

AValiação DO COMPORTAMENTO DAS TRAÇÕES TRATIVAS EM COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIESTER REFORÇADOS COM FIBRAS DE SISAL, BAMBU E MALVA*

Jean Igor Margem¹
Marina Rangel Margem²
Ygor Macabu de Moraes³
Frederico Muylaert Margem⁴
Sergio Neves Monteiro⁵

Resumo

Nestes dias materiais ecológicos como compósitos com fibras naturais em matriz polimérica estão chamando a atenção de pesquisadores científicos, devido ao seu bom desempenho na substituição de materiais como madeira, polímeros à base de petróleo e outros. Neste trabalho foram avaliadas as propriedades de tração de compósitos de matriz poliéster reforçados com diferentes espécimes de fibras lignocelulósicas. Compósitos reforçados com até 30% em volume de fibras longas, contínuas e alinhadas de malva, sisal e bambu foram testados em uma máquina Instron a temperatura ambiente. A fratura foi analisada por SEM. Os resultados mostraram alterações significativas nas propriedades mecânicas com a quantidade dessas fibras. Estas propriedades mecânicas foram comparados com outros resultados em compósitos testados em ensaio de tração. Como esperado, a análise da fratura revelou uma fraca interação da interface fibra / matriz, o que corrobora o comportamento típico das fibras naturais quando incorporadas em matriz polimérica.

Palavras-chave: Fibras de Sisal, Bambo, Malva; Matriz Poliester; Ensaio Tração.

TENSILE PROPERTIES OF POLYESTER COMPOSITES REINFORCED WITH CONTINUOUS SISAL, BAMBOO AND MALVA FIBERS

Abstract

In these days environmentally friendly materials as composites with natural fibers in polymeric matrix are gained attention of scientific researchers, due to its good performance in the replacement of materials such as wood, petroleum-based polymers and other. In this work the tensile properties of polyester matrix composites reinforced with different specimens of lignocellulosic fibers were evaluated. Composites reinforced with up to 30% in volume of long, continuous and aligned malva, sisal, and bamboo fibers were room temperature tested in an Instron machine. The fracture was analyzed by SEM. The results showed significant changes in the mechanical properties with the amount of those fibers. These mechanical properties were compared with other tensile-tested composites results. The fracture analysis revealed a weak fiber/matrix interface, which could be responsible for the higher performance of some properties. As expected, the fracture analysis revealed a poor interaction of the fiber / matrix interface, which corroborates the typical behavior of natural fibers when incorporated into a polymeric matrix.

Keywords: Sisal, Bamboo, Malva Fibers; Polyester Matrix; Tensile Strength Tests.

¹ *Doutor em Engenharia de Materiais, Professor Associado, Departamento de Engenharia Mecânica, ISECENSA, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.*

² *Graduação em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, Brasil.*

³ *Graduação em Engenharia Metalúrgica e Materiais, Estudante, Departamento de Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.*

⁴ *Doutor em Engenharia dos Materiais, Professor Associado, Departamento de Engenharia Elétrica, Faculdade Redentor, Itaperuna, Rio de Janeiro, Brasil.*

⁵ *Phd em Engenharia dos Materiais, Professor Emérito, Departamento de Materiais, IME, Rio de Janeiro, Brasil*

1 INTRODUÇÃO

Recentemente, os compostos de polímeros reforçados com fibras naturais, principalmente os lignocelulósicos obtidos a partir de plantas, foram sujeitos a extensos trabalhos de pesquisa [1-5]. As vantagens ambientais, econômicas, societárias e técnicas desses compósitos estão motivando sua substituição por compósitos poliméricos similares reforçados com fibras sintéticas. Em particular, os esforços de R&D foram conduzidos com o objetivo de substituir os compósitos de fibras de vidro que são comparativamente mais abrasivos em equipamentos, não recicláveis, mais caros, mais pesados e tóxicos [6].

