

PERFIS IPE AO FOGO: MÉTODO DA CAPACITÂNCIA GLOBAL VERSUS MODELO COMPUTACIONAL

IPE PROFILES SUBMITTED TO FIRE: LUMPED CAPACITANCE METHOD VERSUS COMPUTATIONAL MODEL

E. M. M. Fonseca¹, D. R. S. M. Ferreira¹, L. M. S. Barreira¹

¹ Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Instituto Politécnico de Bragança



RESUMO

Neste trabalho é descrito o processo de condução transiente em sólidos, ou método da capacitância global, considerando o estudo de perfis IPE submetidos ao fogo. Alguns corpos sólidos apresentam um comportamento térmico quase uniforme durante todo o processo de transferência de calor. A temperatura nestes corpos pode ser considerada apenas função do tempo, pelo que o método da capacitância global (lumped capacitance method) permite uma ótima simplificação, sendo geralmente aceite e aplicável para $Bi \leq 1$. Por conseguinte, a análise do comportamento de corpos com alta condutividade térmica recorrendo a este método é adequada. Foram ainda considerados os mesmos modelos de perfis, através de uma análise térmica bidimensional em regime não estacionário, considerando um programa de elementos finitos. O método da capacitância global permite validar os resultados obtidos na simulação numérica. Os resultados são apresentados para discussão e análise.

ABSTRACT

This paper describes the heat transient process in solids, or lumped capacitance method, considering the study of IPE profiles submitted to fire. Some solids have a thermal behaviour almost uniform during the heat transfer process. The temperature in these bodies may be considered a function of time, and the lumped capacitance method allows a great simplification and is generally accepted and available to $Bi \leq 1$. Therefore, the behaviour analysis of bodies with high thermal conductivity using this method is adequate. The same profiles were used through a two dimensional analysis in unsteady state using a finite element program. The lumped capacitance method permits to validate the obtained results in numerical simulation. The results are presented for discussion and analysis.

1, INTRODUÇÃO

A condução transiente é um processo de transferência de calor por condução em regime não-estacionário, dependente do tempo. Como objetivo principal é importante determinar a dependência da distribuição de temperaturas no interior de um sólido, em relação ao tempo durante um processo transiente; e determinar a transferência de calor entre o sólido e o meio envolvente.

Alguns corpos têm um comportamento térmico quase uniforme durante todo o processo de transferência de calor, em qualquer instante durante o processo transiente, de tal modo que a temperatura é exclusivamente função do tempo. Análises de transferência de calor que utilizem esta idealização podem ser efetuadas através do método da capacitância global (Baglio et al 2002; Incropera e De Witt 2007; Fonseca 2013).

No presente estudo foram utilizados diferentes perfis (IPE 100, IPE 200, IPE 300, IPE 400, IPE 500, IPE 600), submetidos ao fogo nas quatro faces, para a verificação do campo de temperaturas em regime transiente, recorrendo à aplicação do método da capacitância global e ao método de elementos finitos.

2. CURVA DO FOGO E MATERIAIS

A gama de perfis IPE vai estar submetida a condições de incêndio durante 1800s. As condições impostas serão radiação e convecção com a evolução da temperatura ambiente em função da ação do fogo (Fonseca et al 2013). A curva de incêndio considerada na análise é a curva padrão ISO834, EN 1991-1-2, 2002, representada conforme a expressão:

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

onde θ representa a temperatura do compartimento em °C e t o tempo em min.

O material dos perfis é aço e as suas propriedades térmicas são caracterizadas através da norma EN 1993-1-2:1995. A condutividade térmica e o calor específico dependem da evolução da temperatura, sendo a massa volúmica constante. O valor destas propriedades são consideradas na análise dos modelos.

