



70^o Congresso Nacional de Mecânica Experimental

APAET 2008

Abílio M.P. de Jesus & Jorge T.Q.S. Pinto (Eds.)



Universidade de
Trás-os-Montes e Alto Douro

**7º Congresso Nacional de Mecânica Experimental
APAET 2008**

UTAD, Vila Real, Portugal, 23-25 de Janeiro de 2008

Livro de Resumos/ Abílio M.P. de Jesus, Jorge T.Q.S. Pinto (Eds.)

© 2008 APAET – Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões/
Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa
Tel: 21 844 3238; Fax: 21 844 3023; e-mail: apaet@lnec.pt; <http://www-ext.lnec.pt/APAET/>

Capa:

Design de Abílio M.P. de Jesus

Fotos: cima para baixo – ensaio de ligação de madeira com corte duplo e cavilha única (Santos, C.L.; Jesus, A.M.P.; Morais, J.J.L.) – ensaio DCB de tecido ósseo cortical (Morais, J.J.L.; Dourado, R.) – ensaio iosipescu aplicado à madeira de *Pinus Pinaster* (Xavier, J.M.C.; Morais, J.J.L.) – instrumentação da tubuladura de reservatório (Jesus, A.M.P).

Impresso por: Sector Gráfico da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Depósito Legal: 269753/08

ISBN: 978-972-669-851-7

CONGRESSO NACIONAL DE MECÂNICA EXPERIMENTAL, 7º, Vila Real, 2008

Congresso Nacional de Mecânica Experimental: Livro de resumos / ed.
Abílio M. P. de Jesus, Jorge T. Q. S. Pinto. – Lisboa: APAET, 2008.

ISBN 978-972-669-851-7

D.L.:PT 269753/08

I – Jesus, Abílio M. P. de, (ed. lit.) II – Pinto, Jorge T. Q. S., (ed. lit.)

1-Mecânica experimental — Congressos

CDU 62

061.3(469.202)"2008"

IMPRESSO EM PORTUGAL

Comissão Organizadora

Arlindo Gonçalves (LNEC)
João Ferreira (IST)
Joaquim Silva Gomes (FEUP)
José Cirne (FCTUC)
José Morais (UTAD) - Presidente
Mário Santos (INETI)
Mário Vaz (FEUP)
Paulo Piloto (IPB)

Comissão Executiva

Abílio de Jesus (UTAD)
Jorge Pinto (UTAD)
Marcelo Oliveira (IPV)

Comissão Científica

Abílio de Jesus (UTAD)
Alfredo Balacó de Morais (U Aveiro)
Alfredo Ribeiro (UTAD)
Álvaro Cunha (FEUP)
António Correia da Cruz (ISQ)
António Sousa Miranda (UM)
António Torres Marques (FEUP)
Elsa Sá Caetano (FEUP)
Elza Fonseca (IPB)
Ema Coelho (LNEC)
Francisco Queirós de Melo (U Aveiro)
Graça Vasconcelos (UM)
Humberto Varum (U Aveiro)
Joaquim Barros (UM)
Joaquim Figueiras (FEUP)
Joaquim Silva Gomes (FEUP)
Jorge Pinto (UTAD)
Jorge Seabra (FEUP)
José Dias Rodrigues (FEUP)

José Domingos Costa (FCTUC)
José Reis Campos (FMDUP)
José Simões (U Aveiro)
Júlio Montalvão e Silva (IST)
Luis Simões da Silva (FCTUC)
Manuel Freitas (IST)
Marcelo Moura (FEUP)
Maria João Barros (U Açores)
Mário Santos (INETI)
Mário Vaz (FEUP)
Nuno Rilo (FCTUC)
Paulo Cruz (UM)
Paulo Lourenço (UM)
Paulo Piloto (IPB)
Paulo Tavares de Castro (FEUP)
Rui Carneiro de Barros (FEUP)
Rui Faria (FEUP)
Rui Guedes (FEUP)
Rui Simões (FCTUC)