A fibra de sisal, planta que pode ser vista na Figura 1a, são retiradas do pseudotrunko da planta (*Agave sisalana*) e sua resistência à tração pode atingir cerca de 730 MPa [7]. Outro caso particular é a análise da planta de bambu, que pode ser vista na Figura 1b, onde as fibras são extraídas do caule da planta, o (*Dendrocalamus giganteus*) do Brasil, e é uma planta com grande potencial para o uso de suas fibras lignocelulósicas, onde sua resistência à tração pode atingir cerca de 440 MPa [8]. Para completar, as fibras de malva, que podem ser vista na figura 1c, são obtidas à partir do caule da planta de malva (*Urena Lobbata*, Linn), estão entre as lignocelulósicas com resistência à tração acima de 450 MPa [9].

Entre os muitos compósitos de fibras lignocelulósicas que estão sendo investigados, os fabricados com fibra desfibrilada de folha de sisal, fibras de pseudotrunko de bambu e das fibras cortadas longitudinalmente do caule da malva, ainda precisam de informações para apoiar possíveis aplicações industriais. Várias obras, no entanto, foram dedicadas a essas fibras como possível reforço de compósitos de polímero [10]. Estes trabalhos relataram propriedades mecânicas que podem variar acentuadamente com o tipo de matriz polimérica, a disposição das fibras (se contínuo, alinhado, curto, longo, matar entre as camadas, etc.) e a condição de teste.

Em um trabalho recente, verificou-se que a resistência à tração das fibras de sisal, bambu e malva, variam inversamente com os diâmetros correspondentes. Em outras palavras, quanto mais fino o diâmetro, maior resistência as fibras apresentam. Isso indica que essas fibras têm potencial para serem aplicadas como reforço composto [11-13]. No entanto, uma quantidade limitada de dados de tração até agora foi relatada sobre compósitos poliméricos reforçados com fibras de sisal, bambu e malva. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar e comparar as propriedades de tração e as características mecânicas dos compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras finas e contínuas de sisal e bambu, malva.



Figura 1. (A) plantas de Sisal, (B) Bambu e (C) Malva.

Apesar dos trabalhos existentes sobre as propriedades desses compósitos de fibras separados, a comparação da resistência à tração de compósitos poliméricos reforçados com fibras mais finas, contínuas e alinhadas, ainda não foram avaliadas. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi acessar a resistência à tração através de espécimes de compósitos de poliéster reforçados com diferentes quantidades de fibras de sisal, bambu e malva alinhadas e contínuas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Um lote de 3 kg de fibras de sisal foi doado pela firma Sisalsul, um produtor local de fibras, bem como as fibras de bambu e malva também foram doadas pela Companhia Têxtil Castanhal do Pará, região norte do Brasil [14-16]. As fibras de sisal e malva do lote recebido, foram limpas e secas à temperatura ambiente, figuras 2A e 2C, e as fibras de bambu foram obtidas através de uma lâmina de barbear, figura 2B.



Figura 2. (A) fibra de Sisal, (B) Bambu e (C) Malva.

Após a separação, limpeza e secagem à temperatura ambiente, as fibras foram misturadas em quantidades de 0, 10, 20 e 30% em volume com o endurecedor, na razão estequiométrica correspondente ao phr 13. Tanto a resina poliéster como o endurecedor foram fornecidos pela DOW Chemical Co.

As fibras foram mantidas alinhadas ao longo da dimensão do comprimento nos compósitos da forma do osso do cão. A mistura de fluido imóvel foi vertida sobre as fibras dentro de um molde de aço e permitiu-se a cura à temperatura ambiente

durante 24 horas. Foram preparados sete espécimes para cada fração volumétrica e cada tipo de fibra.

Os espécimes foram testados à Temperatura ambiente em uma máquina modelo DL 10000 Instron a uma taxa de deformação de $3 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$. Após o teste, as amostras fraturadas representativas foram colocadas em um suporte condutor e depois revestidas de ouro para serem analisadas por microscopia eletrônica de varredura (SEM). Esta análise foi realizada em um microscópio modelo SSX-550 Shimadzu operando com elétrons secundários acelerados por uma tensão de 15 kV.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela I apresenta os resultados das tensões de tração com seus respectivos desvios padrão, para compósitos de puro poliéster (0%) e compósitos com diferentes frações de volumes de fibras incorporadas de sisal, bambu e malva.

