



CNME 2014

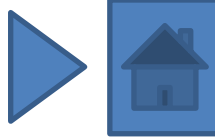


9º congresso nacional de mecânica experimental
Universidade de Aveiro 15-17 outubro 2014

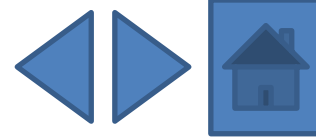
[ARTIGOS](#)

[AUTORES](#)

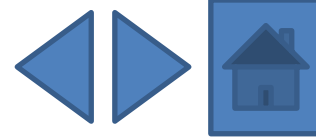
ISBN: 978-989-95695-6-0



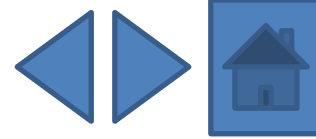
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **104:** *Estabilidade dimensional das madeiras de pinho, freixo, castanho e carvalho na presença de água*
D. Ferreira, E. Fonseca, C. Pinto, P. Borges
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **107:** *Dispositivo para investigação da resposta pupilar: considerações experimentais*
C. Bim, J. Canestri, M. Stófel, H. Oliva, R. Guimarães, M. Pinotti
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **108:** *Formulação de caldas à base de cal para injeção de alvenaria antiga*
E. Luso, P. Lourenço
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **109:** *Estudo da influência do adjuvante no desempenho de caldas fluidas à base de cal*
E. Luso, A. Monteiro
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **110:** *Monitorização e avaliação do comportamento de parafusos pré-esforçados BobTail®*
R. Matos, C. Rebelo
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **112:** *Colapso de pavimento elevado num edifício habitado: Causas e medidas de segurança imediatas*
F. Pinho
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **113:** *Amplificador mecânico de deformação*
D. Caseiro, S. Santos, C. Ferreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **114:** *Avaliação da temperatura na broca e no osso durante a furação, metodologia experimental e clínica*
C. Sampaio, E. Fonseca, R. Cerqueira



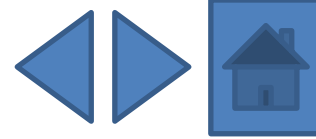
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **115:** *Metodologia para avaliar o efeito da temperatura em tecidos ósseos*
C. Sampaio, E. Fonseca, L. Barreira, J. Meireles
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **117:** *Validação numérica de lajes celulares em madeira com perfurações ao fogo*
J. Meireles, E. Fonseca, P. Piloto, H. Santos, L. Barreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **118:** *Estudo dos efeitos da delaminação em compósitos de matriz polimérica*
O. Andrade, L. Durão
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **119:** *Estudo e caracterização de espécies portuguesas de madeira termicamente modificada*
J.C. Costa, J. Branco, A. Camões
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **120:** *Estudo preliminar das propriedades físicas dos implantes mamários*
N. Ramião, P. Martins, A. A. Fernandes, M. Barroso, D. Santos
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **122:** *O papel dos efeitos locais e das características da fonte na resposta sísmica de estruturas afetadas por sismos nos Açores*
J. Estêvão, A. Carvalho
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **123:** *Verificação experimental do nível de precisão do método dos elementos de fibras de contacto*
J. Estêvão, A. Carreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **124:** *Evaluation main stress point of an oronasal interface for noninvasive ventilation*
L.S. Barros, R. Correa, M. Drummond, J. Gabriel, R. Natal



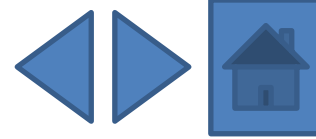
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **125:** *Avaliação experimental do comportamento ao fogo de lajes celulares em madeira com diferentes perfurações*
J. Meireles, P. Piloto, E. Fonseca, H. Santos, L. Barreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **126:** *Análise experimental do desempenho de um turbocompressor em condições reais de operação*
A. Almeida, N. Pires, H. Santos, N. Martinho, J. Pereira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **128:** *Termografia e cicatrização de feridas cutâneas*
M. Chaves, A. Freire, R. Andrade, M. Pinotti
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **130:** *Estudo experimental e calibração numérica de ligações metálicas entre vigas I e colunas tubulares*
L. Magalhães, C. Rebelo, S. Jordão
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **134:** *Avaliação térmica da furação no osso cortical com e sem irrigação*
M. Fernandes, M. Vaz, R. Natal, E. Fonseca
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **135:** *Modelo 3D para análise térmica durante o processo de furação do osso cortical*
M. Fernandes, E. Fonseca, R. Natal
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **136:** *Estudo do processo de quinagem para aplicação prática em programação CNC de quinadoras*
R. Amaral, A. Santos, J. Bessa Pacheco, S. Miranda
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **138:** *Desenvolvimento de uma plataforma de força para análise quantitativa do equilíbrio postural*
S.F. Santos, J. Canestri, R. Guimarães, M. Pinotti



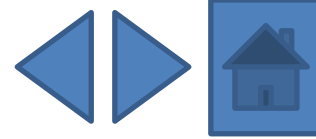
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **139:** *Sistema experimental para caracterização de materiais com o ensaio de expansão*
H. Campos, A. Santos, B. Martins, J. Bessa Pacheco
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **146:** *An experimental framework for the support of multi-physics simulation models of aerial lime for historic masonry structures*
M. Oliveira, A. Meneghini, M. Azenha, P. Lourenço
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **148:** *Determinação das propriedades físicas da parede do colmo do bambu*
M.A. Smits, V. Pizzol, E. Carrasco
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **151:** *Estimativa da densidade e dureza Janka de madeiras tropicais por meio do método de penetração*
R.C. Alves, M.A. Smits, E. Carrasco
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **152:** *Instrumentação das pás directrizes da turbina Wells da central de ondas da Ilha do Pico*
M. Vieira, A. Ribeiro, A. Sarmiento, L. Reis
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **153:** *Ancoragens de pré-esforço por aderência - exploração de uma solução*
H. Fernandes, V. Lúcio, D. Faria
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **154:** *Comportamento mecânico da liga de magnésio AZ31B sob carregamento multiaxial*
H. Videira, V. Anes, R. Cláudio, M. Freitas, L. Reis
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **155:** *Vigas lintel para estruturas de alvenaria e aplicação em caso de estudo*
J.P. Gouveia, G. Vasconcelos, P. Bernardino, P. Costa, P. Lourenço



- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **156:** *Determinação da rigidez de uma areia com recurso a bender elements e acelerómetros: princípio de medição e aplicações*
C. Pereira, A. Correia, C. Ferreira, N. Araújo
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **158:** *Dispositivo experimental para caracterização do comportamento viscoelástico do betão sob a ação da retração restringida*
L. Leitão, R. Faria, L. Teixeira, M. Azenha
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **159:** *Streamlining field inspections for infrastructures life-cycle management*
B. Gonçalves, J. Matos, P. Lourenço, P. Gonçalves
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **161:** *Mechanical characterization of traditional timber connections: experimental results*
E. Poletti, G. Vasconcelos, J. Branco, A. Koukouviki
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **163:** *The bone tissue remodelling analysis using meshless methods: a femoral implant study*
J. Belinha, L. Dinis, R. Natal
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **165:** *Revestimentos PVD em microcavidades para moldação por injeção*
B. Mestre, V. Neto
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **167:** *Comportamento à fadiga de aços estruturais. Comparação de resultados de deformação-viga e taxas de propagação de fendas de fadiga*
D. Carvalho, A. Silva, A. Jesus, A. A. Fernandes



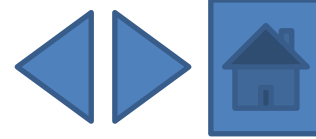
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **168:** *Comportamento experimental de configurações inovadoras de ligações de emenda em perfis tubulares*
R. Simões, S. Jordão, J. Silva
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **170:** *Aplicação de filmes de diamante nanocristalino como camada protetora em células fotovoltaicas*
R.N. Simões, V. Neto
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **171:** *Estudo de tolerância de dano num componente ferroviário de aço vazado ASTM148-90-60*
T. Morgado
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **172:** *Correlação entre ensaios com câmara termográfica e resistógrafo na avaliação da integridade de vigas antigas de madeira*
J.T. Pinto, V. Cunha, A. Arêde, J. Miranda Guedes, S. Cunha, A. Feio, H. Varum
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **173:** *Influência de revestimentos de nanodiamante no fluxo polimérico em microinjeção*
C. Santos, M. Oliveira, T. Zhiltsova, V. Neto
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **174:** *Paredes de alvenaria de pedra de folha única: caracterização geométrica e comportamento estrutural*
C. Almeida, J. P. Guedes, A. Arêde, A. Costa
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **175:** *Avaliação experimental do comportamento de T-stubs sujeitos a ações de impacto*
P. Barata, A. Santiago, C. Rigueiro, J.P. Rodrigues



- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **176:** *Vibração de uma viga elástica com grandes amplitudes*
F. Queirós de Melo, M. Vaz, P. Rebelo, R. Moreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **177:** *Perfis IPE ao fogo: método da capacitância global versus modelo computacional*
E. Fonseca, D. Ferreira, L. Barreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **178:** *Forqueta de bicicleta em fibra de carbono com fibras piezoelétricas*
M. Frade, R. Ruben, C. Capela
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **179:** *Caracterização dinâmica de estruturas à escala real produzidas com agregados grossos reciclados de betão*
J. Pacheco, J. Brito, J. Ferreira, D. Soares
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **180:** *Caraterização de poliuretanos com memória de forma reforçados com nanotubos de carbono para controlo ativo*
M. Fonseca, B. Silva, L. Ferreira, J. Amaral, M.S. Oliveira, R. Moreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **181:** *Utilização de redes de Bragg em fibras óticas para caracterização da memória de forma de poliuretanos reforçados com nanotubos de carbono*
M. Fonseca, N. Alberto, B. Silva, V. Neto, R. Nogueira, M.S. Oliveira, R. Moreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **182:** *Análise termomecânica de perfis enformados a frio*
L. Mesquita, M. Mendonça, R. Ramos, L. Barreira, P. Piloto
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **183:** *Eficiência da proteção ao fogo de tintas intumescentes com granulado de cortiça*
L. Mesquita, M. Teixeira, P. Piloto, L. Barreira



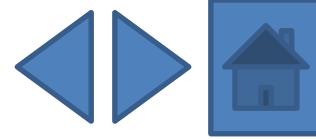
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **184:** *Previsão do comportamento de tecidos cartilagíneos em bioreator em resposta a estímulos mecânicos*
C. Bandeiras, A. Completo, A. Ramos, A. Rufino, M. Ribeiro, J. Pinto Ferreira, A. Mendes
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **186:** *Análise experimental da resistência à compressão a altas temperaturas de um betão com chips de PET*
H. Caetano, J. Rodrigues, P. Pimienta
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **187:** *Estudo da delaminação sob fadiga em modo II de laminados carbono/epóxico*
J.A. Sousa, A. Pereira, A. Morais
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **188:** *Determinação de relações tensão-abertura de fenda de BRFA através de análise inversa*
N.D. Gouveia, A. Custódio, D. Faria, A. Ramos
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **190:** *Comportamento à fadiga oligocíclica extrema de aços para pipelines – uma abordagem experimental*
J.C.R. Pereira, A. Jesus, A. Fernandes, J. Xavier
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **191:** *Avaliação da eficiência fotodinâmica de extratos de uma planta do cerrado brasileiro para utilização em terapia fotodinâmica*
C. Nunes de Melo, R. Cruz, R. Pietra, B. Soares, M. Ferreira, M. Pinotti
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **196:** *Vulnerabilidade de sistemas de revestimento exterior de coberturas*
J. T. Pinto, S. Pereira, A. Briga-Sá, J. Vieira, A. Borges, H. Varum
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **197:** *Desenvolvimento e ensaios experimentais de módulos energéticos para revestimento de edifícios*
R. Oliveira, R. Coelho, A. Torres Marques, J.A.O. Simões, C. Torres