Índice

Ensaio "Push-out" para Vigas Parcialmente Embebidas com Betão <i>Piloto, P.A.G.; Gavilán, A.B.R.; Mesquita, L.M.R.</i>	1
Desenvolvimento de Reforço Sísmico Usando FRP: Aplicação a um Pilar Pré-Fabricado de Betão <i>Oliveira, D.V.; Costa, B.; Loureiro, C.; Coelho, N.; Moreira, N.</i>	5
Confinamento de Pilares de Betão Armado Reforçados Total e Parcialmente com Mantas de CFRP Submetidos a Carregamentos Cíclicos de Compressão <i>Ferreira, D.; Barros, J.</i>	9
Caracterização Experimental e Modelação Numérica da Ligação GFRP/Betão <i>Biscaia, H.E.C.; Silva, M.G.; Rodrigues, C.C.</i>	13
Taper Roller Bearings Lubricated with Bio-Greases <i>Graça, B.M.; Campos, A.J.V.; Seabra, J.H.O.</i>	17
The Prediction of Micropitting Initiation on Gear Teeth: a Numerical Model and its Correlation with Experimental Data <i>Brandão, J.A.; Seabra, J.O.; Castro, M.J.</i>	21
Abertura de Novas Superfícies no Corte Ortogonal <i>Silva, C.M.A.; Rosa, P.A.R.; Martins, P.A.F.</i>	25
Avaliação Experimental da Condição Tribologia no Corte Ortogonal <i>Cristino, V.A.M.; Rosa, P.A.R.; Martins, P.A.F.</i>	29
O Efeito da Dureza de um Aço no Coeficiente de Desgaste do Eléctrodo no Processo de Electroerosão <i>Araújo, A.; Marafona, J. D.</i>	33
Módulo de Young – Comparação de Metodologias de Medição <i>Sousa, C.; Restivo, M.T.; Rodrigues, J.D.; Lopes, A.M.; Chouzal, M.F.; Mendes, J.G.</i>	37
Modal Sensing of Beams via Spatially Shaped Distributed Piezoelectric Transducers <i>Vasques, C.M.A.; Rodrigues, J.D.</i>	41
A Phenomenological Model of Passive Control of Vibrations of Beams via Shunted Piezoelectric Transducers <i>Stahlhofer, L.R., Vasques, C.M.A.; Rodrigues, J.D.</i>	45
Desenvolvimento e Validação de um Protótipo de Ensaio para Caracterização Experimental de Materiais Viscoelásticos <i>Moreira, R.A.S.; Martins, R.O.; Silva, J.; Rodrigues, J.D.</i>	49

