

Colunas de aço e mistas de aço e concreto em situação de incêndio

António M. Correia¹, João Paulo C. Rodrigues²

Resumo

O comportamento de colunas de aço e mistas de aço e concreto em situação de incêndio é conhecido por ser dependente da degradação das propriedades mecânicas do aço com o aumento da temperatura, mas também pela sua interacção com a estrutura circundante do edifício. A fim de se conhecer a influência da interacção da estrutura circundante na resistência ao fogo de colunas de aço e mistas de aço com concreto entre as mesas, foi realizada uma grande série de ensaios de resistência ao fogo. Um novo sistema experimental que permitiu considerar a restrição à dilatação axial e rotacional das colunas foi projectado e construído para a realização dos ensaios de resistência ao fogo. Os resultados dos ensaios mostram que o efeito negativo da restrição axial é contrariado pelo efeito positivo da restrição rotacional mantendo-se a resistência ao fogo das colunas invariável com o aumento destas.

Palavras-chave: Coluna. Aço. Concreto. Resistência. Fogo.

Notação

λ	Esbeltez;
P_0	Carga inicial aplicada à coluna;
α_A	Rigidez axial adimensional;
β_R	Rigidez rotacional adimensional;
$K_{A,S}$	Rigidez axial da estrutura circundante;
$K_{A,C}$	Rigidez axial da coluna;
$K_{R,S}$	Rigidez rotacional da estrutura circundante;
$K_{R,C}$	Rigidez rotacional da coluna;
A_C	Área da secção transversal da coluna;
E_s	Módulo de elasticidade do aço à temperatura ambiente;
I_C	Momento de inércia da secção transversal da coluna em torno do eixo fraco;
t	Tempo;
l_c	Comprimento da coluna;
t_{cr}	Tempo crítico;

¹ Instituto Politécnico de Coimbra

² Universidade de Coimbra. * Autor para contacto. Tel.: +351 239 797 237; Fax: +351 239 797 123; e-mail: jpaulocr@dec.uc.pt

T	Temperatura;
T_{cr}	Temperatura crítica;

1 Introdução

O comportamento de colunas de edifícios sob ação de incêndio depende da sua interação com a estrutura circundante. Até ao momento foram já realizados por vários autores um número apreciável de estudos experimentais e numéricos em colunas de aço, mas poucos foram os estudos realizados em colunas mistas de aço com concreto entre as mesas.

1.1 Colunas de aço

Bauschinger, em 1885 e 1887, parece ter sido o primeiro investigador a realizar ensaios de resistência ao fogo em colunas metálicas (AASEN, 1985). Os ensaios envolveram uma grande série de colunas, posicionados horizontalmente e submetidos a carregamento, que foram aquecidos e depois arrefecidos bruscamente com água.

Knublauch et al. em 1974 relataram uma série de vinte e três ensaios em colunas de aço com protecção em caixão por placas de vermiculite e sem restrição à dilatação térmica (AASEN, 1985). As colunas não eram aquecidas na sua totalidade, estando parte fora do forno por questões de amarração das mesmas.

Em 1977 Stanke apresentou o resultado de catorze ensaios de resistência ao fogo em colunas de aço com diferentes níveis de restrição axial (AASEN, 1985). Neste estudo foi observado pela primeira vez que, durante o aquecimento inicial a carga aumentava rapidamente, devido à restrição axial ao alongamento térmico e após esta alcançarem valor máximo, a coluna entrava em colapso e a carga começava a diminuir gradualmente.

Minne, Vandamme e Janss em 1979, 1981 e 1982 relataram os resultados de vinte e nove ensaios de resistência ao fogo em colunas de aço em H, sem restrição axial mas com restrição rotacional, com e sem protecção ao fogo (AASEN, 1985; JANSSE & MINNE, 1981/82). Estes ensaios apresentaram uma melhoria em relação aos anteriores uma vez que o comprimento total das colunas estava completamente dentro do forno.

Olesen em 1980 relatou os resultados de uma série de vinte e quatro ensaios de resistência ao fogo em colunas de aço sem restrição axial (AASEN, 1985). Foram ensaiadas colunas articuladas com diferentes comprimentos e sem restrição axial. Em dezoito ensaios, as colunas foram aquecidas até determinados níveis de temperatura e submetidos a uma taxa de

carregamento constante até à encurvadura. Nos seis ensaios restantes as colunas foram ensaiados com carregamento constante durante o processo de aquecimento até que a encurvadura ocorresse. As colunas eram amarradas numa estrutura fora do forno.

