

INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO DE FIBRAS NATURAIS NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS À TRAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS

Fábio Santos de Sousa, fabio.eng.materiais@gmail.com¹

Edwillson Oliveira Filho, edwillson19@hotmail.com¹

César Tadeu Nasser Medeiros Branco, cesartadeub@hotmail.com¹

Igor dos Santos Gomes, igorgomes-@live.com¹

Luciano Monteiro Almeida, lm_almeida@yahoo.com.br¹

Jair Magalhães, jairfsm@ufpa.br¹

Douglas Santos Silva, dougsantosilva@gmail.com¹

Fábio Nascimento Barbosa, emailsparafabio@gmail.com¹

Moacir Kuwahara, moacirkuwahara@yahoo.com.br¹

Francisco Xavier Lima da Silva, fxavirlima@gmail.com¹

Roberto Fujiyama, fujiyama.ufpa@gmail.com¹

¹Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 1 - Guamá, Belém - PA, 66075-110,

Resumo: Atualmente, pesquisas relacionadas à fabricação de materiais compósitos reforçados com fibras naturais têm aumentado devido à possibilidade de redução de custos de produção e por permitir boas propriedades mecânicas em relação às fibras sintéticas. Este trabalho tem como objetivo a produção de materiais compósitos com fibras naturais contínuas e alinhadas para avaliar a relação entre o espaçamento das fibras e a resistência à tração. Os materiais compósitos foram processados utilizando as fibras de sisal com resina tereftálica. Além disso, os corpos de prova foram caracterizados com objetivo conhecer resistência mecânica, onde foram submetidos ao ensaio de tração de acordo com ASTM D3039. Os corpos de prova foram reforçados com uma camada de fibras igualmente espaçadas (monocamada), onde para cada compósito determinou-se espaçamentos entre as fibras de 1,5 mm e 2,5 mm. Foram também obtidas imagens em uma câmera de alta resolução para avaliar o aspecto da superfície da fratura. Os resultados mostram maior resistência obtida por outros pesquisadores em compósitos com fibras curtas e não orientadas. Observações microestruturais revelaram uma adesão efetiva entre as fibras e a matriz, o que contribuiu para o desempenho mecânico de compósitos com fibras de espaçamento menores.

Palavras-chave: espaçamento de fibra, fibras naturais, fibras de sisal, propriedades mecânicas

1. INTRODUÇÃO

A compreensão das características de tração e comportamento de fratura de compósitos com fibras longas alinhadas tem sido objeto de intensa investigação há muito tempo. Isto é demonstrado pelas pesquisas que descrevem fratura da matriz e as propriedades de interface entre fibra e matriz. Essas análises têm grande relevância para caracterizar a resposta do compósito. As investigações mecânicas mostraram que o acompanhamento da deformação e fratura de materiais compósitos são influenciados pelas propriedades das fibras.

As fibras naturais têm se destacado atualmente devido à condição de poder substituir totalmente ou parcialmente as fibras sintéticas. As fibras naturais comumente utilizadas em aplicações de compósitos são as de caule e as de folha (fibras duras) com fibras como cânhamo, juta, linho, kenaf ou sisal (Rouison *et al.*, 2004). Entre as vantagens em relação aos reforços sintéticos destacam-se a baixa densidade, biodegradabilidade e baixo custo (Andrade, 2007). A caracterização de compósitos com fibras naturais ainda são poucos estudados comparados com fibras sintéticas. A forma com que a fibra encontrasse dentro da matriz é de grande relevância para as propriedades mecânicas. Além disso, os espaçamentos de fibras juntamente com a fração mássica de fibras influenciam diretamente nas propriedades elásticas do compósito (Costa *et al.*, 2014; Silva, 2014; Sergio N. Monteiro, 2006; Gaffney e Botsis, 1999).

Para relacionar o comportamento de fibras naturais ao comportamento geral destes materiais compósitos faz-se necessário investigar a influência dos mesmos. Assim, é uma tarefa formidável determinar as contribuições das propriedades mecânicas das fibras interagindo com a matriz. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo desenvolver compósitos de resina poliéster tereftálica e fibras de sisal longas contínuas e alinhadas, variando o espaçamento entre fibras e avaliando o comportamento mecânico dos mesmos através de ensaios de tração.