3. CONDUÇÃO TRANSIENTE

3.1 Método da capacitância global

Para aplicação do método da capacitância global, os gradientes de temperatura dentro de um sólido são consideradas insignificantes (Baglio et al 2002; Incropera e De Witt 2007; Fonseca 2013). O cálculo do número de Biot (B_i) permite identificar se essa condição é verificada. O número de Biot é um coeficiente adimensional de transferência de calor e é definido como a razão entre a resistência térmica de convecção e a resistência térmica de condução conforme a equação:

$$B_i = \frac{L_c h_c}{\lambda} \quad (2)$$

onde L_c é o comprimento característico do sólido, definido pelo quociente entre o volume e a área da superfície do sólido; λ é a condutividade térmica do sólido e h_c é o coeficiente de transferência de calor por convecção do ar.

É geralmente aceite que a análise do método da capacitância seja aplicável se $B_i \leq 1$ (Holman 2010). Quando este critério é satisfeito, as temperaturas no interior do corpo, em relação à envolvente, permanecem com diferenças pouco significativas. Por conseguinte, os corpos com alta condutividade térmica são bons candidatos à utilização deste método, especialmente quando estão num meio mau condutor de calor. O cálculo do Biot foi efetuado à gama de perfis IPE em estudo e encontra-se representado na Fig. 1.

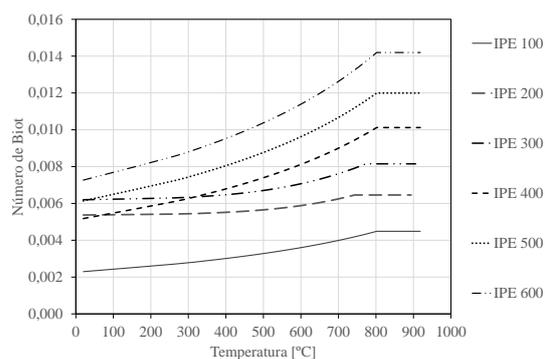


Fig. 1- Número de Biot para os perfis IPE.

Para o caso da temperatura no corpo sólido ser considerada uniforme, isto é $\theta_{(x,t)} \cong \theta_{(t)}$, a solução da Eq. (3) permite obter a temperatura em função do tempo:

$$\theta_{(t)} = (\theta_i - \theta_\infty) e^{(-Bi \cdot Fo)} + \theta_\infty \quad (3)$$

onde $\theta_{(t)} - \theta_\infty$ é a diferença de temperatura entre o sólido e a temperatura do meio ambiente, para um determinado instante de tempo t ; $\theta_i - \theta_\infty$ é a diferença de temperatura para $t = 0$ e Fo é o número de Fourier.

O número de Fourier é uma medida do calor conduzido através de um corpo em relação ao calor armazenado. Assim, um valor do número de Fourier elevado indica uma propagação mais rápida de calor através

de um corpo. O número de Fourier é calculado através da seguinte expressão:

$$Fo = \frac{\lambda t}{\rho C L_c^2} \quad (4)$$

Esta equação é função do coeficiente de condutividade térmica λ , da massa volúmica ρ , do calor específico C e do comprimento característico L_c .

Com base neste método analítico e a aplicação da Eq. (3) à gama de perfis IPE submetidos à ação do fogo, obtém-se o campo de temperaturas em regime transiente, conforme a Fig. 2.

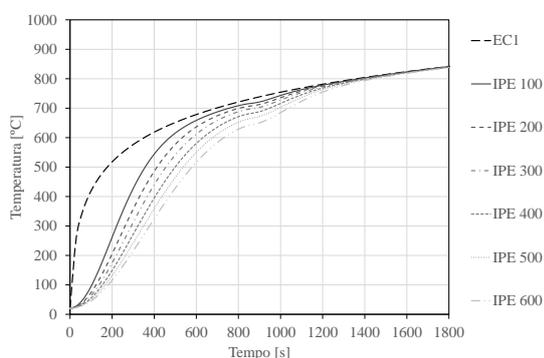


Fig. 2- Evolução da temperatura para os perfis IPE.

3.2 Modelo computacional

Para a análise térmica dos elementos estruturais em estudo foi utilizado o método dos elementos finitos, através do programa Ansys. O elemento escolhido é plano e com 8 nós (Plane 77), com um grau de liberdade relativo à temperatura. A Fig. 3 apresenta a malha de elementos finitos do IPE 100.