Aribert e Randriantsara em 1980, 1983 e 1984 relataram uma série de ensaios de resistência ao fogo em colunas de aço articuladas para estudar o efeito da fluência em colunas de aço, com e sem restrição à rotação e/ou restrição axial (AASEN, 1985). Os ensaios foram projectados para estudar o efeito da fluência a altas temperaturas nas colunas de aço.

Hoffend (1980 e 1983) relatou um programa completo de ensaios de resistência ao fogo em colunas de aço submetidas a altas temperaturas. Os parâmetros estudados nestes ensaios foram: a esbeltez da coluna, o nível de carregamento, o eixo de encurvadura, a excentricidade do carregamento, as condições de apoio, diferentes secções transversais, taxas de aquecimento e grau de restrição axial.

Aasen (1985) relatou os resultados de uma série de dezoito ensaios de resistência ao fogo em colunas de aço com e sem restrição axial e rotacional. Foram realizados doze ensaios em colunas bi-articuladas sem restrição axial, quatro ensaios em colunas com restrição à rotação e sem restrição axial e dois ensaios em colunas bi-articuladas com restrição axial.

Nos anos 80, Wainman & Kirby (1988 e 1989) apresentaram sob a forma de compêndio os resultados de muitos ensaios de resistência ao fogo em colunas de aço. Os ensaios realizados diziam respeito a colunas isoladas, com e sem protecção, colunas com blocos na alma e colunas embtidas em paredes.

Ali et al. (1998) publicaram um estudo sobre o efeito da restrição axial na resistência ao fogo de colunas de aço. Este estudo encerrou trinta e sete ensaios de resistência ao fogo em colunas articuladas. As colunas ensaiadas apresentavam uma esbeltez de 49, 75 e 98, quatro níveis de carregamento (0, 0,2, 0,4 e 0,6) e três níveis de restrição axial adimensional (0, 0,1 e 0,2).

Rodrigues et al. (2000) apresentaram os resultados de uma série de cento e sessenta e oito ensaios de resistência ao fogo em elementos de aço com dilatação térmica restringida. Nestes ensaios foram testadas variáveis tais como a: rigidez da estrutura circundante, esbeltez, excentricidade do carregamento e o tipo de ligação com o exterior.

Ali e O'Connor (2001) apresentaram um estudo sobre o comportamento estrutural ao fogo de pilares de aço com restrição rotacional. Os pilares foram sujeitos a dois valores de

restrição rotacional, um valor de restrição axial e aos níveis de carregamento de 0, 0,2 , 0,4 , 0,6 e 0,8.

Wang e Davies (2003a, 2003b) publicaram um estudo experimental em pilares de aço com restrição rotacional em situação de incêndio. Neste trabalho tanto o pilar como as vigas adjacentes foram carregados com diferentes combinações de carga por forma a produzirem diferentes momentos flectores no pilar. Foram testados os níveis de carregamento de 0,3 , 0,5 e 0,7 da resistência à compressão à temperatura ambiente. Foram usados dois tipos de ligação viga-pilar: uma usando uma chapa fina e outra usando uma chapa estendida.

Yang et al. (2005) realizou uma série de ensaios de resistência ao fogo em colunas curtas tubulares e em H de aço resistente ao fogo. Yang, em colaboração com outros autores, apresentaram outros trabalhos sobre o comportamento de colunas H a altas temperaturas (YANG et al., 2006a e 2006b; YANG & HSU, 2009). O objectivo destes estudos foi estudar a influência da relação largura / espessura do perfil esbeltez das colunas na sua resistência a altas temperaturas e residual após incêndio.

Tan et al. (2007) apresentaram os resultados de vários ensaios em pilares de aço não protegidos com dilatação térmica restringida. Os pilares ensaiados eram rotulados e tinham esbeltezas relativamente ao eixo fraco de 45, 55, 81 e 97. O objectivo destes ensaios foi determinar a influência das imperfeições iniciais e do grau de restrição axial nas temperaturas e tempos críticos.

Finalmente menciona-se um estudo experimental de Li et al. (2010) sobre a resistência ao fogo em pilares de aço com restrição axial e rotacional com diferentes valores de rigidez axial, todavia de abrangência limitada.

1.2 Colunas mistas

Malhotra e Stevens (1964) apresentaram os resultados de catorze ensaios de resistência ao fogo em colunas mistas de aço envolvidos em concreto com dilatação térmica restringida. As variáveis analisadas nos ensaios foram a espessura de recobrimento em concreto, o tipo de agregados do concreto, o efeito do aquecimento e a excentricidade do carregamento.

Lie e Chabot (1990) ensaiaram cinco colunas circulares ocas em aço preenchidas com concreto e propuseram um modelo matemático para prever a distribuição de temperatura ao longo da secção transversal e também a sua resposta estrutural durante o incêndio.