2. MATERIAIS E METODOS

2.1. Materiais

Neste trabalho utilizaram-se as fibras longas de Sisal na condição de como recebidas sem qualquer tratamento superficial Figura (1). Para fase matriz do compósito utilizou-se resina poliéster tereftálica insaturada fabricada pela Ara Química S.A. sob a denominação comercial de Arazyn AZ 1.0 # 34. O agente de cura utilizado foi o peróxido de Metiletilcetona (MEK) nas proporções de 1% (v/v).



Figura 1.fibras de sisal *in natura*.

2.2. Metodologia

Antes do processo de fabricação, houve a seleção de fibra de acordo com o comprimento. Após essa etapa, começou-se a definir primeiro o espaçamento entre as fibras de 1,5 mm e 2,5 mm para cada tipo de compósito, aplicando uma tensão para manter o alinhamento de molde da base de madeira e laterais de miriti. Em seguida, a resina tereftálica foi lentamente vazada para dentro do molde produzindo uma placa compósita que foi cortada em quatro amostras idênticas Figuras (2) e (4).

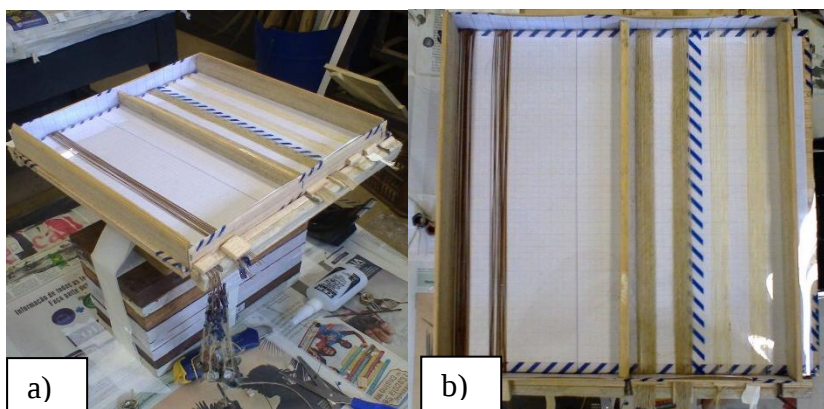


Figura 2. Molde para confecção dos compósitos (a) e (b).

Após esta etapa, a placa ficou 4 meses de cura para posterior corte nas dimensões da norma. Neste trabalho foram examinadas duas configurações de espaçamento de fibras. O primeiro foi um compósito com uma camada (monocamada) de fibras igualmente espaçadas sob uma tensão para manter o alinhamento. A Figura (3) mostra o esquema dos procedimentos realizados neste trabalho.

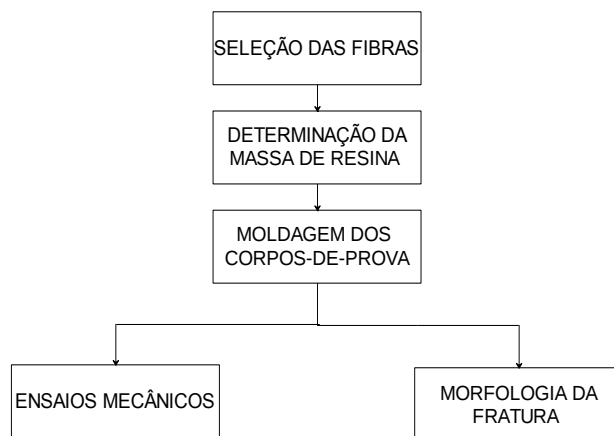


Figura 3. Fluxograma dos procedimentos experimentais.

Depois de curar as placas, fizeram-se as medições de acordo com ASTM D3039. As amostras foram caracterizadas com o objetivo de conhecer a resistência à tração.

