

# COMPORTAMENTO DINÂMICO-MECÂNICO DAS FIBRAS DE BANANEIRA EM COMPÓSITO REFORÇADO COM MATRIZ POLIÉSTER<sup>1</sup>

Sergio Neves Monteiro<sup>2</sup>  
Frederico Muylaert Margem<sup>3</sup>  
Lucas Barbosa de Souza Martins<sup>4</sup>  
Rômulo Leite Loiola<sup>5</sup>  
Verônica Calado<sup>6</sup>

## Resumo

Avaliações dinâmico-mecânicas em fibra alinhadas de bananeira em compósitos poliméricos ainda não foram conduzidas com matriz poliéster. Neste trabalho, a dependência da temperatura para os parâmetros dinâmico-mecânicos em compósitos de poliéster reforçados com até 30% em volume, de fibras de bananeira contínuas e alinhadas foram investigados por meio de ensaios de DMA. Os parâmetros estudados foram o módulo de armazenamento e o módulo de perdas, bem como a tangente de delta. A investigação foi conduzida no intervalo de temperatura de 20 a 180°C usando um equipamento de análise DMA no modo de flexão. Os resultados mostraram que a incorporação de fibras de bananeira tende inicialmente a aumentar a rigidez viscoelástica da matriz. Modificações sensíveis na temperatura de transição vítrea e a capacidade de amortecimento da estrutura foram verificadas com as diferentes quantidades de fibra no compósito. A mobilidade molecular da matriz poliéster é afetada por sua interação com as fibras da bananeira.

**Palavras-chave:** Resina poliéster; Comportamento dinâmico mecânico; Fibras naturais.

## DYNAMIC-MECHANICAL BEHAVIOR OF BANANA FIBER REINFORCED POLYESTER MATRIX

### Abstract

Dynamic-mechanical evaluations have not yet been conducted in banana aligned fiber reinforced polymeric composites. In this work, the temperature dependence of the dynamic-mechanical parameters in polyester matrix composites reinforced with up to 30% in volume of continuous and aligned banana fibers was investigated by DMA tests. The investigated parameters were the storage and the loss modulus as well as the delta tangent. The investigation was conducted in the temperature interval from 20 to 180°C using a DMA equipment operating in flexural mode. The results showed that initially the incorporation of banana fibers tends to increase the viscoelastic stiffness of the matrix. Sensible modifications in the glass transition temperature and the damping capacity of the structure were found with the amount of fiber in the composite. The molecular mobility of the polyester matrix is affected by its interaction with the banana fibers.

**Keywords:** Polyester resin; Dynamic-mechanical behavior; Natural fibers.

- <sup>1</sup> Contribuição técnica ao 67<sup>o</sup> Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- <sup>2</sup> Engenheiro de Materiais, PhD, Professor Titular. LAMAV – CCT/UENF, Laboratório de materiais avançados da Universidade Estadual do Norte Fluminense.
- <sup>3</sup> Engenheiro Elétrico, Pós-Doutorando, LAMAV – CCT/UENF.
- <sup>4</sup> Graduando. Engenharia de Materiais. Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV,
- <sup>5</sup> Formação. Técnico, CCT/UENF,
- <sup>6</sup> Química PhD, Professora Escola de Química, EQ/CT/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

## 1 INTRODUÇÃO

Fibras naturais lignocelulósicas tais como o algodão, linho, juta, rami e bananeira já há muito tempo vem sendo usadas na fabricação de produtos têxteis. No entanto, o desenvolvimento de fibras sintéticas no século XX trouxe novas opções para a indústria têxtil com vantagens em relação às fibras naturais. Em particular, a fibra de bananeira foi amplamente afetada pelas fibras sintéticas, como nylon e rayon, usadas principalmente na fabricação de cordas e carpetes. De fato, a utilização de fibra de bananeira entrou em forte declínio, o que contribuiu para diminuir as culturas destas plantas e aumentar incertezas para aqueles que vivem da mesma. Uma vez que a fibra de bananeira possui resistência mecânica relativamente elevada, entorno de 700 MPa a 800 MPa, e rigidez mecânica de 27 GPa a 32 Gpa,<sup>(1)</sup> a mesma se torna uma possível alternativa na aplicação como reforço em matrizes poliméricas.