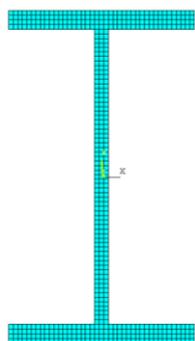


Fig. 3- Malha de elementos finitos no IPE 100.

A Fig. 4 representa um dos perfis com a identificação de três posições nodais (Nó 1, 2 e 3) para o registo das temperaturas.

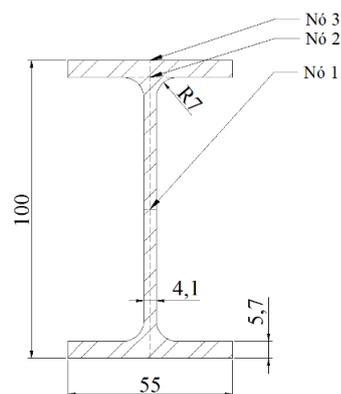


Fig. 4- Localização das posições nodais, IPE 100.

Os modelos foram submetidos a uma análise térmica em regime transiente durante 1800s. Todas as faces do perfil são submetidas à ação do fogo, de acordo com a curva normalizada ISO 834, tendo sido consideradas condições de fronteira de convecção e de radiação. Foi utilizado um coeficiente de convecção igual a 25W/m²K nas superfícies expostas ao fogo e um fator de emissividade igual a 1. No instante inicial o modelo foi considerado à temperatura ambiente de 20°C.

Os resultados obtidos para o perfil IPE 100 e IPE 600 estão representados na Fig. 5. Os perfis apresentam uma temperatura quase uniforme para cada instante de tempo. No entanto, e para as gamas de perfis mais elevadas a temperatura ao longo da secção apresenta um comportamento variável.

Foi ainda efetuada uma comparação dos resultados numéricos para as três posições distintas indicadas na Fig.4.

A comparação para cada posição nodal entre toda a gama de perfis encontra-se nas Fig. 6 a 8.

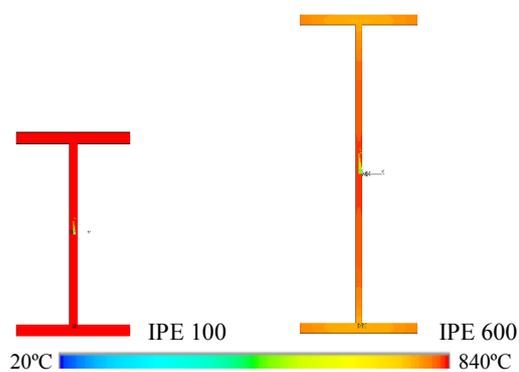


Fig. 5- Temperaturas para o instante 1800s.

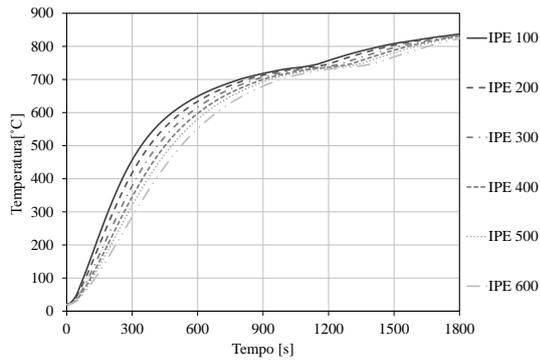


Fig. 6- Evolução da temperatura (Nó 1).

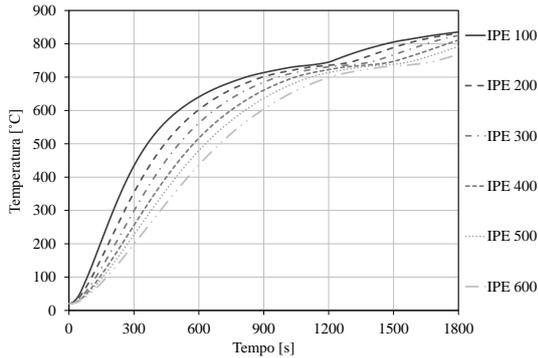


Fig. 7- Evolução da temperatura (Nó 2).