Lie e Kodur (1996) publicaram um estudo numérico sobre o comportamento de colunas circulares cheias com concreto armado cujos resultados compararam com os de ensaios experimentais. Neste estudo investigaram a influência de vários parâmetros no comportamento de colunas sujeitas a incêndio, tais como as dimensões da secção transversal, o nível de carregamento, o comprimento de encurvadura da coluna, a percentagem de armaduras, a classe do concreto, a distância do eixo das armaduras à parede interna do tubo e o tipo de agregado usado no concreto.

Lie e Kodur (1996) publicaram um estudo semelhante mas em pilares circulares preenchidos com concreto de fibras. Os resultados deste estudo foram comparados com os do estudo anterior.

Han et al. (2002) realizaram seis ensaios de resistência residual, após exposição ao incêndio ISO 834, em colunas rectangulares ocas cheias com concreto, protegidas e não protegidas. As colunas foram aquecidas num forno de resistência ao fogo, durante 90 min para as não protegidas e 180 min para as protegidas. Após arrefecimento as colunas foram ensaiadas à compressão e a sua carga residual de encurvadura foi determinada.

Han et al. (2003) publicaram os resultados dum estudo sobre o comportamento ao fogo de colunas quadradas e rectangulares ocas cheias com concreto. Neste estudo foram ensaiadas colunas com carregamento centrado e excêntrico, com e sem protecção ao fogo. Foram ensaiados diferentes parâmetros na resistência residual das colunas, tais como: a duração do incêndio, as dimensões da secção transversal, a esbelteza, excentricidade do carregamento e resistência do aço e do concreto.

Estes autores em 2005 publicaram os resultados dum estudo idêntico em colunas circulares ocas cheias com betão.

Huang et al. (2007) publicaram os resultados dum estudo sobre o efeito da restrição axial no comportamento ao fogo de colunas mistas de aço envolvidas por betão. As colunas foram ensaiadas com diferentes graus de restrição e com um nível de carregamento de 0,7 do valor de cálculo da carga de encurvadura à temperatura ambiente. Foram testadas outras curvas de aquecimento diferentes da ISO 834.

Han et al. (2003) publicaram o resultado de onze ensaios de resistência ao fogo em colunas de aço quadrados e rectangulares ocas, preenchidas com concreto, sujeitas à curva de incêndio ISO 834. As colunas foram ensaiadas com e sem protecção ao fogo. O principal objectivo deste estudo foi analisar a influência de vários parâmetros no comportamento ao

fogo das colunas, tais como a duração do incêndio, as dimensões da secção transversal, a esbelteza, a excentricidade do carregamento, a resistência do aço e do concreto na resistência residual do elemento, bem como desenvolver fórmulas para o cálculo da resistência ao fogo e da espessura de protecção ao fogo deste tipo de colunas.

Huang et al. (2003) publicaram um estudo sobre os efeitos da restrição axial no comportamento de colunas mistas sujeitos a incêndio. Neste trabalho, ensaiaram quatro colunas mistas com perfis I totalmente envolvidos por concreto, não protegidas, com dilatação térmica restringida. Todas as colunas tinham 3,54m de altura, e foram submetidas a um nível de carregamento de 0,7. Foram testados diferentes níveis de restrição axial.

Apesar de todos os estudos desenvolvidos não se conhecia ainda bem a influência da restrição axial à dilatação térmica das colunas em caso de incêndio, principalmente quando actuando em conjunto com a restrição à rotação (Correia e Rodrigues, 2009; Correia et al., 2010; Correia e Rodrigues, 2010a e 2010b). Tendo por base este facto no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da Universidade de Coimbra (LEME_UC), foi construído um novo sistema experimental, especialmente concebido para ensaios de resistência ao fogo em pilares com dilatação térmica restringida (restrição axial e rotacional).

2 Programa experimental

2.1 Sistema experimental

A Figura 1 mostra o sistema experimental usado no LEME_UC para ensaios de resistência ao fogo de pilares com dilatação térmica restringida.



Figura 1: Vista geral do sistema experimental

As colunas em ensaio foram submetidas a uma carga de compressão constante que permitia simular a carga de serviço da mesma quando inserida na estrutura real dum edifício. Esta carga era de 70 e 30% do valor de cálculo da resistência à encurvadura da coluna à temperatura ambiente calculada de acordo com as EN1993-1-1 (2005) e EN1994-1-1 (2004).

A acção térmica foi aplicada por um forno modular eléctrico (5) tendo seguido a curva padrão de incêndio ISO834 (EN1991-1-2, 2002).

A Figura 2 mostra as colunas de aço e mistas aço-concreto, com a posição dos termopares, em cinco secções distribuídas em altura. Nas colunas mistas foram colocados seis termopares por cada secção transversal enquanto nas de aço foram colocados apenas três por cada secção.