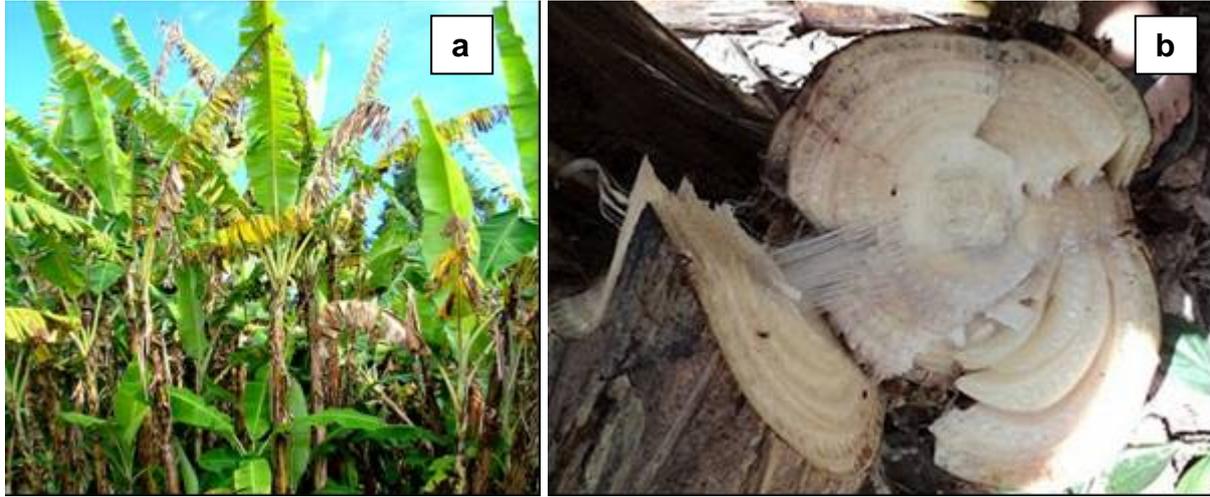
A incorporação de fibras de bananeira em matrizes poliméricas de compósitos foi investigada<sup>(2-4)</sup> e verificou-se apresentar propriedades significativas. Estas propriedades estão diretamente relacionadas com a microestrutura da fibra, bem como as características físicas e químicas presentes em qualquer fibra lignocelulósicas.<sup>(5-7)</sup> Entre essas características estão o baixo custo e a leveza. Além disso, ao contrário das fibras de vidro,<sup>(8)</sup> as fibras lignocelulósicas são relativamente lisa e os procedimentos de processamento geram menos desgaste aos equipamentos. A questão ambiental é outro ponto a favor das fibras naturais, que são renováveis, recicláveis, biodegradáveis e neutras em relação às emissões de CO<sub>2</sub>, fator considerado nos dias de hoje o principal responsável pelo aquecimento global.<sup>(9,10)</sup>

Em termos das propriedades mecânicas dos compósitos poliméricos incorporados com fibras de bananeira, foi relatado um reforço eficaz para quantidades até 30% em volume destas fibras obtidos em testes de dobramento conduzidos a uma velocidade de deformação de 10<sup>-5</sup> m/s.<sup>(11)</sup> Este procedimento de teste pode ser considerado como uma deformação quase estática. Em contraste, a resposta dinâmica mecânico, por meio de teste de DMA, de fibras de bananeira reforçado poliéster não foi ainda investigada.

Outras fibras lignocelulósicas de compósitos poliméricos reforçados têm evidenciado mudanças sensíveis em ambos o módulo de armazenamento, E', e o módulo de perda, E'', bem como uma redução da amplitude e da posição da tangente delta, tan δ, com a incorporação de fibras.<sup>(12-18)</sup> Portanto, o presente trabalho avaliado o comportamento de DMA de matriz poliéster em compósitos reforçados com até 30% em volume de fibras contínuas e alinhadas de bananeira. Esta avaliação foi realizada através da determinação da dependência da temperatura de E', E'' e tan δ.

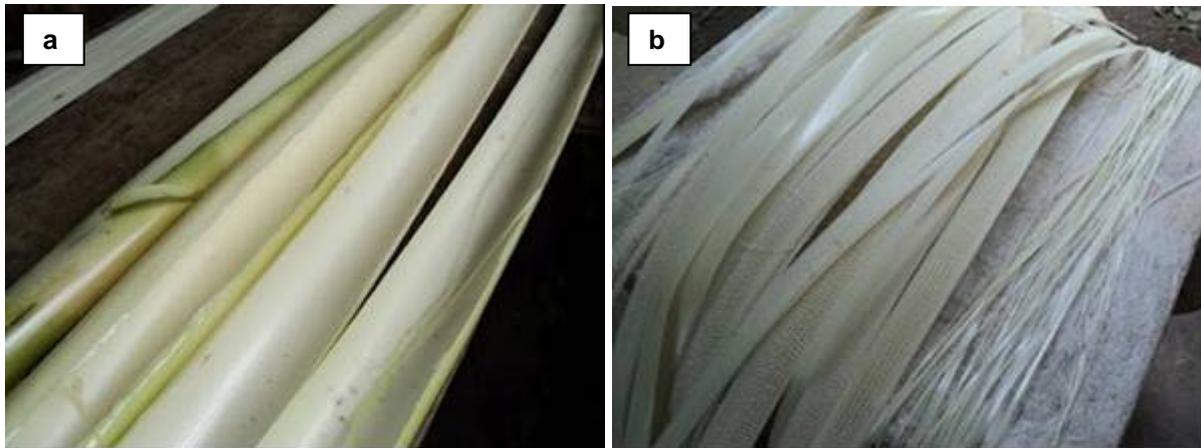
## 2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Fibras extraídas do pseudocaule da planta da bananeira foram fornecidas por um produtor local, na cidade de Campos dos Goytacazes, Estado do Rio de Janeiro, sudeste do Brasil. Do lote como recebido contendo 5 kg, as fibras foram lavadas com água e secaram, a 60°C durante 24 horas. A Figura 1 ilustra bananeiras (a), e uma haste de pseudocaule (b). A Figura 2 mostra talos longitudinais (a) seccionados do pseudocaule e fibras de bananeira desfibriladas (b).