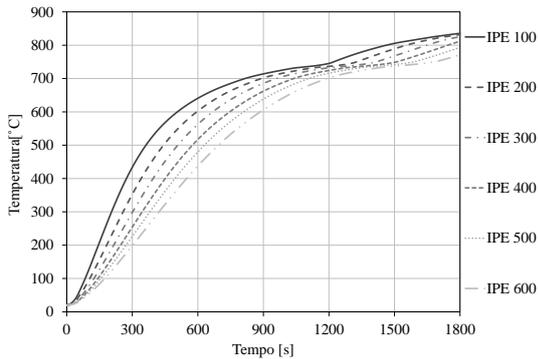


Fig. 8- Evolução da temperatura (Nó 3).

O nó 1 apresenta uma distribuição de temperatura mais próxima entre todos os modelos. Os nós 2 e 3 têm comportamento semelhante, sendo as temperaturas mais variáveis nos diferentes perfis.

4. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

4.1 Capacitância global versus modelo computacional

Nas Fig. 9 a 14 encontram-se os resultados dos dois métodos. Os valores numéricos são obtidos no nó 1 de cada perfil.

Em toda a gama de perfis há um comporta-

mento idêntico nos resultados. Para a gama de perfis mais elevada, a temperatura obtida com o modelo computacional diverge em relação à do método analítico.

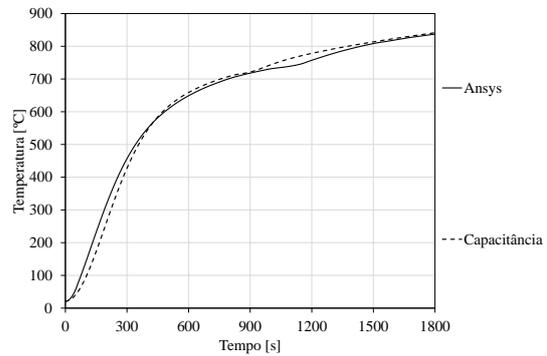


Fig. 9- IPE 100.

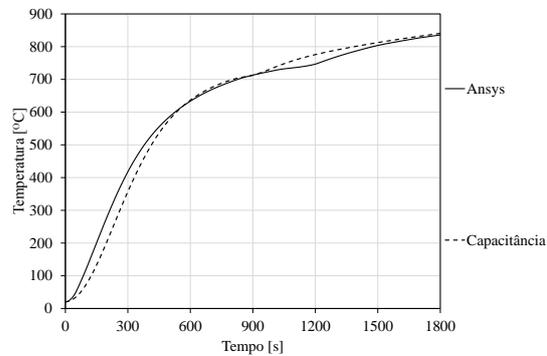


Fig. 10- IPE 200.

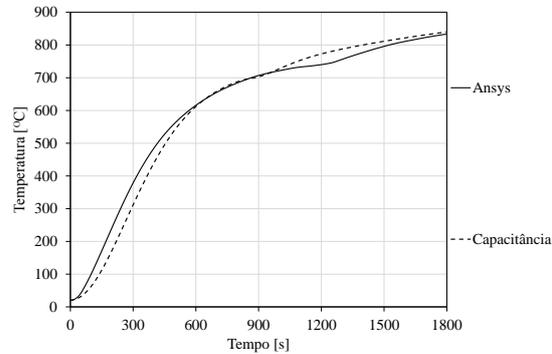


Fig. 11- IPE 300.

