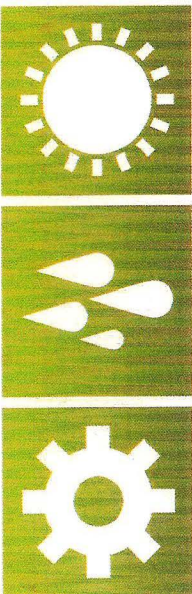


**II** conferência nacional de métodos numéricos  
em mecânica de fluidos e termodinâmica '08



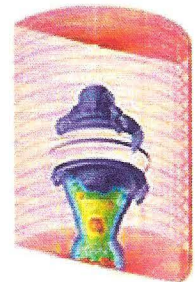
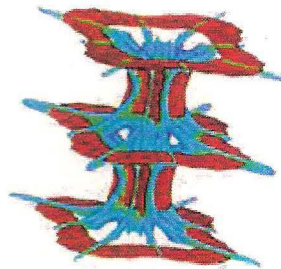
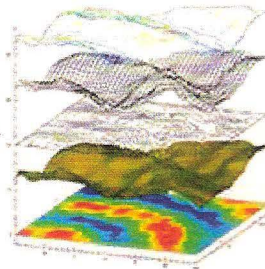
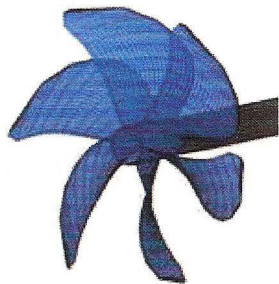
universidade de aveiro  
theoria. praxis. praxis

Universidade de Aveiro  
08 e 09 de Maio de 2008

# LIVRO DE RESUMOS

V. A. F. Costa

Maio de 2008



universidade de aveiro  
theoria. praxis. praxis

APMTAC

FCT  
Fundação para a Ciência e a Tecnologia

MRA  
INSTRUMENTAÇÃO



Caixa Geral  
de Depósitos



BPI



Universidade de Aveiro  
08 e 09 de Maio de 2008

## LIVRO DE RESUMOS

V. A. F. Costa

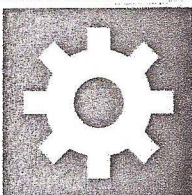
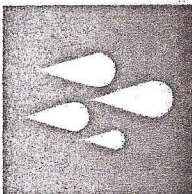
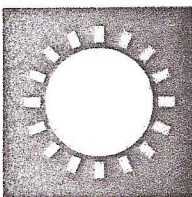
Maio de 2008

### COMISSÃO CIENTÍFICA

Professor Paulo Piloto, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança  
Professor Fernando Tavares de Pinho, Universidade do Minho, Guimarães  
Professor Eduardo O. Fernandes, Universidade do Porto, Porto  
Professor Armando Oliveira, Universidade do Porto, Porto  
Professor António C. Sousa, Universidade de Aveiro, Aveiro  
Professor Vítor Costa, Universidade de Aveiro, Aveiro  
Professor Paulo Vila Real, Universidade de Aveiro, Aveiro  
Professor Luis Adriano Oliveira, Universidade de Coimbra, Coimbra  
Professor José Costa, Universidade de Coimbra, Coimbra  
Professor António Raimundo, Universidade de Coimbra, Coimbra  
Professor Paulo Oliveira, Universidade da Beira Interior, Covilhã  
Professor José C. Pereira, Instituto Superior Técnico, Lisboa  
Professor José J. Delgado Domingos, Instituto Superior Técnico, Lisboa  
Professor Pedro Coelho, Instituto Superior Técnico, Lisboa  
Professor José Dias, Universidade Nova, Lisboa  
Professor José Conde, Universidade Nova, Lisboa  
Professor A. Heitor Reis, Universidade de Évora, Évora  
Professor A. F. Miguel, Universidade de Évora, Évora  
Professor Celestino R. Ruivo, Universidade do Algarve, Faro

### COMISSÃO ORGANIZADORA

Professor Vítor Costa, Universidade de Aveiro  
Professor Fernando Neto da Silva, Universidade de Aveiro  
Professor Nelson Martins, Universidade de Aveiro  
Professora Mónica Oliveira, Universidade de Aveiro  
Professor Professor Luís Pais, Instituto Politécnico de Bragança  
Dra. Ana Negrals, Universidade de Aveiro (Secretariado)