Dynamic Strain Measurement in Composite Laminate Using an Embedded EFPI Sensor/PZT Actuator Hybrid System <i>Oliveira, R.; Ramos, C.A., Marques, A.T.</i>	53
Um Algoritmo de Newmark Baseado no Método das Forças para Uso em Testes Pseudo-Dinâmicos <i>Melo, F.J.Q.; Martins, R.O.; Vaz, M.A.P., Ferreira, J.A.F.</i>	57
Instrumentação e Monitorização de Torres Eólicas <i>Rebello, C.A.S.; Simões, R.A.D.; Silva, L.S.</i>	61
Medição de Tensões Residuais não Uniformes em Profundidade com Moiré Interferométrico <i>Ribeiro, J.; Monteiro, J.; Vaz, M., Lopes, H.; Piloto, P.</i>	65
Utilização da Técnica ESPI para a Detecção de Defeitos em Placas Compósitas <i>Rocha, E.; Amaro, A.M.; Monteiro, J.M.</i>	69
Novo Método de Tratamento de Resultados Aplicado ao Ensaio DCB na Madeira <i>Moura, M.F.S.F.; Morais, J.J.L.; Dourado, N.</i>	73
Modelação por Elementos Finitos de Vigas de Madeira Reforçadas com Lâminas de Carbono <i>Pinto, J.M.T.; Jesus, A.M.P.; Pinto, J.T.Q.S.; Morais, J.J.L.; Lousada, J.L.P.C.</i>	77
Determinação da Condutividade Térmica Efectiva de Tintas Intumescentes <i>Mesquita, L.M.R.; Piloto, P.A.G.; Vaz, M.A.P.; Pinto, T.</i>	81
Processo de Monitorização Adoptado na Reconstrução do Pano de Muralha SE do Baluarte do Cavaleiro em Chaves <i>Pinto, J.; Varum, H., Guedes, J.; Morais, J.</i>	85
Ensaio Experimental de uma Arcada de um Ascensor de Elevação Hidráulica <i>Roseiro, L.M.S.; Leal, R.A.C.P.; Pinto, L.; Rilo, N.F.</i>	89
Estudos Experimentais em Ligações Estruturais Coladas Madeira-Vidro <i>Cruz, P.J.S.; Pequeno, J.M.B.</i>	91
Comportamento Semi-Rígido de Ligações Tradicionais de Madeira <i>Branco, J.M.; Cruz, P.J.S.; Piazza, M.; Varum, H.</i>	95
Desenvolvimento de uma Técnica de Reforço do Esmagamento Localizado em Ligações Tipo Cavilha <i>Santos, C.L.; Jesus, A.M.P.; Morais, J.J.L.; Lousada, J.L.P.C.</i>	99
Caracterização Mecânica de Toros de Madeira Lamelada Colada <i>Branco, J.M.; Cruz, P.J.S.</i>	103
Modelação e Ensaio de uma Estrutura Lamelar de Madeira para Cobertura Cilíndrica <i>Lopes, G.M.; Carvalho, N.R.F.; Mata, R.C.; Barros, R.C.; Teixeira, F.F.; Mariz, M.C.G.</i>	105
Levantamento das Patologias e Monitorização do Arco-Cruzeiro da Igreja da Misericórdia de Aveiro <i>Varum, H.; Vicente, R.; Rodrigues, H.; Fernandes, C.; Costa, A.; André, P.; Nogueira, R.; Lima, H.; Abe, I.; Pinto, J.L.</i>	109