**Figura 1.** Bananeiras (a) e pseudocaule (b)

Corpos de prova retangulares com dimensão de 50x13x5 mm, como mostrado na Figura 3, foram utilizadas para os testes dinâmico mecânicos, DMA. A confecção das amostras foi realizada de acordo com os seguintes passos. Inicialmente, as fibras de bananeira foram colocadas dentro moldes de silicone. Diferentes frações de volume entre 0 e 30% de fibras contínuas e alinhadas foram utilizados para cada corpo de prova. Resina poliéster cristal misturada com quantidade recomendada pelo fabricante de catalisador, 0,5% de etil-metil-cetona, foi vertida sobre o molde que continha as fibras. Estes compósitos foram curados durante 24 horas à temperatura ambiente.



**Figura 2.** Talos longitudinais do pseudocaule (a) e fibras de bananeira desfibriladas (b).



**Figura 3.** Corpos de prova de DMA com fibras de bananeira e resina poliéster.

Após a cura, cada espécime foi testado num equipamento Perkin-Elmer modelo 7E, operando em modo de flexão de três pontos com frequência de 1 Hz e velocidade de aquecimento de 3°C/min sob atmosfera de nitrogênio. Curvas do módulo de armazenamento,  $E'$ , módulo de perda,  $E''$ , e a tangente delta,  $\tan \delta$ , foram simultaneamente registradas entre 20 e 200°C. Uma segunda passada foi realizada para completar a cura da matriz de resina poliéster. Esse segundo aquecimento foi realizado para cada um dos corpos de prova.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 mostra curvas de variação de  $E'$ ,  $E''$  e  $\tan \delta$  com a temperatura obtidas no primeira aquecimento para a resina poliéster pura, logo após uma cura a temperatura ambiente. Essas curvas serviram como comparação para as respectivas curvas obtidas em um segundo ensaio, isto é um segundo aquecimento, da mesma amostra de poliéster.

