



# ANÁLISE DINÂMICO-MECÂNICA DE COMPÓSITOS EPOXÍDICOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE BAMBU<sup>1</sup>

*Lucas Lopes da Costa<sup>2</sup>  
Lucas Barbosa de Souza Martins<sup>2</sup>  
Bluma Guenther Soares<sup>3</sup>  
Nathalia Carneiro Garcia<sup>2</sup>  
Sergio Neves Monteiro<sup>4</sup>*

## Resumo

Analisou-se o comportamento dinâmico-mecânico, através de ensaios de DMA, de compósitos de matriz epoxídica DGEBA/TETA incorporados com fibras de bambu até a fração volumétrica de 30%. Obteve-se a variação com a temperatura dos módulos de armazenamento e perda bem como a tangente delta para os compósitos com diferentes frações de fibras de bambu. Os resultados mostraram que a incorporação altera a rigidez viscoelástica da matriz e seus níveis de transição vítrea. Adicionalmente, a análise dos parâmetros de DMA revelou modificações no pico  $\alpha$  de relaxação do módulo de perda assim como na capacidade de amortecimento e na temperatura limite da transição vítrea,  $T_g$ , associada associada aos picos de tangente delta.

**Palavras-chave:** Fibra de bambu; Compósitos epoxídicos; Ensaio de DMA.

## DINAMIC-MECHANICAL ANALYSIS OF EPOXY COMPOSITES REINFORCED WITH BAMBOO FIBER

### Abstract

The dynamic-mechanical behavior of DGEBA/TETA epoxy matrix composites incorporated with up to 30% of volume fraction of bamboo fibers has analyzed by means of DMA tests. The temperature dependence of the storage and loss modulus as well a that of the tangent delta were obtained for the composites with different amounts of bamboo fibers. The results showed that the incorporation changes both the viscoelastic stiffness and the levels of glass transition of the epoxy matrix. In addition the analysis of the DMA parameters revealed modification in the  $\alpha$  relaxation peak of the loss modulus as well as the damping capacity and the upper limit for the  $T_g$  associated with tangent delta peaks.

**Key words:** Bamboo fiber; Epoxy composite; DMA test.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.*

<sup>2</sup> *Graduando, CCT/UENF*

<sup>3</sup> *DSc., Instituto de Macromoléculas – IMA/UFRJ*

<sup>4</sup> *PhD, Professor Titular, LAMAV – CCT/UENF.(sergio.neves@ig.com.br)*

## 1 INTRODUÇÃO

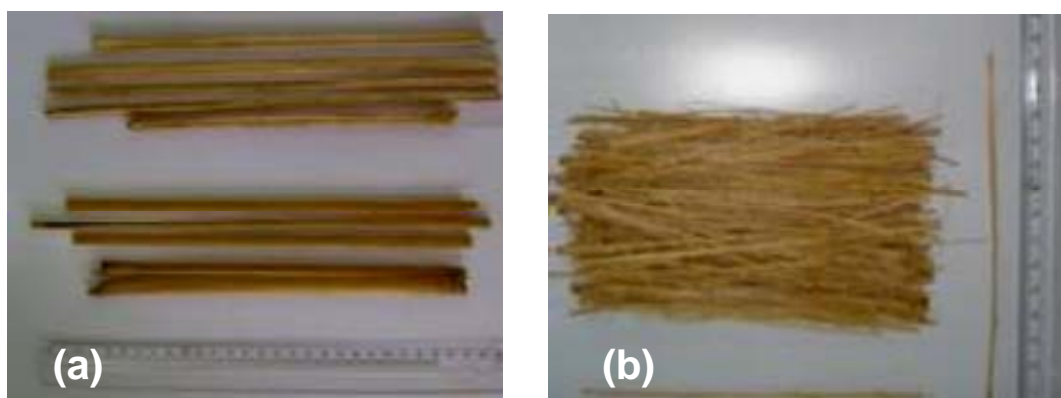
Os compósitos, desde a metade do século passado, vem sendo cada vez mais usados como materiais em diversos setores industriais. Um dos tipos de compósitos mais utilizados é o reforçado com fibra de vidro, que como qualquer outro material sintético, está associado a problemas ambientais, tanto nos processos de fabricação, quanto no seu descarte após o uso, poluindo o solo, águas e atmosfera.<sup>(1,2)</sup> Uma alternativa seria a substituição da fibra de vidro por fibras lignocelulósicas. Por esta razão, as fibras naturais lignocelulósicas estão sendo estudadas por serem diversificadas, abundantes, mais leves e biodegradáveis.<sup>(3-6)</sup> Além disso, essas fibras apresentam baixo custo, não sendo tóxicas nem abrasivas como a fibra de vidro.<sup>(2)</sup> Dentre as fibras lignocelulósicas, uma possibilidade seria a de bambu.