Tabela I – Resistência a Tração compósitos com fibras de sisal, bambu e malva.

Fibra (%)	Sisal (MPa)	Bambu (MPa)	Malva (MPa)
0	32.76 ± 2.09	34.44 ± 2.50	32.99 ± 1.58
10	69.09 ± 5.06	80.24 ± 8.27	73.75 ± 9.01
20	118.42 ± 9.99	96.99 ± 8.72	95.98 ± 7.81
30	142.86 ± 11.73	133.39 ± 10.98	130.98 ± 1.71

Com base nos resultados da Tabela I, as tensões trativas se comportam em função dos percentuais incorporados de diferentes fibras como mostrado na Figura 3.

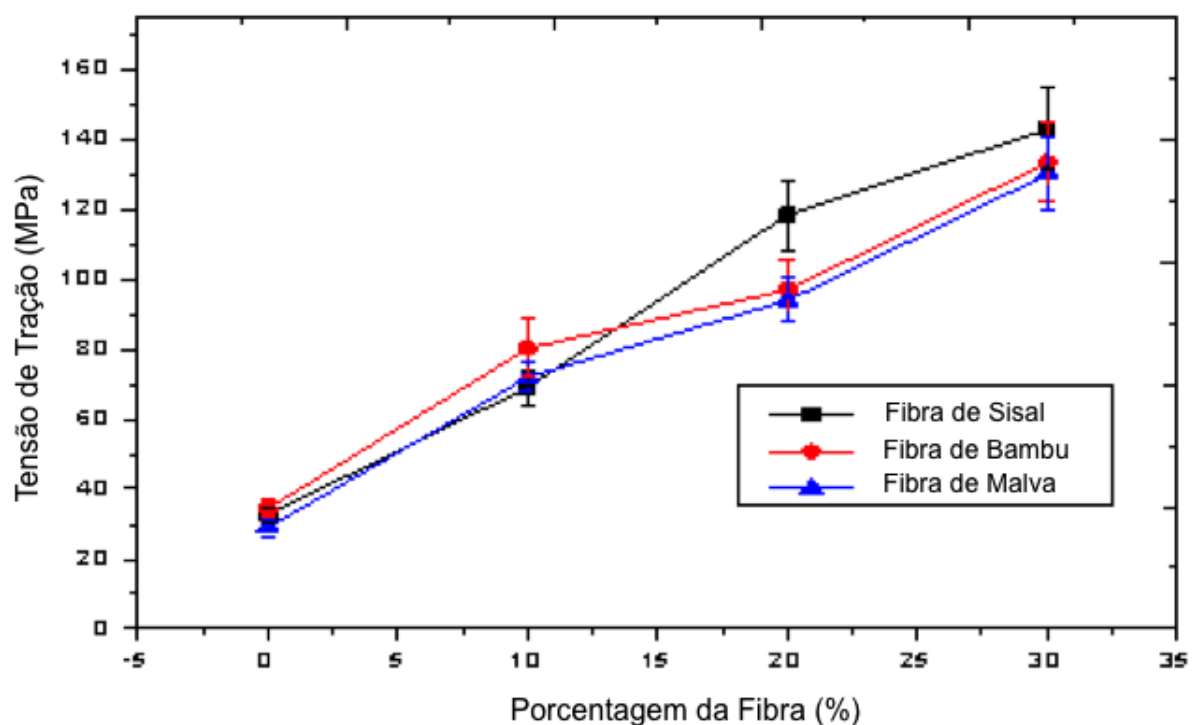


Figura 3. Tensão de tração como função de porcentagem de diferentes fibras.

Deve-se notar o aumento acentuado do esforço de tração com a fração de volume de fibra incorporada. Também é importante observar que as barras de erro apresentam desvio padrão, uma característica comum para fibras lignocelulósicas. Isto é devido à natureza heterogênea das fibras naturais, resultando em propriedades de dispersão substancial dos compósitos reforçados por elas [17]. A comparação mostra que a fibra de bambu gera um melhor reforço em compósitos de poliéster quando incorporada com 10% de volume de fibra, mas não é verdadeira para 20 e 30% em volume. Após 20% de incorporação, a fibra do sisal mostra um reforço melhor, provavelmente porque seu diâmetro menor, o que assegura menos poros e vazios na estrutura da fibra que proporciona um comportamento mais uniforme.

