



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



albrasci

associação luso-brasileira  
para a segurança contra incêndio

# ***3as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos***

**Universidade de Coimbra**

**28 de maio de 2013**

**Atas das Comunicações das 3as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos**

**João Paulo Correia Rodrigues, Vitor Carlos Trindade Abrantes & José Pedro Godinho Oliveira Lopes (editores)**

**Primeira edição  
maio, 2013**

**Copyright © 2013 João Paulo C. Rodrigues**

Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida sem autorização escrita dos editores.

**ISBN: 978-989-98435-0-9**

**Editado por:**

Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Rua Luís Reis Santos, 3030-786 Coimbra. Portugal.

# PREFÁCIO

A segurança contra incêndio de edifícios (scie) tem se consolidado como área de formação e investigação em Portugal ao longo dos últimos anos. A importância desta área é indiscutível, pois está em jogo não só a vida das pessoas mas também interesses diversos como, por exemplo, bens patrimoniais, valores históricos e arquitetónicos com forte simbolismo e, ainda, a continuidade de serviços estratégicos para a sociedade em geral.

Apesar dos cursos de formação vários que se têm realizado e do aparecimento de formação pós-graduada, de onde se destaca o mestrado em segurança aos incêndios urbanos e doutoramento em engenharia de segurança ao incêndio da universidade de Coimbra, trata-se dum área que ainda não tem uma consolidação efetiva no nosso país, quer ao nível do ensino quer do projeto e da construção, apesar da profusão de regulamentação existente e dos vários projetos de investigação que têm sido realizados. No que diz respeito à regulamentação, esta é hoje bastante evoluída, estando ao nível das melhores do mundo, todavia a sua aplicação não se está a fazer neste momento na sua plenitude, como por exemplo ao nível da efetiva implementação das medidas de auto-proteção. A aprovação dos DL 220 / 2008 “regime jurídico da segurança contra incêndios em edifícios” e da Portaria 1532 / 2008 “regulamento técnico de segurança contra incêndios em edifícios” e demais legislação conexas, constitui um marco histórico na área em Portugal, mas ainda existe um grande caminho a percorrer para que os benefícios desta regulamentação se traduzam em avanços na forma de projeto e construir em segurança ao incêndio.

As Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos começaram em 2006, aquando da realização do primeiro Mestrado em Segurança Contra Incêndios Urbanos na Universidade de Coimbra. Após um interregno de cinco anos surgiram as 2as Jornadas em 2011 e agora as 3as Jornadas. Estas Jornadas pretendem ser um evento nacional, onde em cada dois anos, se discute o que tem sido feito de mais significativo na área em Portugal. Pretende-se que as mesmas constituam um fórum de debate alargado para técnicos, licenciadores, bombeiros e demais interessados na área.

As Jornadas nesta edição são dedicadas à prevenção e combate a incêndio, temática muito importante na área da scie. Não interessa ter edifícios muito bem projetados em sci e dotados dos sistemas muito evoluídos de deteção e extinção de incêndios, se não existir uma cultura evoluída e conhecimento sólido na parte da prevenção e combate a incêndio.

Para finalizar queríamos desejar-vos as boas vindas a estas Jornadas e esperamos que este evento seja do seu maior interesse.

**João Paulo Rodrigues, Vítor Abrantes & José Pedro Lopes**

# Comissões

## Comissão Organizadora

João Paulo C. Rodrigues (UC - ALBRASCI) - **Coordenador**

José Pedro Lopes (ANPC) - **Cocoordenador**

Henrique Vicêncio (ANPC)

Helder Craveiro (UC)

Paulo Prata Ramos (OA - ALBRASCI)

Vitor Martins Primo (UL)

Jorge António Bernardo (OE)

José Manuel Sousa (OET)

## Comissão Científica

Vítor Carlos Trindade Abrantes (FEUP) - **Coordenador**

Alberto Sérgio Sá Rodrigues (UMinho)

António José Moura Correia (IPC)

António Rui A. Figueiredo (UC)

Carlos Ferreira de Castro (Action Modulers Lda)

