



Construção
Metálica
e Mista 3

ANTÓNIO LAMAS

PAULO VILA REAL

LUÍS SIMÕES DA SILVA

Construção Metálica e Mista 3

Actas do III Encontro de
Construção Metálica e Mista

Universidade de Aveiro
Aveiro, Portugal
6 e 7 de Dezembro, 2001

António Lamas

Departamento de Engenharia Civil
Instituto Superior Técnico
Lisboa, Portugal

Paulo Vila Real

Secção Autónoma de Engenharia Civil
Universidade de Aveiro
Aveiro, Portugal

Luís Simões da Silva

Departamento de Engenharia Civil
Universidade de Coimbra
Coimbra, Portugal

**c m m – Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista
Secção Autónoma de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro**

Construção Metálica e Mista 3

Copyright © 2001 por António Lamas, Paulo Vila Real, Luís Simões da Silva

Editora:

cmm - Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista
Palácio de Vila Flor, Av. D. Afonso Henriques
4810-431 Guimarães, Portugal
Tel. +351 253 415142 – Fax +351 253 415389
Internet: <http://www.cmm.pt>
e-mail: geral@cmm.pt

1ª Edição
Dezembro, 2001

Tiragem: 400 exemplares

Não é permitida a reprodução total ou parcial deste livro, o registo em suporte informático, ou a transmissão através de qualquer processo electrónico ou mecânico, sem a prévia autorização por escrito dos titulares dos direitos da edição.

Depósito Legal: 173320/01
ISBN: 972-98376-2-7

Coordenação Editorial: Paulo Vila Real
Concepção Gráfica da Capa: A. Rui J.
Paginação: Fundação João Jacinto de Magalhães
Impressão: Tipave, Indústrias Gráficas de Aveiro, Lda.

Nota da Editora

Este texto foi elaborado a partir da reprodução fotográfica dos originais preparados pelos autores. Por conseguinte, a editora não pode aceitar qualquer responsabilidade pelo conteúdo, nem por possíveis erros no texto.

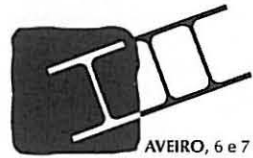
Comissões
Exposição Técnica
Patrocínios
Prefácio

SECÇÃO I

- European Re
Concrete Stru
Plumier, André
- Nuevo Puente
Prieto, Pablo F
- Steelworks in
Mazzolani, Fe
- Fire Safe Des
Schleich, Jean
- A Construção
Mota Freitas,
- Presentation
Gendebien, G
- Construir co
Castanheira, C
- Estádios par
Reis, A. J.
- Promover o
Lamas, Antón
- Ponte Pedon
Fonseca, A. A
- Ponte Pedon
Graça, J. L. C

SECÇÃO II

- Experiment
Majowiecki,
- Cobertura c
Abecasis, Ti
- Coberturas
Silva, Antón



ESTUDO DO COMPORTAMENTO AO FOGO DE UMA ASNA METÁLICA: COMPARAÇÃO ENTRE UM MÉTODO AVANÇADO DE CÁLCULO E O MÉTODO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO DO EC3

Vila Real, Paulo M. M.¹; Piloto, P. A. G.²; Gil, Carlos³

RESUMO

Fez-se um estudo comparativo do comportamento ao fogo de uma asna metálica utilizando-se para o efeito um método avançado e um método simplificado de cálculo. No primeiro utilizou-se o programa SAFIR que é um programa de elementos finitos para análise não-linear geométrica e material especialmente desenvolvido para cálculo de estruturas sujeitas à acção do fogo e no segundo usaram-se as fórmulas preconizadas na parte 1.2 do Eurocódigo 3. Como a resistência ao fogo da asna deu inferior a 30 minutos, procurou-se, por exigência do dono da obra, aumentá-la recorrendo à utilização de material termicamente isolante apenas nos banzos.

1. INTRODUÇÃO

A segurança contra incêndios de edifícios tem vindo a merecer em Portugal uma atenção crescente [1], começando a surgir no nosso País regulamentação que abrange os vários tipos de edifícios existentes [2-10]. Entre as exigências estabelecidas nestes regulamentos encontra-se a "Resistência ao Fogo" de elementos estruturais, que se avalia pelo tempo que decorre desde o início de um processo térmico normalizado (no presente trabalho a curva de incêndio padrão ISO 834 representada na figura 1), a que o elemento é submetido, até ao momento em que ele deixa de satisfazer as funções para que foi projectado.

Dada a inexistência em Portugal de regulamentação relativa ao cálculo estrutural ao fogo foram utilizados, neste trabalho, os seguintes Eurocódigos, que se encontram ainda em fase de Pré-Norma (ENV):

¹ Prof. Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

² Prof. Adjunto do Departamento de Mecânica Aplicada do Instituto Politécnico de Bragança

³ Engenheiro Civil, MARTIFER - Construções Metalomecânicas s. a.