É importante discutir a ruptura macroscópica característica dos espécimes após o teste. É importante observar que alguns espécimes com 30% de fibra de malva, alguns com 20 e 30% de fibra de curaua e alguns com 10, 20 e 30% de fibra de ramie não alcançaram a maior resistência obtida, o corpo de prova não se separou em duas partes após o impacto, como mostrado em outros trabalhos na literatura. Isso indica que as fissuras nucleadas no entalhe começaram a se propagar através da matriz de poliéster quebradiça, mas quando atingem a interface de fibra, a fenda muda de direção [18].

Todas as amostras com menos de 20% de incorporação de fibra de bambu e malva e menos de 10% de incorporação de fibra de sisal, sofrem uma ruptura completa. Alguns espécimes com 20% e 30% de incorporação de fibra de sisal e alguns com 30% de incorporação de fibras de malva e bambu não sofreram ruptura completa. Isso leva a uma diminuição da tensão testado para estas espécimes. Se as espécimes oferecem resistência a fratura, o estresse de tração seria ainda maior.

Uma possível explicação para o efeito de reforço das fibras de sisal, bambu e malva para a matriz de poliéster, Tabela I e a Figura 3, podem ser entendidos através da análise de fratura dos compósitos apresentados na Figura 4 e 5.

Detalhes da fratura típica de espécimes de tração correspondente a 0% (poliéster puro) com menor ampliação na Figura 4A, mostra uma única fenda propagada de forma longitudinal, e com maior ampliação, mostrando os detalhes, na Figura 4B, pode-se observar a propagação de muitas fissuras através de uma matriz de poliéster irregular, com poros e defeitos acumulados durante o processamento da amostras de tração.

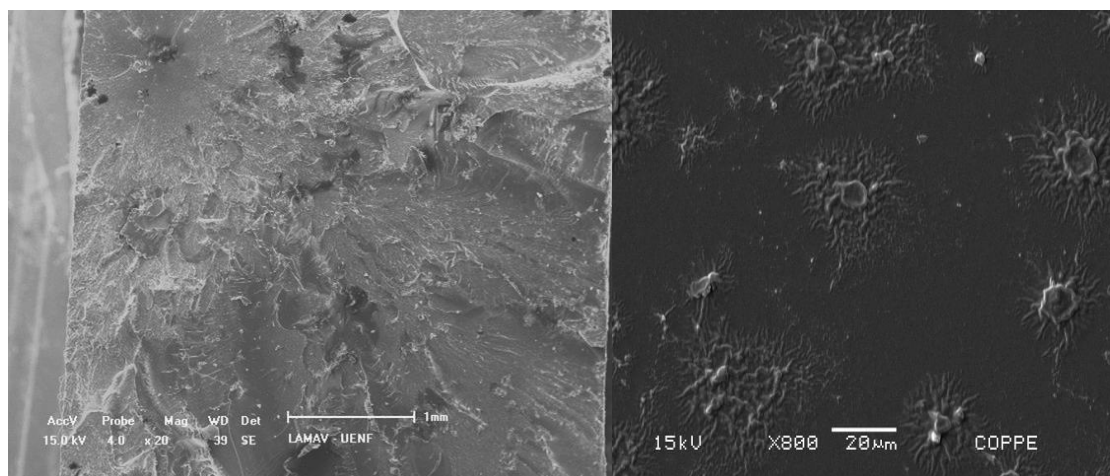


Figura 4. Superfície de fratura de amostra de poliéster (0% fibra): (A) Amostra com baixa ampliação, (B) Amostra com elevada ampliação.