Quadro 1: Plano dos ensaios para as colunas de aço

Designação do Ensaio	λ	Nível de carregamento	P_0 (kN)	$K_{A,S}$ (kN/mm)	α_A	β_R	e (cm)
PA200-K13-L70	50,6	70%	999,8	13	0,035	1,290	0
PA200-K13-L70-E2	50,6	70%	224	13	0,035	1,290	$e_x=e_y=20$
PA200-K13-L70-E1	50,6	70%	570	13	0,035	1,290	$e_x=200$
PA160-K13-L70	63,3	70%	621	13	0,048	2,801	0
PA200-K13-L30	50,6	30%	428	13	0,035	1,290	0
PA160-K13-L30	63,3	30%	266	13	0,048	2,801	0
PA160-K45-L70	63,3	70%	621	45	0,166	3,262	0
PA160-K45-L30	63,3	30%	266	45	0,166	3,262	0
PA200-K45-L70	50,6	70%	999,8	45	0,119	1,503	0
PA200-K45-L30	50,6	30%	266	45	0,119	1,503	0
PA200-K128-L30	50,6	30%	428	128	0,341	2,097	0
PA160-K128-L30	63,3	30%	266	128	0,473	4,551	0
PA200-K128-L70	50,6	70%	999,8	128	0,341	2,097	0
PA160-K128-L70	63,3	70%	621	128	0,473	4,551	0

Quadro 2: Plano dos ensaios para as colunas mistas de aço-concreto

Designação do Ensaio	Nível de carregamento	P_0 (kN)	$\bar{\lambda}_z$	$K_{A,S}$ (kN/mm)	α_A	β_R
PM160-K128-L30	30%	261	1,09	128	0,242	2,437
PM160-K128-L70	70%	610	1,09	128	0,242	2,437
PM200-K128-L30	30%	508	0,87	128	0,163	1,048
PM200-K128-L70	70%	1185	0,87	128	0,163	1,048
PM160-K45-L30	30%	261	1,09	45	0,085	1,747
PM160-K45-L70	70%	610	1,09	45	0,085	1,747
PM200-K45-L30	30%	508	0,87	45	0,057	0,751
PM200-K45-L70	70%	1185	0,87	45	0,057	0,751
PM160-K13-L30	30%	261	1,09	13	0,025	1,500
PM160-K13-L70	70%	610	1,09	13	0,025	1,500
PM200-K13-L30	30%	508	0,87	13	0,017	0,645
PM200-K13-L70	70%	1185	0,87	13	0,017	0,645

$$\alpha_A = \frac{K_{A,S}}{K_{A,C}} \quad (1)$$

onde

$$K_{A,C} = \frac{A_C \cdot E_C}{L_C} \quad (2)$$

A rigidez rotacional relativa β_R é definida pela relação entre a rigidez rotacional da estrutura circundante à coluna $K_{R,S}$ e a rigidez rotacional da coluna $K_{R,C}$:

$$\beta_R = \frac{K_{R,S}}{K_{R,C}} \quad (3)$$

onde

$$K_{R,C} = \frac{4 \cdot E_C \cdot I_C}{L_C} \quad (4)$$

A rigidez rotacional da estrutura $K_{R,S}$ foi determinada numericamente com o programa de elementos finitos ABAQUS (2005) devido à dificuldade em o fazer experimentalmente.

3 Resultados

3.1 Forças de restrição nas colunas de aço

As Figuras 3a) e 3b) mostram a evolução das forças de restrição nas colunas de aço em função do tempo para a rigidez de 13 e 128 kN/mm, respectivamente. As forças de restrição são apresentadas de forma adimensional em relação ao valor da carga inicial aplicada.