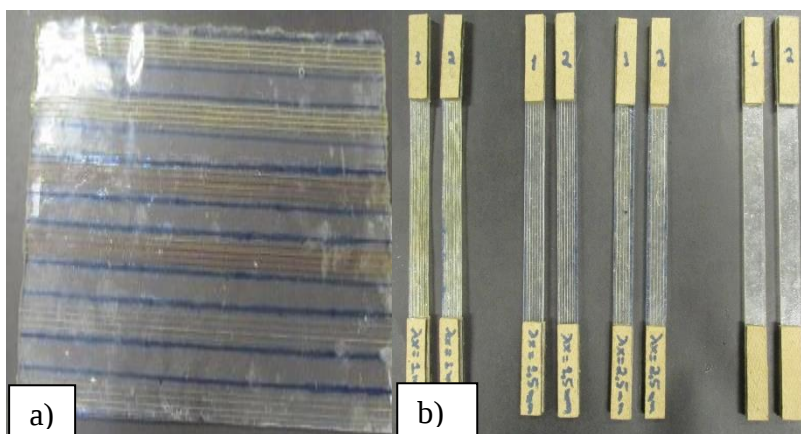


Figura 4. Placa (a) e corpos de provas após o corte de acordo com a norma ASTM 3039(b).

Os teores de fibras, medidos no material processado através da Eq.1 para cálculo da fração mássica de cada espaçamento, onde W_f é fração mássica de fibras, w_f é massa de fibras e w_c é massa do compósito.

$$W_f = \frac{w_f}{w_c} \quad (1)$$

2.2.1 Ensaio de Tração

As amostras foram ensaiadas na Máquina de Ensaio Universal AROTEC WDW 100E mostrada na Fig. 5, a uma velocidade de ensaio de 2 mm/min e comprimento útil para medição entre garras de 140mm. Os ensaios foram realizados em 08 corpos de prova de cada condição.



Figura 5. Máquina de Ensaio Universal AROTEC WDW 100E.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Ensaio de Tração

Os resultados de resistência à tração dos compósitos poliméricos com fibra de sisal mostraram que as propriedades mecânicas estão diretamente relacionadas com o espaçamento de fibras. Os melhores resultados foram para o espaçamento entre fibras de 1,5mm com resistência a tração de 26,32 MPa, em que houve um aumento da rigidez do compósito. Para o espaçamento de 2,5 mm entre fibras obteve a resistência à tração de 17,5MPa. A Tabela 1 e a Fig. 6 mostram os resultados obtidos nos ensaios de tração.

Tabela 1. Resultados experimentais para as propriedades de tração dos materiais com espaçamentos entre fibras de 1,5 e 2,5 mm. Valores médios.

Espaçamento λ_x (mm)	Propriedades do compósito			
	Fração mássica de fibras (wt%)	Resistência à tração (MPa)	Deformação (%)	Módulo E (GPa)
1,5	0,78	26,32	4,522	1,106
2,5	0,57	17,5	1,679	0,986
Matriz	0	23,19	4,996	0,964

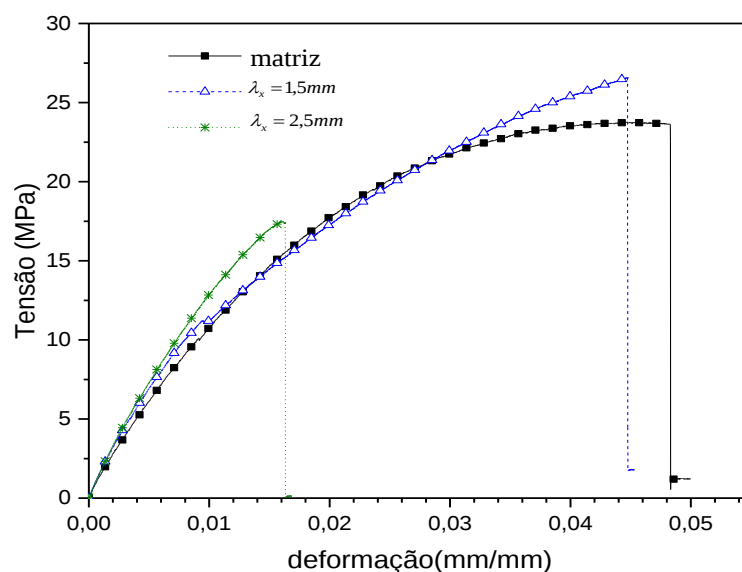


Figura 6. Gráfico tensão x deformação para os compósitos estudados.

