

COMPORTAMENTO DE VIGAS EM AÇO PROTEGIDAS COM TINTA INTUMESCENTE

Mesquita, L. M. R.¹; Piloto, P.A.G.²; Vaz, M.A.P.³; Vila Real, P.M.M.⁴; Ramos, F.⁵

RESUMO

Uma viga sem constrangimentos laterais submetida a um carregamento mecânico e sujeita a um aumento de temperatura, por exemplo proveniente de um incêndio, pode atingir o colapso pelo fenómeno de instabilidade por encurvadura lateral torsional, originado pela diminuição da capacidade resistente. Este trabalho apresenta o procedimento experimental e os ensaios realizados para a determinação da resistência ao fogo de vigas de aço IPE100 protegidas com tinta intumescente. São analisadas diferentes espessuras de protecção ao fogo, verificando-se experimentalmente, como seria de esperar, um aumento da temperatura crítica e do tempo de resistência ao fogo com o aumento da espessura do intumescente. Com base nos resultados experimentais é apresentada a evolução da condutividade térmica da tinta intumescente com a temperatura. Finalmente compara-se a espessura de tinta intumescente obtida à custa da condutividade térmica avaliada experimentalmente com a espessura proposta pelo fabricante.

1- INTRODUÇÃO

As estruturas de aço são amplamente utilizadas na construção de edifícios devido à sua elevada resistência mecânica, boa ductilidade e rápida execução da obra. No entanto, devido à deterioração das propriedades mecânicas com a temperatura, é fundamental que toda a estrutura, e os seus elementos, possuam a resistência necessária para prevenir um eventual colapso causado pela ocorrência de um incêndio.

Um dos procedimentos utilizados para dotar uma estrutura com a capacidade de resistência ao fogo pretendida é proceder-se ao seu dimensionamento sem a utilização de protecção adicional, recorrendo à utilização de perfis de gama superior, de aços de melhor qualidade

¹ Assistente, DMA-ESTIG, Instituto Politécnico de Bragança, email: lmesquita@ipb.pt

² Professor Coordenador, DMA-ESTIG, Instituto Politécnico de Bragança, email: ppiloto@ipb.pt

³ Professor Associado, DEMEGI – FEUP, Universidade do Porto, email: gmavaz@fe.up.pt

⁴ Professor Catedrático, DEC, Universidade de Aveiro, email: pvreal@civil.ua.pt

⁵ Engenheiro, CIN – Corporação industrial do Norte, S.A., email: framos@cin.pt

ou de elevada resistência ao fogo. Em alternativa, é comum a aplicação de sistemas de protecção passiva, como o betão, placas de gesso, fibras minerais ou tintas intumescentes, dotando os elementos estruturais de uma protecção ao fogo total ou parcial.

O aquecimento dos perfis protegidos é devido, essencialmente, ao modo de transferência de calor por condução, já que o aço não se encontra directamente exposto à radiação do fogo ou em contacto com os seus gases^[1]. A aplicação de tintas intumescentes como protecção ao fogo é função das propriedades físicas e térmicas do mesmo, do factor 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 protecção ou, para a mesma espessura de protecção, utilizando perfis de massividade inferior.

2- COMPOSIÇÃO E DESENVOLVIMENTO DAS TINTAS INTUMESCENTES

As tintas intumescentes são materiais reactivos formulados com uma série de componentes activos que sob a acção de um incêndio reagem quimicamente entre si formando uma espuma carbonosa, originando um aumento de volume tipicamente entre 40 a 50 vezes, ver a Fig. 1, comportando-se como uma camada protectora que reduz o aumento da temperatura no aço^[2].



Fig. 1 - Reacção da tinta intumescente.

Os componentes activos formadores da intumescência são o catalisador ou agente desidratante ácido, geralmente polifosfato de amónio, o agente carbonífero, como o pentaeritritol e o agente expensor, constituído por compostos nitrogenados como a melamina. De entre as reacções químicas que ocorrem durante o processo da intumescência, destaca-se a decomposição do catalisador aproximadamente aos 150 [°C]. A uma temperatura superior, o ácido formado vai reagir com o agente carbonífero e a uma temperatura entre os 200 e os 300 [°C], dependendo do agente expensor, dá-se a decomposição deste formando-se gases que vão expandir o resíduo carbonoso gerando uma espuma de cor preta. Por volta dos 700 [°C] a camada superficial transforma-se numa camada cerâmica porosa de cor branca e de baixa condutividade térmica^[3].