O bambu é uma planta nativa do Brasil. Fibras podem ser extraídas do caule do bambu. Estas fibras são utilizadas na confecção de artesanatos e outros itens de baixo valor agregado. Como material para engenharia, a fibra de bambu é uma das menos utilizadas. Mesmo os trabalhos de revisão sobre aplicação de fibras naturais em compósitos<sup>(4-7)</sup> deixam de mencionar a de bambu. Suas propriedades mecânicas e térmicas necessitam ainda de serem avaliadas.

Um importante ensaio de avaliação dinâmica do comportamento mecânico de polímeros e compósitos poliméricos é o DMA (*dynamic mechanical analysis*).<sup>(8)</sup> Estudos sobre o comportamento termo-mecânico através de ensaios de DMA estão revelando efeitos significativos resultantes da incorporação de fibras naturais lignocelulósicas em matrizes poliméricas.<sup>(9-13)</sup> Assim, o objetivo do presente trabalho foi realizar uma avaliação sobre o comportamento dinâmico-mecânico de compósitos de matriz epoxídica reforçadas com fibras contínuas e alinhadas de bambu.

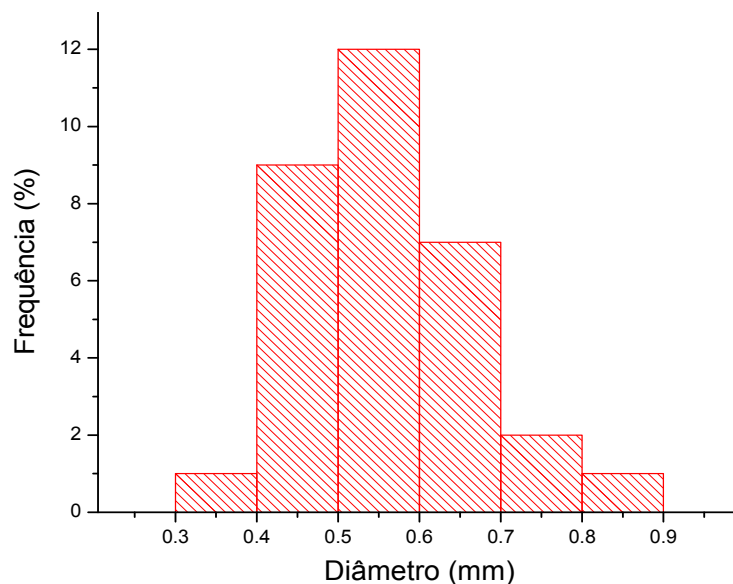
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Fibras de bambu foram retiradas manualmente do caule através de cortes longitudinais. Estas fibras foram secas em estufa a 60°C por duas horas. A Figura 1 ilustra o aspecto dos gomos e das fibras. Aleatoriamente foram escolhidas cem fibras que tiveram seus diâmetros medidos em projetor de perfil modelo 6C Nikon. As medidas foram realizadas em cinco pontos equidistantes de largura, girando a fibra a 90° para as cinco medidas de espessura da fibra. Com a média da largura e espessura, obteve-se o diâmetro equivalente.<sup>(14,15)</sup>



**Figura 1.** Fibras de Bambu retiradas do caule: (a) gomos e (b) fibras.

O histograma mostrado na Figura 2 corresponde à distribuição do diâmetro equivalente, com seis faixas de intervalo de 0,1 mm, variando de 0,30 mm a 0,90 mm, com diâmetro médio de 0,56 mm. Essa dispersão do diâmetro é uma característica das fibras lignocelulósicas.<sup>(2-6)</sup>