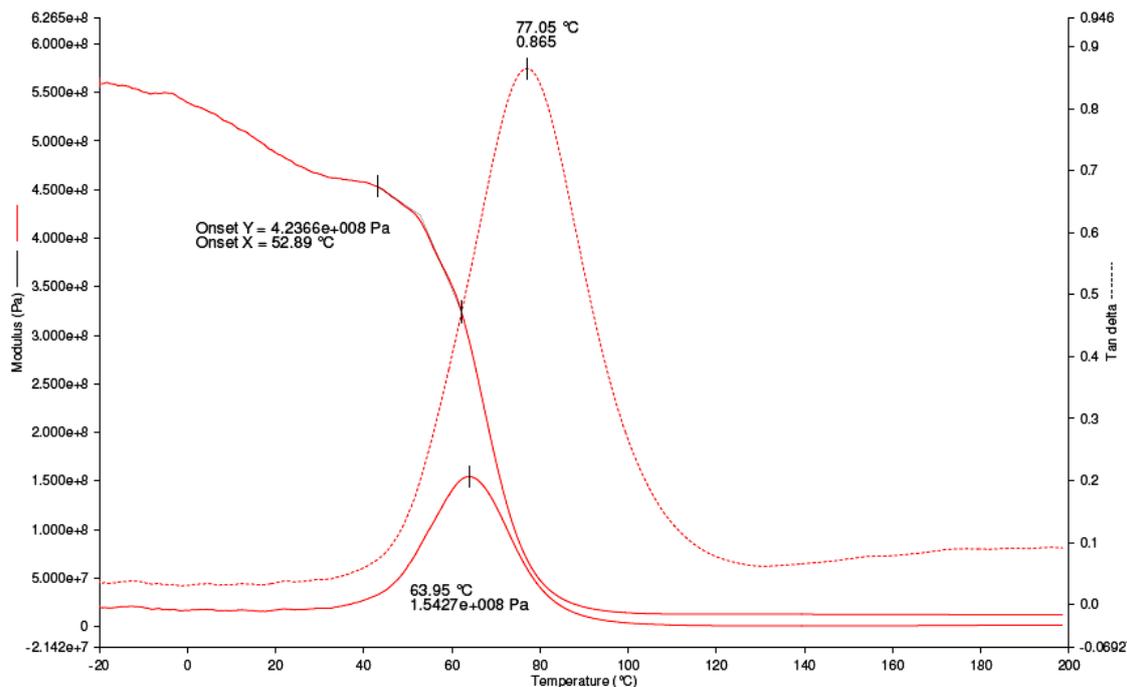
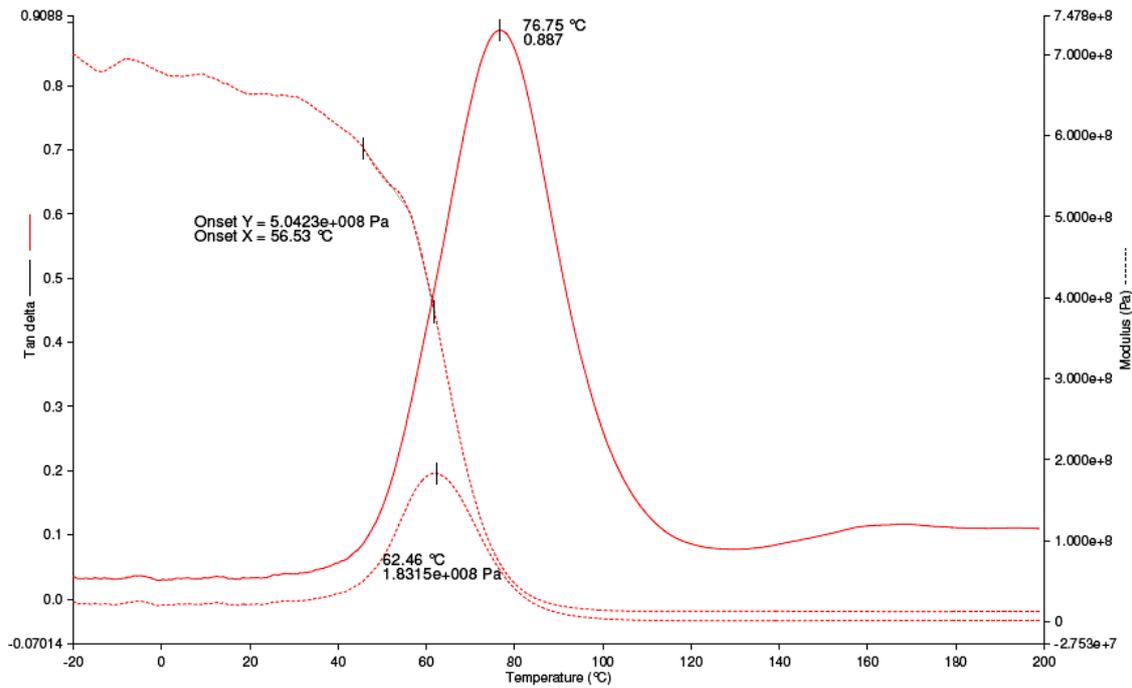


Figura 4 - Curvas de DMA para o primeiro aquecimento da resina poliéster pura.

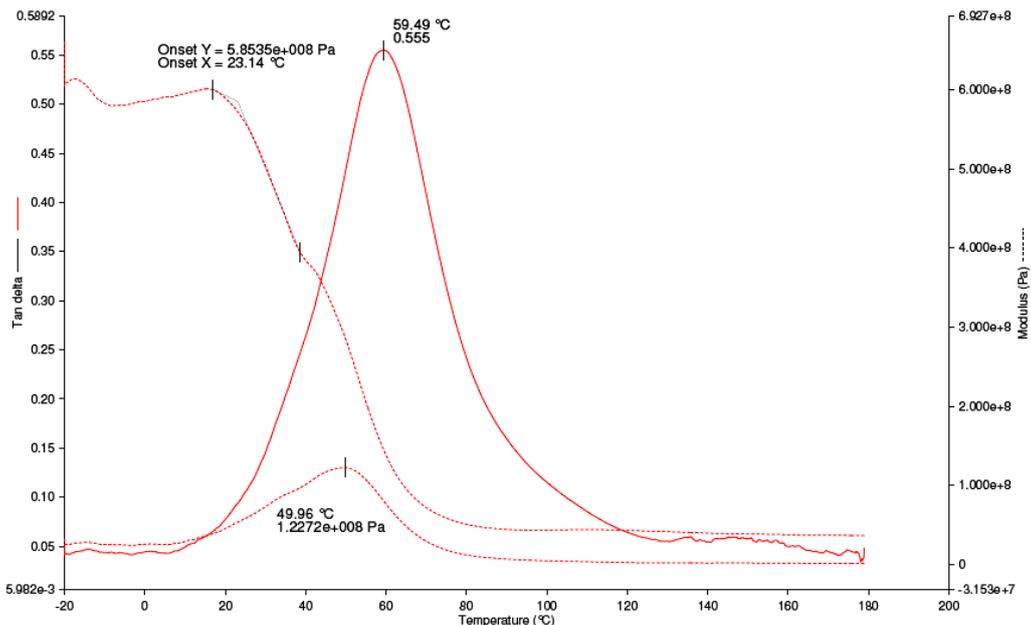
As curvas  $E'$ ,  $E''$  e  $\tan \delta$  obtidas no segundo aquecimento para a mesma amostra do primeiro aquecimento estão mostradas na Figura 5. Comparando-se os dois conjuntos de curvas (Figuras 4 e 5), nota-se, de um modo geral, um pequeno desdobramento das curvas para maiores temperaturas e amplitudes. Estes resultados indicam que a matriz de poliéster não estava plenamente curada nos corpos de prova deixados por 24 horas na temperatura ambiente ante do primeiro ensaio. Em particular, o início da acentuada queda no segundo estágio de  $E'$  e a temperatura no pico de  $\tan \delta$  estão associados respectivamente à mínima e máxima temperaturas de transição vítrea,  $T_g$ .<sup>(16)</sup>