Como vantagens desta protecção destacam-se o menor peso introduzido na estrutura, em comparação com outras medidas de protecção, a possibilidade de aplicação em estaleiro e a obtenção de um bom acabamento superficial, que pode ser melhorado com a aplicação de filmes decorativos. Por outro lado, a sua aplicação exige uma elevada experiência com um elevado controlo de qualidade e medidas de espessura frequentes, pelo que a sua aplicação na fase de construção da obra só é possível com boas condições atmosféricas, originando interrupções na erecção da estrutura, que são susceptíveis de gerar um aumento do custo total de protecção ao fogo.

Com o objectivo de se obter uma redução no custo total de protecção ao fogo, através da aplicação da tinta intumescente em estaleiro, Longton et al.^[4] fizeram um estudo que incidiu na análise das propriedades das tintas intumescentes actuais e sua adequação para a aplicação em estaleiro, sua reformulação para colocação em obra no mesmo dia através de uma cura rápida e uma elevada durabilidade. Segundo estes autores, a redução do dano produzido

pelo manuseamento dos elementos estruturais protegidos, durante o seu armazenamento (carregamento e descarregamento) e posteriormente aquando da construção da estrutura, pode ser conseguido através da melhoria das propriedades do intumescente, como a tenacidade, resistência ao impacto e a sua resistência ao risco. Serão necessários cuidados adicionais nos casos em que o dano torna o substrato (aço) visível, já que os ensaios produzidos mostram que o intumescente possui uma expansão lateral quase nula.

O desenvolvimento de tintas mais ecológicas determinou o fabrico de tintas de base aquosa com uma redução significativa de componente orgânicos voláteis. Estas tintas possuem uma cura mais rápida, podendo-se aplicar uma demão mais espessa, afigurando-se mais versáteis do que as de base solvente por possuírem uma superfície de maior dureza, minimizando o dano produzido no manuseamento dos elementos protegidos.

3 - EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES DE RESISTÊNCIA AO FOGO

Os regulamentos de segurança contra incêndio, como por exemplo o regulamento de segurança contra incêndios em edifícios de habitação^[5], estabelecem que os elementos estruturais devem possuir uma resistência ao fogo suficiente para limitar a ocorrência do colapso durante a evacuação das pessoas e o combate ao incêndio, desempenhando a altura do edifício um factor importante na definição da classe de resistência ao fogo da estrutura. Nos edifícios de habitação, os elementos estruturais que desempenham funções de suporte devem possuir uma resistência ao fogo de pelo menos 30 minutos, ou seja, ter uma qualificação EF30, salvo nos edifícios unifamiliares quando constituídos por materiais não combustíveis. Para edifícios de altura superior a 9 [m], mas inferior a 28 [m], os elementos estruturais devem ser da classe de resistência ao fogo EF60, e da classe EF90 para edifícios de altura superior a 28 [m] e inferior a 60 [m]. No caso de parques de estacionamento cobertos^[6] que ocupam uma parte do edifício, pode ser exigível uma classe de resistência ao fogo de EF180.

3.1- Cálculo da temperatura de elementos protegidos

A Fig. 2 representa o modelo unidimensional de transferência de calor entre um elemento de aço protegido por uma camada de isolamento, de espessura d_p , e os gases do incêndio.

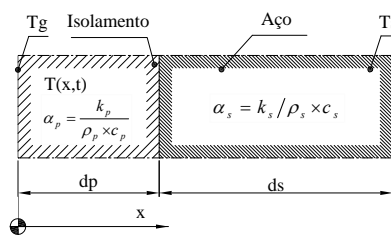


Fig. 2 – Modelo unidimensional de transferência de calor.

O aumento de temperatura do elemento estrutural com protecção ao fogo pode ser calculado através da análise transiente da condução de calor no intumescente, expressa pela Eq. diferencial (1). Para o material de protecção em estudo, α_p representa a difusividade térmica da protecção ($= k_p / \rho_p c_p$), c_p representa o calor específico da protecção, $c_p = 1000 [J / kg K]$, k_p a condutividade da protecção e ρ_p a massa volúmica da protecção, $\rho_p = 1360 [kg / m^3]$.

$$\frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha_p} \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} \quad (1)$$

A solução da equação diferencial passa pela hipótese simplificativa da aplicação da condição fronteira de Dirichlet na camada do intumescente em contacto com os gases do incêndio, $T(0,t) = T_g(t)$. A evolução da temperatura é dada pela curva de incêndio padrão ISO834, ver a Eq. (2), assumindo que a temperatura na superfície exterior da protecção é igual à temperatura dos gases do incêndio.

$$T_g = 20 + 345 \times \log_{10}(8t + 1) \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2)$$

Wickström^[7], Melinek e Thomas^[8] apresentaram expressões distintas que permitem o cálculo da temperatura em elementos com protecção ao fogo. No entanto, Wong e Ghojel^[9] verificaram a existência de uma elevada discrepância nos resultados das duas soluções quando são utilizados materiais de protecção ao fogo de elevada densidade, como é o caso do betão.