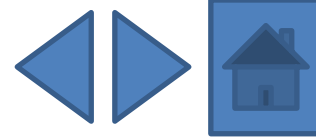
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **198:** *Método da Aproximação Local no estudo de vida à fadiga de um componente ferroviário*
T. Morgado
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **199:** *Validação do modelo numérico da ligação tipo T-stub sujeita a acções de impacto*
J. Ribeiro, C. Rigueiro, A. Santiago
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **200:** *Métodos experimentais usados na determinação das propriedades mecânicas de betões a altas temperaturas*
C. Santos, J. P. Rodrigues, H. Caetano
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **202:** *Bond performance in NSM-strengthened masonry brick*
H. Maljaee, B. Ghiassi, P. Lourenço, D. Oliveira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **204:** *Caraterização do comportamento ao corte de alvenaria de blocos de terra compactada com junta seca*
R.A. Silva , D. V. Oliveira, T. Miranda, E. Soares, N. Cristelo, P. Lourenço
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **206:** *Monitorização térmica do processo de moldação por injeção plástica com redes de Bragg em fibra ótica*
N. Alberto, R. Nogueira, V. Neto
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **207:** *Análise da integridade de juntas de cimento-cola em mosaicos decorativos de fachadas*
F. Queirós de Melo, L. Silva, C. Lopes
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **209:** *Investigação experimental de catalisadores de três vias para veículos automóveis*
H. Santos, M. Costa



- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **210:** *The influence of moisture content and gaps on the withdrawal resistance of self tapping screws in CLT*
C. Silva, A. Ringhofer, J. Branco, P. Lourenço, G. Schickhofer
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **212:** *Comparação entre duas técnicas ópticas emergentes na IND de estruturas compósitas - interferometria laser e termografia*
J. Monteiro, H. Lopes, M. Vaz
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **213:** *Biomechanical analysis of metaphyseal sleeves used for tibial bone*
A. Chan, A. Completo, J. Gamelas, J. Folgado, P. Fernandes
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **214:** *Controlo de vibrações em comportas de borracha insufláveis com largura de ancoramento variável*
J. Amorim, J. Dias Rodrigues
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **216:** *Análise vibroacústica de placas com tratamentos parciais de amortecimento usando uma teoria layerwise e o método de Rayleigh-Ritz*
J. Amorim, J. Dias Rodrigues
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **218:** *Experimental evaluation of the stiffness of the sheep cervical vertebrae*
A. C. Pires, F. Vaz, J. Folgado, P. Fernandes
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **219:** *Análise do comportamento cíclico de pilares de pontes reforçados com bandas de CFRP*
P. Delgado, F. Sousa, P. Rocha, A. Arêde, N. Vila Pouca, A. Costa, R. Delgado
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **221:** *Estudo das vibrações induzidas no sistema mão - braço de atletas de Basquetebol*
P. Santos, A. Amaro, L. Roseiro, M. Neto, C. Alcobia



- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **222:** *Vibrações induzidas no sistema braço-mão na manipulação de uma roçadora de mato*
L. Roseiro, V. Maranhã, C. Alcobia, A. Amaro, M. Neto
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **223:** *Lock-in thermography online*
A. Silva, M. Vaz P. Moreira e J. Gabriel
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **225:** *Caracterização do comportamento cíclico de vigas de betão armado fendilhadas, com sensores de Bragg*
C. Sousa, C. Rodrigues, J. Malveiro, R. Calçada, A. Neves
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **226:** *Development of a simplified model for joints in steel structures*
F. Gentili, R. Costa, L. S. Silva
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **230:** *Pilares mistos com placas de base abertas solicitados à flexo-compressão*
R. Neuenschwander, E. Carrasco, F. Rodrigues, R. Fakury
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **238:** *Fadiga em pavimentos rodoviários flexíveis: uma abordagem experimental*
A. Costa, A. Benta
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **239:** *Avaliação experimental e numérica da resistência de vigas com secções em Ω enformadas a frio furadas*
N. Lopes, P. Vila Real, A. Reis, F. Arrais
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **241:** *Caracterização do comportamento mecânico de uma vertebra lombar; com e sem cimentação*
C. Carneiro, M. Vaz, N. Neves, C. Ribeiro



- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **242:** *Análise experimental de tensões geradas por aperto de parafusos através de fotoelasticidade*
A.P. Salazar, F. Brites
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **243:** *Verificação da resistência de um perfil laminado com concentrador de tensões*
F. Brites, I. Barbosa
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **244:** *Análise por molhabilidade e AFM da superfície de Ti6Al4V submetido à texturização mecânica*
F. Brites, I. Barbosa, L. Santos
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **245:** *Desenvolvimento de um método de ensaio para avaliação experimental in-situ do comportamento fora do plano de paredes de alvenaria*
A. Costa, A. Arêde, A.A. Costa, T. Ferreira, A. Gomes, H. Varum
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **246:** *Comportamento de lajes de betão armado reforçadas à flexão usando a técnica NSM com laminados de CFRP pré-tensionados*
S.J. Dias, M. Hosseini, J. Barros
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **247:** *Caracterização experimental do comportamento de aderência de varões compósitos têxteis*
A. Martins, G. Vasconcelos, R. Frangueiro, F. Cunha
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **248:** *Caracterização experimental de pilares de betão armado reforçados e reparados sujeitos à flexão biaxial*
H. Rodrigues, A. Arêde, A.Furtado, P. Rocha
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **249:** *Caracterização experimental do comportamento para fora do plano das paredes de alvenaria de enchimento*
A. Furtado, H. Rodrigues, A. Arêde



A B C D E **F** G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

Fakury, R.H.	230	Ferreira, J.P.	184
Faria, D.M.	153 188	Ferreira, M.	191
Faria, R.	158	Ferreira, T.	245
Feio, A.	172	Folgado, J.	213 218
Fernandes, A.	120 167 190	Fonseca, E.	104 114 115 117 125 134 135 177
Fernandes, M.	134 135	Fonseca, M.	180 181
Fernandes, H.	153	Frade, M.	178
Fernandes, P.	213 218	Frangueiro, R.	247
Ferreira, D.	104 177	Freire, A.	128
Ferreira, C.D.	113	Freitas, M.	154
Ferreira, C.	156	Furtado, A.	248 249
Ferreira, J.G.	179		
Ferreira, L.	180		