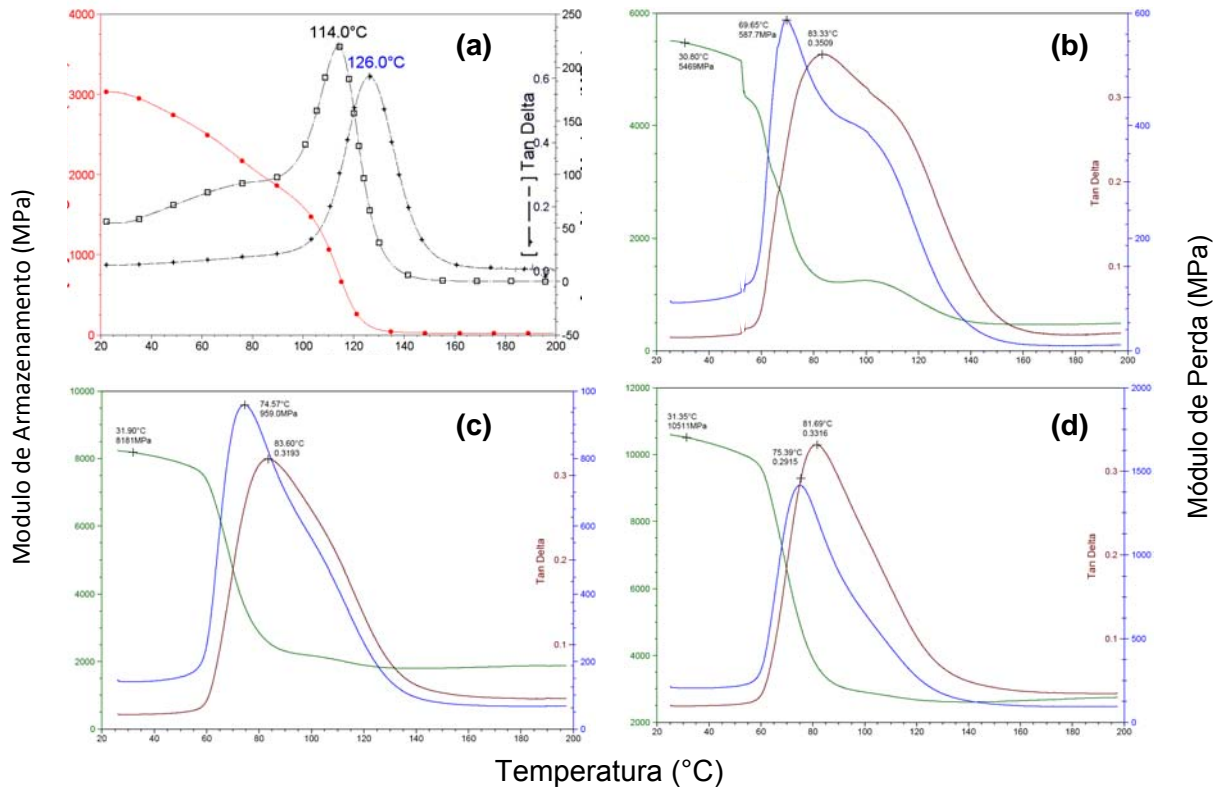
**Figura 2.** Histograma dos diâmetros equivalentes das fibras de bambu.

Os corpos de prova confeccionados com 0, 10%, 20%, 30% e 40% em volume de fibra de bambu contínua e alinhada, foram feitos em molde retangular de 57 x 13 mm, preenchido com resina epóxi juntamente com o seu endurecedor. Estes corpos de prova com 3 mm de espessura, foram curados à temperatura ambiente por 24 horas e então submetidos a ensaios de DMA, no modo de flexão em três pontos.