Segundo o EC3^[10] o aumento da temperatura do aço com protecção ao fogo, ΔT_s , pode ser calculado pela Eq. (3), seguindo a formulação apresentada por Wickström.

$$\Delta T_s = \frac{(T_g - T_s)}{\left(\frac{c_s \rho_s}{A_p/V}\right) \left(\frac{d_p}{k_p}\right) \left(1 + \frac{\phi}{3}\right)} \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \Delta T_g \quad (3)$$

Em que $\phi = c_p \rho_p d_p / [c_s \rho_s / (A_p/V)]$, c_s e ρ_s representam o calor específico (J/Kg K) e a densidade (Kg/m³) do aço, respectivamente, ΔT_g o aumento da temperatura do gás ocorrido no intervalo Δt , T_g e T_s representam a temperatura do gás e do aço, respectivamente ($^\circ\text{C}$) e A_p/V o factor de massividade, razão entre a área da superfície interior da protecção por unidade de comprimento, A_p e o volume, V , do perfil por unidade de comprimento, (m⁻¹).

4 - ENSAIOS EXPERIMENTAIS

Pretende-se com este trabalho apresentar um conjunto de ensaios experimentais, à escala real, para determinação da temperatura crítica de vigas submetidas à acção do fogo, protegidas com tinta intumescente, sujeitas a um carregamento mecânico constante e posterior solicitação térmica. A instrumentação das vigas foi feita de acordo com as especificações da norma UNE 23820^[11].

Na fase inicial da preparação das vigas, procedeu-se à soldadura dos termopares e pintura protectora aderente utilizando um primário. Posteriormente procedeu-se à pintura com a tinta intumescente, de base solvente, utilizando uma pistola convencional a ar comprimido, ver Fig. 3. Foram aplicadas várias demãos para a obtenção da espessura de protecção pretendida.



Fig. 3 - Preparação das vigas. a)Aplicação do primário. b)Controlo da espessura.

A Tabela 1 apresenta os valores medidos da espessura seca em cinco secções ao longo do comprimento da viga, utilizando 20 medições por secção.

O primeiro conjunto de três ensaios (E2, E3, E4) possui um valor médio de espessura de protecção de $468.3 [\mu m]$ enquanto que o segundo conjunto (E5, E6, E7) apresenta um valor médio de $1427.2 [\mu m]$, correspondendo a uma estabilidade ao fogo ISO834 de 31 e 44 minutos, respectivamente. Estes valores foram obtidos por extrapolação dos valores recomendados pelo fabricante da tinta, de um factor de massividade de $360 [m^{-1}]$ para a massividade do perfil IPE100, considerando uma temperatura crítica de $550 [^{\circ}C]$ ^[15]. É ainda apresentado o resultado de um ensaio de uma viga sem tinta intumescente (E1), para se comparar a eficácia deste tipo de protecção.

Tabela 1 - Valores medidos da espessura de tinta intumescente $[\mu m]$.

Ensaio	Seccão 1	Seccão 2	Seccão 3	Seccão 4	Seccão 5	Média
E1	Sem Protecção					
E2	440,50	468,38	435,75	418,88	408,00	434,30
E3	430,50	492,00	493,88	504,63	448,38	473,88
E4	487,25	544,63	491,13	502,38	458,38	496,75
E5	1265,25	1327,47	1348,81	1363,06	1291,56	1319,23
E6	1465,72	1506,41	1553,88	1558,47	1522,09	1521,31
E7	1410,56	1463,44	1488,94	1407,59	1434,38	1440,98

4.1 - Procedimento experimental

As vigas encontram-se suportadas com apoios de forquilha e não possuem qualquer constrangimento lateral, podendo atingir o fenómeno de instabilidade por encurvadura lateral torsional, ver a Fig. 4. Segundo o Eurocódigo 3 parte 1.1, o momento resistente da viga, à temperatura ambiente, é determinado pela Eq. (4)^[12].

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1} \quad (4)$$

$W_{pl,y}$ representa o valor do módulo plástico, f_y o valor da tensão de cedência e χ_{LT} o factor de redução para a encurvadura lateral.