VALIDAÇÃO NUMÉRICA DE LAJES CELULARES EM MADEIRA COM PERFURAÇÕES AO FOGO

NUMERICAL VALIDATION OF THE PERFORATED CELLULAR WOOD SLABS UNDER FIRE

Meireles, J.M.¹; Fonseca, E.M.M.¹; Piloto, P.A.G.¹; Santos, H.S.²; Barreira, L.M.S.¹

¹ ESTIG, Instituto Politécnico de Bragança

² Jular MADEIRAS



RESUMO

As lajes em madeira são estruturas leves, de fácil montagem, com excelentes características arquitetónicas, térmicas e acústicas. No entanto, a sua elevada vulnerabilidade ao fogo, obriga a que se determine e avalie o seu comportamento com rigor. Com base em ensaios experimentais, realizados para a determinação da resistência ao fogo, será possível validar um modelo de laje numérico desenvolvido com a utilização de um programa de elementos finitos, ANSYS. O modelo numérico é transiente térmico, não linear e utiliza elementos hexaédricos. Considerou-se a não linearidade das propriedades a temperaturas elevadas. As condições de fronteira, admitidas no problema, são de convecção e radiação, sendo consideradas curvas típicas para a evolução da temperatura. Estas curvas foram registadas durante os ensaios experimentais e permitiram simular o efeito da ação do fogo na superfície exposta, interior das cavidades celulares e nas aberturas ou perfurações da laje. O comportamento físico da laje é também condicionado pela formação da carbonização, sendo este fenómeno considerado no modelo numérico.

ABSTRACT

The wood slabs are lightweight, easy installation, excellent architectural, thermal and acoustic characteristics. However, its high vulnerability to fire, requires one to determine and assess their behaviour accurately. Based on experimental tests performed to determine the fire resistance, it is possible to validate a numerical slab model developed using a finite element program, ANSYS. The numerical model is thermal, nonlinear transient and uses hexahedral elements. It was considered non-linearity properties at elevated temperatures. The boundary conditions, allowed in the problem are convection and radiation and are being considered typical curves for temperature evolution. These curves were recorded during the experimental trials and allowed to simulate the effect of the action of fire on the exposed surface, inside the cell cavities and openings or perforations of the slab. The physical behaviour of the slab is also conditioned by the formation of carbonization, these phenomena is being considered in the numerical model.

1- INTRODUÇÃO

A madeira tem atraído a atenção de engenheiros e arquitetos, devido às suas características arquitetônicas e estruturais, por se tratar de um material de construção renovável e amigo do ambiente, Fonseca et al, 2013. Quando exposta a ações acidentais, como o caso de um incêndio, a madeira sofre um processo de degradação térmica, a pirólise, produzindo gases combustíveis. Nas faces expostas ao fogo, é formada uma camada de carbonização sem resistência efetiva, que se traduz na redução do tamanho nessa direção. No entanto, essa espessura de carbonização é um bom isolante, que protege o núcleo da secção. A falha da capacidade de carga dos elementos estruturais em madeira acontece pela diminuição da secção resistente devido à carbonização.

Vários investigadores têm apresentado modelos experimentais e numéricos para o cálculo da degradação física de madeira, na presença de altas temperaturas, White e Dietenberger 1999, Poon 2003, Janssens 2004. A velocidade de carbonização da madeira macia ou estrutural quando exposta a condições de incêndio tem sido estudada por investigadores de diferentes países (Schaffer 1967; White e Nordheim 1992; König e Walleij 1999; Gardner e Syme 1991; Collier 1992; Pun et al 1997; Cachim e Franssen 2010; Fonseca e Barreira 2009; Fonseca e Barreira 2011; Fonseca et al, 2013). Modelos empíricos para a determinação da velocidade de carbonização e condições de transferência de calor foram desenvolvidos por Schaffer 1967, White e Nordheim 1992.

Neste trabalho será definido um modelo numérico para a análise térmica em regime transiente, baseado no método de elementos finitos.

O modelo numérico pretende ser uma réplica de lajes pré-fabricadas em madeira (Frangi et al, 2008; Fonseca et al, 2013) e utilizadas em edifícios residenciais e comerciais. A laje em estudo possui três cavidades, sendo que duas delas possuem

diferentes perfurações. Os resultados obtidos permitirão avaliar o efeito do tipo de perfuração no retardamento da ação térmica sobre a laje de madeira quando submetida a um incêndio. Os resultados numéricos das temperaturas serão validados por um modelo de laje experimental submetido ao fogo em laboratório.

2- METODOLOGIA E MATERIAIS

2.1 - Modelo de laje

Para este estudo foram construídos dois modelos de laje iguais. Cada laje possui quatro vigas Kerto S200x27, permitindo a criação de três células independentes (célula sem perfurações ao centro, células laterais com dois tipos de perfurações retangular e quadrangular), ver Fig. 1. Cada laje é composta ainda por uma armadura exterior, constituída por duas vigas Kerto S200x37 e duas vigas S200x39.

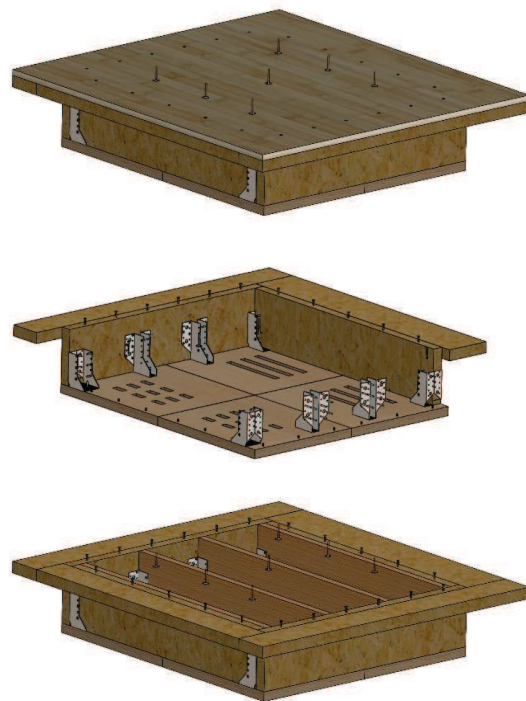


Fig. 1 – Modelo de laje celular com perfurações.