A partir dos resultados de tensão máxima, percebe-se que o melhor espaçamento para este compósito é o $\lambda_x = 1,5$ mm Fig. (6), ou seja, aquele que possui porcentagem mássica de fibras de 0,78 wt %. Este proporcionou um aumento em torno de 50,4 % na resistência à tração e em torno de 12,17 % no módulo de elasticidade quando comparado ao compósito reforçado com 0,57 wt % de espaçamento de fibras $\lambda_x = 2,5$ mm. Quando comparamos as propriedades desses compósitos contendo $\lambda_x = 1,5$ mm com as propriedades da matriz pura, este aumento é maior, sendo ~13,5 % na resistência à tração e ~ 14,73 % no módulo de elasticidade. Para o espaçamento entre fibras de 2,5mm houve uma diminuição da resistência em torno de 32,51 % comparado com a matriz pura, já o módulo de elasticidade aumentou ~2,82%.

Gaffney e Botsis (1999) observaram o mesmo comportamento para compósitos com matriz epóxi reforçados fibras de vidro com contínuas e alinhadas, com menores espaçamentos de resultou em maior resistência mecânica. Sergio N Monteiro *et al*, (2006) avaliaram a influência da fração mássica fração mássica de fibras, onde variaram de 5 a 30% a fração mássica de fibras de curauá onde obtiveram os melhores resultados para compósitos com 20%, porém nas suas pesquisas não houve controle de espaçamento entre fibras.

3.2. Morfologia da superfície de fratura

As superfícies de fratura das amostras de com espaçamento entre fibras de $\lambda_x = 1,5$ mm e $\lambda_x = 2,5$ mm submetidas ao ensaio de tração foram analisadas por imagens obtidas através de uma máquina fotográfica de alta resolução. A Figura. (7) mostra as imagens das superfícies para os materiais $\lambda_x = 1,5$ mm e $\lambda_x = 2,5$ mm.

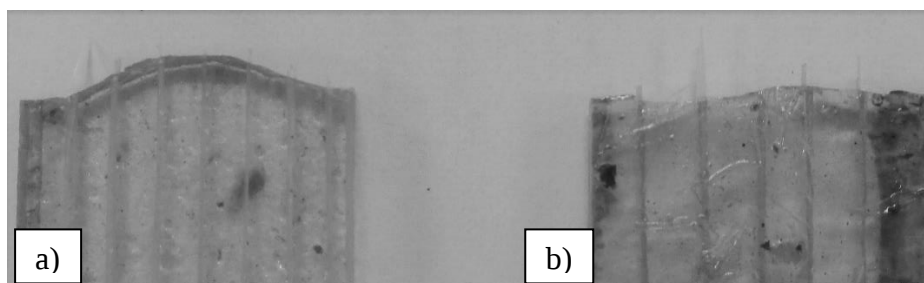


Figura 7. Imagens das fraturas para os materiais $\lambda_x = 1,5$ mm(a) e $\lambda_x = 2,5$ mm(b).

Nas fotos da Figura. (8), observa-se que a fratura no corpo de prova com espaçamento de $\lambda_x = 2,5$ mm foi perpendicular à direção da aplicação do carregamento, característica de fratura frágil, falha parcial de fibras de sisal. Podem ser observadas a poucos de vazios e a ausência de fibras arrancadas (pull out), característica de boa adesão interfacial, além disso, observando a Figura. (8) é possível identificar vários pontos de início de fratura ou linhas de propagação de trinca em cada fibra, para o compósito com espaçamento de 2,5mm. Desta forma, observada na região de fratura frágil indicando que a falha ocorreu com propagação rápida de trincas.



Figura 8. Superfície de fratura para os compósitos com espaçamento entre fibras de 2,5mm ($\lambda_x = 2,5$ mm).

Com a diminuição do espaçamento de fibras ($\lambda_x = 1,5$ mm) Fig.(9) ,ou seja, a fração mássica maior, houve o aumento de fratura das fibras e uma fratura moderadamente dúctil, caracterizada pela maior deformação do compósito, além disso, pode ser observado a nucleação da trica na fibra central do compósito. Esta análise explica os resultados obtidos dos ensaios de tração das Figura 6 e Tabela 1.



Figura 9. Superfície de fratura para os compósitos com espaçamento entre fibras de 2,5mm ($\lambda_x = 2,5$ mm).

4. CONCLUSÕES

Compósitos fabricados com fibras contínuas e alinhadas de sisal com espaçamento entre fibras de 1,5 mm apresentaram resistência à tração superior ao de outros compósitos poliméricos reforçados, até mesmo do matriz poliéster. A partir de 2,5 mm de espaçamento entre fibra de sisal há um decréscimo da resistência mecânica de 32% em relação à matriz. O fator espaçamento de fibras assim como o alinhamento contribuem para maior resistência dos compósitos, além do aumento da rigidez.