Além disto, comparando-se as curvas de  $E'$  e  $E''$  nas Figuras 4 e 5, não se observam alterações importantes. Uma vez que o modulo de armazenamento,  $E'$  esta relacionado com a rigidez viscoelástica e o modulo de perda  $E''$  com a capacidade de amortecimento viscoelástico do material, estas propriedades são sensivelmente modificadas com uma cura completa da resina poliéster após a segunda corrida, isto indica que a evolução da cura não aumentou a temperatura de transição vítrea nem alterou a rigidez ou o amortecimento do poliéster. A causa estrutural destas possíveis alterações poderia ser atribuída à continuidade da reação do endurecedor com as moléculas da resina poliéster, acarretando reticulações que retardem a perda de cristalinidade e diminuem a mobilidade das macromoléculas.

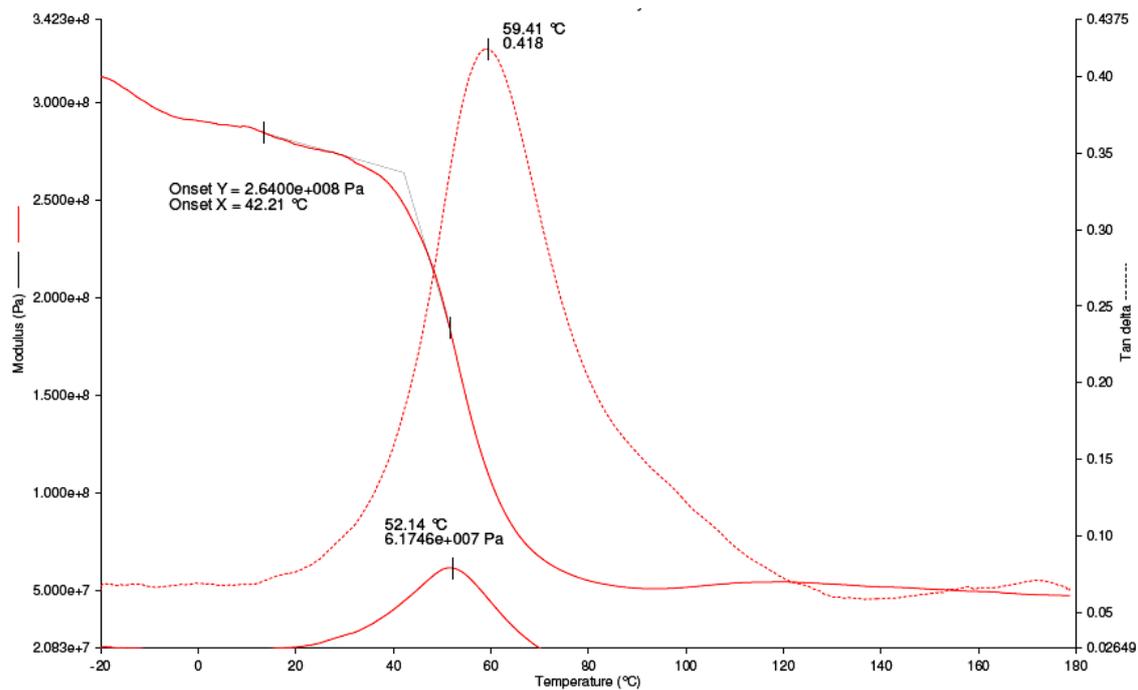


**Figura 5** - Curvas de DMA para o segundo aquecimento de resina poliéster pura.

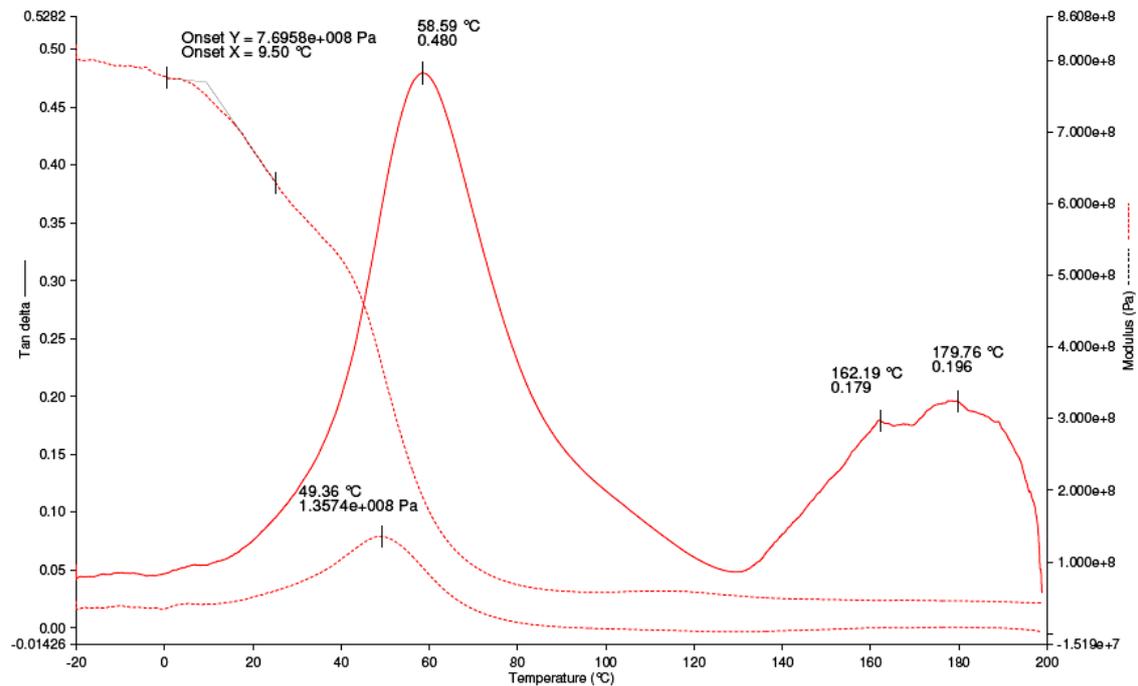
A incorporação de fibras de bananeira na matriz poliéster resulta em relevantes mudanças nas curvas de DMA dos compósitos. Isto pode ser visto nas curvas de  $E'$ ,  $E''$  e  $\tan \delta$  obtidas no segundo aquecimento e mostrados nas Figuras 6 a 8 respectivamente para os compósitos com 10%, 20% e 30% em volume de fibras de bananeira. Naturalmente que curvas de DMA também foram obtidas no primeiro aquecimento das amostras destes compósitos. Entretanto, como estas amostras ainda não estavam plenamente curadas, seus resultados pouco contribuem para esta discussão. Vale comentar que, em analogia com a comparação feita entre as Figuras 4 e 5, as curvas de segundo aquecimento dos compósitos também foram modificadas em temperaturas e amplitude.