- Eurocódigo 1, Parte 2.2 – Acções em Estruturas Sujeitas a Incêndio [11], onde se faz a caracterização das acções térmicas;
- Eurocódigo 3, Parte 1.2 – Cálculo Estrutural ao Fogo [12], onde se estabelecem as regras para o cálculo da capacidade resistente das estruturas de aço em situação de incêndio e se definem as propriedades térmicas e mecânicas do aço em função da temperatura.

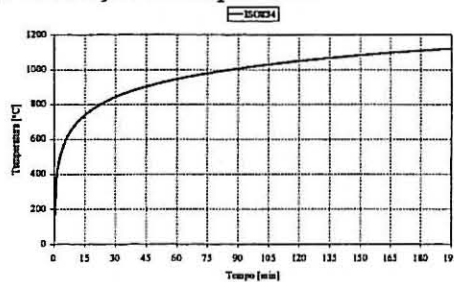


Fig.1- Curva de incêndio padrão ISO 834.

De acordo com a Parte 1.2 do Eurocódigo 3, o Cálculo Estrutural ao Fogo pode ser feito em dois níveis de sofisticação crescente:

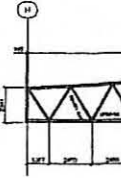
- *Métodos simplificados de cálculo*, fazendo uso de fórmulas analíticas aplicáveis apenas a elementos estruturais isolados;
- *Métodos avançados de cálculo*, os quais podem ser usados na simulação do comportamento de:
 1. Estrutura Global;
 2. Partes da estrutura, como por exemplo pórticos ou sub-estruturas em que há necessidade de determinar as condições de fronteira que nelas actuam, as quais se consideram constantes durante a ocorrência do incêndio;
 3. Elementos estruturais isolados (vigas, pilares ou lajes), desprezando qualquer interacção entre eles.

Em qualquer caso, o cálculo da resistência ao fogo do elemento ou estrutura com funções de suporte de cargas é feito impondo que, após um determinado instante de tempo t de exposição ao fogo normalizado, se verifique a condição [12]:

$$E_{f_i,d,t} \leq R_{f_i,d,t} \quad (1)$$

onde, $E_{f_i,d,t}$, é o valor de cálculo dos efeitos das acções (térmicas e mecânicas) em situação de incêndio no instante t , determinado de acordo com a combinação acidental de acções expressa na ENV 1991-2-2 [11] e $R_{f_i,d,t}$ é o valor de cálculo da capacidade resistente em situação de incêndio no instante t .

Fez-se um estudo da resistência ao fogo da asna metálica representada na figura 2, para a qual o dono da obra exigia inicialmente uma resistência de 30 minutos. Como a resistência ao fogo da asna deu inferior a 30 minutos recorreu-se à utilização de material termicamente isolante de modo a que fosse atingida aquela resistência. Por razões de ordem prática pretendia-se proteger apenas o banzo superior e o banzo inferior mantendo as diagonais sem protecção. Dado que as diagonais desprotegidas limitavam a resistência ao fogo da asna não foi possível respeitar a resistência exigida. No entanto, como se tratava de um edifício que possuía apenas rés-do-chão sem cave foi abandonada aquela exigência inicial de 30 minutos, pois a própria regulamentação não faz qualquer exigência de resistência ao fogo nestes casos.



2. MODELO

Existe resistência ac simplificados análise não - chamados mé encontra-se o não-linear ge para a análise

2.1. O progr

O progr a análise do comportamen não uniforme posterior o n comportamen

2.1.1. Anális

O progra estruturas qu elementos pla os elementos quadriláteros

É possível de elementos

2.1.2. Anális

A anál disse, os resul

Para a barra e de vig tridimensiona

O elen antes da defo transverso nã

ncêndio [11],
12], onde se
das estruturas
as térmicas e

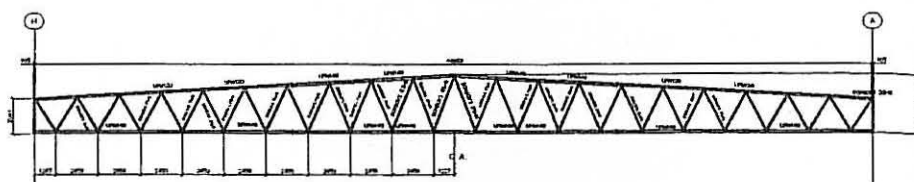


Fig. 2- Asna treliçada com cerca de 49 metros de vão.

2. MODELAÇÃO NUMÉRICA

Existem actualmente vários programas de cálculo automático para análise da resistência ao fogo das estruturas, que vão desde programas baseados nos *métodos simplificados de cálculo* definidos nos Eurocódigos, até programas mais complexos de análise não - linear, baseados no método dos elementos finitos e que se incluem nos chamados *métodos avançados de cálculo* referidos nos Eurocódigos. Entre estes últimos encontra-se o programa SAFIR [13] que é um código de elementos finitos para análise não-linear geométrica e material, desenvolvido na Universidade de Liège vocacionado para a análise de estruturas sujeitas à acção do fogo.