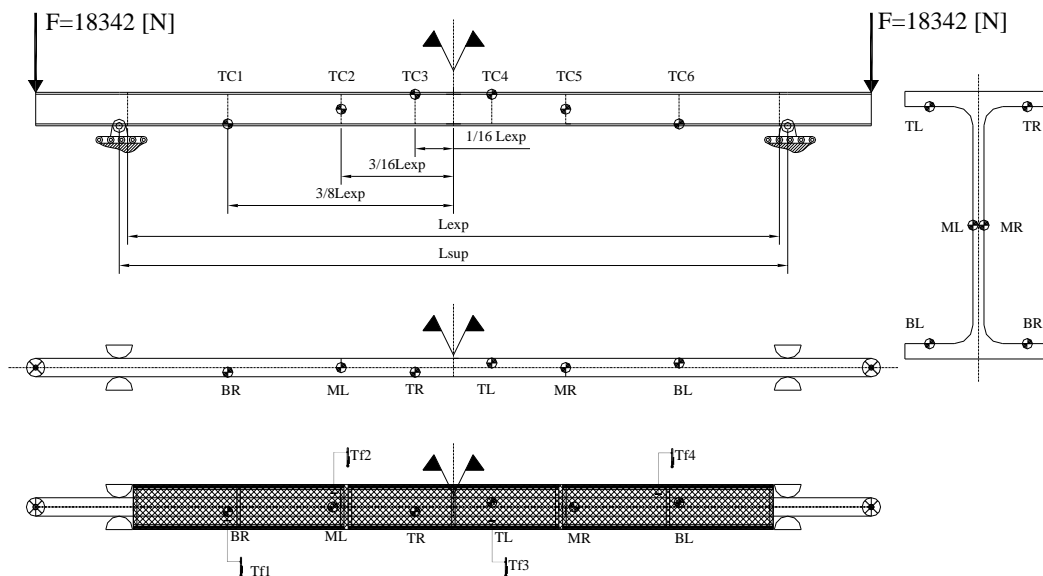


Fig. 4 - Caso de estudo e localização dos termopares.

Os perfis utilizados nos ensaios são IPE100 de qualidade S235, com as seguintes propriedades mecânicas: módulo de elasticidade $E = 209.7 [GPa]$ e tensão de cedência $f_y = 293 [MPa]$, valores medidos experimentalmente. As vigas encontram-se solicitadas com as cargas representadas na Fig. 4, aplicadas a uma distância de 250[mm] dos apoios, através da utilização de dois cilindros hidráulicos, cujo valor ($F=18342 [N]$) é responsável por originar um momento uniforme entre apoios, correspondente a 60% do momento resistente à encurvadura lateral (7647[Nm]).

A distância entre apoios (L_{sup}) é de 2200[mm], o comprimento de viga exposto ao fogo (L_{exp}) é de 1950[mm]. A evolução da temperatura na viga é registada através de termopares do tipo K, soldados à viga, posicionados de acordo com a norma UNE 23820 e representados na Fig. 4.

O aquecimento é aplicado de acordo com uma taxa de aquecimento pré-definida de 800 [°C/h], utilizando o esquema representado na Fig. 5. As resistências eléctricas (8) são apoiadas numa armadura em aço (9) e ligadas a um sistema de aquecimento. Para aumentar a eficiência térmica do processo é utilizada uma manta de fibra cerâmica (4) com malha de aço inoxidável. Para além do registo da temperatura na viga (3), é registada a temperatura na envolvente do perfil (1) e na armadura (2).

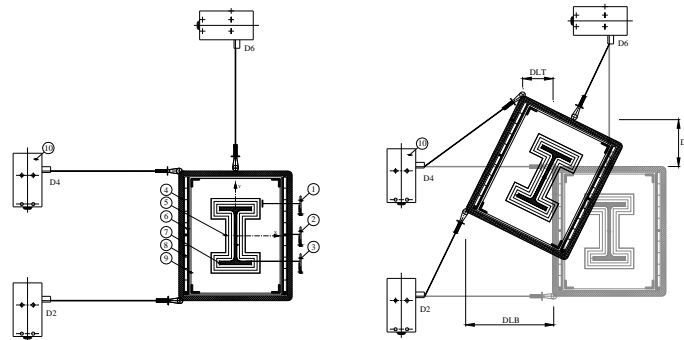


Fig. 5 - Esquema do procedimento do ensaio.

Durante a execução dos ensaios, ver as Fig. 6 e Fig. 7, são medidos os deslocamentos, na secção central da viga, com os transdutores de deslocamento apresentados na Fig. 5 (D2, D4, D6).



