



# mecânica experimental

Congresso Nacional 2010

Guimarães, 21-23 Abril

Editado por:

Graça Vasconcelos

Paulo B. Lourenço

Joaquim O. Barros

Filipe S. Silva



Escola de Engenharia  
Universidade do Minho



Associação Portuguesa  
de Análise Experimental de Tensões

**COMISSÃO ORGANIZADORA**

Graça Vasconcelos (UMINHO)  
Paulo B. Lourenço (UMINHO)  
Joaquim Barros (UMINHO)  
Filipe Samuel Silva (UMINHO)  
Arlindo Gonçalves (LNEC)  
João Ferreira (IC/IST)  
Joaquim Silva Gomes (FEUP/INEGI)  
José Cirne (FCTUC)  
Mário Santos (INETI)

**COMISSÃO CIENTÍFICA**

A. Simões (U Aveiro)	J. F. Dias Rodrigues (FEUP)
A. Sousa Miranda (UMINHO)	Luís Rocha (UMINHO)
A. Torres Marques (FEUP)	Júlio Montalvão e Silva (IST)
A. Trigo Cabral (FMUP)	Manuel Freitas (IST)
Abílio de Jesus (UTAD)	Marcelo Moura (FEUP)
Alfredo Ribeiro (UTAD)	Maria João Barros (U Açores)
Álvaro Cunha (FEUP)	Mário Santos (INETI)
Arlindo Gonçalves (LNEC)	Mário Vaz (FEUP)
Carlos Navarro (U. Carlos III, Madrid)	Nuno Rilo (FCTUC)
Ema Coelho (LNEC)	Paulo Piloto (IPB)
Elsa de Sá Caetano (FEUP)	Paulo Tavares de Castro (FEUP)
Elza Fonseca (IPB)	Rui Carneiro de Barros (FEUP)
F. Queirós de Melo (U Aveiro)	Rui Guedes (FEUP)
Graça Vasconcelos (UMINHO)	Rui Reis (UMINHO)
Humberto Varum (U Aveiro)	Said Jalali (UMINHO)
J. C. Reis Campos (FMDUP)	Shaker Meguid (U. Toronto/Canada)

**SECRETARIADO**

Paula Teixeira

## Organização



Universidade do  
Minho



Associação Portuguesa  
de Análise Experimental  
de Tensões

## Patrocínios



## Apoios



Todos os direitos reservados. Este livro não pode ser reproduzido, no todo ou em parte, por qualquer forma ou quaisquer meios electrónico, mecânicos ou outros, incluindo fotocópia, gravação magnética ou qualquer outro processo de armazenamento ou sistema de recuperação de informação, sem prévia autorização escrita dos editores.

Os artigos incluídos no livro são publicados na forma de submissão pelos autores, após revisão pela Comissão Científica. Os editores não podem aceitar qualquer responsabilidade por possíveis erros ou discrepâncias.

ISBN: 978-972-8692-47-6

© Universidade do Minho

Departamento de Engenharia Civil, Azurém, P-4800 Guimarães

Tel: +351 253 510 200, Fax: +351 253 510217

Publicado por: MultiComp-Artes Gráficas, Lda

Depósito legal 309035/10

## CARACTERIZAÇÃO DA DECOMPOSIÇÃO TÉRMICA E FORMAÇÃO CARBONOSA DE TINTAS INTUMESCENTES

L. Mesquita<sup>1</sup>, P. Piloto<sup>2</sup>, F. Magalhães<sup>3</sup>, J. Pimenta<sup>4</sup>, M. Vaz<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Mecânica Aplicada, Instituto Politécnico de Bragança.

<sup>2</sup> Departamento de Mecânica Aplicada, Instituto Politécnico de Bragança.

<sup>3</sup> LEPAE, Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

<sup>4</sup> LEPAE, Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

<sup>5</sup> Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.



### RESUMO

*Este trabalho apresenta um estudo dos mecanismos de decomposição e de intumescência de duas tintas comerciais de base aquosa. São apresentados resultados experimentais, obtidos através de termogravimetria e num calorímetro de cone. Os resultados do primeiro teste permitem aferir a variação da perda de massa com a temperatura, para distintas taxas de aquecimento e, considerando que as reacções químicas são descritas pela equação de Arrhenius, é apresentado o método de cálculo dos parâmetros cinéticos, energia de activação e factor pré-exponencial, comparando diferentes métodos cinéticos. Os testes realizados no calorímetro de cone, especificando um fluxo de calor radiante, permite quantificar a variação da camada intumescente e a evolução da temperatura no substrato.*

### 1- INTRODUÇÃO

O desempenho da protecção intumescente está directamente relacionado com a temperatura ou tempo em que esta se inicia e o período que actua como barreira térmica. Quando a protecção intumescente entra em contacto com os gases quentes provenientes de um incêndio, começa a formar bolhas, originando uma expansão volumétrica com perda de massa.