Cada corpo de prova, incluindo o de epóxi puro foi ensaiado em um equipamento da TA Instruments modelo Q 800, operando na frequência de 1 Hz sob fluxo de nitrogênio e taxa de aquecimento de 3°C/min. Curvas da variação com a temperatura dos módulos de armazenamento,  $E'$ , e de perda,  $E''$  bem como da tangente delta,  $\tan \delta$ , foram simultaneamente registradas entre 20°C e 200°C para cada corpo de prova.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 ilustra o conjunto de curvas dos parâmetros  $E'$ ,  $E''$  e  $\tan \delta$  obtidos em função da temperatura para a resina epóxi pura e para os compósitos com 10%, 20% e 30% de fração volumétrica de fibras de bambu. Através deste tipo de curvas, pode-se identificar possíveis pontos associados à temperatura de transição vítrea,  $T_g$ , do material. Estes pontos, indicados em cada uma das curvas, são estimativas visuais e dão uma idéia do de variação da  $T_g$ . No presente estudo, este aspecto do comportamento dos compósitos mostra que o valor limite da  $T_g$ , identificado no pico da  $\tan \delta$ , diminui sensivelmente com a incorporação da fibra de bambu. A justificativa para este fato está relacionada com a interação entre as fibras e as cadeias poliméricas alterando a capacidade do epóxi de cristalizar-se.<sup>(10)</sup>

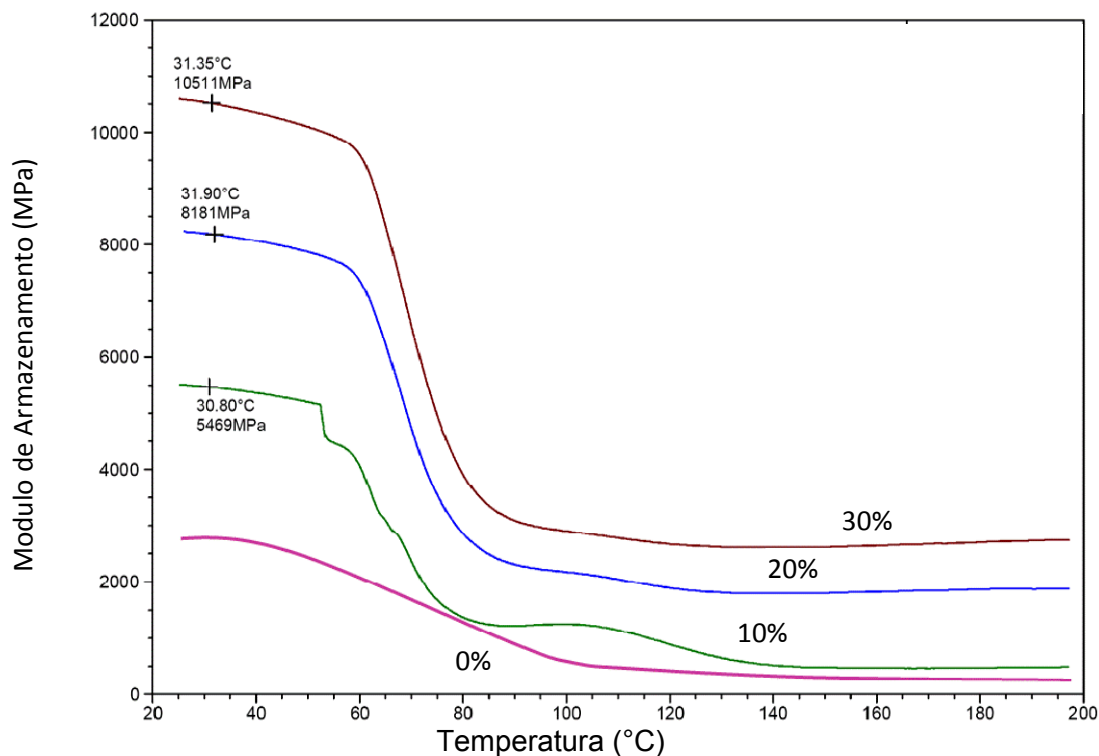


**Figura 3.** Variação dos parâmetros de DMA com a temperatura para: resina epóxi pura (a) e (b) compósitos com 10% (b), 20% (c) e 30% (d) de fibra de bambu.