2.1. O programa SAFIR

O programa SAFIR é constituído por dois módulos de cálculo distintos, um para a análise do comportamento térmico da estrutura e outro para a análise do seu comportamento mecânico. Assim, numa primeira fase calcula-se a evolução do campo não uniforme de temperaturas, para cada secção tipo existente na estrutura, e numa fase posterior o módulo mecânico do programa lê estas temperaturas e faz o cálculo do comportamento mecânico da estrutura em regime transiente.

2.1.1. Análise do comportamento térmico

O programa SAFIR permite fazer a análise do comportamento térmico das estruturas quer utilizando elementos sólidos tridimensionais (3D), quer utilizando elementos planos bidimensionais (2D). Os elementos sólidos são lineares de oito nós e os elementos planos, também lineares podendo ser triangulares de 3 nós ou quadriláteros com 4 nós.

É possível a consideração de mais do que um material possibilitando assim a análise de elementos com protecção térmica.

2.1.2. Análise do comportamento mecânico

A análise transiente do comportamento mecânico das estruturas utiliza, como se disse, os resultados da análise térmica previamente efectuada.

Para além do elemento sólido estão também disponíveis no SAFIR elementos de barra e de viga, sendo possível com estes dois últimos modelar estruturas reticuladas tridimensionais.

O elemento de viga baseia-se na hipótese de Bernoulli, em que as secções planas antes da deformação se mantêm planas depois da deformação e o efeito do esforço transversal não é tido em consideração. Por outro lado este elemento não contempla

ao Fogo pode
das alíticas
na simulação

rturas em que
nelas actuam,
ncêndio;
desprezando

elemento ou
determinado
ção [12]:

(1)

ecânicas) em
ção accidental
la capacidade

ada figura
inutos. Como
utilização de
sistência. Por
r e o banzo
desprotegidas
ência exigida.
sem cave foi
mentação não

encurvadura local, razão pela qual se devem apenas utilizar perfis com secções da Classe 1 e da Classe 2 de acordo como são definidas no eurocódigo 3 [14].

A secção recta dos elementos é discretizada através de elementos finitos aos quais correspondem fibras, sendo em cada ponto de integração longitudinal, todas as variáveis, tais como a temperatura, a deformação, a tensão, etc. uniformes em cada fibra. A discretização do elemento de viga através do modelo de fibras, permite a consideração de tensões residuais [15] e mesmo a introdução de pré-esforço em estruturas de betão.

O critério de colapso da estrutura é definido como sendo o instante em que a sua matriz de rigidez deixa de ser definida positiva, não sendo mais possível estabelecer o equilíbrio da estrutura. O programa utiliza a técnica do comprimento de arco, "arc-length", para resolver os problemas de ruína local que por vezes surgem. De facto em estruturas hiperstáticas pode acontecer que a ruína de um dos seus elementos não corresponda ao colapso global da estrutura. É possível que para além do instante em que ocorre a ruína local, a parte dos esforços que não pode mais ser suportada pelo elemento em questão seja redistribuída pelos outros elementos da estrutura, encontrando esta uma nova posição de equilíbrio.

3. ACÇÕES EM ESTRUTURAS SUJEITAS A FOGO

3.1. Acções mecânicas

O valor de cálculo dos efeitos das acções em situação de incêndio, $E_{fi,d,t}$, deve ser obtido usando-se a seguinte combinação de acidente definida no Anexo F da parte 2-2 do Eurocódigo 1 [11]:

$$\sum \gamma_{GA} G_k + \psi_{1,i} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} + \sum A_d(t) \quad (2)$$

onde

- γ_{GA} - é o coeficiente de segurança parcial para as acções permanentes em situação de acidente, o qual deve tomar o valor unitário [$\gamma_{GA} = 1$];
- G_k - é o valor característico das acções permanentes;
- $Q_{k,1}$ - é o valor característico da acção variável principal ou dominante;
- $\psi_{1,i}$ - é o coeficiente de combinação associado à acção variável principal ou dominante [16];
- $\psi_{2,i}$ - é o coeficiente de combinação associado às restantes acções variáveis [16];
- $A_d(t)$ - é o valor de cálculo da acção resultante da exposição ao fogo e que se traduz no efeito da temperatura sobre as propriedades dos materiais e nas acções indirectas de incêndio a que correspondem os esforços resultantes das restrições às dilatações térmicas.

3.2. Acções térmicas

No que diz respeito às acções térmicas a parte 2-2 do Eurocódigo 1 [11] estabelece que a temperatura de incêndio pode ser dada em termos de curvas nominais tempo - temperatura ou sob a forma de curvas paramétricas.

As cu
fórmula simp
definidas três

1. C_t
2. C_t
3. C_t

As cu
fase de arrefi
incêndios rea
desenvolvime
compartiment

Neste
cuja expressã

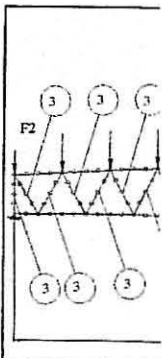
onde

θ_g é a temp
 t é o temp

4. CASO ES

No pr
metálica para
rectangular cc
de betão arma

Os bar
banzo inferior
com perfis U
constituídos p
na figura 3.