Monitorização do Comportamento do Betão nas Primeiras Idades: Validação Experimental de Modelos Numéricos <i>Ferreira, D.; Azenha, M.; Faria, R.</i>	113
Validação Numérica da Resposta Cíclica Experimental de Pórticos de Betão Armado <i>César, M.T.B.; Oliveira, D.V.; Barros, R.C.</i>	117
Avaliação Experimental da Aderência de Juntas de Alvenaria de Blocos de Betão <i>Vasconcelos, G.; Lourenço, P.B.; Haach, V.G.</i>	121
Influence of the Mortar on the Compressive Behavior of Concrete Masonry Prisms <i>Haach, V.G.; Vasconcelos, G.; Lourenço, P.B.; Mohamad, G.</i>	125
Estudo Numérico sobre a Influência do Esforço Axial no Comportamento de Isoladores de Base do Tipo HDRB <i>César, M.T.B.; Barros, R.C.</i>	129
Fatigue Damage Behaviour of Structural Components under Variable Amplitude Loading <i>Pereira, H.F.S.G.; Jesus, A.M.P.; Ribeiro, A.S.; Fernandes, A.A.</i>	133
Análise de Vibrações Mecânicas em Linhas Férreas de Trens de Metro através de Procedimentos Experimentais, Modelagem Matemática e Computacional <i>Freitas, E.S.; Sousa, E.A.C.;</i>	137
Análise de Estrutura Flexível Submetidas à Materiais Viscoelásticos <i>Sousa, E.A.C.; Queiroz, J.A.S.</i>	143
Dynamic Analysis and Structural Evaluation of Góis Footbridge <i>Cruz, P.J.S.; Salgado, R.; Branco, J.M.</i>	144
Avaliação Experimental da Eficiência de TMDs para Controlo de Vibrações Laterais da Ponte Pedro e Inês <i>Caetano, E.; Cunha, A.; Silva, J. M.; Freitas, F.</i>	151
Sistema de Visão Artificial para Monitorização de Vibrações em Tirantes de Pontes <i>Silva, S.; Bateira, J.; Caetano, E.</i>	153
Modelação das Vibrações Induzidas pela Passagem de Comboios de Alta Velocidade <i>Palácio, A.; Silva, M.A.G.; Antão, A.N.; Silva, J.M.M.</i>	157
Overview of Recent Portuguese Research on Fatigue Behaviour of Ancient Portuguese Riveted Steel Bridges <i>Correia, J.A.F.O. ; Jesus, A.M.P.; Figueiredo, M.A.V.; Ribeiro, A.S.; Fernandes, A.A.</i>	161
Análise Experimental da Rotura pela Fundação de uma Barragem Abóbada <i>Gomes, J.P.; Lemos, J.V.; Pina, C.B.</i>	165
Modelação Numérica e Experimental da Rotura pela Fundação de uma Barragem Gravidade para Acções Dinâmicas <i>Gomes, J.P.; Lemos, J.V.; Pina, C.B.</i>	169
Caracterização do Comportamento à Fractura em Modo I do Tecido Ósseo Cortical <i>Batista, J.F.; Morais, J.L.; Dourado, N.M.; Moura, M.F.; Dias, M.I.; Azevedo, J.T.</i>	173

Estudo da Influência do Comportamento Viscoelástico do Osso e do Cimento na Distribuição de Tensões na Prótese de Anca <i>Nabais, C.; Guedes, R.M.; Simões, J.A.</i>	177
Análise Numérica e Experimental da Migração da Componente Femoral de uma Prótese da Anca <i>Fernandes, P.R.; Folgado, J.; Simões, J.A.</i>	181
Sistema Integrado de Fabrico de Implantes Anatomicamente Adaptados <i>Relvas, C.; Simões, J.A.</i>	183
Avaliação da Resistência do Colo do Fémur Utilizando o Modelo de Elementos Finitos <i>Teixeira, C., Fonseca, E., Barreira, L.</i>	187
Caracterização de cavilhas de fixação intra-medulares de estabilização de fracturas ósseas à flexão e torção <i>Ramos, A., Simões, J.A.</i>	191
Caracterização Experimental do Escoamento de um Cimento Ósseo num Canal de Dimensões Reduzidas <i>Simões, J. A., Martins, N., Completo A., Clemente, C. M.</i>	195
Aquisição e Tratamento de Imagem Aplicada à Modelagem de Estruturas Ósseas <i>Sousa, E.A.C.; Marques, A.S.</i>	199
Imagens Tomográficas Biomédicas Aplicadas à Prototipagem Rápida e à Criação de Modelos Numéricos <i>Sá, J.; Barreira, L.; Fonseca, E.; Teixeira, C.</i>	203
Medição de Forças de Corte no Pé com Sapato Instrumentado <i>Marques, M.A.; Viriato, N.; Vaz, M.A.; Ribeiro, R.</i>	207
Modelação do Pé para Estudo de Tensões Internas Localizadas <i>Marques, M.A.; Nabais, C.; Viriato, N.; Ribeiro, R.; Vaz, M.A.P.</i>	211
Water Degradation Study of Fibers of Different Aliphatic Polyesters <i>Vieira, A.F.C.; Marques, A.T.; Guedes, R.M.</i>	215
Estudo Preliminar da Cinemática da Locomoção de Crianças em Idade Escolar Transportando Mochilas às Costas <i>Rocha, J.; Barbosa, T.M.</i>	219
Influência dos Tecidos Gengivais na Micromobilidade do Sistema Dente/Periodonto. Estudo Experimental <i>Bernardo, N.; Completo, A.; Simões, J.A.; Ferreira, J.</i>	223
Estudo Biomecânico das Tensões Exercidas pelas Molas Ortodônticas sobre as Estruturas Dentárias <i>Machado, C.B.; Vaz, M.P.; Campos, J.R.; Correia, A.</i>	227
Simulação Numérica do Comportamento de uma Mandíbula Humana Durante Actividade Mastigatória <i>Piloto, P.; Ribeiro, J.; Campos, J.C.R.; Correia, A.; Vaz, M.</i>	231
Análise Experimental de Tensões em Conectores de Próteses Fixas Dentárias Tipo Cantilever	