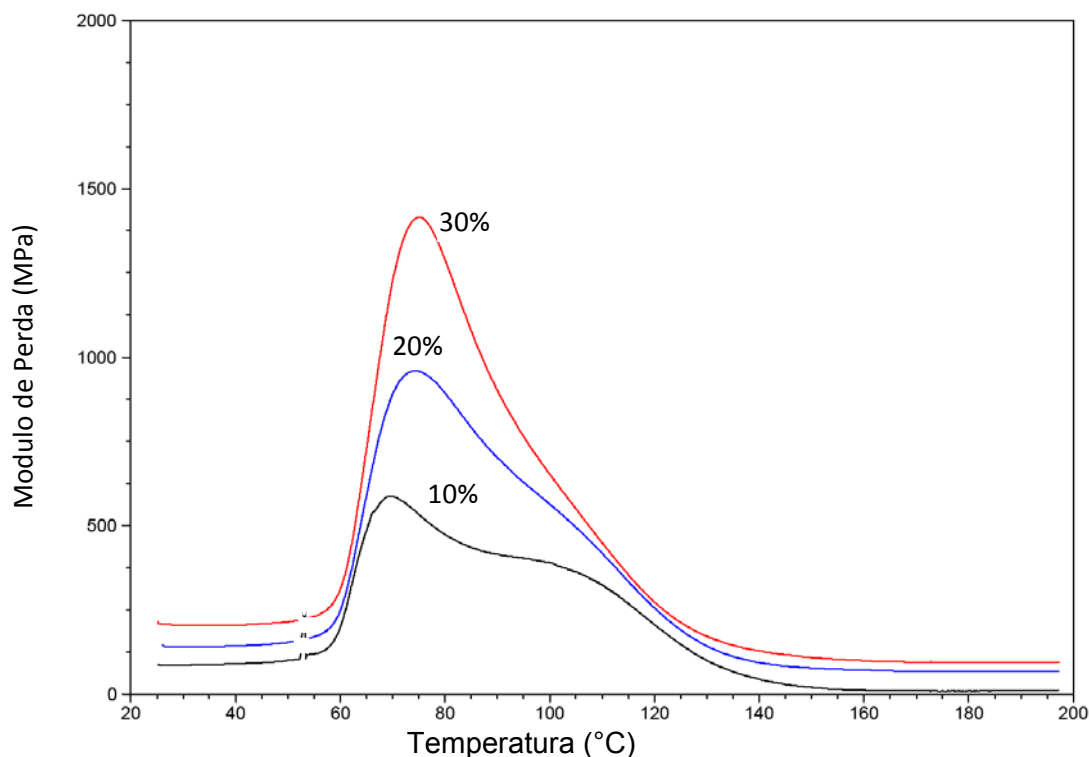
A Figura 4 apresenta a variação do módulo de armazenamento,  $E'$ , com a temperatura para os compósitos estudados. O valor de  $E'$  está diretamente relacionado com a capacidade de o material suportar cargas mecânicas com deformação recuperável, sendo análogo ao módulo quase estático de flexão.<sup>(13)</sup>

Em relação à resina epóxi pura (Figura 4), ocorre um significativo aumento no valor de  $E'$  com a incorporação de fibra de bambu até cerca de 60°C, quando então todos os materiais iniciam um processo de amolecimento térmico. Isto é devido, provavelmente, à diminuição da rigidez da matriz epóxi quando se acrescenta a fibra de bambu. Ou seja, a introdução desta fibra tende a reduzir tanto a rigidez quanto a resistência mecânica da matriz epóxi. Vale aqui mencionar que no caso de alguns outros compósitos,<sup>(13)</sup> ao contrário dos resultados da Fig. 4, a incorporação de fibras naturais diminui a rigidez da matriz.

A Figura 5 mostra a variação de  $E''$  com a temperatura para os compósitos estudados. Um pico bem definido e de maior amplitude ocorre a 114°C para a resina epóxi pura e por volta de 70°C para os compósitos de fibra de bambu. Estes picos  $\alpha$  de relaxação podem ser associados à mobilidade das cadeias na fase cristalina do polímero da matriz.<sup>(13)</sup> O desvio para menores temperaturas com a incorporação de fibra de bambu deve-se à redução na flexibilidade do compósito causada pela interação das fibras de bambu com as cadeias poliméricas.<sup>(16)</sup>



**Figura 4.** Variação de  $E'$  com a temperatura para os compósitos de fibra de bambu.



**Figura 5.** Variação do módulo de perda,  $E''$ , com a temperatura.

Em relação aos resultados de  $E'$  e  $E''$ , Fig. 4 e 5, nota-se um aumento gradual nas amplitudes de 10% para 30% de fibra de bambu. Isto indica que, além de um aumento da rigidez viscoelástica do epóxi com adição de qualquer percentagem de fibra de bambu, existe também uma tendência de aumento nos compósito de 10% até 30% de fibra de bambu. A provável explicação seria o efeito de interação das

fibras com as cadeias poliméricas <sup>(16)</sup>, quanto maior fosse a fração de fibra incorporada.

