [$^{\circ}\text{C}$], enquanto que no caso das placas protegidas, a temperatura é bastante inferior. Com a aplicação de 1000 [μm], a temperatura das placas protegidas com as amostras 6303.19, 6303.22 e 6303.23 são respetivamente, 472, 481, 439 [$^{\circ}\text{C}$]. Ao fim de 60 minutos a temperatura das mesmas amostras é de 775, 747, e 705 [$^{\circ}\text{C}$]. Para uma espessura de proteção de 800 [μm], a amostra que se apresenta mais eficiente é a tinta com a referência 6303.23, com uma diferença de aproximadamente 40 [$^{\circ}\text{C}$] da amostra 6303.22 ao fim de 30 e 60 minutos de exposição. Quando é aplicada uma espessura de proteção de 2000 [μm], a eficiência da amostra 6303.22 é superior à eficiência da 6303.23, possuindo menos 30 [$^{\circ}\text{C}$] ao fim de 30 e 60 minutos. Relativamente à expansão máxima das amostras, verifica-se uma diferença significativa entre a amostra 6303.22 e as restantes, principalmente para espessuras de proteção de 800 e 1000 [mm], em que esta tinta expande praticamente o dobro das outras duas. Esta diferença na expansão também é notória nos ensaios realizados no calorímetro de cone, em que a amostra 6303.22 expande 54 vezes a espessura inicial e a 6303.23 só 38 vezes. A comparação da evolução da temperatura das amostras 6303.22 e 6303.23 resultante dos ensaios em calorímetro de cone, evidencia um melhor desempenho da primeira durante os períodos de exposição à ação térmica de R15, R30 e R45 minutos. Na fase final da exposição existe uma ligeira inversão da curva de temperatura das duas amostras, verificando-se, ao fim de 60 minutos, que a temperatura da amostra 6303.23 é 11 [$^{\circ}\text{C}$] inferior à temperatura da amostra 6303.22. Embora não exista uma diferença muito significativa entre o comportamento das amostras 6303.22 e 6303.23, variando ligeiramente com a espessura de proteção e o tempo de exposição, é possível verificar uma tendência de uma maior eficiência da amostra 6303.22, com a qual resultam maiores espessuras de proteção.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do programa QREN SI (IDT).

REFERÊNCIAS

- [1]. Decreto-Lei n.º 220/2008 de 12 de Novembro, Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RJ-SCIE). 2008: Diário da Republica.
- [2]. Kruppa, J., et al., NEEDS TO ACHIEVE IMPROVED FIRE PROTECTION AS REGARDS THE IMPLEMENTATION AND DEVELOPMENT OF THE EN EUROCODES, in JRC Scientific and Technical Reports: EUR 23523 EN. 2008, European Commission: Luxembourg.
- [3]. Lewis, K.R., Fire Design of Steel Members, in Fire Engineering Research Report, F.E.R. Report, Editor. 2000, University of Canterbury: Canterbury.
- [4]. Halpern, Y., D.M. Mott, and R.H. Niswander, Fire retardancy of thermoplastic materials by intumescence. Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development, 1984. 23(2): p. 233-238.
- [5]. Wang, Z., E.H. Han, and W. Ke, Effect of nanoparticles on the improvement in fire-resistant and anti-ageing properties of flame-retardant coating. Surface & Coatings Technology, 2006. 200(20-21): p. 5706-5716.
- [6]. Conselho, P.E.e.d., Regulamento CEN 1907/2006 do Parlamento Europeu e do Conselho. Registo, Avaliação, Autorização e Restrição de Substâncias Químicas (REACH). 2006, Parlamento Europeu e do Conselho: Jornal Oficial da União Europeia L 136/3 de 29.5.2007.
- [7]. JOUE, Directive 2004/42/CE of the European Parliament and of the Council of 21 April 2004 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain paints and varnishes and vehicle refinishing products and amending Directive 1999/13/EC, E. Parliament, Editor. 2004, Jornal Oficial da União Europeia.
- [8]. Horacek, H., Reactions of Stoichiometric Intumescent Paints. Journal Of Applied Polymer Science, 2009. 113(3): p. 1745-1756.
- [9]. "High Performance Fire Control (HPFC)" - Nova Tinta Intumescente de Alto Desempenho. PO FC17/SI/2011 n.º 24767: Projeto cofinanciado pelo Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN) e pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER). Referência. Promotor: Barbot, Instituições participantes: IPB. (início: Outubro de 2012, duração 24 meses). 2011.
- [10]. CEN, EN1363-1: Fire resistance tests. General requirements. 1999, European Committee for Standardization: Brussels, Belgium.
- [11]. CEN, EN13381-8 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members. Part 8: Applied reactive protection to steel members. 2010, European Committee for Standardization: Brussels, Belgium.
- [12]. ISO834, Fire-resistance tests - Elements of building construction. 1999, International Organization for Standardization: Geneva. p. 20 p.
- [13]. JOCE, Decisão da Comissão das Comunidades Europeias 2000/367/CE: Sistema de classificação adoptado a nível comunitário para o desempenho dos produtos de construção, in 2000/367/CE. 2000, Jornal Oficial das Comunidades Europeias: Bruxelas.
- [14]. ISO, ISO5660-1: Reaction to fire tests - Heat release, smoke production and mass loss rate. Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method). 2002, International Organization for Standardization.