Cristina Calmeiro dos Santos (IPCB)

Domingos Xavier Viegas (UC)

Elza Maria Morais Fonseca (IPB)

João Carlos Viegas (LNEC)

João Lopes Porto (FEUP)

João Paulo Correia Rodrigues (UC)

José Carlos Miranda Góis (UC)

Nuno Filipe F. S. Borges Lopes (UA)

Pedro Vieira Carvalheira (UC)

## **AVALIAÇÃO NUMÉRICA DA AÇÃO DO FOGO EM COBERTURAS DE MADEIRA COM CAVIDADES E PERFURAÇÕES**

**Elza M. M. Fonseca\***

Professor  
IDMEC, IPB –  
Instituto Politécnico  
de Bragança,  
Portugal

**Luisa M. S. Barreira**

Professor/Técnico  
LERM, IPB –  
Instituto Politécnico  
de Bragança,  
Portugal

**Jorge M. Meireles**

Técnico  
LTM, IPB – Instituto  
Politécnico de  
Bragança, Portugal

**Paulo A. G. Piloto**

Professor  
IDMEC, IPB –  
Instituto Politécnico  
de Bragança,  
Portugal

### **SUMÁRIO**

A madeira quando exposta à ação do fogo forma uma camada de carbonização sem resistência efetiva, fazendo com que a secção resistente seja reduzida. Por outro lado, a camada de carbonização formada permite isolar o interior da seção do elemento, desempenhando um papel importante de proteção e na resistência ao fogo. O objetivo deste trabalho é apresentar um modelo numérico térmico para a análise de coberturas em madeira, com cavidades e diferentes tipos de perfurações, com vista à segurança em situação de incêndio, neste tipo de estruturas.

**Palavras-chave:** Madeira, Incêndio, Cavidade, Perfuração.

### **1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO**

A avaliação e a determinação da resistência ao fogo de elementos de madeira tem sido objeto de estudo por diferentes investigadores, [1, 2, 3, 4].

A madeira como recurso renovável tem atraído a atenção do público em geral por ser o material de construção mais amigo do ambiente, como material renovável, promovendo uma construção sustentável, com atributos atrativos, arquitetónicos e estruturais. A madeira é um produto nobre e natural, com comprovada resistência mesmo em ambientes agressivos. Apresenta ainda uma boa durabilidade quando associada ao cumprimento de boas práticas

---

\* Autor correspondente — IDMEC, Departamento de Mecânica Aplicada da Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Instituto Politécnico de Bragança. Campus de Santa Apolónia, Apart. 1134. 5301-857 Bragança. PORTUGAL. Telef.: +351 273 303155 Fax: +351 273 313 051. e-mail: efonseca@ipb.pt

construtivas, e resistência a vários fatores, nomeadamente à água salgada, oxidação e outros agentes corrosivos, [5]. A madeira utilizada com consciência ambiental possibilita a construção de estruturas práticas, duráveis e agradáveis.

Como desvantagens na utilização da madeira na construção indicam-se as seguintes: a elevada variabilidade por ser um material heterogéneo e anisotrópico, sensível ao ambiente e às variações de humidade; a elevada vulnerabilidade a agentes externos e o facto de ser um material combustível. Estas desvantagens, e para uma determinada época, fizeram com que este material fosse ultrapassado pelo aço e pelo betão. No entanto, a madeira adquiriu novamente reconhecimento como um material na construção, uma vez que os processos de aperfeiçoamento foram desenvolvidos e permitiram ultrapassar as desvantagens do seu uso, nomeadamente os processos de secagem artificial controlada, os processos de transformação de laminados e os tratamentos de preservação.

Atendendo às características da madeira, na tabela 1 apresenta-se uma comparação com outros materiais utilizados na construção, o aço e o betão, por exemplo. As características assinaladas permitem evidenciar o efeito positivo de cada um desses materiais.

Tabela 4 – Comparação das características da madeira versus aço e betão.