A Figura 6 apresenta a variação da  $\tan \delta$  com a temperatura para os compósitos estudados. Vale lembrar que a  $\tan \delta$  representa o fator de perda mecânica, medido pela razão  $\tan \delta = E''/E'$ , que se traduz na capacidade de amortecimento do material. Observa-se nesta figura que todos os compósitos apresentam, aproximadamente, mesma amplitude dos picos de  $\tan \delta$ , 0,36, com máximos bem abaixo do pico do epóxi puro, 0,60. Isto é devido ao fato das fibras de bambu suportarem a tensão aplicada sobre o compósito e permitirem que somente parte desta tensão possa deformar a interface fibra/matriz. Assim, a dissipação de energia fica restrita à matriz e à interface, sendo que, quanto mais resistente for a interface, menor a dissipação de energia. <sup>(17)</sup>

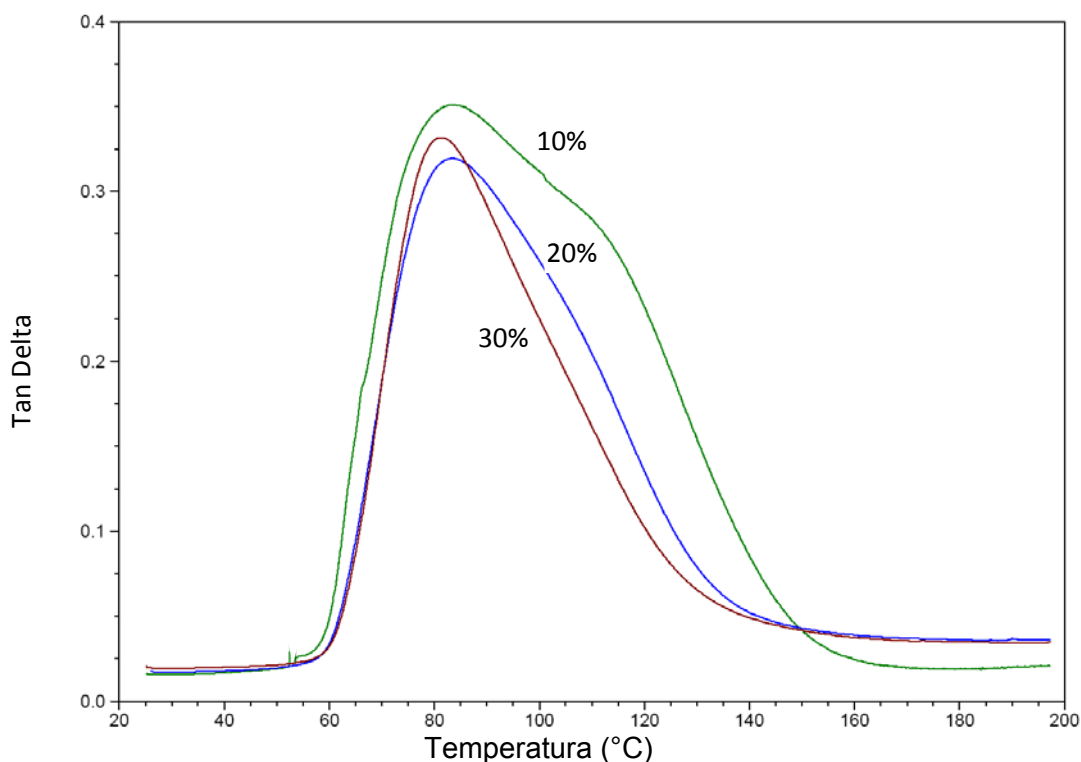


Figura 6. Variação da  $\tan \delta$  com a temperatura para compósitos com fibras de bambu.

#### 4 CONCLUSÕES

Ensaio de DMA em compósitos de matriz epoxídica reforçada com até 30% de fibras de bambu mostraram um significativo decréscimo no valor da máxima temperatura de transição vítrea da matriz, pico na  $\tan \delta$ , com a incorporação da fibra o que foi atribuído à sua interação com as cadeias poliméricas.