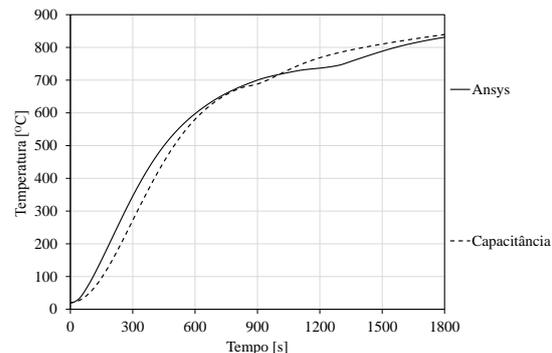


Fig. 12- IPE 400.

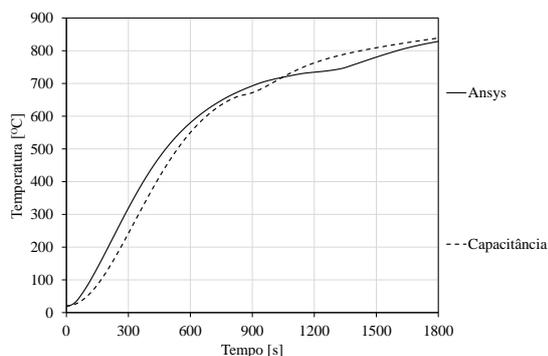


Fig. 13- IPE 500.

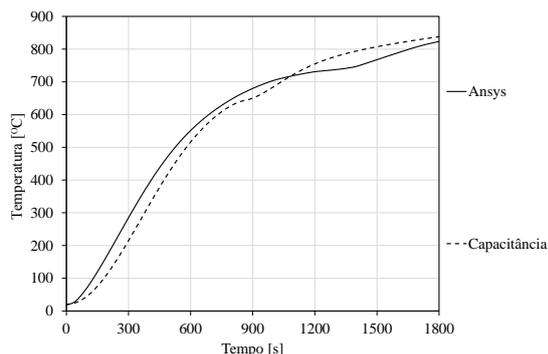


Fig. 14- IPE 600.

5. CONCLUSÕES

Foram apresentados dois métodos para a comparação de resultados do campo de temperaturas em perfis IPE quando submetidos ao fogo.

Os resultados obtidos com o método da capacitância global foram comparados com os resultados numéricos, tendo sido verificada uma boa concordância.

A utilização de seis gamas de perfis diferentes evidenciou que quanto maior o tamanho do perfil, menor a temperatura desenvolvida no início da exposição ao fogo, bem como a existência de um gradiente de temperaturas mais significativo ao longo da secção.

6. REFERÊNCIAS

- Barbosa, L.F.M., Almeida, P.M.L., Fonseca, E.M.M., Barreira, L.M.S., Coelho, D.C.S. 2012. Hybrid wood/steel elements under fire, International Congress Fire Computer Modeling, Universidad de Cantabria, Santander, p.407-420.
- Baglio, S., Castorina, S., Fortuna, L., Savalli, N. 2002. Modeling and design of novel photo-thermo-mechanical microactuators, Sensors and Actuators, A101, p.185-193.
- EN 1991-1-2:2002. Actions on Structures, Part 1-2: General actions - Actions on Structures Exposed to Fire. Brussels: CEN.
- EN 1993-1-2:1995. Eurocode 3: Design of Structures - Part 1-2: General Rules - Structural Fire Design, CEN.
- Fonseca, E.M.M. 2013. Thermal Analysis of Hollow Tubular Sections under High Temperatures, Frontiers of Engineering Mechanics Research, 2 (1), p.9-14.
- Fonseca, E.M.M, Ramos, H.M.E., Silva, H.J.G., Ferreira, D.R.S.M. 2013. Thermal Analysis of Wood-Steel Hybrid Construction; 4th International Conference on Integrity, Reliability & Failure IRF2013, S. Gomes et al (Eds.), Funchal, Edições INEGI.
- Incropera, F.P., De Witt, D.P. 2007. Fundamentals of heat and mass transfer, 6th edition, Wiley, New York.
- ISO 834-1. 1999. Fire-resistance tests - Elements of building construction – Part 1: general requirements.
- Holman, J.P. 2010. Heat Transfer, 10th edition, McGraw-Hill Companies.