<b>Características</b>	<b>Madeira</b>	<b>Aço</b>	<b>Betão</b>
Natural (+)	+		
Renovável (+)	+		
Não toxidade (+)	+	+	+
Isolante térmico (+)	+		
Isolante acústico (+)	+		
Durável (+)	+	+	+
Resistência mecânica compressão (+)	+	+	+
Resistência mecânica tração (+)	+	+	
Baixa massa volúmica (+)	+		
Menor custo (+)	+		
Não oxidável (+)	+		+
Facilidade na montagem (+)	+	+	
Reciclável (+)	+	+	
Menor manutenção (+)			+
Não variabilidade (+)		+	+
Não vulnerabilidade (+)		+	+
Não combustível (+)		+	+

Nesta tabela 1 verifica-se a predominância dos fatores positivos na utilização da madeira como material construtivo, em relação ao aço ou ao betão.

Um dos principais efeitos negativos da madeira é o fato de ser combustível. A madeira quando exposta a ações acidentais, como é o caso da presença de incêndios, apresenta uma camada envolvente carbonizada. Sendo um fato que a madeira arde, no entanto, a camada carbonizada pode retardar o processo de propagação da temperatura para o seu interior,

funcionando como um isolante. O núcleo da madeira pode permanecer a baixas temperaturas, mantendo as suas propriedades inalteradas, em função do tempo de exposição ao fogo e das dimensões do elemento. Este fenómeno desempenha por isso, um papel importante de proteção e segurança para na resistência ao fogo da estrutura.

Para a análise da resistência e da segurança ao fogo de elementos de madeira, é apresentado neste trabalho um modelo numérico térmico para a avaliação de coberturas em madeira, com cavidades e diferentes perfurações. É ainda considerado o efeito do isolamento através de painéis de fibra de madeira colocados no interior das cavidades do modelo.

A figura 1 representa algumas aplicações deste tipo de coberturas utilizadas na construção de edifícios.

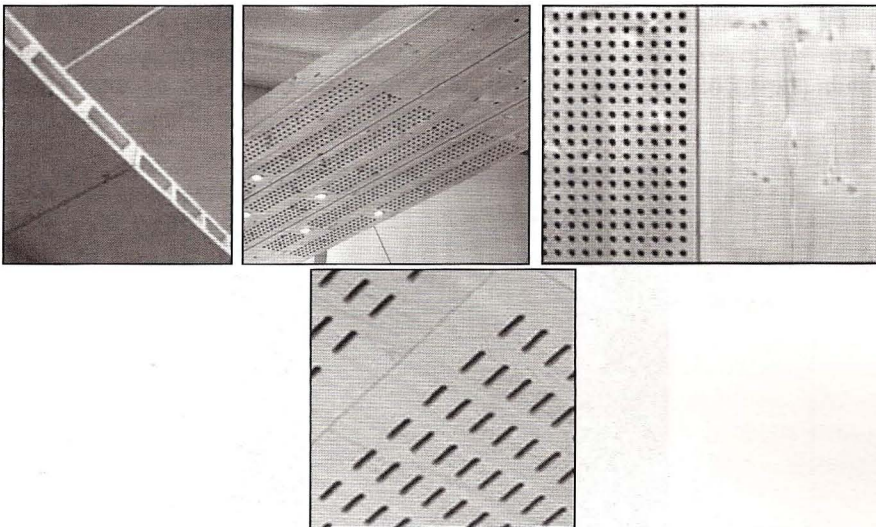


Figura 1: Aplicações com coberturas de madeira perfuradas (do Google Imagens).

No modelo apresentado serão determinados os perfis de temperaturas em regime transiente e calculada a camada carbonizada, após a ocorrência de um incêndio. A análise é não-linear material, efetuada através de um programa com recurso ao método de elementos finitos, ANSYS®.

O modelo numérico desenvolvido é baseado num ensaio de uma cobertura com as mesmas características, realizado por Frangi et al [4]. Os resultados obtidos permitem validar o modelo numérico para futuros estudos em elementos desta natureza, e simultaneamente caracterizar o efeito das perfurações, de forma a minimizar o risco de incêndio sobre a cobertura com cavidades. O modelo apresentado poderá ser facilmente ajustado a outras soluções construtivas, de forma a facilitar a verificação da segurança em situação de incêndio, em coberturas de madeira ou pavimentos para edifícios.