Foram construídas duas lajes para serem ensaiadas ao fogo num forno de resistência, conforme a Fig. 2 a).

Cada laje foi instrumentada com termopares (T_i) para leitura das temperaturas durante a exposição ao fogo da face perfurada, Fig. 2 b).

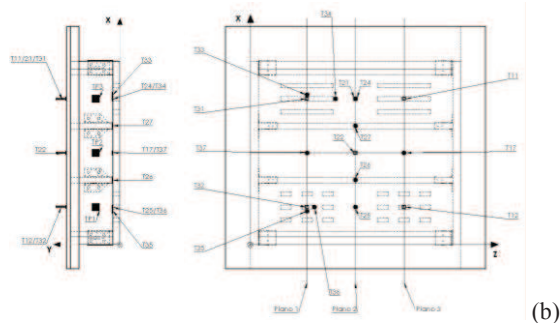
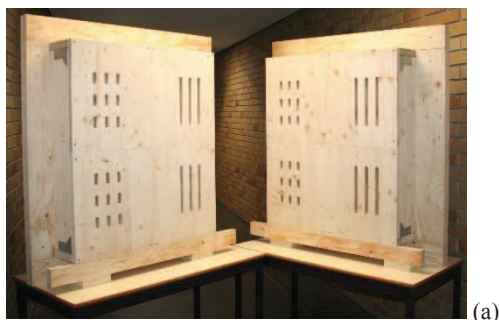


Fig. 2 – Modelo de laje experimental.

2.2 - Propriedades térmicas

O comportamento térmico da madeira pode ser descrito através dos processos de formação da zona da pirólise e da camada de carbonização.

O processo de pirólise faz com que a massa volúmica da madeira varie em função do aumento da temperatura, devido à ausência de oxigénio. Por outro lado, a velocidade de carbonização da madeira, é uma característica que permite avaliar a resistência ao fogo, sendo determinada pelo avanço da carbonização.

O material utilizado no modelo em análise é a madeira de abeto (spruce), com comportamento não linear dependente da temperatura, cujas propriedades térmicas se encontram definidas no anexo B do Eurocódigo 5, 2003.

As propriedades térmicas a considerar são a condutividade térmica (Fig. 3), o calor específico (Fig. 4) e a massa volúmica (Fig. 5).

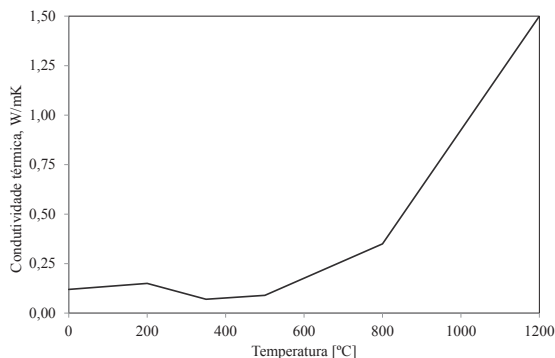


Fig. 3 – Condutividade térmica da madeira.

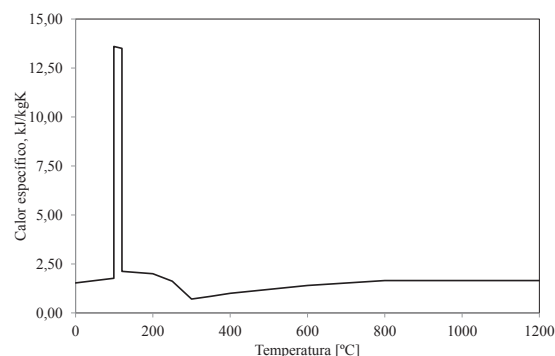


Fig. 4 – Calor específico da madeira.

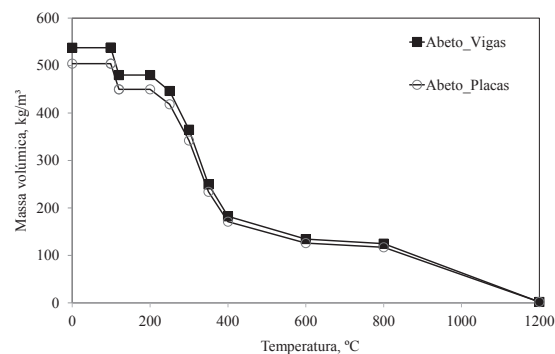


Fig. 5 – Massa volúmica da madeira.

3- MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

Na análise numérica é utilizado o método dos elementos finitos através do programa ANSYS. Para cada modelo é calculado o perfil de temperaturas e a espessura de carbonização, sendo os resultados comparados com os obtidos experimentalmente. O método de solução numérico é transiente e não linear, com uma duração de 1500 s para a laje 1 e 950 s para a laje 2, conforme o tempo de ensaio em laboratório nas mesmas lajes.

Na análise numérica, a face inferior de cada laje, foi submetida à ação do fogo. De acordo com o Eurocódigo 5, 2003, a evolução da temperatura de um incêndio ao longo do tempo pode ser definida por curvas de incêndio normalizado.

Neste trabalho adotou-se a utilização da curva de incêndio obtida através do forno de resistência nos ensaios experimentais, tendo sido consideradas condições fronteira de convecção e radiação, na face da laje exposta ao fogo. No instante inicial, o modelo foi considerado à temperatura ambiente com 16 °C. Foi utilizado um coeficiente de convecção igual a 25 W/m²K na superfície exposta ao fogo, 4 W/m²K na superfície não exposta ao fogo e 25 W/m²K nas paredes internas das células. Foi ainda considerado um fator de emissividade de 1 para a ação do fogo e um fator de emissividade de 0,8 para a madeira, EC5.