<i>Correia, A.; Fernandes, J.C.S.; Campos, J.C.R.; Vaz, M.A.; Viriato, N.</i>	235
Erosão Laser 3D – Tecnologia de Micromaquinação <i>Silva, A.J.; Dias, S.A.S.; Osório, A.M.B.A.</i>	239
Dynamic Behavior of Sandwich Plates with Cork Compound Cores: Modeling and Characterization <i>Silva, J.S.; Moreira, R.A.S.; Rodrigues, J.D.</i>	243
Avaliação Estrutural do Aço Rápido M3/2 Sinterizado através da Tecnologia DMLS <i>Esperto, L., Martins, I.M., Santos. M.</i>	247
Implementação do Método de “Oberst” para Medição de Amortecimento em Compósitos de Cortiça com Borracha Sintética <i>Cláudio, R.A.; Nunes, N.N.; Sequeira, A.; Silva, L.; Martins, C.</i>	251
Experimental Characterization of the Compressive Behavior of Granites <i>Vasconcelos, G.; Lourenço, P.B.</i>	255
Fatigue Crack Growth Behaviour of the Friction Stir Welded 6082-T6 Aluminium Alloy <i>Moreira, P.M.G.P.; Jesus, A.M.P.; Ribeiro, A.S.; Castro, P.M.S.T.</i>	259
Desenho de Experiências - Estratégias <i>Domingues, R., Oliveira, F.A.C.; Esperto, L.</i>	263
Influência da Humidade e do Envelhecimento Físico no Comportamento Elástico de um Époxido <i>Custódio, P.M.C.; Tranchete, T.M.; Morais, J.J.L.; Guedes, R.J.M.; Xavier, J.M.C.</i>	267
Influência dos Parâmetros de Maquinagem no Dano de Placas Compósitas <i>Durão, L.M.P.; Magalhães, A.G.; Marques, A.T., Tavares, J.M.R.S.</i>	271
Caracterização Mecânica Experimental de Ladrilhos Cerâmicos de Revestimento <i>Rilo, N.F.; Pereira, R.A.T.R.; Dias, A.B.; Leal, R.A.C.P.</i>	275
Residual Stress Evaluation of a Mig Welded Plate Using the Sectioning Method and the Hole Drilling Method <i>Moreira, P.M.G.P.; Richter-Trummer, V.; Silva, R.A.M.; Figueiredo, M.A.V.; Castro, P.M.S.T.</i>	277
Estudo do Dano em Tubos de Matriz Termoplástica Reforçada com Fibras Contínuas <i>Correia, S.M.; Silva, J.F.; Monteiro, J.; Nunes, J.P.; Marques, A.T.</i>	281
Characterisation of the Radial Variability of Stiffness Parameters of P. Piaster by the Virtual Fields Method <i>Xavier, J.; Avril, S.; Pierron, F.; Morais, J.</i>	285
Comportamento Estático e à Fadiga de Juntas Coladas com Perfis Pultrudidos <i>Ribeiro, A.S.; De Jesus, A.M.P.; Ferreira, A.J.M.; Pereira, A.H.C.</i>	289

DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA EFECTIVA DE TINTAS INTUMESCENTES

Mesquita, L. M. R.¹; Piloto, P.A.G.¹; Vaz, M.A.P.³; Pinto, T.¹

¹–ESTIG, Instituto Politécnico de Bragança

³–FEUP, Universidade do Porto



RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo experimental e numérico efectuado em placas de aço protegidas com tinta intumescente e sujeitas a um fluxo de calor radiante proveniente de um calorímetro de cone. A variação da temperatura em ambas as faces da placa é obtida através de termopares do tipo k soldados à placa. Os resultados permitem caracterizar o comportamento térmico do intumescente, estimar a expansão volumétrica e a taxa de perda de massa. O método das diferenças finitas é utilizado para resolver o problema inverso, determinar a condutividade térmica efectiva e a temperatura à superfície do intumescente.

1- INTRODUÇÃO

A temperatura crítica é uma das variáveis de projecto essenciais ao dimensionamento de elementos estruturais protegidos, dependendo principalmente das propriedades do material de protecção e da temperatura proveniente da acção do fogo.

Os materiais de protecção ao fogo podem ser caracterizados em não reactivos, dos quais os mais utilizados se encontram em forma de placas ou sprays, e reactivos, de que as tintas intumescentes são um exemplo. O comportamento de uma tinta intumescente é caracterizado por uma expansão volumétrica e por uma perda de massa, originando uma espuma carbonosa que pode atingir entre 5 a 200 vezes o seu volume original.

Este trabalho apresenta um estudo experimental e numérico baseado em placas de aço pintadas com tinta intumescente e sujeitas a um fluxo de calor radiante proveniente de um calorímetro. A

espessura da intumescência e a temperatura no aço são medidas experimentalmente e utilizadas no estudo numérico para determinar a temperatura na superfície da intumescência e a condutividade térmica efectiva.

2- ENSAIOS EXPERIMENTAIS

As placas de aço ensaiadas são de geometria quadrada, com 100 [mm] de lado e 4 [mm] de espessura, pintadas numa das faces com diferentes espessuras de protecção e foram testadas num calorímetro de cone segundo a norma E1354, [ASTM(2004)].



Fig 1 - Desenvolvimento da intumescência durante ensaio.

O valor médio da espessura seca dos três provetes, obtido através de 23 medições, é de 3010, 2680 e 2690 [µm] e o fluxo de calor imposto no calorímetro de cone é de 75, 25 e 25 [kW/m²], para o teste1, teste2 e teste3, respectivamente.

A Fig. 2 apresenta a perda de massa das amostras ensaiadas. Verifica-se que a perda de massa tem, aproximadamente, uma dependência linear com o tempo, apresentando o teste 1 uma perda de massa superior, 41.5 %, comparado com os restantes, 11.5%.

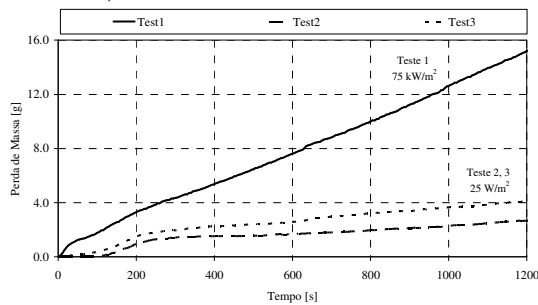


Fig 2 - Perda de massa ao longo do tempo.

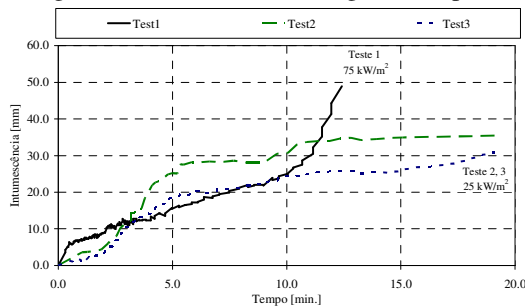


Fig 3 - Variação da espessura do intumescente e perfil da intumescência do teste 1.

