

## COMPÓSITOS DE REFORÇOS VEGETAIS COMO ALTERNATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO REGIONAL SUSTENTÁVEL: UM ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS E POTENCIAL DE APLICAÇÃO

Antônio S. C. N. Júnior<sup>1\*</sup>, Amanda C. F. Carvalho<sup>1</sup>, Antônio B. S. Oliveira<sup>1</sup>, Leilane M. R. Nogueira<sup>1</sup>, Igor dos S. Gomes<sup>2</sup>, Roberto T. Fujiyama<sup>3</sup>

1. Estudante da Faculdade de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal do Pará (FEM-UFPA)
2. Estudante de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia – PRODERNA/UFPA
3. Professor da FEM-PRODERNA-UFPA - Departamento Engenharia Mecânica/Orientador

### Resumo

No Brasil encontra-se diversos tipos de fibras, que são objetos de pesquisa e utilizadas para confecção de produtos de artesanato, ajudando também no desenvolvimento econômico de pequena escala. Na região norte são encontradas diversas fibras naturais, como o sisal, carnaúba e entre outras. Comercializadas na cidade de Belém e região metropolitana.

Tendo em vista o estudo e a aplicação dos materiais compósitos reforçados por estas fibras, o objetivo deste trabalho é determinar as propriedades mecânicas em tração de compósitos poliméricos reforçados por fibras curtas de sisal, palha da costa, carnaúba e fibras longas de ubuçu.

Os corpos de prova foram ensaiados de acordo com as normas ASTM D 638 e ASTM D 3039. Foi realizada a análise da fratura dos materiais para a correlação com as propriedades mecânicas.

**Palavras-chave:** Propriedades mecânicas, Fibras naturais, Sustentabilidade.

**Apoio financeiro:** Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, PIBIC - CNPq – UFPA.

### Introdução

O crescente aumento da demanda industrial global relacionado com as exigências crescentes de consumo, sobrecarrega as reservas globais de recursos minerais que são finitos e cada vez mais escassos, leva a grandes questões de disponibilidade de material e sustentabilidade ambiental. Neste cenário, diversos setores têm buscado alternativas no sentido de mitigar os impactos ambientais decorrentes dos processos produtivos, bem como do uso dos produtos fabricados e seu descarte (HOVEN; SCHILD, 2016).

O desenvolvimento e a aplicação de materiais renováveis de baixo custo e de reduzido consumo de energia na engenharia, visando a sustentabilidade, tornam-se exigências básicas atualmente. Os materiais industrializados mobilizam recursos financeiros, consomem muita energia e requerem processos centralizados em sua produção. Em consequência, várias atividades são suprimidas em áreas rurais ou mesmo em cidades de pequeno porte, além de que materiais não renováveis são irreversivelmente desperdiçados, causando permanente poluição ambiental (CALEGARI; OLIVEIRA, 2016).

Neste contexto, segundo afirma Fernandes (2012), as fibras naturais apresentam-se como alternativa no ramo da engenharia, como possíveis substitutas, mesmo que parciais, das fibras sintéticas no desenvolvimento de compósitos poliméricos. Devido, ao baixo custo de produção, sustentabilidade, abundância territorial para o plantio, desenvolvimento da agricultura familiar, uma vez que estimula a produção rural e local, e consequente geração de empregos. Além disso, algumas fibras, como é o caso da folha do ubuçu, são abundantes na região amazônica. Vale ressaltar as propriedades mecânicas promissoras das fibras vegetais (LEVY NETO; PARDINI, 2006).

Perante a disponibilidade de uma gama de fibras naturais comercializadas na cidade de Belém e região metropolitana, foram selecionadas as fibras de Sisal (*Agave Sisalana*), Palha da costa (*Raphia Vinifera*), Ubuçu (*Manicaria saccifera*) e Carnaúba (*Copernicia prunifera*), com o objetivo de desenvolvimento e a determinação das propriedades mecânicas de compósitos poliméricos reforçados por tais fibras, a partir de ensaio de tração em conformidade com as normas ASTM D 3039 e ASTM D 638.