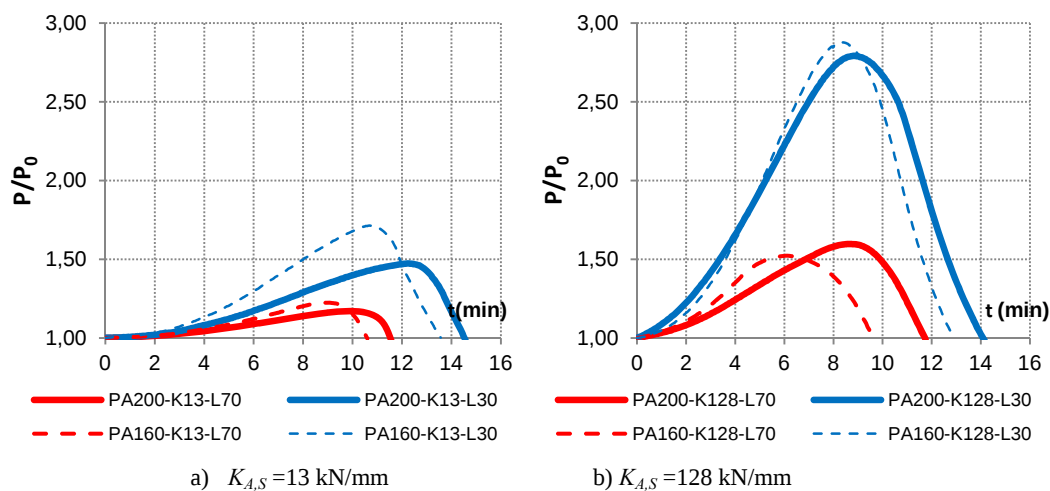
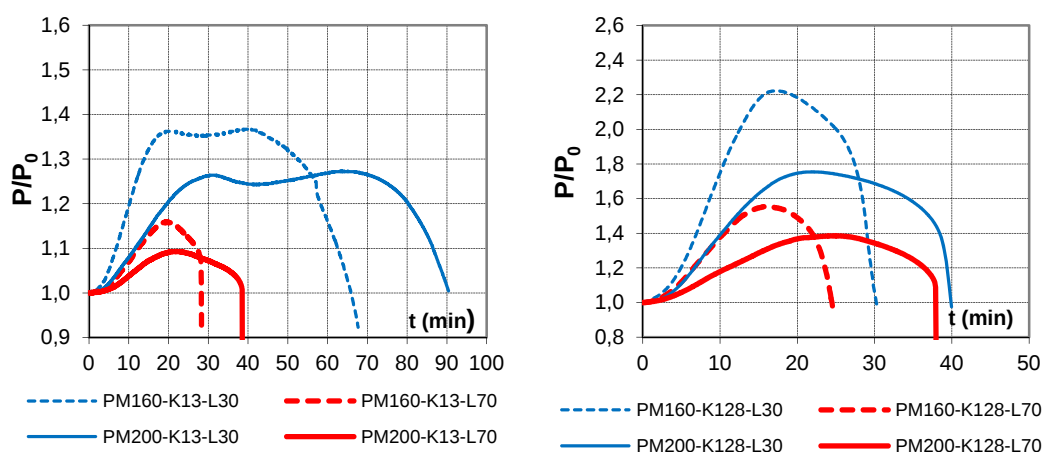


Figura 3: Forças de restrição nas colunas de aço

O tempo crítico (resistência ao fogo) é definido como o tempo decorrido desde o início do ensaio até ao instante em que é atingida novamente o valor da carga inicial aplicada (EN1993-1-2, 2005; EN1994-1-2, 2005). Observa-se em ambos os gráficos que quanto maior o nível de carregamento, menor é a variação das forças de restrição, e menor é a resistência ao fogo.

3.2 Forças de restrição nas colunas mistas aço-concreto

As Figuras 4a) e 4b) mostram a evolução das forças de restrição nas colunas mistas de aço-concreto em função do tempo, para as rigidezes de 13 e 128 kN/mm, respectivamente. As forças de restrição são apresentadas de forma adimensional em relação ao valor da carga inicial aplicada. São também aqui válidas as conclusões apresentadas para as colunas de aço.



a) $K_{A,S} = 13 \text{ kN/mm}$

b) $K_{A,S} = 128 \text{ kN/mm}$

Figura 4: Forças de restrição nas colunas mistas

3.3 Tempos críticos das colunas

Na Figura 5 apresenta-se uma comparação do tempo crítico t_{cr} entre as colunas de aço e as mistas de aço e concreto para as duas secções estudadas (HEA160 e HEA200). Na Figura observa-se que apenas para as colunas mistas com um nível de carregamento de 30%, o aumento da rigidez da estrutura provoca uma redução da resistência ao fogo. Neste caso, para uma variação da rigidez de 13kN/mm para 128kN/mm, o tempo crítico reduziu para cerca de metade. Para ambos os perfis, para o nível de carregamento de 70%, a diferença de tempos críticos da coluna mista para a de aço é mais ou menos constante com a rigidez da estrutura

circundante, sendo cerca de 20 min para o HEA160 e 30 min para o HEA200. Para o nível de carregamento de 30%, a diferença de tempos críticos entre as colunas de aço e mistas reduz muito com o aumento da rigidez, de 50 para 20 min no HEA160 e de 80 para 30 min no HEA200.