Fig. 6 - Ensaio em execução.



Fig. 7- Desenvolvimento da intumescência.

4.2- Resultados experimentais

A Fig. 8 apresenta os resultados obtidos no ensaio E1, no qual não foi aplicada qualquer protecção intumescente. Verifica-se que durante o ensaio, a temperatura da viga (T_{vi}) é aproximadamente igual à temperatura na envolvente da mesma (T_{fi}).

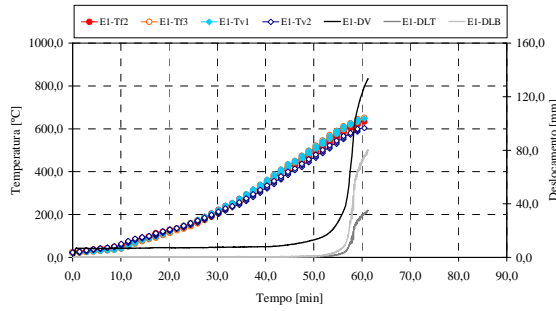


Fig. 8 - Resultados do ensaio 1, sem protecção.

Na Fig. 9 e Fig. 10 encontram-se representados os resultados para o conjunto de vigas ensaiadas com uma espessura média de protecção igual a $468.3[\mu\text{m}]$ e para o conjunto de vigas ensaiadas com uma espessura média de protecção de $1427.2[\mu\text{m}]$, respectivamente.

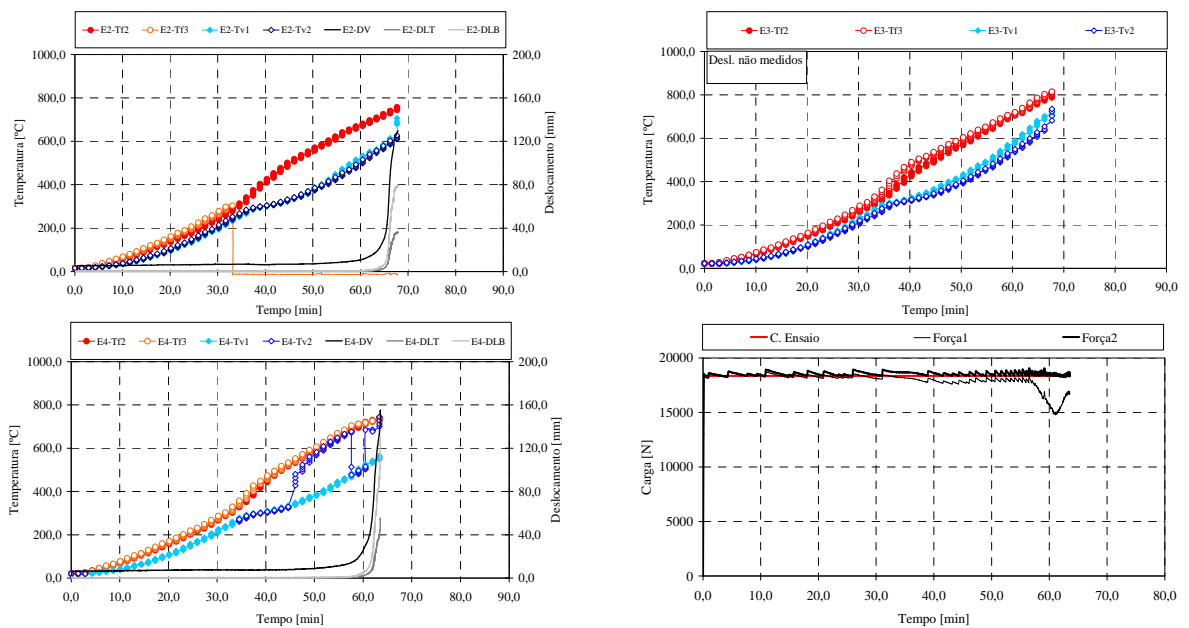


Fig. 9 - Resultados dos ensaios E2 a E4.