A face inferior da cobertura está submetida à ação do fogo, pelo que neste trabalho optou-se pela utilização da curva de incêndio padrão ISO834 [6] para a evolução da temperatura no compartimento de incêndio.

As condições de fronteiras térmicas consideradas na face inferior do modelo numérico são as habituais de convecção e radiação [7]. O coeficiente de convecção na superfície inferior exposta ao fogo foi considerado igual a  $25 \text{ W/m}^2\text{K}$ . O coeficiente de convecção considerado nas perfurações SLP foi  $9 \text{ W/m}^2\text{K}$  e nas perfurações MP igual a  $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ . A emissividade considerada nas diferentes superfícies foi considerada igual a 1 [7].

As propriedades térmicas da madeira obedecem à definição apresentada no anexo B do Eurocódigo 5 [7].

A figura 3 representa a evolução das propriedades em função da temperatura, a serem consideradas no modelo numérico em estudo. A massa específica, à temperatura ambiente, considerada para os dois materiais de madeira, Spruce e MDF, é  $450 \text{ kg/m}^3$  e  $135 \text{ kg/m}^3$ , respetivamente, Frangi et al [4].

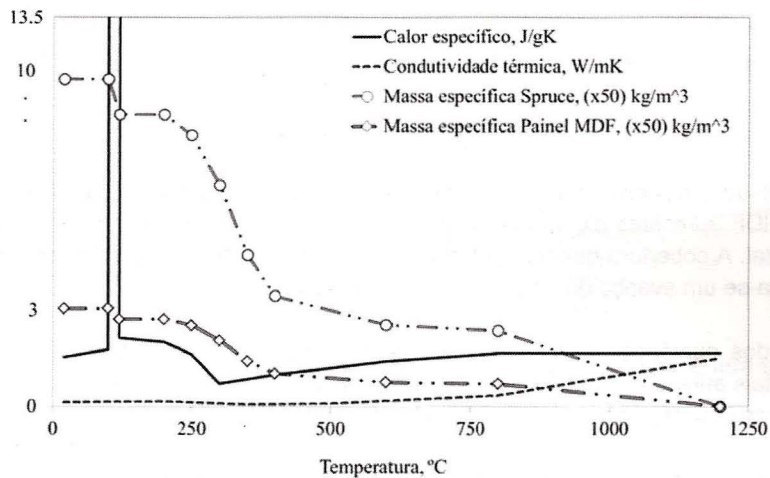


Figura 3: Propriedades térmicas da madeira.

### 3. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A malha de elementos finitos utilizada no modelo numérico é apresentada na figura 4. Foram utilizados elementos finitos de 8 nós (Plane77) com capacidade para a análise térmica em regime transiente. A análise da cobertura foi efetuada com e sem placas de MDF no interior das cavidades sob ação do incêndio durante 30 min.

A secção residual do modelo experimental estudada por Frangi et al [4] encontra-se representada na figura 4b, para uma ação do incêndio também de 30 min.

As figuras 4c,e e 4d,f representam o campo de temperaturas obtido no instante final da ação do fogo. O perfil de temperaturas completo encontra-se nas figuras 4c,e, sendo que a seção residual representada nas figuras 4d,f, é caracterizada pelo critério da delimitação da madeira a 300°C, temperatura que caracteriza a perda de resistência por carbonização, [7].