As asna
o peso dos
uniformemente
 $F_2 = 3.265kN$

As curvas nominais são curvas convencionais que podem ser definidas por uma fórmula simples e que não dependem da dimensão ou do tipo dos edifícios. São assim definidas três curvas nominais:

1. Curva de incêndio padrão ISO 834;
2. Curva de incêndio para elementos estruturais exteriores;
3. Curva de incêndio de hidrocarbonetos.

As curvas de incêndio paramétricas distinguem-se das anteriores por possuírem fase de arrefecimento. Estas curvas pretendem traduzir de modo mais apropriado os incêndios reais e têm em conta os principais parâmetros que influenciam a extensão e o desenvolvimento dos incêndios, ou seja, a dimensão do edifício, o factor de abertura do compartimento de incêndio e a densidade de carga de incêndio.

Neste trabalho utilizou-se, como se referiu, a curva de incêndio padrão ISO 834, cuja expressão analítica é dada por [11]:

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10} (8t + 1)$$

onde

θ_g é a temperatura dos gases no compartimento de incêndio em [°C];

t é o tempo em [min].

4. CASO ESTUDADO

No presente trabalho fez-se o estudo do comportamento ao fogo de uma asna metálica para um edifício do tipo comercial. Trata-se de um edifício com planta rectangular com asnas de cobertura com cerca de 49 metros de vão assentes em pilares de betão armado.

Os banzos da asna são constituídos pela associação de dois perfis UNP (□). O banzo inferior é constituído por dois perfis UNP140 e o superior tem dois troços, um com perfis UNP120 e outro com perfis UNP140, sendo as diagonais e montantes constituídos por perfis tubulares SHS 90x90x3.6 e SHS 90x90x6.3, conforme se ilustra na figura 3.

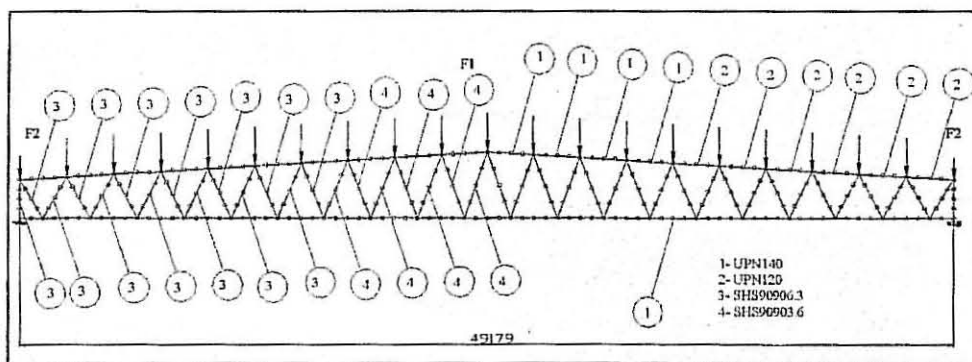


Fig.3- Perfis adoptados na constituição da asna.

As asnas estão espaçadas de 7.5 metros e o seu peso próprio é de 1 kN/m, sendo o peso dos revestimentos e das madres de 1.65 kN/m. A este carregamento uniformemente distribuído correspondem as forças nodais concentradas, $F_1 = 6.53kN$ e $F_2 = 3.265kN$ representadas na figura 3.

etálica e Mista 3
 1 secções da
 is finitos aos
 nal, todas as
 nes em cada
 is, permite a
 ;-esforço em
 em que a sua
 estabelecer o
 e arco, "arc-
 De facto em
 ementos não
 tante em que
 elo elemento
 ndo esta uma
 $E_{f_i,d,t}$, deve
 F da parte 2-
 (2)
 nantes em
 $A = 1$];
 nante;
 principal ou
 ões variáveis
 ão que se
 s materiais e
 os esforços
 digo 1 [11]
 vas nominais

O aço utilizado é o S275 e as suas propriedades térmicas e mecânicas estão definidas no Eurocódigo 3 [12,14].

Foram adoptados, como se disse, no cálculo da resistência ao fogo da asna, dois procedimentos distintos:

- *Método Avançado de Cálculo;*
- *Método simplificado de Cálculo.*

Em ambas as análises se procurou aumentar a resistência ao fogo da estrutura recorrendo à utilização de placas de gesso de 13 mm de espessura, dispostas em caixão nos dois banzos da asna.

4.1. Método Avançado de Cálculo

4.1.1. Acção térmica

O estudo compreendeu uma prévia análise térmica das secções utilizadas, sujeitas, como se disse, à curva de incêndio padrão ISO 834.

As secções foram discretizadas em elementos quadrangulares e triangulares lineares conforme se representa na figura 4.

