

# COMPORTAMENTO TÉRMICO DE COMPÓSITOS DE RESINA FENÓLICA REFORÇADOS POR TECIDOS HÍBRIDOS DE JUTA E ALGODÃO

E. S. de Medeiros<sup>1</sup>, E. Corradini<sup>2</sup>, J. A. M. Agnelli<sup>3</sup>, L. H. de Carvalho<sup>4</sup>, L. H. C. Mattoso<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Materiais da UFSCar, [eliton@cnpdia.embrapa.br](mailto:eliton@cnpdia.embrapa.br), <sup>2</sup> Interunidades da USP, <sup>3</sup> Departamento de Engenharia de Materiais da UFSCar, <sup>4</sup> Departamento de Engenharia de Materiais da UFCG, <sup>5</sup> Embrapa Instrumentação Agropecuária, C. Postal 741, 13.560-970, São Carlos-SP, [mattoso@cnpdia.embrapa.br](mailto:mattoso@cnpdia.embrapa.br)

## *Thermal behavior of phenolic composites reinforced with jute/cotton hybrid fabrics*

In this work thermogravimetric analysis (TG) and limiting oxygen index (LOI) and Underwriters' Laboratory (UL-94) flammability tests were used to study the thermal and flammability behaviors of phenolic composites reinforced with jute/cotton hybrid fabrics. Results showed that composites display good thermal stability, which was predominantly limited by the stability of the reinforcing fibers. Composite flammability depends on the characteristics of fibers/fabrics employed as reinforcement. Flammability test performance was found to agree with TG analyses results.

### Introdução

Uma das barreiras na implementação de compósitos reforçados por fibras naturais, especialmente na indústria de móveis, é a sua combustibilidade inerente. Nesta acepção, o entendimento do comportamento térmico dos compósitos é de suma importância para que esses materiais possam ser usados em locais com risco de incêndios. Os métodos mais usados para caracterizar o comportamento térmico e de inflamabilidade de compósitos são a análise termogravimétrica (TG) que pode fornecer dados sobre os mecanismos de decomposição, índice de oxigênio (LOI) e teste de queima vertical/horizontal da Underwriters' Laboratory (UL-94). O LOI mede a capacidade do material sofrer ignição na condição limite de escassez de oxigênio. O teste UL-94 simula o comportamento de inflamabilidade de um produto moldado usando dimensões padrão em conjunção com fontes de ignição especificadas (1-5). Este trabalho teve como objetivo o estudo do comportamento térmico de compósitos de resina fenólica tipo novolaca reforçados por tecidos híbridos de juta e algodão. A caracterização foi realizada por termogravimetria (TG), LOI e UL-94.

### Experimental

#### *Materiais:*

A resina fenólica *novolaca* em pó (CR-4871) foi fornecida pela Crios Resinas S/A. Quatro tecidos híbridos de juta/algodão foram confeccionados contendo no urdume cordões de juta 10/1-10/4 (o segundo número refere-se ao número de cabos que compõe o cordão) e algodão na trama. Os tecidos/compósitos receberam a nomenclatura do tipo de fio de juta usado, isto é, tecido/compósito 10/1 – 10/4.

#### *Métodos:*

Os compósitos foram produzidos por pré-impregnação dos tecidos em solução alcoólica de resina fenólica (53:47 P/P %), secados em estufa a 80°C/1h, prensados a 150°C/2.2 MPa (5 ton)/5 min e pós-curados a 80°C em estufa por 8h. O teor total de fibra foi de 17,3±0,6, 21,8±1,5, 25,0±1,4 e 40,5±1,6 P/P % para os compósitos 10/1, 10/2, 10/3 e 10/4, respectivamente.

A análise termogravimétrica (TG) foi realizada num aparelho TGA-50 da Shimadzu em atmosfera inerte de nitrogênio a 20ml/min, de 25 a 900°C, a uma razão de aquecimento de 10°C/min.

A inflamabilidade UL-94 dos compósitos foi medida através do teste de queima vertical usando 10 amostras de 125 x 13 x 2,5 mm de acordo com as especificações dos Underwriters' Laboratories.

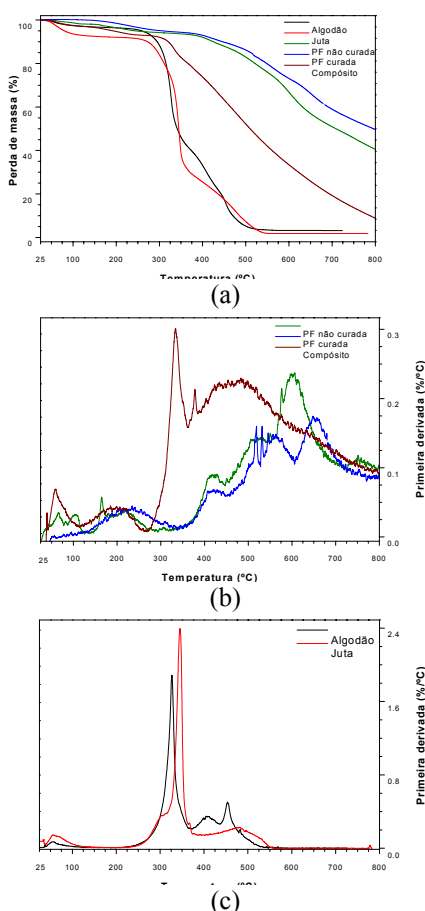
O índice de oxigênio (LOI) foi medido conforme norma ASTM D 2863-87 com corpos de prova de 150 x 6 x 2,5mm.