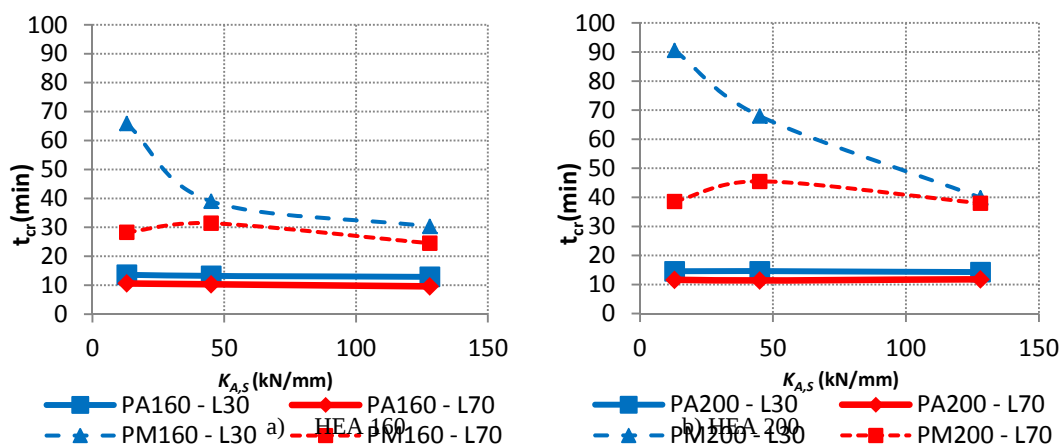


Figura 5: Tempo crítico para as colunas de aço e mistas em função da rigidez da estrutura

5 Conclusões

Neste artigo foram apresentados os resultados dum estudo experimental realizado para conhecer a influência da interacção da estrutura circundante na resistência ao fogo de colunas de aço e mistas de aço e concreto. Um novo sistema experimental que permitia a restrição à dilatação axial e rotacional das colunas foi projectado e construído para a realização dos ensaios.

As principais conclusões deste trabalho contradizem a ideia de que a rigidez da estrutura circundante provoca uma redução da resistência ao fogo das colunas. De facto, o aumento da rigidez axial corresponde também a um aumento da rigidez rotacional. Estas duas rigidezes têm uma influência contrária, enquanto a rigidez axial provoca uma diminuição a rigidez rotacional provoca um aumento da resistência ao fogo das colunas.

O parâmetro mais importante na redução da resistência ao fogo das colunas é o nível de carregamento. O aumento do nível de carregamento traduz-se numa diminuição da resistência ao fogo. Este fenómeno aconteceu em todos os tipos de colunas estudados no entanto foi mais notório nas mistas aço-concreto com um nível de carregamento de 30%.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Fundação Ciência e Tecnologia do Ministério da Ciência e Ensino Superior de Portugal, FCT-MCES no âmbito dos projectos REEQ 499/2001, PTDC/ECM/65696/2006, e a Bolsa de Doutoramento SFRH/BD/21939/2005 e às empresas Metalocardoso S.A. e A. Costa Cabral S.A. pelas facilidades concedidas no fornecimento de perfis de aço.

Referências

AASEN, B. (1985). An Experimental Study on Steel Columns Behaviour at Elevated Temperatures, Division of Steel Structures, Norwegian Institute of Technology, University of Trondheim, Trondheim, Norway.

JANSS J.; MINNE R. (1981/82). Buckling of Steel Columns in Fire Conditions, Fire Safety Journal, v. 4, England, pp. 227-235.

HOFFEND F. (1980). Brandverhalten von StahlstützenbeiausmittigerLasteinleitung, DehnbehinderungoderteilweiserBekleidung, Sonderforschungsbereich 148 – Brandverhalten von Bauteilen, Arbeitsbericht 1978-1980, Teil I, Technical University of Braunschweig, Braunschweig, Germany, p. 29-59 (in German).

_____. (1983). ZumBrandverhalten van Stahlbauteilenversuchsergebnisse und rechenerischeUntersuchungen, Sonderforschungsbereich 148 – Brandverhalten von Bauteilen, Arbeitsbericht 1981-1983, Teil I, Technical University of Braunschweig, Braunschweig, Germany, pp. 57-80 (in German).

WAINMAN, D. E.; KIRBY, B.R. (1988). Compendium of UK Standard Fire Test Data – Unprotected Structural Steel – 1, Ref. No. RS/RSC/S10328/1/87/B, British Steel Corporation, Swinden Laboratories, Rotherham, UK.

_____. (1989). Compendium of UK Standard Fire Test Data – Unprotected Structural Steel – 2, Ref. No. RS/R/S1199/8/88/B, British Steel Corporation, Swinden Laboratories, Rotherdam, UK.

ALI, F.; SHEPHERD, P.; RANDALL, M.; SIMMS, I.W. O'Connor, D. & Burgess, I. (1998). The Effect of Axial Restraint on the Fire Resistance of Steel Columns, Journal of Constructional Steel Research, v. 46, n. 3, paper nº.117.