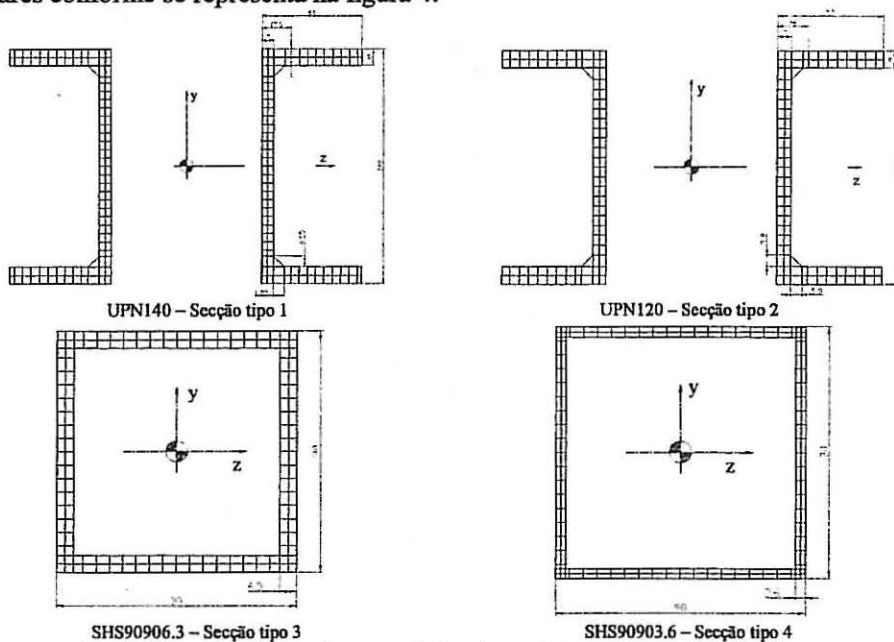


Fig. 4- Discretização por elementos finitos da secção recta dos perfis utilizados.

Após análises térmicas transientes, foi possível determinar a evolução da temperatura nos perfis quando solicitados externamente pela acção do fogo. Na figura 5 apresentam-se os campos de temperatura para alguns instantes de tempo. Foram utilizadas condições de simetria para simplificar o estudo.

No caso dos perfis tubulares, o interior foi considerado isolado. Na realidade deveria ter sido considerado como um vazio interno, no qual a temperatura tenderia a aumentar em função do fluxo de calor para o seu interior. No entanto, e tendo em consideração o baixo valor do calor específico do ar, esta modelação originaria uma

distribuição de
optou pelo pri



SHS90

SHS90

Com o
os perfis com 1
térmicas [11,1'

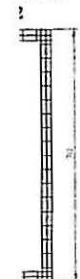
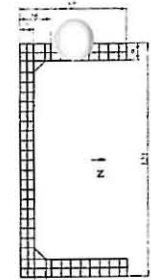
-
-
-
-
-
-

Na fig
secções com as

ecânicas estão
da asna, dois

o da estrutura
itas em caixão

ies utilizadas,
e triangulares



4
los.

evolução da
o. Na figura 5
empo. Foram

Na realidade
ura tenderia a
, e tendo em
riginaria uma

distribuição de temperaturas similar à situação correspondente a isolamento, pelo que se optou pelo primeiro modelo.



Fig. 5 – Evolução da temperatura nas secções dos perfis.

Com o objectivo de aumentar a resistência ao fogo da estrutura, protegeram-se os perfis com placas de gesso com 13 mm de espessura, com as seguintes características térmicas [11,17]:

- Condutividade térmica = 0.2 [W/mK]
- Calor específico 1700 = [J/kgK]
- Emissividade relativa = 0.5
- Densidade = 800 [kg/m³]
- Coeficiente de convecção nas superfícies aquecidas = 25 [W/m²K]
- Coeficiente de convecção nas superfícies não directamente aquecidas = 9 [W/m²K].

Na figura 6 estão representadas as discretizações em elementos finitos das secções com as placas de gesso dispostas em caixão.

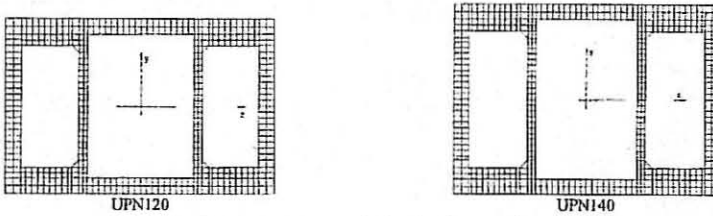


Fig. 6 - Proteção em caixão dos banzos da asna.

Os campos de temperatura obtidos com esta solução estão representados na figura 7. Nesta situação considerou-se que a região isolada constituía um vazio interno, o que está mais próximo da realidade.