A Figura 5 apresenta a interface fraturada por tração do compósito de poliéster com 30% de fibras de sisal, bambu e malva. Estes MEVs mostram uma efetiva adesão entre as fibras e a matrix, onde as rachaduras se propagam preferencialmente. Algumas das fibras foram retiradas da matriz e outras foram quebradas durante o impacto. Em contrapartida, a parte da amostra em que a ruptura ocorreu preferencialmente longitudinalmente através da interface fibra / matriz, revela que a maior parte da área de fratura está associada à superfície da fibra. Este comportamento corrobora o mecanismo de ruptura de rachaduras que se propagam preferencialmente entre a superfície da fibra e a matriz de poliéster devido à baixa força interfacial. A maior área de fratura, Figura 5, associado às fibras alinhadas que atuam como reforço para o compósito, justificam a maior energia de impacto absorvida, a Figura 3 com uma quantidade crescente de fibras lignocelulósicas. Este comportamento confirma o mecanismo de ruptura por rachaduras que devido ao baixo esforço de cisalhamento interfacial, é de preferência espalhado entre a superfície das fibras de sisal, bambu e malva e a matriz de poliéster como pode ser visto na Figura 5A, 5B e 5C.

Este resultado em uma área de fratura longitudinal é relativamente grande em comparação com a fratura transversal dos espécimes com até 20% de fibra de bambu e malva e até 10% de sisal. Consequentemente, têm um maior estresse de tração para quebrar uma área comparativamente maior conforme indicado por Yue ET AL (1995). Isto indica que as fibras proporcionam uma elevada resistência à tração às matrizes poliméricas quando utilizadas como reforço de compósitos.

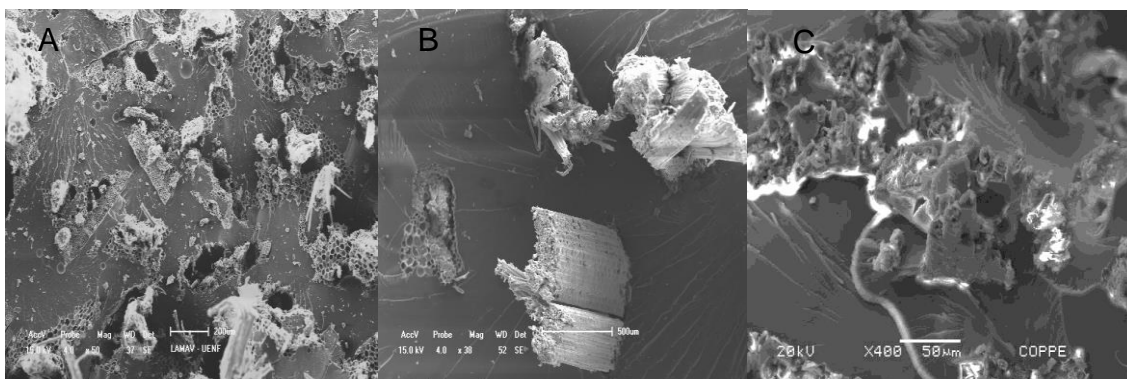


Figura 5. Amostras com 30% de incorporação de fibras: (A) sisal, (B) bambu e (C) malva, com elevada ampliação.

4 CONCLUSÃO

- As frações de fibras de sisal, bambu e malva, aumentaram de forma linear a resistência à tração de acordo com as incorporações em cada um dos compósitos testados.
- A fibra de bambu gera um reforço melhorado para compósitos de poliéster quando incorporada com até 10% de volume, mas não é verdadeira para incorporação de 20 e 30%.
- Após 20% de incorporação, a fibra de Sisal apresenta um reforço melhor, provavelmente devido ao seu diâmetro menor e com menos poros e vazios na estrutura da fibra, que assegura um comportamento mais uniforme ao compósito.
- O aumento da tensão de tração aparentemente observado nos compósitos, pode ser devido ao baixo esforço de cisalhamento na interface entre as fibras de Sisal,

Bambu e Malva e a matriz de poliéster. Isso resulta em uma alta energia absorvida como resultado da propagação de fissuras longitudinais através da interface, o que gera uma área de fratura relativamente grande em comparação com uma fratura transversal simples.

Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeiro para auxiliar este trabalho: CNPQ, CAPES, FAPERJ e TECNORTE/FERNORTE.