Utilizando técnicas de processamento de imagem, sobre registos efectuados ao longo do ensaio, estimou-se a variação da espessura do intumescente ao longo do tempo, ver a Fig. 3. Os perfis da temperatura, medidos através dos termopares, na interface da tinta com a superfície superior e na superfície inferior da placa, são apresentados na Fig. 4.

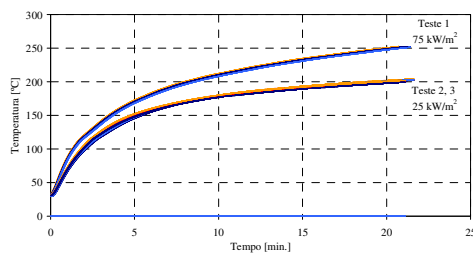


Fig 4 - Evolução das temperaturas nas superfícies superior e inferior da placa de aço.

3- CONDUTIVIDADE TÉRMICA EFECTIVA DO INTUMESCENTE

O desenvolvimento da intumescência é analisado como um problema unidimensional de condução de calor, em que o fluxo de calor se propaga através de uma camada única de protecção, ver figura 5.

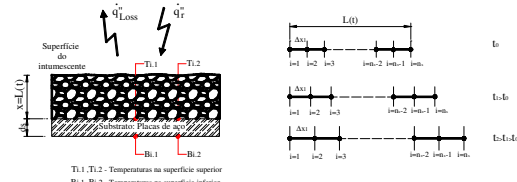


Fig 5 - Modelo unidimensional de condução de calor. Discretização espacial por DF.

A equação diferencial do problema é:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = k_{eff} \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial x} \quad 0 < x < L(t) \quad (1)$$

As condições de fronteira consideradas no domínio do intumescente são:

$$k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=L(t)} = \quad (2)$$

$$\varepsilon \dot{q}_r'' - h_c (T - T_a) - \varepsilon \sigma (T^4 - T_a^4) \quad x = L(t)$$

$$k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x} = d_s c_s \rho_s \frac{\partial T_s}{\partial t} \quad x = 0 \quad (3)$$

As condições iniciais são definidas pelas equações (6) e (7).

$$L(0) = d_0 \quad (4)$$

$$T(x,0) = T_a \quad (5)$$

O problema apresentado, formulado com as equações (1-5), que consiste na determinação de K_{eff} e do campo de temperaturas $T(x,t)$, é considerado um problema inverso “mal posto”, por não possuir solução única, [Al-Khalidy, (1998)]. Para resolver este problema, considerou-se que a temperatura do aço ($x=0$) é igual aos valores medidos experimentalmente.

$$T_s(0,t) = T_s(t) \quad (6)$$

Utilizando um esquema de diferença finita atrás para aproximar a derivada no tempo e impondo as condições de

fronteira, a distribuição da temperatura no intumescente e a sua condutividade térmica efectiva são obtidas pelas equações (7-9).

Para $i = 1$, $x = 0$

$$c\rho_{i,k-1} \frac{T_{i,k} - T_{i,k-1}}{\Delta t} = \frac{1}{\Delta x_i} \left[k_{eff,k} \frac{T_{i+1,k} - T_{i,k}}{\Delta x_i} - d_s c_s \rho_s \frac{T_{i,k} - T_{i,k-1}}{\Delta t} \right] \quad (7)$$

Para $1 < i < n_x$, $0 < x < L(t)$

$$c\rho_{i,k-1} \frac{T_{i,k} - T_{i,k-1}}{\Delta t} = \frac{1}{\Delta x_i} \left[k_{eff,k} \frac{T_{i+1,k} - 2T_{i,k} - T_{i-1,k}}{\Delta x_i} \right] \quad (8)$$