### Metodologia

Os materiais usados foram à resina poliéster tereftálica, e o peróxido MEK (butanox M-50) como agente de cura. As fibras utilizadas como reforço foram provenientes de folhas de espécies vegetais, sendo as quais o sisal (*Agave sisalana*), palha da costa (*Raphia vinifera*), carnaúba (*Copernicia prunifera*) e ubuçu (*Manicaria saccifera*). As três primeiras fibras foram adquiridas do comércio da cidade de Belém do Pará. Já a última foi retirada de uma floresta de várzea próxima à comunidade da Vila Recreio do Piriá, município de Curralinho.

### Compósitos reforçados por fibras de sisal e palha da costa

A fibra de sisal foi cortada em um moinho granulador, no tamanho de 5 a 15 mm. A fibra de palha da costa foi cortada utilizando papéis melimetrados nos tamanhos de 5 e 15 mm. Foram fabricados 8 corpos de prova para cada tipo de fibra. A fabricação foi realizada por moldagem manual, sem pressão ou compactação,

usando resina poliéster insaturada com a proporção de agente de cura/resina de 0,33%. Os ensaios de tração nos compósitos foram realizados de acordo com a norma ASTM D 638. A Figura 1 (a) e (b) mostram as fibras de sisal e palha da costa, respectivamente, vazadas nos moldes de silicone, no processo de cura.



Figura 1 – (a) Corpos de prova dos compósitos reforçados por fibras de sisal (b) palha da costa no molde de silicone.

### Compósitos reforçados por fibras de carnaúba

A fibra foi cortada utilizando papéis milimetrados nos tamanhos de 5 mm, 10 mm e 15 mm. Foram fabricados, de acordo com a norma ASTM D 638, 8 corpos de prova para cada tamanho de fibra. A fabricação foi realizada em um molde de silicone. Para a fabricação dos compósitos foi utilizada resina poliéster insaturada com a proporção de agente de cura/resina de 0,33%. Na Figura 2, molde de silicone e o compósito pronto para o processo de cura.

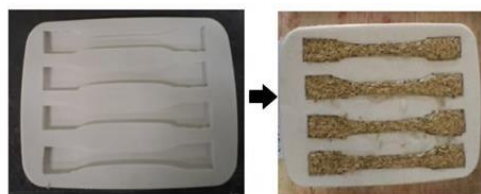


Figura 2– fibras de sisal nos moldes de silicone.

### Compósitos reforçados por fibras da folha do ubuçu

Em laboratório foi feita a padronização das fibras de ubuçu no tamanho de 28 cm de comprimento, em seguida as fibras foram lavadas em água. A Figura 3 apresenta um fluxograma da fabricação do compósito.

Utilizando-se um tear foram produzidos 4 tecidos de 28 cm de comprimento e 14 cm de largura. Usando a resina de poliéster insaturada tereftálico (tipo CRISTAL) com a proporção de agente de cura/resina de 0,7%, foi realizada a laminação do compósito utilizando a técnica *hand lay-up*.

Ao final do processo foi utilizada uma prensa hidráulica para conferir a adesão mecânica entre fibra e matriz. Após o processo de cura, a placa foi cortada para a produção dos corpos de prova de acordo com a norma ASTM 3039.



Figura 3 – Fluxograma de produção de compósito reforçado com fibra da folha do ubuçu.

## Resultados e Discussão

A Tabela 1, demonstra os resultados do ensaio mecânico em tração dos compósitos reforçados por fibras de sisal, palha da costa, carnaúba e ubuçu.