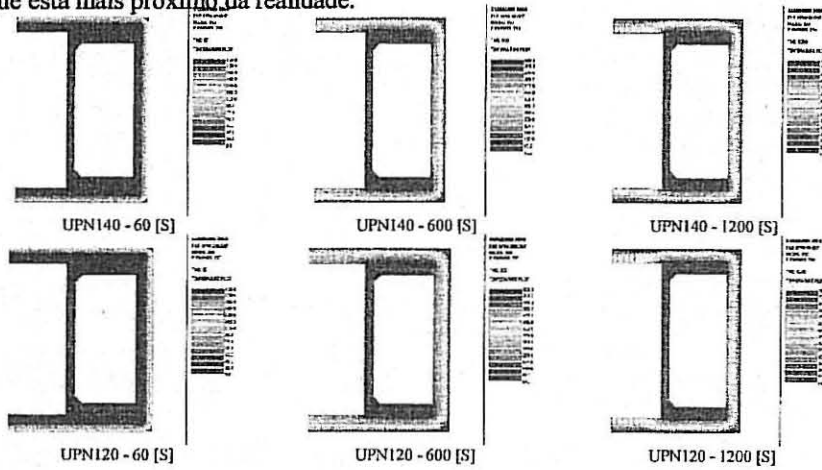


Fig. 7 - Campo de temperaturas com protecção em caixão.

4.2. Comportamento termomecânico

Na figura 8 está representada a discretização adoptada para a zona central das asnas, tendo sido utilizados elementos finitos de viga com 3 nós e 7 graus de liberdade.

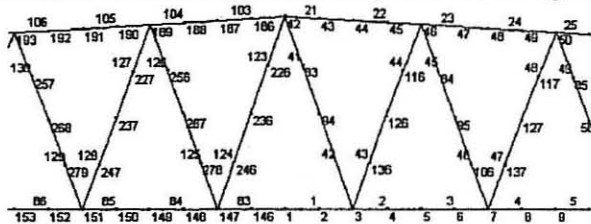


Fig. 8 - Discretização adoptada para a asna.

Após estar definido o efeito da acção térmica em cada perfil, o carregamento mecânico foi aplicado no início e mantido constante durante a evolução no tempo.

Os tempos de resistência ao fogo obtidos foram os seguintes:

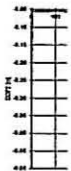
- Sem qualquer protecção $t_{cr} = 14.0$ minutos
- Com protecção em caixão dos banzos da asna com placas de gesso $t_{cr} = 23.6$ minutos

Na figura 9 e situações estu



Fig. 9- Deforma

O des encontra-se re



4.3. Método

O Mét [11,12].

4.3.1. Combi

A estru

em que $G_k =$

Na rea sendo os esfor os pelo factor

Na figura 9 é comparada a deformada da estrutura ampliada 10 vezes para as duas situações estudadas.

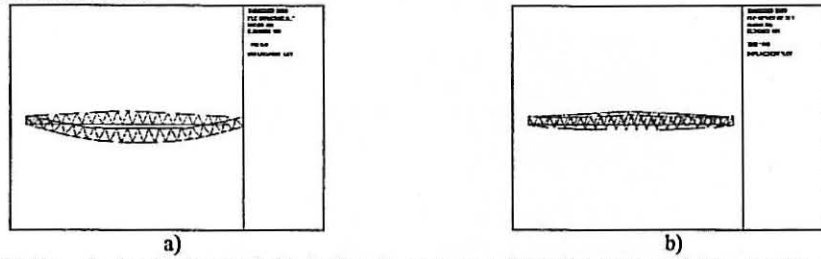


Fig. 9- Deformada da estrutura no instante de colapso para as duas situações estudadas. Ampliação 10X. a) Sem protecção térmica. b) Com protecção térmica

O deslocamento máximo é obtido a meio vão. A sua evolução no tempo encontra-se representada na figura 10 para as duas situações analisadas.

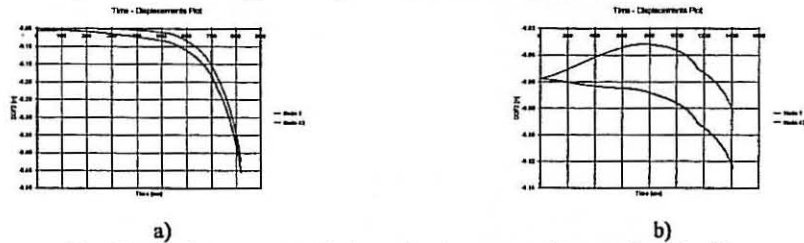


Fig.10 – Deslocamento vertical a meio vão para os nós centrais nº 1 e 42. a) Sem protecção térmica. b) com protecção térmica

4.3. Método Simplificado de Cálculo

O Método Simplificado de Cálculo adoptado baseou-se nos Eurocódigos 1 e 3 [11,12].