### Resultados e Discussão

A figura 1 mostra as curvas de TG e DTG das fibras de juta e algodão, resina fenólica curada e não curada e para o compósito 10/3 (25 % em peso de fibras).

As curvas de TG/DTG da juta e do algodão exibiram comportamento similar devido à semelhança na composição química e na estrutura das fibras, ou seja, ambas são fibras lignocelulósicas. Pode-se observar também que ambas são estáveis termicamente até 225°C. O pico de baixa intensidade entre 60-125°C é atribuído à perda de água que é cerca de 7 e 3%, respectivamente, para a juta e o algodão. A região de pirólise ativa ocorre entre 220-375° apresentando dois picos de DTG: o pico a 310°C, é atribuído à despolimerização da hemicelulose e das ligações glicosídicas da celulose e o pico a 365°C é atribuído à decomposição da  $\alpha$ -celulose. Como uma consequência

da natureza amorfa, a hemicelulose é o constituinte menos estável das fibras com a decomposição completada até 310°C enquanto a decomposição da celulose ocorre entre 310 e 350°C. Como a juta tem um maior teor de hemicelulose, a curva de DTG mostra dois picos relativamente distintos para a decomposição da hemicelulose/celulose enquanto para o algodão não são distinguíveis. O pico entre 375-550°C é atribuído à decomposição da lignina que ocorre entre 350 e 550°C sendo, portanto, o componente de maior estabilidade térmica (5). A pirólise total ocorreu até cerca de 550°C com um teor de resíduos muito baixo. A curva de DTG da resina PF não curada apresenta três picos a 66, 104 e 163°C, referentes às reações de fusão da resina, decomposição do hexametileno tetramina e de cura, respectivamente. Pode-se verificar que não há perda de massa significativa até 350°C para ambas as resinas curadas e não curadas. No entanto, a estabilidade do compósito é limitada pela estabilidade das fibras. A resina PF pura exibiu o maior teor de resíduos até 800°C e, portanto, a maior estabilidade térmica como consequência da sua estrutura com alta densidade de ligações cruzadas. O processo de cura, ao qual foi submetida (PF curada), gera um maior número de ligações cruzadas, aumentando a energia térmica necessária para quebrar as ligações covalentes formadas e, desta forma, degradar a resina; portanto, os eventos termodegradativos da resina PF curada ocorrerão a temperaturas mais elevadas.



**Figura 1** – Curvas de TG para fibras de juta e de algodão; resina PF curada e não curada e do compósito PF/Tecido híbrido (75:25 w/w) (a); curvas de DTG da resina PF curada e não curada e

do compósito PF/Tecido híbrido e; (c) curvas de DTG das fibras de algodão e juta.

**Tabela 1** – Índice de oxigênio (LOI) e classificação UL-94 dos compósitos.

Compósito	LOI (%)	UL-94
10/1	41,0	V-1
10/2	37,2	V-2
10/3	37,5	V-2
10/4	34,3	V-2

Os dados da Tabela 1 mostram que o índice de oxigênio e a classificação UL-94 dependem do tipo de compósito sendo que a inflamabilidade aumenta do compósito 10/1 para o compósito 10/4. Um valor baixo de LOI indica uma combustão fácil, enquanto que um LOI de pelo menos 27% é requerido para haver retardamento de chama. A adição de fibras naturais aumentou significativamente a inflamabilidade dos compósitos, entretanto, estes ainda são auto-extinguíveis. O aumento na inflamabilidade dos compósitos é atribuído ao aumento do teor de fibras, pois as fibras naturais são bastante inflamáveis. A análise termogravimétrica confirma os dados dos testes de inflamabilidade conforme ilustrado na Figura 1. É observado que além do início da decomposição térmica das fibras começar a uma temperatura mais baixa do que para a resina, a taxa de decomposição, proporcional ao valor positivo da inclinação das curvas de TG, é mais elevada, enquanto que o compósito apresenta temperatura e taxa de decomposição intermediárias.

### Conclusões

A estabilidade térmica dos compósitos é limitada pela estabilidade das fibras. Apesar da dependência da estabilidade térmica com o teor de fibras, os compósitos ainda são auto-extinguíveis. A caracterização da inflamabilidade por LOI e UL-94 mostrou também que a inflamabilidade dos compósitos é dependente do tipo de compósito e do teor de fibra. Os resultados de inflamabilidade estão de acordo com os obtidos por TG.

### Agradecimentos

Ao CNPq e Capes pelo apoio financeiro concedido.

### Referências Bibliográficas

1. E. S. de Medeiros, Dissertação de mestrado, DEMa, UFSCar, São Carlos, 2002.
2. A. K. Mohanty, M. Misra, Polymer Plastics and Technology Engineering, 1995, 34, 729.
3. UL-94, Underwriters Laboratories Inc., 1991, 18/6.
4. J. J. M. Órfão, F. J. A. Antunes, J. L. Figueiredo, Fuel, 1999, 78, 349.
5. A. K. Bledzki, J. Gassan, Prog. Polym. Sci., 1999, 24, 221.