REFERÊNCIAS

- [1] S.J. Eichhorn, C.A. Baillie, N. Zafeiropoulos, L. Y. Mwaikambo, M.P. Ansell and A. Dufresne. Review – Current international research into cellulosic fibers and composites. *J. Mat. Sci.* 2002; p. 19-26.
- [2] A.K. Mohanty, M. Misra and L.T. Drzal. Sustainable bio-composites from renewable resources: opportunities and challenges in the green materials world. *J Polym Environ.* 2002; p. 19-26.
- [3] J. Crocker. Natural materials innovative natural composites. *Mater Technol.* 2008; p. 174-178.
- [4] M.J. John and S. Thomas. Biofibers and biocomposites. *Carbohydr. Polym.* 2008; p.343-364.
- [5] Kestur G. Satyanarayana, Gregorio G. C. Arizaga, and Fernando Wypych. Biodegradable Composites Based On Lignocellulosic Fibers – An overview. *Progress in Polymer Science.* 2009; p. 982-1021.
- [6] S.N. Monteiro, F.P.D. Lopes, A.S. Ferreira and D.C.O. Nascimento. Natural Fiber Polymer Matrix Composites: Cheaper, Tougher and Environmentally Friendly. *JOM.* 2009; p. 17-22.
- [7] S.N. Monteiro, F.P.D. Lopes, A.P. Barbosa, A. B. Bevitori, I.L. Silva and L.L. Costa. Natural Lignocellulosic Fibers as Engineering Materials. *Metal. Mater. Trans A.* 2011; p. 2963-2974.
- [8] S. Kalia, B.S. Kaith and I. Kaurs: Cellulose Fibers. Bio and Nano-Polymer Composites . New York: Springer; 2011.
- [9] O. Faruk, A.K. Bledski, H.P. Fink and M. Sain. Biocomposites Reinforced with Natural Fibers: 2000-2010. *Progress in Polymer Science.* 2012; p.1552-1596.
- [10] K. G. Satyanarayana, J. L. Guimarães, F Wypych. Studies on Lignocellulosic Fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. *Composites: Part A*, v. 38. 2007; p. 1694-1709.
- [11] A Gore. Uma Verdade Inconveniente, Documentário e Livro. New York: Editora Manole; 2008.
- [12] J. Crocker. Natural Materials Innovative Natural Composites. *Materials technology*, v.2-3 n. 3. 2008; p. 174-178.
- [13] S. N. Monteiro, F.P.D.Lopes, A.S.; Ferreira, D.C.O, Nascimento. Natural Fiber Polymer Matrix Composites: Cheaper, Tougher and Environmentally Friendly. *JOM*, v.61, n. 1. 2009: p. 17-22.
- [14] S.N. Monteiro, W.P. Inácio, F.P.D. Lopes. Charpy Toughness Behavior of Continuous Sisal Fiber Reinforced Polyester Matrix Composites, In: Mineral, Metals & Materials Characterization Symposium; 2010; Seattle, EUA. Seattle: TMS Conference; 2010. p. 1-8

- [15] S. N. Monteiro, L.L. Costa, F.P.D. Lopes. Characterization of the Impact Resistance of Coir Fiber Reinforced Polyester Composites, In: Mineral, Metals & Materials Characterization Symposium; 2008; New Orleans, EUA. New Orleans: TMS Conference; 2008. p. 1-6
- [16] S. N. Monteiro, D.C.O, Nascimento, L.C. Motta. Characterization of the Toughness of Piassava Fiber Reinforced Epoxy Matrix by Izod Impact Test. In: EPD Congress: Characterization of Minerals, Metals and Materials; 2009; San Francisco, EUA. San Francisco: TMS Conference; 2009
- [17] J.I. Margem, S.N. Monteiro, M. Margem, V. Gomes, F. Margem. Pullout Tests of Epoxy Matrix Reinforced with Malva Fibers, In: EPD Congress: Characterization of Minerals, Metals and Materials; 2015; Orlando, EUA. Orlando: TMS Conference; 2015. p. 457-463
- [18] J.I. Margem, S.N. Monteiro, M. Margem, R.F. Junior, V. Gomes, T. Cordeiro, F. Margem. Photoacoustic Thermal Characterization of Malva Fibers, In: EPD Congress: Characterization of Minerals, Metals and Materials; 2015; Orlando, EUA. Orlando: TMS Conference; 2015. p. 259-264