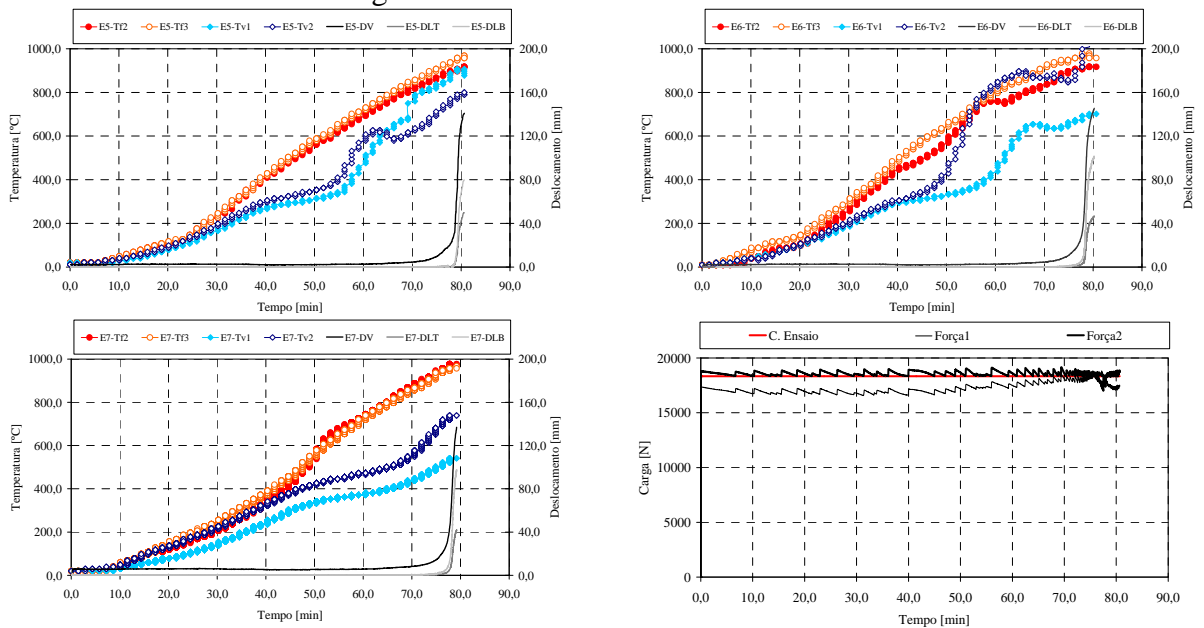


Fig. 10 - Resultados dos ensaios E5 a E7.

Na Fig. 9 e Fig. 10 é ainda apresentada a evolução dos carregamentos relativos aos ensaios E4 e E5, respectivamente, nas quais se verifica a variação da carga aplicada com a capacidade resistente da viga. Este valor é mantido aproximadamente constante através do accionamento de uma electroválvula do circuito hidráulico, sempre que a força de ambos os cilindros esteja abaixo do valor definido.

Estes resultados evidenciam a perda da capacidade resistente devido ao aumento da temperatura no aço. Verifica-se ainda o aumento do tempo de resistência ao fogo e da temperatura crítica com o aumento da espessura de protecção da viga. A análise dos resultados dos deslocamentos justifica a ocorrência de instabilidade por encurvadura lateral.

5 - ANÁLISE DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DO INTUMESCENTE

A inversão da Eq. (3) permite obter de forma explícita a condutividade térmica do material de protecção, Eq. (5), e determinar a variação desta propriedade com a temperatura da protecção, com base nos valores experimentais das temperaturas do gás e da viga, admitindo uma espessura da tinta intumescente constante e igual à espessura inicial^[11].

$$k_p = \left[\frac{c_s \rho_s (1 + \phi/3)}{(T_g - T_s) \Delta t} \frac{d_p}{A_p/V} \right] \left[\Delta T_s + (e^{\phi/10} - 1) \Delta T_g \right] \quad (5)$$

A condutividade da tinta intumescente no instante t_i é determinada para a temperatura média da protecção $T_p(i) = (T_g(i) + T_s(i-1))/2$, isto é, o valor médio da temperatura do gás no instante actual e o valor da temperatura do aço no instante anterior. Considerando em cada ensaio experimental o valor médio das temperaturas registadas do fogo e no perfil, utilizando a Eq. (5), obtém-se a evolução da condutividade da tinta intumescente com a temperatura da protecção, representada na Fig. 11.

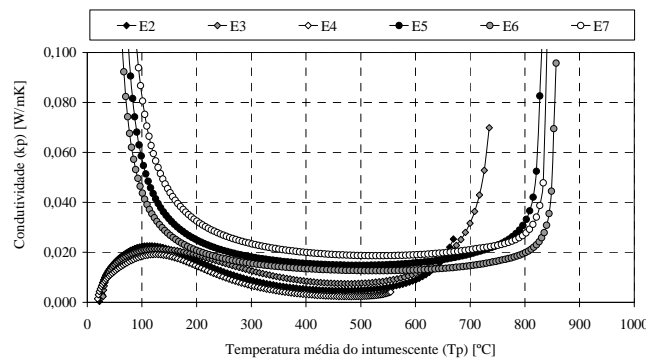


Fig. 11 – Variação da condutividade do intumescente com a temperatura.