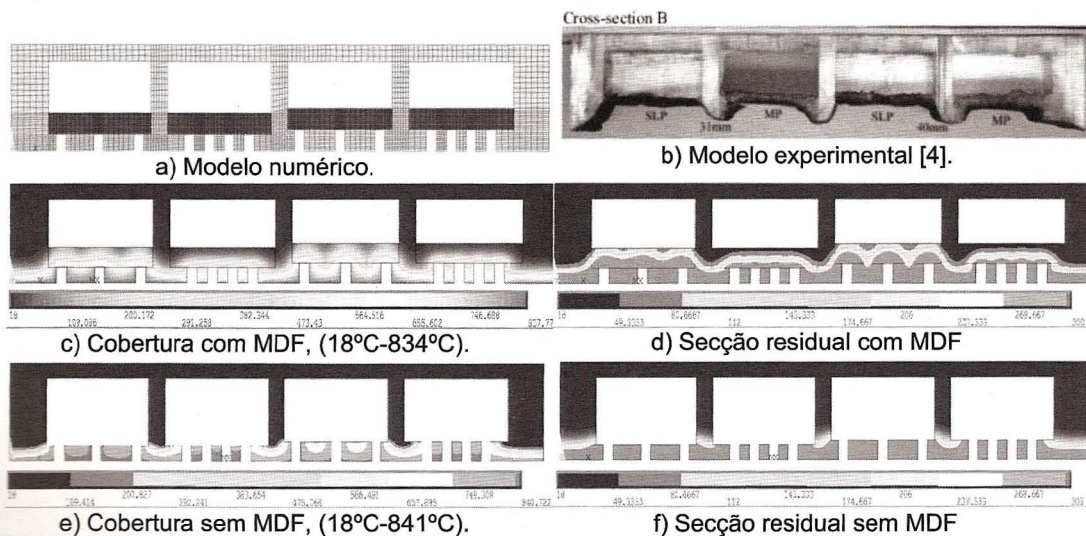


Figura 4: Ação do fogo no final de 30 min.

A evolução da temperatura atinge valores superiores nas perfurações do tipo SLP, onde a placa de MDF apresenta alguma carbonização (figuras 4c,d), tal como se observa na imagem experimental. A cobertura quando analisada sem a placa de MDF, e para o mesmo instante de tempo, nota-se um avanço do calor sobre as paredes verticais.

Os resultados numéricos obtidos em regime transiente são comparados com os resultados experimentais apresentados por Frangi et al [4]. A figura 5 representa a evolução do campo de temperaturas nas diferentes posições ( $T_k=1...40$ ) consideradas.

Em geral, os valores numéricos apresentam boa concordância com os valores experimentais. As perfurações do tipo SLP em algumas posições aquecem mais rapidamente do que as perfurações MP, verificando-se temperaturas mais elevadas nas posições junto à face inferior da placa MDF. As posições de leitura situadas na face superior do MDF apresentam valores relativamente baixos de temperaturas.

No caso em que a cobertura não tem qualquer placa de isolamento, verifica-se que as temperaturas são superiores às registadas nos mesmos pontos quando comparadas com as da cobertura com MDF. As posições TEMP\_25(\*) e TEMP\_05(\*) apresentam efeitos de carbonização a partir dos 15min e 18min, respetivamente, sob efeito da ação do fogo. Na cobertura com MDF, estas mesmas posições só começam a carbonizar após 25min e 28min, respetivamente. Os pontos TEMP\_13(\*) e TEMP\_33(\*), quando comparados com os mesmos

pontos na cobertura com MDF, têm um comportamento semelhante até aos 22min e 28min. A partir desse instante, essas posições começam a carbonizar.

As placas de MDF retardam o efeito do avanço do calor sobre a cobertura protegendo-a durante mais algum tempo da ação do incêndio.