A introdução de fibra de bambu tende a aumentar os módulos de armazenamento e de perda, o que se justifica pela dificuldade de transferência de esforços da matriz para as fibras, devido à baixa tensão interfacial fibra/matriz.

O amortecimento traduzido pelo valor da  $\tan \delta$  diminui com a adição da fibra de bambu à matriz epoxídica, possivelmente pelo fato de que somente parte da tensão aplicada possa deformar a interface fibra/matriz.



## Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPERJ, CNPq e CAPES o suporte a esta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- 1 GORE, A. *An Inconvenient Truth: The Planetary Emergency of Global Warming*, Emmaus, Pennsylvania, USA: Rodale Press, 2006.
- 2 WAMBUA, P.; IVENS, I.; VERPOEST, I. Natural fibers: can they replace glass and fiber reinforced plastics?" *Comp. Sci. Technol.* v. 63, p. 1259-1264, 2003.
- 3 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, n. 1, p. 17-22, 2009.
- 4 NABI SAHEB, D.; JOG, J.P. Natural fiber polymer composites: A review. *Adv. Polym. Technol.*, v. 18, p. 351-363, 1999.
- 5 BLEDZKI, A.K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose-based fibres. *Prog. Polym. Sci.* v. 24, p. 221-274, 1999.
- 6 MOHANTY, A.K.; MISRA, M.; HINRICHSEN, G. Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites. *Macromol. Mater. Eng.*, v. 276, p.1-24, 2000.
- 7 SATYANARAYANA, K.G.; GUIMARÃES, J.L.; WYPYCH, F. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. *Composites: Part A*, v. 38, p. 1694-1709, 2007.
- 8 MENARD, K. P. *Dynamic Mechanical Analysis. A Practical Introduction*. Boca Raton: CRC Press, 1999.
- 9 GEORGE, J.; BHAGAWAN, S.S.; THOMAS, S. Thermogravimetric and dynamic mechanical thermal analysis of pineapple fibre reinforced polyethylene composites. *J. Thermal Anal.* v. 47, p. 1121-1140, 1996.
- 10 RANA, A.K.; MITRA, B.C.; BANERJEE, A.N. Short jute fibre-reinforced polypropylene composites: dynamic mechanical study. *J. Appl. Polym. Sci.* v. 71, p. 5331-539, 1999.
- 11 RAY, D.; SARKAR, B.K.; DAS, S.; RANA, A.K. Dynamic mechanical and thermo analysis of vinylester - resin - matrix composites reinforced with untreated and alkali-treated jute fibres. *Compos. Sci. Technol.* v. 62(2), p. 911-917, 2002.
- 12 JOSEPH, S.; SREEKALA, M.S.; THOMAS, S. Viscoelastic properties of oil palm fibre reinforced phenol formaldehyde composites. *Internat. J. Plast. Tech.* v. 5(1), p. 28-35, 2002.
- 13 MOHANTY, S.; VERMA, S.K.; NAYAK, S.K. Dynamic mechanical and thermal properties of MAPE treated jute/HDPE composites. *Compos. Sci. Technol.* v. 66, p. 538-547, 2006.
- 14 COSTA, L.L.; LOIOLA, R.L.; MONTEIRO, S.N. Diameter dependence of tensile strength by Weibull analysis: Part I Bamboo fiber, *Revista Materia*, v. 15(2), p. 97-102, 2010.
- 15 COSTA, L.L.; MONTEIRO, S.N.; LOIOLA, R.L. Mechanical behavior of polyester composites reinforced with continuous bamboo fibers. In: *Characterization of Minerals, Metals & Materials Symposium - TMS Conference 2010*, Seattle, EUA, p. 1-8, Fevereiro de 2010.
- 16 MACHADO, M.A.L., BIAGIOTTI, J.; KENNY, J.M. Comparative study of the effects of different fibres on the processing and properties of ternary composites based on PP-EPDM blends. *Poly. Compos.* v. 23, p. 779-789, 2002.
- 17 FELIX, J.M.; GATENHOLM, P. The nature of adhesion in composites of modified cellulose fibre and polypropylene. *J. Appl. Polym. Sci.* v. 42, p. 601-620, 1991.