As curvas consideradas para a evolução da temperatura ambiente no interior das cavidades foram também obtidas previamente através da leitura de termopares de placa em cada célula (TP_i) durante o ensaio das lajes (TP1, TP2 e TP3), Fig. 6. Nas faces das aberturas laterais quadrangulares e retangulares foram impostas essas mesmas curvas.

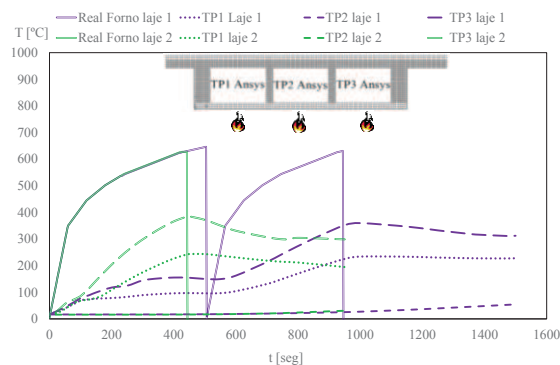


Fig. 6 – Curvas reais no forno e nas cavidades.

O modelo numérico utiliza elementos hexaédricos do tipo SOLID70 de 8 nós. A malha é regular, tendo sido aplicado um teste de convergência para determinar o tamanho adequado. Na Fig. 7 está representado o modelo de elementos finitos da laje, sem representação de duas das vigas da armadura exterior.

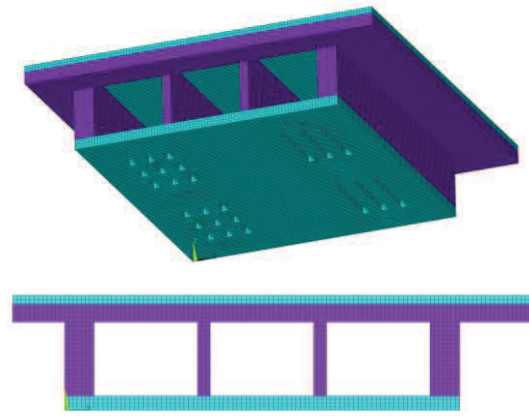


Fig. 7 – Malha de elementos finitos.

4- DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1 - Temperaturas nodais

Os resultados dos campos de temperaturas numéricas (num) foram obtidos em regime transiente para diferentes posições nodais e comparados com os resultados experimentais (exp) obtidos por termopares nas duas lajes. A Fig. 8 representa a comparação de resultados na zona das vigas, para a laje 1 e laje 2, respetivamente.

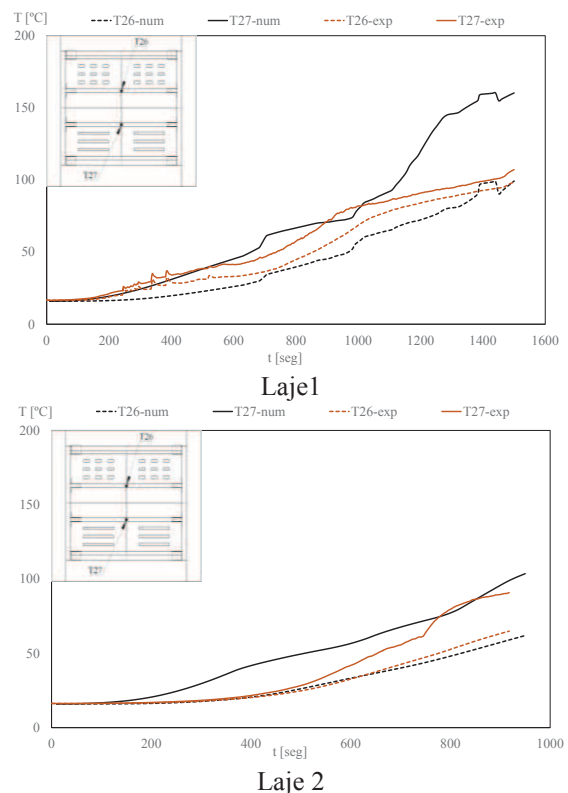


Fig. 8 – Temperaturas nas vigas.

Validação Numérica de Lajes Celulares em Madeira com Perfurações ao Fogo

Verifica-se que as temperaturas nesta zona da laje, durante o tempo de exposição ao fogo, não ultrapassam os 150 °C. Apesar de se registar alguma variação nos resultados numéricos e experimentais, a tendência é muito semelhante.

A Fig. 9 representa os resultados para a célula lateral com perfurações quadrangulares.

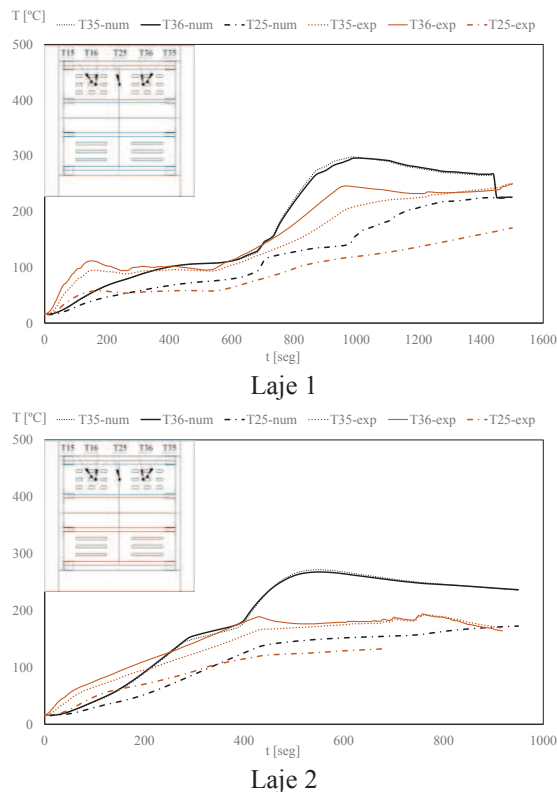


Fig. 9 – Temperaturas na célula com perfurações quadrangulares.