4.3.1. Combinação de acções

A estrutura foi calculada para as seguintes combinações de acções:

- Combinação fundamental em que a sobrecarga é a acção variável de base

$$\gamma_G G_k + \gamma_{Qk,1} Q_{k,1}$$

- Combinação acidental

$$\gamma_{GA} G_k + \psi_{1,1} Q_{k,1}$$

em que $G_k = 2.65 \text{ kN/m}$ é a carga permanente e $Q_{k,1} = 2.25 \text{ kN/m}$ é a sobrecarga e

$$\gamma_{GA} = 1.0, \quad \psi_{1,1} = 0.0, \quad \gamma_G = 1.35 \quad \text{e} \quad \gamma_{Q,1} = 1.5$$

Na realidade foi feito o cálculo da estrutura para a combinação fundamental, sendo os esforços relativos à combinação de acidente obtidos daqueles, multiplicando-os pelo factor de redução η_{fi} dado na parte 1-2 do Eurocódigo 3 por

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} G_k + \psi_{1,1} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} = \frac{1 \times 2.65 + 0.0 \times 2.25}{1.35 \times 2.65 + 1.5 \times 2.25} = 0.381$$

4.3.2. Verificação da Segurança

A título de exemplo vamos apresentar apenas a verificação da segurança dos perfis SHS90x90x6.3 sujeitos ao esforço axial de compressão, à temperatura ambiente, de $N_{sd} = 180 \text{ kN}$.

a) Resistência à encurvadura à temperatura ambiente

Cálculo da esbelteza mais desfavorável:

$$\lambda_z = \frac{L}{i_z} = \frac{245.868}{3.4} = 72.31 \text{ e } \lambda_y = \frac{0.9L}{i_y} = \frac{0.9 \times 245.868}{3.4} = 65.08$$

Usar-se-á $\lambda = 72.31$

Atendendo ao eurocódigo 3, parte 1-1, vem

$$\varepsilon = [235 / f_y]^{0.5}$$

$$\lambda_1 = 93.9\varepsilon = 86.8 \text{ e } \bar{\lambda} = (\lambda / \lambda_1) [\beta_A]^{0.5} = 0.833$$

$\beta_A = 1$, para secções transversais de Classe 1

$$\phi = 0.5 [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2] = 1.002$$

com $\alpha = 0.49$, correspondente à curva c

$$\chi = \frac{1}{\phi + [\phi^2 - \bar{\lambda}^2]^{0.5}} = 0.641$$

O valor de cálculo da resistência à encurvadura vem

$$N_{b,Rd} = \chi \beta_A A f_y / \gamma_{M1} = 332 \text{ kN}$$

valor que é superior ao esforço de compressão actuante

$$N_{b,Rd} = 332 \text{ kN} > N_{sd} = 180 \text{ kN}$$

b) Resistência à encurvadura em situação de incêndio

O valor de cálculo do esforço axial de compressão em situação de incêndio é

$$N_{fi,d} = \eta_{fi} N_{sd} = 0.381 \times 180 = 69 \text{ kN}$$

O valor de cálculo da resistência à encurvadura em situação de incêndio, no instante t , é dado por

$$N_{b,fi,t,Rd} = \frac{1}{2} \chi_{fi} A k_{y,\theta,\max} f_y / \gamma_{M,fi}$$

A esbelteza em situação de incêndio vale

$$\lambda = \frac{0.5L}{i_y} = 36.157, \lambda_1 = 86.8 \text{ e } \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = 0.417 \text{ e}$$

$$\bar{\lambda}_{20} = \bar{\lambda} \left[\frac{k_{y,\theta,\max}}{k_{E,\theta,\max}} \right]^{0.5} = 0.417$$

para $\theta = 20^\circ \text{C}$, $k_{y,\theta,\max} = k_{E,\theta,\max} = 1$

$$\text{Assim, } \phi = 0.5 [1 + \alpha(\bar{\lambda}_{20} - 0.2) + \bar{\lambda}_{20}^2] = 0.64$$

usando-se sempre $\alpha = 0.49$ em situação de incêndio

$$\text{e } \chi_{fi} = \frac{1}{\phi + [\phi^2 - \bar{\lambda}_{20}^2]^{0.5}} = 0.89$$

O valor de cálculo da resistência à encurvadura em situação de incêndio vale

$$N_{b,fi,0,Rd} = \frac{1}{1.2} \times 0.89 \times 2070 \times 1 \times 0.275 / 1.0 = 421 \text{ kN}$$

c) Te

O

μ

A

θ

vir

θ

O

A

V

pel

4.3.3. Resistência

Dos cálculos verificou-se que o tempo de proteção da estrutura é simplificado c

5. CONCLUSÃO

Em res

• Mé

• Mé

Estes constatar, são

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem de divulgar es

segurança dos
estrutura ambiente,

08

de incêndio é

le incêndio, no

incêndio vale

c) Temperatura crítica

O grau de utilização é dado por

$$\mu_0 = \frac{N_{f,d}}{N_{b,f,0,Rd}} = \frac{69}{421} = 0.164$$

A temperatura crítica é dada por

$$\theta_{a,cr} = 39.19 \ln \left[\frac{1}{0.9674 \mu_0^{3.833}} - 1 \right] + 482$$