## Cálculo da espessura carbonizada em estruturas de madeira quando submetidas à acção do fogo

Luísa Barreira<sup>1</sup> e Elza Fonseca<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão,  
Apartado 1134, 5301-857 Bragança, Portugal  
email: [lbarreira@ipb.pt](mailto:lbarreira@ipb.pt) ; [efonseca@ipb.pt](mailto:efonseca@ipb.pt) <http://www.ipb.pt>

---

### Sumário

*A utilização da madeira em construção levanta algumas questões nomeadamente no cumprimento dos aspectos normativos contra riscos de incêndio. No entanto, quando comparada com outros materiais de construção, a madeira apresenta uma boa resistência ao fogo. Com o presente trabalho, pretende-se determinar a espessura da camada carbonizada em função do tempo em elementos estruturais, para diferentes cenários de exposição ao fogo, segundo a curva ISO834, utilizando-se uma ferramenta de elementos finitos.*

---

*Palavras chave: Madeira, carbonização, fogo, elementos finitos.*

### 1 Apresentação do trabalho

A combustão da madeira é lenta e regular e o seu comportamento é previsível, apresentando por isso um comportamento diferente e que lhe é favorável. Tal como os combustíveis sólidos, a madeira, em condições normais, não arde directamente, primeiro decompõe-se em gases que, expostos ao calor se convertem em chamas que aquecem a madeira ainda não atingida, libertando mais gases inflamáveis, alimentando assim a combustão. Quando a secção recta do componente em madeira é robusta, e exposta ao fogo, forma-se uma camada superficial de carvão, que actua como uma espécie de isolante, impedindo a rápida saída dos gases inflamáveis e a propagação de calor para o interior da secção. Uma vez que o aquecimento e a degradação do material se realizam a uma velocidade menor, a sua capacidade resistente torna-se favorável em relação a outros materiais. Isto deve-se em parte, à conservação das suas propriedades físicas, mesmo após, ter sido exposta a elevadas temperaturas, mantendo-se o interior da secção a baixas temperaturas. A temperatura na camada da madeira carbonizada que está em contacto com o núcleo da secção é de aproximadamente 300[°C], conforme o EC5, Eurocódigo 5 [1]. As propriedades térmicas da madeira relacionam-se com o teor de humidade, a orientação do grão, a composição química e a permeabilidade, sendo função da temperatura. Com base nestes conhecimentos, é possível avaliar a segurança de estruturas afectadas por um incêndio e prever com precisão, o tempo de resistência dos elementos estruturais antes do colapso da estrutura.

No presente trabalho são estudadas duas espécies de madeira diferentes (pinheiro e cedro vermelho), sob acção de diferentes cenários de incêndio. Para cada uma das situações será calculada a espessura da camada carbonizada com base nos resultados obtidos numericamente através da utilização do programa Ansys, de elementos finitos para análise não linear térmica em regime transiente. Os valores obtidos serão comparados com a equação de projecto do EC5 e modelos empíricos propostos por [2]. As propriedades térmicas do material têm um comportamento não linear, tendo sido consideradas as características físicas do pinheiro e do cedro vermelho, conforme referenciado por [2].

A tabela 1 resume os valores determinados para a velocidade de carbonização nas espécies em estudo, para a exposição ao fogo, numa secção quadrangular. No caso do pinheiro, há uma concordância no valor obtido com o proposto pelo EC5. O cedro vermelho apresenta uma velocidade de carbonização ligeiramente superior à proposta pelo EC5 bem como no modelo linear proposto por [2]. O gráfico da figura 1 representa a evolução linear da camada carbonizada no tempo, para as duas espécies em estudo. O cedro vermelho apresenta para o mesmo tempo de exposição ao fogo, uma maior profundidade de camada carbonizada. As diferentes propriedades físicas da madeira utilizada, permitem concluir a sua influência no cálculo da velocidade de carbonização.

Tabela 1. Comparação da velocidade de carbonização no perfil quadrangular.