Tabela 1 - Resultados para o ensaio de tração dos compósitos.	
Materiais	Resistencia a tração (MPa)
Sisal 5 a 15 mm	22,83(±0,54)
Palha da costa 5 mm	10,01(±0,89)
Palha da costa 15 mm	16,48 (±1,31)
Carnaúba 5mm	10,44(±1,22)
Carnaúba 15mm	15,75 (±1,51)
Ubuçu (longa)	14,70(±1,34)

Analisando os resultados obtidos através do ensaio do compósito reforçado com as fibras listadas, é

notável que a resistência a tração é maior para as fibras de 15 mm. O compósito com reforço de sisal demonstrou a maior resistência a tração, isso ocorre por variáveis como o método de fabricação, a disposição das fibras no compósito, a interação da interface matriz/fibra que nos compósitos de comprimento híbrido e nos de 15 mm, se mostraram eficientes.

Consequentemente, compreende-se que quanto maior o tamanho da fibra maior a resistência do compósito de matriz poliéster reforçado com fibra de sisal. Isso acontece porque em compósitos reforçados por fibras, quando dispostas aleatoriamente, as pontas atuam como um concentrador de tensão, como em menores comprimentos de fibra há um maior número de pontas, o comportamento de compósitos com fibras curtas torna-se menor quando comparados com o desempenho de fibras longas.

As Figuras 4, 5 e 6 são capturas da área de fratura dos compósitos fabricados, a análise dessas imagens possui o intuito de verificar o comportamento das fibras dentro de matriz durante os ensaios de tração.

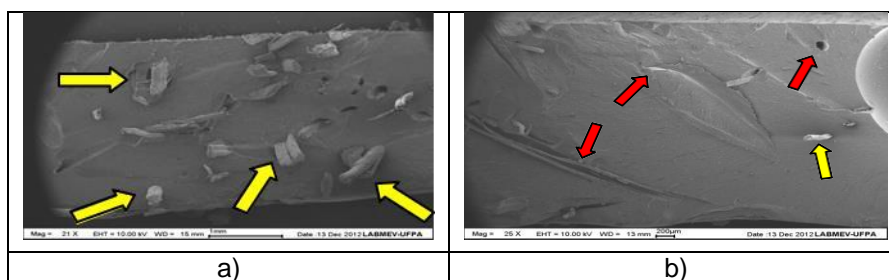


Figura 4 – (a) e (b) superfície de fratura compósito reforçado com fibras de sisal de 5 mm a 15 mm.

Figura 4 (a) mostra a fratura de um compósito de fibras de sisal de 5 mm a 15 mm. Nota-se que há predominância de fibras rompidas (setas amarelas), o que aumenta a resistência do compósito, comprovando a forte adesão entre a fibra e matriz. Na Figura 4 (b) observa-se que o mecanismo de falha na superfície de fratura do compósito é o arrancamento de fibras (setas vermelhas).

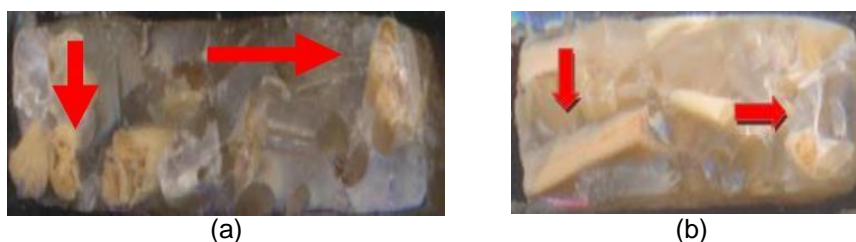


Figura 5 – Superfície de fratura do compósito de fibra de palha da costa de (a) 5mm e (b) 15 mm.

Na figura 5 (a) temos a superfície de fratura do corpo de prova com fibras de 5 mm, onde se nota as fibras desalinhadas. Sabe-se que a presença de fibras dispostas na matriz transversalmente à direção do carregamento é um fator importante que contribui para a redução do desempenho do compósito, contribuindo com a propagação de trincas.

Na figura 5 (b) temos a superfície de fratura do corpo de prova com fibras de 15 mm, observa-se que os corpos de prova feitos com fibras de 15 mm apresentaram um valor médio de carga maior durante os ensaios de tração, indicando que as fibras utilizadas como reforço e a matriz receberam a transferência da força maior se comparadas com os outros comprimentos. Destacando também o maior rompimento de fibras, aumentando a resistência do material produzido.