vindoo

$$\theta_{a,cr} = 755^\circ C$$

O factor de massividade vale

$$\frac{A_m}{V} = 166.2 m^{-1}$$

peo que o tempo crítico para o perfil desprotegido é $t_{cr} = 26.5$ minutos

4.3.3. Resistência ao fogo da asna

Dos cálculos efectuados e que não foram aqui apresentados por razões de espaço, verificou-se que a protecção em caixão dos banzos da asna, aumenta significativamente o tempo de resistência ao fogo daqueles elementos. No entanto como não se pretendeu proteger as diagonais, é a resistência ao fogo destas que condiciona a resistência ao fogo da estrutura. Assim, a resistência ao fogo da asna obtida através da utilização do método simplificado de cálculo foi de:

- Sem qualquer protecção $t_{cr} = 14.0$ minutos
- Com protecção em caixão dos banzos da asna
com placas de gesso $t_{cr} = 26.5$ minutos

5. CONCLUSÕES

Em resumo os tempos de resistência ao fogo obtidos foram os seguintes:

- Método Avançado de Cálculo:
 - Sem qualquer protecção $t_{cr} = 14.0$ minutos
 - Com protecção em caixão dos banzos da asna
com placas de gesso $t_{cr} = 23.6$ minutos
- Método Simplificado de Cálculo:
 - Sem qualquer protecção $t_{cr} = 14.0$ minutos
 - Com protecção em caixão dos banzos da asna
com placas de gesso $t_{cr} = 26.5$ minutos

Estes foram os tempos de resistência ao fogo obtidos que, como se pode constatar, são muito semelhantes em ambos os métodos.

6. AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à MARTIFER – Construções Metalomecânicas s. a. a permissão de divulgar este estudo.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Cabrita Neves, I. – “Betão estrutural – Resistência ao Fogo e Eurocódigos”, Betão Estrutural, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pp. 305-318, 1994.
- [2] Regulamento de Segurança contra Incêndios em Edifícios de Habitação, Dec. Lei nº 64/90 de 21 de Fevereiro.
- [3] Normas de Segurança contra Risco de Incêndio a aplicar a Estabelecimentos Comerciais (incluindo Anexo sobre Medidas de Segurança contra riscos de Incêndio a aplicar em estabelecimentos Comerciais), Dec. Lei nº 368/99 de 18 de Setembro.
- [4] Medidas Cautelares Mínimas contra Riscos de Incêndio a Aplicar aos Locais e seus Acessos Integrados em Edifícios onde estejam Instalados Serviços Públicos e da Administração Central, Regional e Local, Instituições de Interesse Público e Entidades Tuteladas pelo Estado, Resolução do Conselho de Ministros, nº 31/89 de Agosto.
- [5] Regulamento de Segurança contra Risco de Incêndio em Centros Urbanos Antigos, – Dec. Lei nº 126/89 de 16 de Dezembro.
- [6] Regulamento de Empreendimentos Turísticos e Estabelecimentos de Restauração e Bebidas, Portaria nº1063/97 de 21 de Outubro..
- [7] Regulamento de Segurança Contra Incêndios em Edifícios do tipo Administrativo, Dec. Lei nº 410/98, 23 de Dezembro de 1998.
- [8] Regulamento de Segurança Contra Incêndios em Edifícios Escolares, Dec. Lei nº 414/98, 31 de Dezembro de 1998.
- [9] Regulamento de Segurança Contra Incêndios em Edifícios do tipo Hospitalar, Dec. Lei nº 409/98, de , 23 de Dezembro de 1998.
- [10] Regulamento de Segurança Contra Incêndios em Parques de Estacionamento Cobertos, Dec. Lei nº 66/95, 8 de Abril.
- [11] CEN, ENV 1991-2-2; “Eurocode 1 – Basis of design and actions on structures – Part 2-2: Actions on structures – Actions on structures exposed to fire”; February 1995.
- [12] CEN, ENV 1993-1-2; “Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design”; November 1993.
- [13] Franssen, J.-M.; “SAFIR - Numerical program for materially and geometrically non-linear analysis of structures exposed to fire”; Institut du Génie Civil; Service “Ponts et Charpents”; Univerité de Liège.
- [14] CEN, ENV 1993-1-1; “Eurocode 3 – Design of Steel Structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings”; December 1992.
- [15] Vila Real, P. M. M.; Franssen, J. M. – “Numerical Modelling of Lateral Buckling of Steel I Beams Under Fire Conditions – Comparison with Eurocode 3”, submetido para publicação em Journal of Constructional Steel Research, Elsevier Science Limited, Dezembro de 1998.
- [16] CEN, ENV 1991-1; “Eurocode 1 – Basis of design and actions on structures – Part 1: Basis of design”; october 1994.
- [17] ECCS – Technical Committee 3 – Fire Safety of Steel Structures, “Explanatory Document for ECCS N° 89, Euro-Nomogram, Fire Resistance of Steel Structures”, ECCS N° 92, 1996.