Na cavidade celular com perfurações quadrangulares as temperaturas nas arestas atingem valores próximos de 300 °C, sendo que os resultados numéricos são ligeiramente superiores aos registados experimentalmente. Na parede interior desta célula, distante das perfurações, as temperaturas numéricas aproximam-se às experimentais.

A Fig. 10 representa a comparação de resultados para a célula central sem perfurações, laje 1 e laje 2. No interior desta célula as temperaturas são inferiores a 100 °C. Nota-se uma boa concordância entre os resultados numéricos e experimentais.

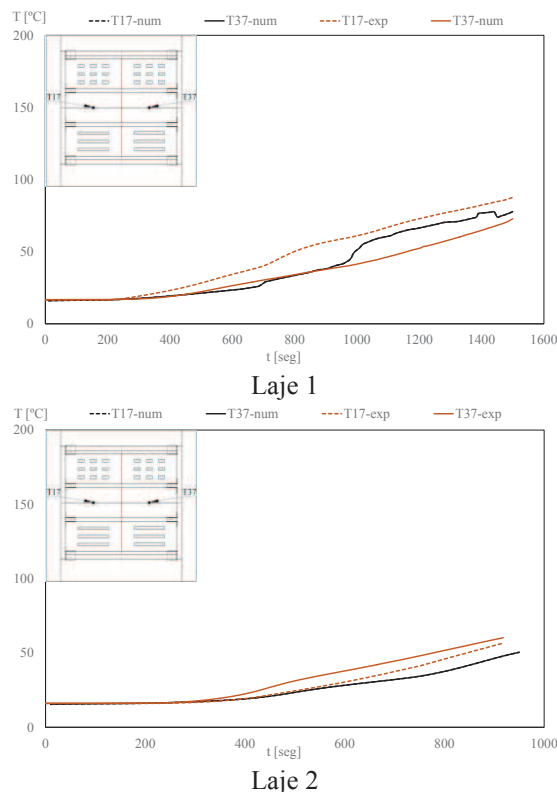


Fig. 10 – Temperaturas na célula sem perfuração.

A Fig. 11 apresenta os resultados para a célula com perfurações retangulares.

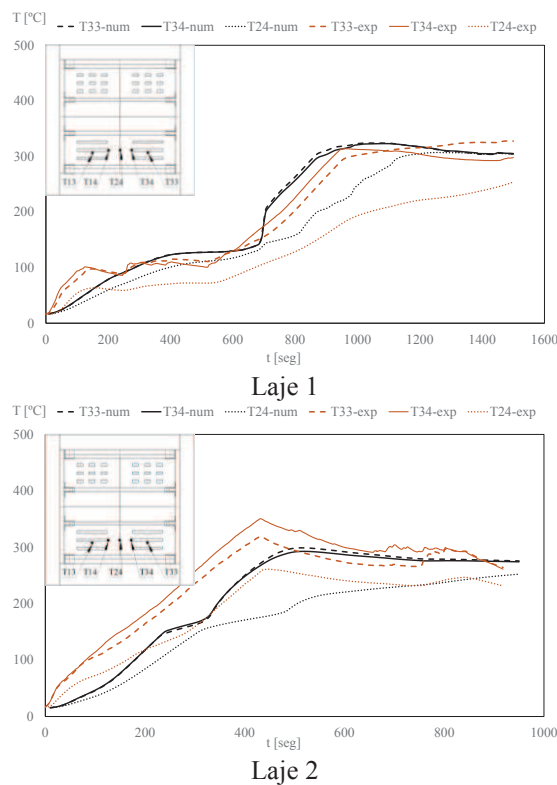


Fig. 11 – Temperaturas na célula com perfurações retangulares.

Na célula com perfurações retangulares, as temperaturas nas arestas

atingem valores superiores a 300 °C, tanto numericamente como experimentalmente. Na parede interior desta célula, distante das perfurações, as temperaturas são ligeiramente inferiores.

4.2 - Carbonização

No final do ensaio de cada laje foi possível registar a camada carbonizada que afetou a parte exposta ao fogo, Fig. 12.

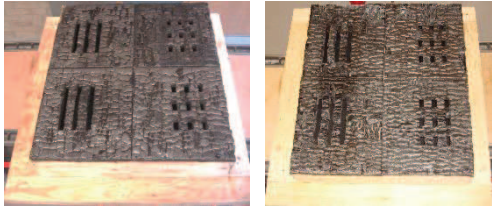


Fig. 12 – Carbonização nos modelos de laje.

Também no modelo numérico, e para o último instante de tempo, foi aplicado o critério em que a camada carbonizada ocorre entre 280 a 300 °C, Eurocódigo 5 2003, verificando-se a secção residual em cada laje, conforme a Fig. 13. A secção residual, apresentada no modelo numérico, corresponde à espessura em cor cinza. A dimensão desta espessura, em função do tempo em que ocorre, permite determinar a velocidade de carbonização.

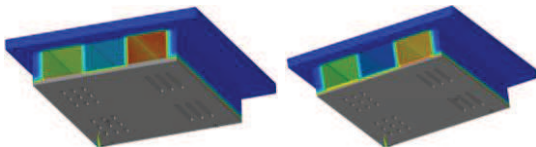


Fig. 13 – Carbonização nos modelos numéricos.

Para aferir a velocidade de carbonização em cada célula da laje, experimental e numérica, foram efetuados diferentes registos de medições, nas direções identificadas na Fig.14. Em cada um desses cortes encontram-se diferentes posições para medição da espessura carbonizada no instante final. O valor médio dessas medições, função do tempo, permitem determinar a velocidade de carbonização conforme os resultados apresentados na tabela 1.

Os resultados apresentados permitem retirar conclusões sobre a velocidade de carbonização em cada uma das zonas celulares da laje. A zona de corte relativa à

célula sem perfurações apresenta os valores mais baixos de carbonização, sendo a célula com perfurações retangulares a que atinge os maiores valores. No instante final, em que se registaram estes valores, nota-se uma relação de quase o dobro da velocidade de carbonização nas células com perfurações em relação à célula sem perfurações.