Espécie	Ansys [mm/min]	EC5 [1] [mm/min]	White et al [2] [mm/min]
Pinheiro	0.67	0.65 - 0.8	0.81
Cedro vermelho	0.89	0.65 - 0.8	0.82

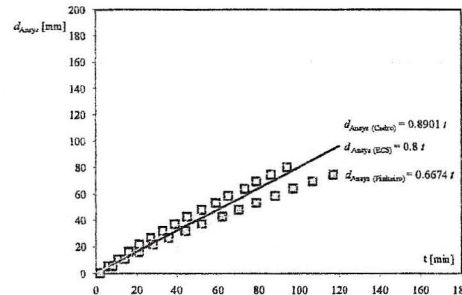

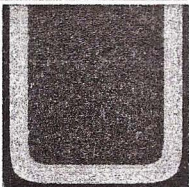

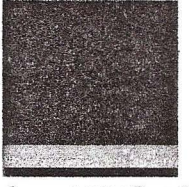
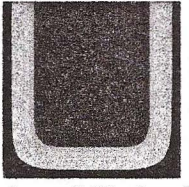
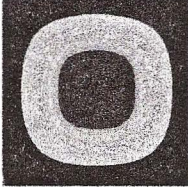


Fig.1. Espessura carbonizada na secção.

A tabela 2 apresenta o perfil de temperaturas obtido para a secção quadrangular em estudo, considerando os vários cenários de incêndio.

Tabela 2. Camada carbonizada no perfil 400x400[mm<sup>2</sup>] para t=60[min].

	Fogo num lado	Fogo em três lados	Fogo em quatro lados
Pinheiro	 $d_{Ansys} = 0.67 t$ [mm] $T_{int} = 20$ [°C] $T_{ext} = 928$ [°C]	 $d_{Ansys} = 0.67 t$ [mm] $T_{int} = 20$ [°C] $T_{ext} = 938$ [°C]	 $d_{Ansys} = 0.67 t$ [mm] $T_{int} = 20$ [°C] $T_{ext} = 938$ [°C]
Cedro vermelho	 $d_{Ansys} = 0.89 t$ [mm] $T_{int} = 20$ [°C] $T_{ext} = 930$ [°C]	 $d_{Ansys} = 0.89 t$ [mm] $T_{int} = 20$ [°C] $T_{ext} = 939$ [°C]	 $d_{Ansys} = 0.89 t$ [mm] $T_{int} = 23$ [°C] $T_{ext} = 1043$ [°C]

Como se verifica, no caso do incêndio se efectuar numa das faces do elemento estrutural, a condução de calor dá-se numa só direcção considerando-se por isso uma variação linear. Quando a exposição ao fogo actua em mais que uma face da secção, a variação da camada carbonizada não é linear. Para este tipo de cenário verifica-se o arredondamento previsto nos cantos das diferentes secções estudadas.

## 2 Conclusões

O modelo numérico revelou-se de grande importância na determinação da camada carbonizada, não só na situação de diferentes cenários de fogo, como na utilização de diferentes materiais. Para além do cálculo do perfil de temperaturas em regime transiente, foi possível registar e calcular a velocidade de crescimento da camada de carbonização que ocorre na situação de exposição ao fogo em materiais de madeira. Verificou-se que o comportamento da madeira durante a combustão é afectado pela massa específica do material, ou seja, a baixa massa específica facilita a ignição. Para as espécies em estudo, o pinheiro apresenta uma maior resistência no desenvolvimento da camada carbonizada quando em comparação com o cedro vermelho. Por isso, a resistência térmica do pinheiro é mais elevada quando comparada com a do cedro. Por outro lado, em relação ao tamanho das secções, as maiores dimensões promovem uma superfície carbonizada considerada isolante no elemento estrutural em estudo.

## Referências

- [EN 1995-1-2] prEN 1995-1-2. Eurocode 5: *Design of timber structures*, Part 1-2: General-Structural fire design, CEN, Brussels, 2003.
- R.H. White and M.A. Dietsberger, *Fire Safety*, Chapter 17, Wood Handbook: Wood as an Engineering Material, Forest Products Laboratory, USDA Forest Service, 1999.