**Figura 6** - Curvas de DMA para a segunda corrida de compósitos de matriz poliéster com 10% de fibras de bananeira.



**Figura 7** - Curvas de DMA para a segunda corrida de compósitos de matriz poliéster com 20% de fibras de bananeira.



**Figura 8** - Curvas de DMA para a segunda corrida de compósitos de matriz poliéster com 30% de fibras de bananeira.

Tendo em vista os resultados mostrados nas Figuras 6 a 8, a Tabela 1 apresenta os valores dos parâmetros característicos de  $E'$ ,  $E''$  e  $\tan \delta$ . Nesta tabela verifica-se que após o segundo aquecimento que completou a cura da matriz poliéster, os compósitos apresentam um decréscimo na temperatura de início da queda acentuada do modulo de armazenamento em relação a resina poliéster pura,

Figura 5. Em princípio, isto indica que a incorporação de fibras de bananeira causa uma redução na temperatura limite inferior de transição vítrea,  $T_g$ . Além disto, verifica-se que a incorporação de 10% de fibras de bananeira (Figura 6), promove um sensível aumento no valor de  $E'$ . Isto significa que o compósito com 10% de fibra possui uma rigidez viscoelástica superior.

Outro resultado relevante obtido para os compósitos nas Figuras 6 a 8 e registrado na Tabela 1 é o deslocamento da temperatura e da amplitude dos picos de  $\tan \delta$  para menores valores, comparativamente aos correspondentes da resina poliéster pura na Figura 5. Uma vez que o pico em  $\tan \delta$  está associado ao limite superior de  $T_g$  da matriz de poliéster, a incorporação de até 30% em volume de fibras de bananeira resulta em uma baixa interação fibra/matriz devido à dificuldade de desenvolvimento de ligações moleculares. Este fato aparentemente compromete a cristalinidade da matriz de poliéster.