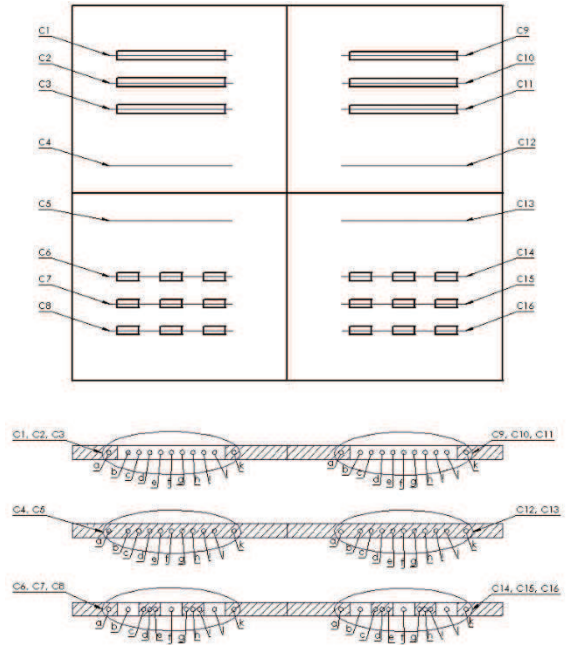


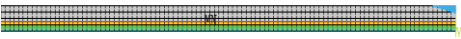



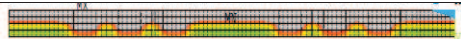

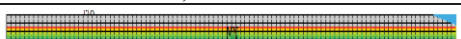

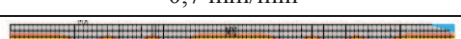



Fig. 14 – Cortes para medição da espessura.

5- CONCLUSÕES

O modelo numérico revelou-se de grande importância na determinação do campo de temperaturas e da camada carbonizada em modelos de lajes de madeira. Comparando as diferentes células utilizadas nas lajes em estudo, pode concluir-se que as células com perfurações atingem um valor de carbonização quase duas vezes maior em relação às não perfuradas. Isto explica-se pelas temperaturas registadas dentro das cavidades celulares de cada uma das lajes. Para o tempo final de cada ensaio, as células sem perfurações não ultrapassam os 100 °C, enquanto que nas células com perfurações os valores de temperatura triplicam. Pode ainda concluir-se que existe uma boa concordância entre os resultados numéricos e experimentais.

Tabela 1: Velocidade de carbonização, comparação numérica e experimental.

Cortes	Carbonização Ansys	Carbonização Experimental
Laje1 C1, C2, C3, C9, C10, C11	 1,3 mm/min	 1,2 mm/min
Laje1 C4, C5, C12, C13	 1,0 mm/min	 0,65 mm/min
Laje1 C6, C7, C8, C14, C15, C16	 1,4 mm/min	 1,0 mm/min
Laje2 C1, C2, C3, C9, C10, C11	 1,3 mm/min	 1,4 mm/min
Laje2 C4, C5, C12, C13	 0,7 mm/min	 0,8 mm/min
Laje2 C6, C7, C8, C14, C15, C16	 1,2 mm/min	 1,0 mm/min

6- REFERÊNCIAS

- Cachim P. B., Franssen J. M. 2010. Assessment of Eurocode 5 Charring rate Calculation Methods. *Fire Technology*, 46, p.169-181.
- Collier PCR. 1992. Charring rates of timber. Study report, Branz, New Zealand.
- EN1995-1-2: 2003. Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-2: Structural fire design. CEN - Comité Européen de Normalisation.
- Fonseca E. M. M., Barreira L. 2009. Charring rate determination of wood pine profiles submitted to high temperatures. WIT Press, Third Int. Conference on Safety and Security Engineering, Guarascio, Brebbia, Garzia (Ed.), 108, p. 449-457.
- Fonseca EMM, Barreira L. 2011. Experimental and Numerical Method for Determining Wood Char-Layer at High Temperatures due an Anaerobic Heating. *Int. Journal of Safety and Security Engineering*, (1)1, p. 65-76.
- Fonseca E. M. M., Couto D., Piloto P. A. G. 2013. Fire safety in perforated wooden slabs: a numerical approach, WIT Transactions on the Built Environment, Vol.134, Fifth Int. Conference on Safety and Security Engineering, p. 577-584.
- Frangi A., Knobloch M., Fontana M. 2008. Fire design of timber slabs made of hollow core elements. *Engineering Structures*, USA.
- Gardner W. D., Syme D. R. 1991. Charring of glued-laminated beams of eight australian-grown timber species and the effect of 13 mm gypsum plasterboard protection on their charring. N.S.W. Technical report no.5, Sydney.
- Janssens M. L. 2004. Modeling of the thermal degradation of structural wood members exposed to fire. *Fire and Materials*, 28, p. 199-207.
- Poon L., England J. P. 2003. Literature Review on the Contribution of Fire Resistant Timber Construction to Heat Release Rate-Timber Development Association, Warrington Fire Research Aust. Pty. Ltd., Project No.20633, version 2b, p. 1-78.
- Pun C. Y., Seng H. K., Midon M. S., Malik A. R. 1997. Timber design handbook. FRIM, Malayan Forest Records no.42.
- Schaffer E. L. 1967. Charring rate of selected woods transverse to grain. Research paper FPL 69. Madison (WI): Forest Products Lab.
- White R. H., Dietsberger M. A. 1999. Fire Safety, Chap. 17, *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*, Forest Products Laboratory, USDA Forest Service.
- White R. H., Erik V., Nordheim E. V. 1992. Charring rate of wood for ASTM E119 exposure. *Fire Technol*, 28(1).
- Konig J, Walleij L. 1999. One-dimensional charring of timber exposed to standard and parametric fires in initially unprotected and postprotection situations. *Swed Inst Wood Technol Res*.