Este artigo apresenta dois métodos analíticos utilizados no cálculo dos parâmetros cinéticos que determinam a degradação do material nas suas várias etapas e um método numérico de optimização da contribuição de cada uma destas etapas na perda de massa da amostra.

### 2- TESTES EFECTUADOS NO CALORÍMETRO DE CONE

Para avaliar o comportamento de duas tintas de base aquosa, foi conduzido um conjunto de ensaios realizados num calorímetro de cone. Os provetes são constituídos por placas de aço quadradas, 100 [mm], com 4 e 6 [mm] de espessura, pintadas numa das faces com diferentes espessuras de protecção, 0,5, 1,5 e 2,5 [mm], e testadas segundo a norma ISO5660, a fluxos de calor radiante de 35 e 75 [kW/m<sup>2</sup>].

A figura 1 apresenta a variação da espessura da camada intumescente da tinta A para um fluxo de calor de 35 [kW/m<sup>2</sup>] e espessuras secas de protecção de 0,5, 1,5 e 2,5 [mm].

Os resultados evidenciam, como seria espectável, que o desenvolvimento da

camada intumescente depende da espessura inicial e da solicitação térmica.

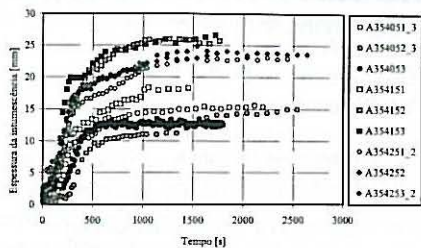


Fig. 1 – Valor médio da espessura da intumescência da tinta A, para espessuras de protecção de 0,5, 1,5 e 2,5 [mm] e um fluxo de calor de 35 [kw/m<sup>2</sup>].

### 3- DETERMINAÇÃO DAS CONSTANTES CINÉTICAS

As constantes cinéticas das quatro etapas de decomposição foram determinadas pelos métodos de Kissinger e de Flynn-Hall-Ozawa. Estes métodos consideram os resultados dos testes de termogravimetria. Foram efectuados testes em ambiente de ar, apresentados na Fig. 2, e N2.

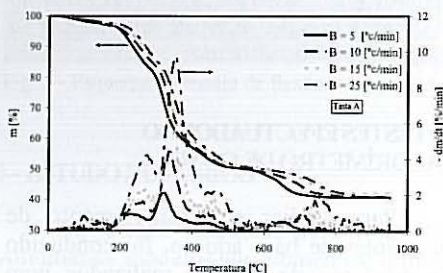


Fig. 2 – Curvas TG e DTG para diferentes taxas de aquecimento em atmosfera de ar.

Os resultados dos testes TG, Fig. 2, mais precisamente as curvas DTG, mostram a presença de vários picos, indicando a existência de várias reacções no processo de decomposição definido por quatro etapas.

Os resultados da aplicação do método de Kissinger são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros cinéticos determinados pelo método de Kissinger.

Etapa	Tinta A		Tinta B	
	E [KJ/mol]	A [s <sup>-1</sup> ]	E [KJ/mol]	A [s <sup>-1</sup> ]
1	53,095	761,53	60,089	5,375E+03
2	130,770	119,36E+07	163,031	1,096E+12
3	163,64	403,21E+07	146,034	2,453E+08
4	110,40	1883,20	188,309	3,244E+07

### 4- MÉTODO NUMÉRICO DE CÁLCULO DA PERDA DE MASSA

Considerando os parâmetros cinéticos obtidos pelo método de Kissinger, e assumindo que as etapas de decomposição são independentes, foi apresentado um método numérico de cálculo da perda de massa do intumescente, baseado na optimização da contribuição de cada etapa de decomposição. A comparação entre os resultados numéricos e experimentais da perda de massa da tinta A é apresentada na Fig. 4.

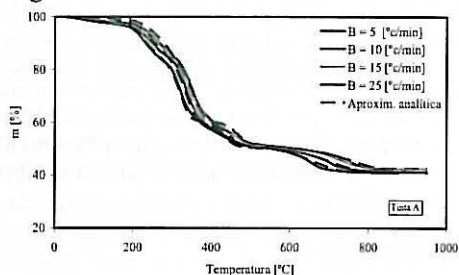


Fig. 3 – Comparação entre os resultados numéricos e experimentais da perda de massa da tinta A.

### 5- CONCLUSÕES

Foi apresentado um conjunto de testes experimentais conduzidos num calorímetro de cone e de termogravimetria para análise do comportamento de tintas intumescentes sob a acção térmica. Os resultados permitem concluir que a intumescência depende da espessura seca inicial de tinta e do fluxo de calor. Foram apresentados métodos analíticos de cálculo das constantes cinéticas que permitem obter uma previsão da perda de massa da tinta com a temperatura. Os valores das energias de activação encontradas diferem com o método utilizado.