**Tabela 1** - Parâmetros registrados nas curvas de DMA

Amostras	Temperatura de queda acentuada de $E'$ (°C)	Valores de $E'$ no início da queda acentuada (MPa)	Temperatura de pico de $E''$ (°C)	Temperatura de pico de $\tan \delta$ (°C)	Valor da $\tan \delta$ no seu pico (MPa)
Poliéster puro (1 <sup>o</sup> aquecimento)	53	424	64	77	0,87
Poliéster puro (2 <sup>o</sup> aquecimento)	56	504	62	77	0,89
Poliéster - 10% de fibra de bananeira (1 <sup>o</sup> aquecimento)	43	581	50	60	0,62
Poliéster - 10% de fibra de bananeira (2 <sup>o</sup> aquecimento)	23	585	50	59	0,56
Poliéster - 20% de fibra de bananeira (1 <sup>o</sup> aquecimento)	26	402	48	58	0,48
Poliéster - 20% de fibra de bananeira (2 <sup>o</sup> aquecimento)	42	264	52	59	0,42
Poliéster - 30% de fibra de bananeira (1 <sup>o</sup> aquecimento)	10	370	49	59	0,48
Poliéster - 30% de fibra de bananeira (2 <sup>o</sup> aquecimento)	40	253	51	57	0,46

Resultados similares foram apresentados e discutidos por Nair, Thomas e Groeninckx<sup>(19)</sup> em compósitos com matriz de poliestireno reforçada com fibras de sisal. Naquele artigo,<sup>(19,20)</sup> os autores atribuíram a redução nos parâmetros de pico da  $\tan \delta$  da matriz de poliestireno à presença residual de solvente utilizado no processamento do compósito. Não existindo solvente no presente trabalho, uma outra possível explicação poderia ser o efeito das fibras de bananeira no sentido de perturbar a estrutura cristalina da matriz de poliéster. Ou seja, as fibras de bananeira contribuíram para amorfizar prematuramente a estrutura do poliéster, reduzindo a  $T_g$ , como pode ser verificado na Tabela 1. Proposta similar poderia ser feita para o pico

no módulo de perda,  $E''$ , que também é deslocado para menores temperaturas com a incorporação de fibras de bananeira, como mostrado nas Figuras 4 a 8 e registrado na Tabela 1. Este pico em  $E''$  pode ser atribuído à capacidade de amortecimento da estrutura polimérica do compósito.

Como considerações gerais aos resultados obtidos no presente trabalho, sugere-se que as fibras de bananeira afetem de maneira sensível os parâmetros de DMA de compósitos com matriz de poliéster. Este efeito estaria relacionado a alterações provocadas tanto na estrutura cristalina quanto na mobilidade das cadeias macromoleculares da matriz de poliéster.

#### 4 CONCLUSÕES

- Uma análise dos parâmetros dinâmico-mecânicos de compósitos com matriz poliéster incorporada com fibras contínuas e alinhadas de bananeira mostrou efeitos sensíveis nos valores obtidos após a segunda corrida.
- Após a segunda corrida da análise de DMA até 200°C, não só a resina poliéster pura como também os compósitos até uma fração volumétrica de 30% de fibras de bananeira apresentaram aumentos tanto nas temperaturas quanto nas amplitudes. Isto está relacionado com a cura da matriz que só se efetivou após a segunda corrida.
- Até 10% de fibra de bananeira no compósito, obteve-se um aumento na rigidez viscoelástica, medida pelo módulo de armazenamento, possivelmente devido a restrições na mobilidade das moléculas de poliéster.
- De um modo geral, a introdução de fibras de bananeira afetou a temperatura de transição vítrea, tanto a inferior (queda brusca de  $E'$ ) quanto a superior (pico em  $\tan \delta$ ), causando redução comparativamente com a resina poliéster pura. Sugere-se que isto possa ser consequência da perturbação na estrutura cristalina ocasionada pelas fibras de bananeira.
- A capacidade de amortecimento da matriz de poliéster, associada ao pico no módulo de perda, também foi comprometida com a incorporação das fibras de bananeira.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte das agências brasileiras: CNPq, Capes e Faperj. É também motivo de agradecimento o apoio técnico aos experimentos da parte da Rosana Maurício do Ladeq da Escola de Química/UFRJ

#### REFERÊNCIAS

- 1 SATYANARAYANA, K.G.; GUIMARÃES, J.L.; WYPYCH, F. Studies on lignocellulosic of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. Composites: Part A, v.38, p. 1964-1709, 2007.
- 2 PAUL, S.A.; BOUDENNE, A.; IBOS, L.; CANDAU, Y.; JOSEPH, K.; THOMAS, S. Effect of fiber loading and chemical treatments on thermophysical properties of banana fiber polypropylene commingled composite materials. Composites: Part A, v.39, p. 1582-1588, 2008.
- 3 ZAINUDIN, E.S.; SAPUAN, S.M.; ABDAN, K.; MOHAMAD, M.T.M. Thermal degradation of banana pseudo-stem filled unplasticized polyvinyl chloride (UPVC) composites. Mater. Design, v. 30, p. 557-582, 2009.