Na Fig. 11 pode-se verificar um comportamento diferenciável entre o conjunto dos ensaios em que foi utilizada uma espessura média de protecção de 468.3[μm], ensaios E2 a E4, e os ensaios E5 a E7 em que foi utilizada uma espessura média de 1427.2 [μm]. Nestes últimos é possível verificar que a condutividade térmica do intumescente é aproximadamente constante no intervalo de temperaturas de 300 a 750 [$^{\circ}\text{C}$], possuindo uma variação com a temperatura idêntica à apresentada por Tan et al^[13]. Este comportamento distinto, entre os dois valores de espessura de protecção, impõe a realização de mais ensaios. No entanto a norma UNE 23820^[11] especifica que para temperaturas do aço inferiores a 300 [$^{\circ}\text{C}$] deverá ser utilizado o valor da condutividade térmica existente no intervalo de temperaturas de 250 a 300 [$^{\circ}\text{C}$].

A tinta intumescente quando utilizada como material de protecção pode ser considerada como material de protecção leve, visto que, para as espessuras de protecção aplicadas aos elementos estruturais mais utilizados, a capacidade térmica da protecção, $d_p A_p c_p \rho_p$, é inferior a metade da capacidade térmica do aço, $V c_a \rho_a$ [14]. Quando tal acontece pode ser assumido $\phi = 0$ na Eq. (3), obtendo-se a Eq. (6), que fornece a temperatura para elementos com protecção leve.

$$\Delta T_s = \frac{A_p k_p (T_g - T_s)}{V d_p c_s \rho_s} \Delta t \quad (6)$$

Na Fig. 12 é apresentado um ábaco com a evolução da temperatura no aço em função do tempo de resistência ao fogo para diferentes valores do factor de massividade modificado da secção, $(A_p/V)(k_p/d_p)$. Conhecendo o valor da condutividade térmica do material de protecção, este ábaco possibilita, ainda na fase de pré dimensionamento, o cálculo da espessura de tinta necessária para se atingir o tempo de resistência ao fogo pretendido.

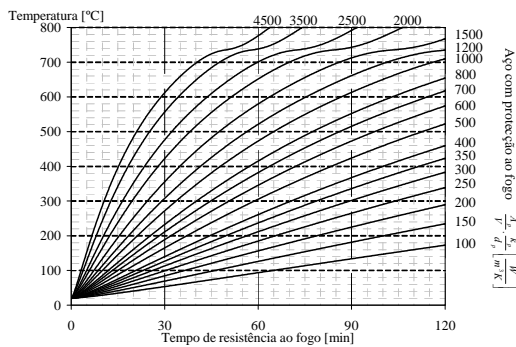


Fig. 12 – Ábaco de verificação do tempo de resistência ao fogo.

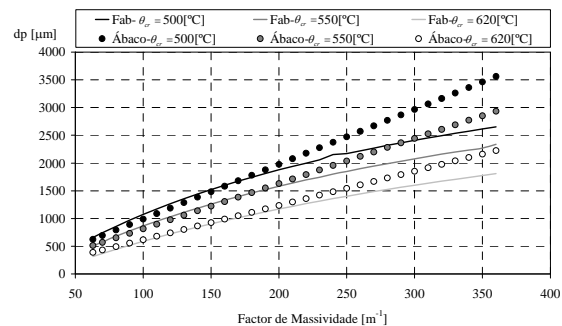


Fig. 13 – Espessuras de protecção para uma classe de resistência EF60.

Exemplo de cálculo: Calcular a espessura de tinta intumescente necessária para que um elemento estrutural com um factor de massividade igual a $200 \text{ [m}^{-1}]$ e temperatura crítica de $550 \text{ [}^\circ\text{C}]$ seja de classe de resistência ao fogo EF60. A consulta da Fig. 12 mostra que, após interpolação, o factor de massividade modificado da secção deverá tomar o valor de $(A_p/V)k_p/d_p = 1350 \text{ [W/m}^3\text{K}]$. Utilizando o valor da condutividade térmica resultante da média dos seis ensaios, para uma temperatura de $550 \text{ [}^\circ\text{C}]$, $k_p = 0.011 \text{ [W/m}^3\text{K}]$, a espessura mínima de protecção deverá ser de $d_p = 1629.6 \text{ [}\mu\text{m}]$. Para este caso o fabricante da tinta recomenda o valor de $d_p = 1580.0 \text{ [}\mu\text{m}]$.