Figura 6 - Região de fratura do compósito de fibra de carnaúba (a) 5 mm e (b) 15mm.

Figura 6 (a) a superfície fraturada do compósito reforçado com a fibra de carnaúba de 5 mm, as setas brancas mostram a região que a fibra rompeu indicando provavelmente, transferência de carga da matriz para as fibras. As setas vermelhas indicam a extração ou arrancamento das fibras evidenciando a união fraca, as fibras descoladas da matriz refletindo na redução da resistência mecânica do material.

Na Figura 6 (b) as setas brancas indicam o processo de ruptura da fibra, refletindo-se na transferência de carga da matriz para as fibras. O efeito de compactação teve um desempenho melhor e a resistência do compósito com fibra de 15 mm aumentou significativamente.

Relacionando os resultados obtidos neste trabalho com os desenvolvidos por El Banna et al. (2014), que fabricou compósitos de híbridos com fibras de sisal e pó de madeira, observamos que os compósitos de

carnaúba, ubuçu e palha da costa apresentaram valores de resistência a tração menores que os compósitos híbridos, sendo estes com valor médio de tração de 22,83 MPa.

### Conclusões

O desenvolvimento de estudos voltados a área de compósitos reforçados com fibras naturais já se tornou uma realidade dentro das instituições de ensino e pesquisa, buscando o emprego destes materiais como uma alternativa de substituição de materiais sintéticos, que são poluentes e de fontes não renováveis.

Os resultados deste trabalho mostram que os compósitos reforçados por fibras de sisal palha da costa, carnaúba e ubuçu apresenta propriedades interessantes, as quais podem ser ainda melhores a partir da utilização de métodos de fabricação que reduzem os defeitos, a presença de bolhas, vazios e proporcionem melhor distribuição das fibras na matriz. Além disso, o tratamento químico superficial das fibras pode tornar mais eficiente a adesão da fibra com a matriz e com isso permitir que aumenta a resistência mecânica do material.

Em consequência disso e associado a uma ampla caracterização mecânica destes materiais, não só em tração, mas em flexão e impacto, por exemplo, pode conferir a estes materiais a aplicabilidade em paraquedas de automóveis, por exemplo.

### Referências bibliográficas

ASTM D 638 - 1989, **Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic (metric)**, Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 1989.

ASTM D3039/D3039M, 2008, **Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials**, American Society for Testing and Materials.

CALEGARI, E. P., OLIVEIRA, B. F.. **Compósitos a partir de materiais de fontes renováveis como alternativa para o desenvolvimento de produtos**. Universidade Federal do rio grande do sul. 2016

FERNANDES, R. I. M. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos de fibras naturais modificadas e híbridos: Fibras da coroa do abacaxi/ Polipropileno e Fibras da Coroa do Abacaxi/ Fibras de Vidro/ Polipropileno**. 2012. 53f. Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

HOVEN. A. V.. D., SCHILD, A. Organização Mundial do Comercio - 2016. **Comércio de recursos naturais e da comunidade empresarial: o que está em jogo?** Disponível em: <  
[https://www.wto.org/english/res\\_e/publications\\_e/wtr10\\_forum\\_e/wtr10\\_18may10\\_e.htm](https://www.wto.org/english/res_e/publications_e/wtr10_forum_e/wtr10_18may10_e.htm) >. Acesso : 20, março, 2020.

LEVY NETO, F., PARDINI L. C., Compositos estruturais: Ciencia e Tecnologia. 1º edição. Local de publicação : Blucher, 2006.

EL BANNA, W. R., COSTA, D. S., BAIA, L. M. G., SOUZA, J. A. S. **Viabilidade da utilização de compósitos híbridos reforçados com fibra de sisal e pó de madeira como materiais renováveis**. Universidade Federal do Pará. 2014.