- 4 IBRAHIM, M.M.; DUFRESNE, A.; EL-ZAWAWY, W.K.; AGBLEVOR, F.A; Banana fibers and microfibrils as lignocellulosic reinforcement in polymer composites. *Carbohydrate Polym.* V. 81, p. 811-819, 2010.
- 5 SATYANARAYANA, K.G.; SUKUMARAN, K.; KULKARNI, A.G.; PILLAI, S.G.K.; ROHATGI, P.K. Fabrication and properties of natural fibre-reinforced polyester composites. *Composites.* V. 17, p. 329-274, 1999.
- 6 BLEZKI, A.K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose-based fibers. *Prog. Polym. Sci.* v.24, p. 221-274, 1999.
- 7 PEIJS, T. Natural Fibers Based Composites. *Mater. Technol.* v.15, p. 281-285, 2000.
- 8 WAMBUA P.; IVENS. I.; VERPOEST, I. Natural fibers: can they replace glass and fibre reinforced plastic?" *Composites Science and Technology*, v. 63, p. 1259-1264, 2003.
- 9 MOHANTY, A.K.; MISRA, M.; DRZAL, L.T. Sustainable biocomposites from renewable resources: Opportunities and challenges in the green materials world. *J. Polym. Environ.* v. 10, p. 19-26, 2002.
- 10 MONTEIRO, S.N.; LOPES, F.P.D.; FERREIRA, A.S.; NASCIMENTO, D.C.O. Natural fiber polymer matrix composites: Cheaper tougher and environmentally friendly. *JOM*, v. 61, p. 17-22, jan. 2009.
- 11 MONTEIRO, S.N.; SANTOS, L.F.L.; MARGEM, F.M. Mechanical characterization of banana fiber reinforced polyester composites. In: *CHARACTERIZATION OF MINERALS METALS & MATERIALS – TMS CONFERENCE*, Mar. 2008, New Orleans, EUA, p. 1-6.
- 12 GEORGE, J.; BHAGAWAN, S.S; THOMAS, S. Thermogravimetric and dynamic mechanical thermal analysis of pineapple fiber reinforced polyethylene composites. *J. Thermal Anal.* v. 47, p. 1121-1140, 1996.
- 13 RANA, A.K.; MITRA, B.C.; BANERJEE, A.N. Short jute fiber-reinforced polypropylene composites: dynamic mechanical study. *J. Appl. Polym. Sci.* v. 71, p. 5331-539, 1999.
- 14 RAY, D.; SARKAR, B.K.; DAS, S.; RANA, A.K. Dynamic mechanical and thermo analysis of vinyl ester-resin-matrix composites reinforced with untreated and alkali-treated jute fibers. *Compos. Sci. Technol.* V. 62 (2), p. 911-917, 2002.
- 15 JOSEPH, S.; SREEEKALA, M.S.; THOMAS, S. Viscoelastic properties of oil palm fiber reinforced phenol formaldehyde composites. *Internat. J. Plast. Tech.* v. 5(1). P. 28-35, 2002.
- 16 MOHANTY, S.; VERMA, S.K.; NAYAR, S.K. Dynamic mechanical and thermal properties of MAPE treated jute/HDPE composites. *Compos. Sci. Technol.* v. 66, p. 538-547, 2006.
- 17 MONTEIRO, S.N.; SANCHEZ, R.J.; SANTAFE JR., H.P.G.; COSTA, L.L. Dynamic thermo-mechanical characterization of coir fiber reinforced polymeric composites. In: *CHARACTERION OF MINERALS METALS E MATERIALS – TMS CONFERENCE*, Mar. 2008, New Orleans, EUA, p. 1-6.
- 18 MONTEIRO, S.N.; SANCHEZ, R.J.; LOPES, F.P.D.; SOARES, B.G. Efeito da incorporação de fibras de coco no comportamento dinâmico mecânico de compósitos com matriz poliéster. *Tecnol. em Metalur. e Mat.*, v. 5, n. 2, p. 28-32, 2008.
- 19 NAIR K.C.M.; THOMAS, S.; GROENINCKX, G., Thermal and dynamic mechanical analysis of polystyrene composites reinforced with short sisal fibres. *Compos. Sci. Technol.*, v. 61, p. 2519-2529, 2001.
- 20 MACHADO, M.A.L., BIAGIOTTI, J.; KENNY, J.M. Comparative study of the effects of different fibers on the processing and properties of ternary composites based on PP-EPDM blends. *Poly. Compos.* v. 23, p. 779-789, 2002.