No gráfico da Fig. 13 é comparado o valor da espessura de protecção recomendado pelo fabricante da tinta [15] e o obtido pelo ábaco, considerando uma classe de resistência ao fogo EF60 para diferentes valores de temperatura crítica e do factor de massividade. Verifica-se que existe uma boa relação na gama de espessuras de protecção correspondentes aos valores ensaiados, mas a mesma é sobrestimada para espessuras mais elevadas. Esta situação aponta uma dependência entre a condutividade térmica do intumescente e a espessura inicial de protecção que só poderá ser verificada com a execução de mais ensaios com espessuras de protecção superiores.

6 - CONCLUSÕES

Foi apresentado o método experimental para o estudo de vigas com protecção ao fogo utilizando tintas intumescentes. Estas foram ensaiadas com um carregamento mecânico constante e posteriormente submetidas a uma taxa de aquecimento, até se atingir o colapso por encurvadura lateral. Verificou-se o aumento do tempo de resistência ao fogo e da temperatura crítica com o aumento da espessura de protecção.

Com os resultados experimentais da temperatura na envolvente da viga e da temperatura do aço, foi possível obter-se a evolução da condutividade térmica da tinta intumescente com a temperatura. Os resultados mostram dois comportamentos distintos para ambas as espessuras analisadas. Para os resultados de maior espessura, pode-se verificar que a condutividade térmica é aproximadamente constante, no intervalo de temperaturas de 300 a 750 [°C].

A utilização dos valores determinados da condutividade térmica permitiu a comparação entre a espessura de protecção recomendada pelo fabricante e a obtida pelo ábaco.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às empresas J. Soares Correia e CIN-Corporação Industrial do Norte, S.A., pela oferta dos materiais utilizados nos ensaios.

REFERÊNCIAS

- [1] Lewis, K.R., “Fire Design of Steel Members”, Fire Engineering Research Report, University of Canterbury, ISSN 1173-5996, March 2000.
- [2] Dowling, John; Designing for fire protection; Construton news suplement, pp 14-15, 2003.
- [3] Ramos, F.A.F.M.; Gonçalves, C.M.; “Os revestimentos intumescentes na protecção passiva ao fogo de aço estrutural”, Corrosão e Protecção de Materiais, Vol. 19, Nº 1, 2000.
- [4] Longton, P.J.; Houyoux, C.; Zhao, B.; Chico, B.; “Development of alternative technologies for off-site applied intumescent coatings”, Technical Steel Research, ISBN 92-894-9165-5, 2005.
- [5] Regulamento de segurança contra incêndios em edifícios de habitação, Dec. Lei nº 64/90 de 21 de Fevereiro.
- [6] Regulamento de segurança contra incêndios em parques de estacionamento cobertos, Dec. Lei nº 66/95 de 8 de Abril.
- [7] Wickstrom, U.; Temperature analysis of heavily-insulated steel structures exposed to fire; Fire of Safety Journal, 9, pp281-285, 1985.
- [8] Melinek, S.J.; Thomas, P.H.; Heat flow to insulated steel; Fire of Safety Journal, 12, pp1-8, 1987.
- [9] Wong, M.b.; Ghojel, J.I; Sensitivity analysis of heat transfer formulations for insulated structural components, Fire of Safety Journal, 38 pp187-201, 2003.
- [10] CEN prEN 1993-1-2; “Eurocode 3, Design of Steel Structures – Part 1-2: General rules, Structural fire design”; Stage 49 – draft; April 2003.
- [11] Asociación Española de Normalización y Certificación, UNE 23820 -“Método de ensayo para determinar la contribución a la resistencia al fuego de los elementos estructurales, mediante la aplicación de protección a los elementos estructurales en acero”; Madrid, 1997.
- [12] CEN prEN 1993-1-1; “Eurocode 3, Design of Steel Structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings”; Stage 49 – draft; May 2003.
- [13] Tan, K. h.; Wang, Z.; Au, S. K.; “Heat transfer analysis for steelwork insulated by intumescent paint exposed o standard fire conditions”; Third international Workshop Structures in fire, Ottawa, Maio 2004.
- [14] Vila Real, Paulo, “Incêndio em Estruturas Metálicas: Cálculo Estrutural”, ISBN: 972-8620-04-7, Edições ORION, 2003.
- [15] CIN – Corporação Industrial do Norte; Boletim técnico, 7H-960 PROTHERM - HB Pintura intumescente de alta espessura; Julho 2003 - Portugal.