Para $i = n_x$, $x = L(t)$

$$c\rho_{i,k-1} \frac{T_{i,k} - T_{i,k-1}}{\Delta t} = \frac{1}{\Delta x_i} \left[\varepsilon \dot{q}_r'' - h_c (T_{i,k-1} - T_a) - \varepsilon \sigma (T_{i,k-1}^4 - T_a^4) - k_{eff,k} \frac{T_{i,k} - T_{i-1,k}}{\Delta x_i} \right] \quad (9)$$

Para determinar o valor da condutividade térmica adoptado, em cada incremento de tempo, é utilizado um processo iterativo com o critério de paragem $error = (T_{s,Exp} - T_{s,num}) / T_{s,Exp} \leq 1\%$.

As Fig. 6 e 7 apresentam os resultados numéricos da condutividade térmica efectiva do teste 1 e dos testes 2 e 3, considerando dois casos de estudo. No primeiro caso, C1, é considerada a massa específica do material virgem e uma espessura constante, igual à espessura seca inicial. No segundo caso, C2, a massa específica e a espessura foi considerada dependente do tempo, utilizando-se, para os testes 2 e 3, o valor médio da espessura. As figuras também apresentam a temperatura à superfície do intumescente, T_{surf} , e a temperatura do aço, T_{steel} , obtidas por este método numérico.

Na fase final do ensaio existe uma diferença significativa entre os casos C1 e C2, com valores de 0.0056 [W/m°C] e 0.1151 [W/m°C] para o teste 1 e 0.0053 [W/m°C] e 0.085 [W/m°C] para os testes 2 e 3, respectivamente.

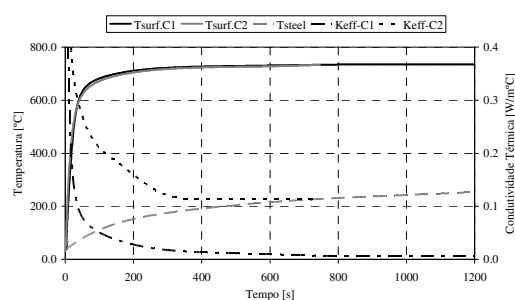


Fig 6 - Condutividade térmica efectiva (teste 1).

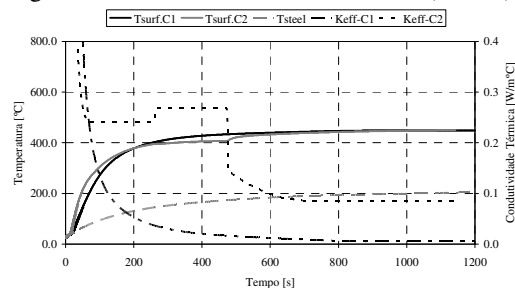


Fig 7 - Condutividade térmica efectiva (teste 2 e 3).

4- CONCLUSÕES

Os resultados mostram que o desenvolvimento da intumescência depende do valor inicial de espessura seca e do fluxo de calor incidente. No período analisado, a variação da massa do material varia de forma aproximadamente linear. Foi ainda apresentado um modelo numérico, baseado no método das diferenças finitas, para a análise do comportamento do intumescente e obtida uma aproximação da condutividade térmica efectiva e da temperatura à superfície do intumescente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, projecto PTDC/EME-PME/64913/2006, “Avaliação do Comportamento de um Material Intumescente na Protecção Passiva de Elementos Estruturais Submetidos a Incêndio”, e bolsa de doutoramento SFRH/BD/28909/2006.

REFERÊNCIAS

- E1354-04, Standard Test For Heat And Visible Smoke Release For Materials And Products Using An Oxygen Consumption Calorimeter, American Society For Testing And Materials, 2004.
- Al-Khalidy, N, “On the solution of parabolic and hyperbolic inverse heat conduction problems”, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 30, pp. 3731-3740, 1998.