RODRIGUES, J.P.C.; NEVES, I. C.; VALENTE, J.C. (2000). Experimental Research on the Critical Temperature of Compressed Steel Elements with Restrained Thermal Elongation, Fire Safety Journal, v. 35, p. 77-98.

ALI F.; O'CONNOR D. (2001). Structural Performance of Rotationally Restrained Steel Columns in Fire. Fire Safety Journal 36, p. 679-691.

WANG Y. C.; DAVIES J.M. (2003a). An Experimental Study of Non-Sway Loaded and Rotationally Restrained Steel Column Assemblies under Fire Conditions: Analysis of Test Results and Design Calculations. Journal of Constructional Steel Research 59, p. 291-313.

WANG Y. C.; DAVIES J.M. (2003b). Fire Tests of Non-Sway Loaded and Rotationally Restrained Steel Column Assemblies. Journal of Constructional Steel Research 59, p. 359-383.

YANG, K.C.; CHEN, S.-J.; LIN, C.C.; LEE, H.-H. (2005). Experimental Study on Local Buckling of Fire-Resisting Steel Columns under Fire Load, *Journal of Constructional Steel Research* 61, p. 553-565.

_____. (2006a). Performance of Steel H Columns Loaded under Uniform Temperature, *Journal of Constructional Steel Research* 62, p. 262-270.

_____. (2006b). Experimental Study of Fire-resistant Steel H-columns at Elevated Temperature, *Journal of Constructional Steel Research* 62, p. 544-553.

_____. (2009). Structural Behavior of Centrally Loaded Steel Columns at Elevated Temperature, *Journal of Constructional Steel Research* 65, p. 2062-2068.

TAN K.H.; TOH W. S.; HUANG Z. F.; PHNG G.H. (2007). Structural Responses of Restrained Steel Columns at Elevated Temperatures. Part 1: Experiments. *Engineering Structures* 29, p. 1641-1652.

LI, G.-Q.; WANG, P.; WANG Y. (2010). Behaviour and Design of Restrained Steel Column in Fire: Part 1. Fire Test, *Journal of Constructional Steel Research* 66, p. 1138-1147.

MALHOTRA H. L.; STEVENS R. F. (1964). Fire Resistance of Encased Steel Stanchions, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - ICE*; 27, p. 77-97.

LIE T.T. ; CHABOT M. (1990). A Method to Predict the Fire Resistance of Circular Steel Columns Filled Hollow Steel Columns. *Journal of Fire Protection Engineering*, 2 (4), p. 111-126.

LIE T. T.; KODUR V.K.R. (1996), Fire Resistance of Circular Steel Columns Filled with Bar-Reinforced Concrete. *Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers (ASCE)*; 122 (1), p. 30-36.

KODUR V. K. R.; LIE T.T. (1996), Fire Resistance of Circular Steel Columns Filled with Fiber-Reinforced Concrete. *Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers (ASCE)*; 122 (7), p. 776-782.

HAN L. H.; YANG Y. F.; YANG H.; HUO J.S. (2002). Residual Strength of Concrete-Filled RHS Columns after Exposure to the ISO-834 Standard Fire, *Thin-Walled Structures*, 40, p. 991-1012.

_____. (2003). An Experimental Study and Calculation on the Fire Resistance of Concrete-Filled SHS and RHS Columns, *Journal of Constructional Steel Research*, 59, p. 427-452.

HAN L.H.; HUO J.-S.; WANG Y.C. (2005). Compressive and flexural behaviour of concrete filled steel tubes after exposure to standard fire. *Journal of Constructional Steel Research*; 61, p. 882-901

HUANG Z. F.; TAN K.H. (2007). Analytical Fire Resistance of Axially Restrained Steel Columns. *ASCE Journal of Structural Engineering*, v. 129, n. 11, p. 1531-1537.

CORREIA, A. M.; RODRIGUES, J. P.C. (2009). Análise Experimental da Resistência ao Fogo de Pilares de Aço com Dilatação Térmica Restringida; VII Congresso CMM – Construção Metálica e Mista, Lisboa.

CORREIA, A.M.; PIRES, T.A.C.; RODRIGUES, J. P. C. (2010). Behavior of Steel Columns Subjected to Fire, Sixth International Seminar on Fire and Explosion Hazards, Leeds, UK.

CORREIA A. M.; RODRIGUES J.P.C. (2010a). Buckling of Steel and Composite Steel and Concrete Columns in Case of fire; SDSS' Rio 2010 Stability and Ductility of Steel Structures, Rio de Janeiro, Brazil.