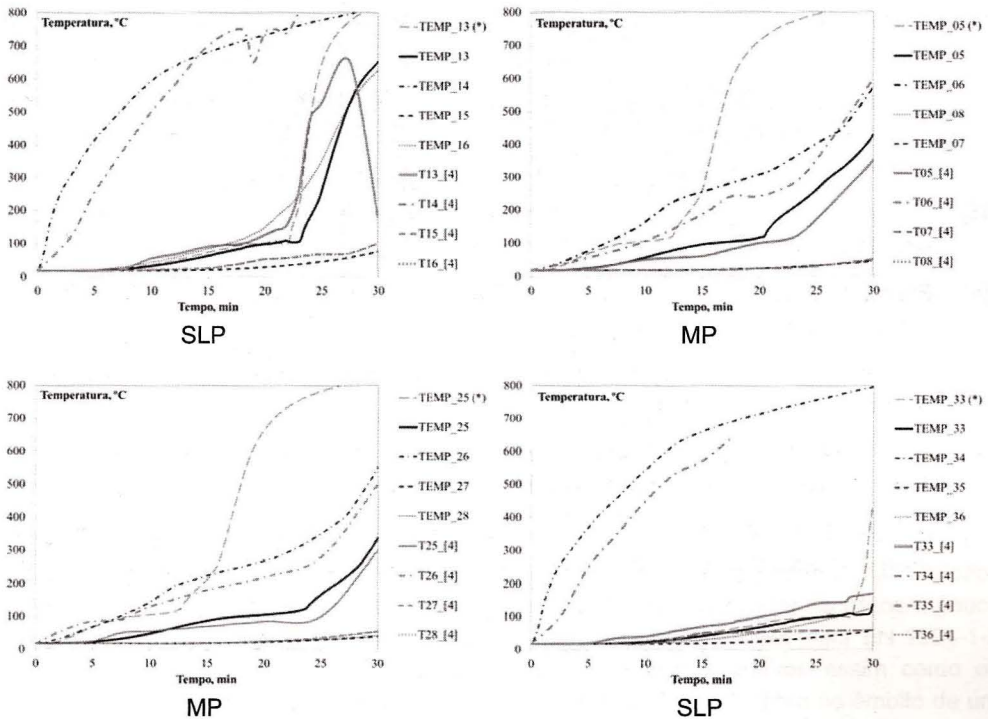


Figura 5: Temperaturas nas posições ( $T_{k=1...40}$ ) ao longo de 30 min. (\*) cobertura sem MDF.

#### 4. CONCLUSÕES

O trabalho apresentado permite tirar conclusões sobre a aplicação de coberturas em madeira com perfurações na construção. O método numérico utilizado revelou elevado desempenho quando comparado com o modelo experimental. Utilizou-se um modelo de elementos finitos 2D simplificado em regime térmico transiente. Os resultados obtidos aproximam-se aos experimentais. Verificou-se que neste tipo de coberturas, a forma da perfuração pode limitar a segurança na utilização destes elementos, em termos de resistência ao fogo. Em geral, as perfurações MP quando comparadas com as do tipo SLP mantêm temperaturas inferiores ao longo dos 30min de exposição ao fogo, na situação da cobertura com MDF. As perfurações do tipo MP, por este motivo, apresentam maior resistência ao fogo. Em situações de exposição ao incêndio numa das faces com perfurações, a utilização de placas do tipo MDF no interior das

cavidades, retardam o efeito do aquecimento, permitindo desta forma garantir que a cobertura possa permanecer em serviço durante mais tempo.

## REFERÊNCIAS

- [1] White, R. H.; Dietsberger, M.A. – Fire Safety, Chapter 17, “*Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*”, Forest Products Laboratory, USDA Forest Service, 1999.
- [2] Fonseca E. M. M., Barreira L. – “Experimental and Numerical Method for Determining Wood Char-Layer at High Temperatures due an Anaerobic Heating”, *International Journal of Safety and Security Engineering*, vol. 1, no. 1, 2011, p. 65-76.
- [3] Janssens M. L. – “Modeling of the thermal degradation of structural wood members exposed to fire”, *Fire and Materials*, vol. 28, 2004, p. 199-207.
- [4] Frangi A., Fontana M., Schleifer V. – “Fire behavior of timber surfaces with perforations”, *Fire and Materials*, vol. 29, 2004, p. 127-146.
- [5] Cachim P. B. - Construções em Madeira - A Madeira como Material de Construção. Aveiro, Publindústria, 2007.
- [6] EN 1991-1-2:2002. “Eurocode 1: Actions on Structures - Part 1-2: General actions - Actions on Structures Exposed to Fire” - CEN, 2002.
- [7] EN1995-1-2: 2003. “Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-2: Structural fire design” .CEN - Comité Européen de Normalisation, 2003.