A análise da superfície de fratura dos corpos de prova indicou que a fratura dos compósitos com espaçamento de fibras de 1,5 mm teve início de propagação de trica na fibra central propagando-se para demais fibras levando o colapso da matriz polimérica e consequentemente das fibras, possibilitando alcançar maior resistência à tração, o que se caracterizou um reforço mecânico mais eficiente que com espaçamento de fibras de 2,5 mm, onde a propagação se deu de maneira uniforme ocasionado uma fratura frágil no compósito.

5. AGRADECIMENTOS

Ao apoio concedido pela CAPES, UFPA e IFPA.

6. REFERÊNCIAS

- ASTM - D3039/D3039M-08 “Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials”.
- Andrade, S.M.C., 2007, Avaliação de polietileno reciclado carregado com fibra de palma para confecção e módulo. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, 80 p. UFPA.
- Costa, D. S., Banna W. R., Costa, D. da S; Souza, J. A. S, 2014, Laminados De Matriz Polimérica E Fibras De Bambu Contínuas E Alinhadas. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química CobeQ.
- Rouison, D.;Sain, M.; Couturier, M, 2004, “Resin transfer molding of natural fiber reinforced composites: cure simulation. Composites Science and Technology”, n.64, p. 629-644.
- Sergio N. Monteiroa, Regina Coeli M. P. Aquinob, Felipe P. D. Lopesa, Eduardo A. de Carvalhoa, José Roberto M. d’Almeidac. 2006, Comportamento Mecânico e Características Estruturais de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras Contínuas e Alinhadas de Curauá. Revista Matéria, v. 11, n. 3, pp. 197 – 203.
- Silva, I. L. A., 2014, Propriedades E Estrutura De Compósitos Poliméricos Reforçados Com Fibras Contínuas De Juta .Tese de Doutorado, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro , Campos Dos Goytacazes – Rj.
- Gaffney, K.M.; Botsis J., 1999, “Deformation and fracture of a uniaxially reinforced composite material Compos Sci Technol”, 59 (12) , pp. 1847–1859.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

INFLUENCE OF SPACING OF NATURAL FIBERS IN THE TENSILE MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS

Fábio Santos de Sousa, fabio.eng.materiais@gmail.com¹

Edwillson Oliveira Filho, edwillson19@hotmail.com¹

César Tadeu Nasser Medeiros Branco, cesartadeub@hotmail.com¹

Igor dos Santos Gomes, igorgomes_@live.com¹

Luciano Monteiro Almeida, lm_almeida@yahoo.com.br¹

Jair Magalhães, jairfsm@ufpa.br¹

Douglas Santos Silva, dougsantosilva@gmail.com¹

Fábio Nascimento Barbosa, emailsparafabio@gmail.com¹

Moacir Kuwahara, moacirkuwahara@yahoo.com.br¹

Francisco Xavier Lima da Silva, fxavirlima@gmail.com¹

Roberto Fujiyama, fujiyama.ufpa@gmail.com¹

¹Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 1 - Guamá, Belém - PA, 66075-110,

Abstract: Currently, research related to the manufacture of composite materials reinforced with natural fibers has been increasing due to the possibility of reducing production costs, and enable good mechanical properties compared to synthetic fibers. This work aims at the production of composite materials with continuous and aligned natural fibers to evaluate the relationship between the fibers spacing and tensile strength. The composite materials was processed using the fibers sisal with terephthalic resin. In addition, the samples were characterized with aim know to resistance to stress where were submitted in the tensile test, accordance with ASTM D3039. The specimen were reinforced with one layer of equally spaced fibers (monolayer) where each composite had three spacing of 1.5 mm and 2.5mm between fibers. It was also obtained images in a high definition camera to evaluate the aspect of surface of fracture. The results show a higher resistance obtained by other researchers in composites with short fibers and non-oriented. Microstructural observations revealed an effective adhesion between the fibers and the matrix, which contributed to the mechanical performance of composites with smaller spacing fibers.

Palavras-chave: fiber spacing, natural fibers, sisal fibers, mechanical properties.