_____. (2010b). Fire Resistance of Partially Concrete Encased Steel Columns with Restrained Thermal Elongation; *Journal of Constructional Steel Research* (doi:10.1016/j.jcsr.2010.12.002).

EN1993-1-1 (2005). Design of Steel Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings, CEN, Belgium.

EN 1994-1-1 (2004). Design of Composite Steel and Concrete Structures – Part 1-1: General – General rules and rules for buildings, CEN, Belgium.

EN1991-1-2 (2002). Basis of Design and Actions on Structures – part 1-2:Actions on Structures Exposed to Fire,CEN, Belgium.

ABAQUS (2005), User's manual version 6.7. Pawtucket, Rhode Island: Hibbit, Carlsson and Sorensen Inc..

EN1993-1-2 (2005). Design of steel structures – part 1-2: General Rules – Structural fire design, CEN, Brussels.

EN 1994-1-2 (2005). Design of Composite steel and concrete Structures, Part 1.2: General Rules - Structural Fire Design, European Community, Brussels, Belgium.

Steel and composite steel-concrete columns in case of fire

Abstract

The behaviour of steel and composite steel-concrete columns subjected to fire is known to be dependent on the degradation of mechanical properties of steel with increasing temperature, but also by their interaction with the surrounding building structure. In order to assess the influence of the surrounding building structure on the fire resistance of steel and composite steel-concrete columns a great number of fire resistance tests were carried out. A new experimental set-up was designed and constructed for testing columns with rotational and axial restraint under fire conditions. This paper presents the results of the tests carried out on steel and composite columns made with partially encased steel sections. The results show that the negative effect of the axial restraint on reducing the fire resistance of the columns is opposed by the rotational restraint.

Keywords: Fire. Resistance. Column. Steel. Concrete.

1 Introduction

The behaviour of columns under fire conditions depends on its interaction with the surrounding building structure. In order to obtain a deeper knowledge on this subject, several authors have performed a great number of experimental studies on steel columns but few were made in composite columns made with partially encased sections. Moreover, most of these studies focused mainly on the effect of the axial restraint forgetting the rotational restraint.

2 Experimental programme

The experimental set-up is presented in Figure 1. This system allowed simulating both axial and rotational stiffness to the column under fire testing.

The thermal action was applied to the columns by a modular furnace following approximately the standard ISO 834 fire curve.

Two different cross-sections were tested: HEA200 and HEA160. Two load levels, 30 and 70% of the design value of the buckling load at ambient temperature according to EN1993-1-1 (2005) and EN1994-1-1 (2004). Three values of the stiffness of surrounding structure were adopted: 13, 45 and 128 kN/mm. The combination of these parameters led to twelve tests for the composite and twelve tests for the steel bare columns. For the steel bare columns, two additional tests were carried out, with eccentricity of the load (Table 1 and 2).

3 Results

The critical time (fire resistance) is here defined as the time elapsed since the beginning of the test, until the instant in which it is again observed, the axial force equal to the initial applied load.

It was observed that the higher the load level, the smaller is the variation of the restraining forces, and the lower is the fire resistance. These conclusions are valid not only for steel bare columns but also for the composite columns.

The comparison of the critical times between the composite and the steel bare columns led to quite interesting conclusions:

- Only for the composite columns, with a load level of 30%, the increase of the stiffness of the surrounding structure causes a reduction on the fire resistance. In this case, the increase of the stiffness of the surrounding structure from 13kN/mm to 128kN/mm, led to a reduction of the fire resistance to half. In the other cases, no reduction was observed.
- For both profiles, for the load level of 70%, the difference in critical times of the composite and steel bare columns is approximately constant, for different values of the stiffness of the structure, being about 20 minutes for HEA160 and about 30 minutes for HEA200 cross-sections.
- For the load level of 30%, the difference in critical times between composite and steel bare columns is greatly reduced, with the increase of the stiffness of the structure, from 50 to 20 minutes in the HEA160 profile, and from 80 to 30 minutes for the HEA200 profile.

4 Conclusions

This paper presented the results of an experimental study to ascertain the influence of the interaction of the surrounding structure in the fire resistance of steel columns and composite steel-concrete columns.

The main conclusions contradict the idea that the stiffness of the surrounding structure causes a reduction on the fire resistance of the columns. In fact, the increase in the axial stiffness also corresponds to an increase in the rotational stiffness. These two stiffnesses have

an opposite influence on the columns, while the axial stiffness causes a decrease in the fire resistance, the rotational stiffness leads to an increase.

The most important parameter in reducing the fire resistance of the columns was the load level. The increase of the load level results in a decrease in the fire resistance. This phenomenon occurred in all types of columns studied, but was most notorious for the composite steel-concrete columns with a load level of 30%.